ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL

VOLUME II-A

Projeto Santa Quitéria

Santa Quitéria/CE

Dezembro/2023

CONSÓRCIO Santa Quitéria

QUALIFICAÇÃO

Cliente: Consórcio Santa Quitéria

Produto: Estudo de Impacto Ambiental (EIA)

Contato: Ricardo Ferreira Lage

Data: Dezembro/2023

NÚMERO:	ELABORADO POR:	APROVADO POR:	DATA:
20_605_Vol.IIA_rev00	Tetra +	Cristina Almeida	Dezembro/2023

+55 (11) 2638-6664 / 3071-2721
ESCRITÓRIO SÃO PAULO
Rua Jerônimo da Veiga, 164, 16° andar
São Paulo, SP CEP 04536-900

SUMÁRIO

11 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL 33

11.1 Meio Físico 34

11.1.1 Clima e Meteorologia 34

11.1.1.1 Considerações Metodológicas 34

11.1.1.2 Contexto Regional 38

11.1.1.3 Contexto Local – Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA) 41

11.1.1.4 Considerações Finais 69

11.1.2 Qualidade do Ar 69

11.1.2.1 Considerações Metodológicas 69

11.1.2.2 Caracterização da Área de Influência Direta (AID) e da Área Diretamente Afetada (ADA) 77

11.1.2.3 Considerações Finais 85

11.1.3 Ruído e Vibração 86

11.1.3.1 Considerações Metodológicas 86

11.1.3.2 Caracterização da Área de Influência Direta (AID) e da Área Diretamente Afetada (ADA) 96

11.1.3.3 Considerações Finais 114

11.1.4 Geomorfologia 115

11.1.4.1 Considerações Metodológicas 115

11.1.4.2 Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII) 116

11.1.4.3 Contexto Local – Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA) 122

11.1.4.4 Considerações Finais 135

11.1.5 Pedologia 136

11.1.5.1 Considerações Metodológicas 136

11.1.5.2 Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII) 140

11.1.5.3 Contexto Local – Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA) 145

11.1.5.4 Considerações Finais 183

11.1.6 Geotecnia 186

11.1.6.1 Considerações Metodológicas 186

11.1.6.2 Caracterização Geotécnica dos Solos 188

11.1.6.3 Ensaios Granulométricos dos Solos 190

11.1.6.4 Mineralogia dos Solos por Análises de Difração de Raio-X (DRX) 193

11.1.6.5 Densidade do Solo por Ensaio de Compactação de Proctor Normal 196

11.1.6.6 Ensaio de Limites de Atterberg - Índice de Atividade das argilas (IA) 198

11.1.6.7 Ensaio CBR - Resistência dos Solos 199

11.1.6.8 Parâmetros Físico-Químicos do Solo 200

11.1.6.9 Ensaios com Infiltrômetro de Parede Dupla - Condutividade Hidráulica dos Solos 202

11.1.6.10 Sondagens de Reconhecimento 205

11.1.6.11 Unidades Geotécnicas 209

11.1.6.12 Sismicidades 216

11.1.6.13 Estabilidade da Área da Jazida 219
11.1.6.14 Considerações Finais 231
11.1.7 Geologia 234
11.1.7.1 Considerações Metodológicas 234
11.1.7.2 Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII) 244
11.1.7.3 Contexto Local – Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA) 289
11.1.7.4 Considerações Finais 390
11.1.8 Hidrologia 393
11.1.8.1 Considerações Metodológicas 393
11.1.8.2 Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII) 394
11.1.8.3 Caracterização da Área de Influência Direta (AID) e da Área Diretamente Afetada (ADA) .. 405
11.1.8.4 Considerações Finais 409
11.1.9 Qualidade dos Corpos D'Água 410
11.1.9.1 Considerações Metodológicas 410
11.1.9.2 Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII) 410
11.1.9.3 Caracterização da Área de Influência Direta (AID) e da Área Diretamente Afetada (ADA) .. 419
11.1.9.4 Considerações Finais 504
11.1.10 Usos das Águas Superficiais e/ou Subterrâneas 506
11.1.10.1 Considerações Metodológicas 506
11.1.10.2 Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII) 507
11.1.10.3 Caracterização da Área de Influência Direta (AID) e da Área Diretamente Afetada (ADA) . 532
11.1.10.4 Considerações Finais 534
11.1.11 Hidrogeologia 535
11.1.11.1 Considerações Metodológicas 535
11.1.11.2 Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII) 539
11.1.11.3 Modelo Hidrogeológico Conceitual - ADA 599
11.1.11.4 Considerações Finais 617
11.1.12 Qualidade das Águas Subterrâneas 619
11.1.12.1 Considerações Metodológicas 619
11.1.12.2 Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII) 650
11.1.12.3 Contexto Local – Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA) 650
11.1.12.1 Os Considerações Metodológicas 660
11.1.13 Patrimônio Espeleológico 758
11.1.13.1 Introdução 759
11.1.13.2 Metodologia 761
11.1.13.3 Resultados Compilados 782
11.1.13.4 Considerações finais 794
11.1.14 Recursos Minerários 796
11.1.14.1 Considerações Metodológicas 796
11.1.14.2 Área de Influência Indireta (AII), Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA) 797

11.1.14.3 Considerações Finais..... 806
11.1.15 Considerações Finais do Meio Físico 806

LISTA DE FIGURAS

Figura 11.1-1: Expansão da Massa Equatorial Atlântica durante o verão (cena 1) e inverno (cena 2). 40
Figura 11.1-2: Expansão da Massa Equatorial Continental durante o verão (cena 1) e inverno (cena 2). 41
Figura 11.1-3: Total pluviométrico anual nas estações meteorológicas e postos pluviométricos analisados. 42
Figura 11.1-4: Distribuição da precipitação das estações e postos pluviométricos analisados. 44
Figura 11.1-5: Distribuição do número de dias sem chuvas na Estação Quixeramobim. 45
Figura 11.1-6: Temperaturas máximas, médias e mínimas da estação Itataia (linhas contínuas) e da estação Quixeramobim (linhas tracejadas). 48
Figura 11.1-7: Pluviograma da estação Itataia. 49
Figura 11.1-8: Pluviograma da estação Quixeramobim. 49
Figura 11.1-9: Relação entre umidade relativa e temperatura do ar na estação Itataia. .. 52
Figura 11.1-10: Relação entre umidade relativa e temperatura do ar na estação Santa Quitéria. 52
Figura 11.1-11: Relação entre umidade relativa e temperatura do ar na estação Quixeramobim. 53
Figura 11.1-12: Relação entre evapotranspiração potencial e temperatura do ar na estação Quixeramobim. 55
Figura 11.1-13: Relação entre evapotranspiração potencial e umidade relativa do ar na estação Quixeramobim. 56
Figura 11.1-14: Balanço Hídrico Climatológico Mensal da estação Quixeramobim. 57
Figura 11.1-15: Extrato do Balanço Hídrico Climatológico Mensal (Déficits e Excedentes) da estação Quixeramobim. 57
Figura 11.1-16: Distribuição da radiação solar global diária (média anual). 58
Figura 11.1-17: Radiação solar acumulada mensal da estação Itataia. 59
Figura 11.1-18: Distribuição da radiação solar diária da estação Itataia. 59
Figura 11.1-19: Distribuição da insolação total na estação Quixeramobim. 60
Figura 11.1-20: Distribuição da velocidade do vento ao longo do ano na estação Itataia. . 62
Figura 11.1-21: Rosa dos ventos da Estação Itataia. 63
Figura 11.1-22: Acumulado anual de precipitação e ocorrência de ENOS / El Niño Oscilação Sul. 66
Figura 11.1-23: Projeções do avanço do clima árido no Nordeste do Brasil para o século XXI. 68
Figura 11.1-24: Localização dos pontos de monitoramento de qualidade do ar. 74
Figura 11.1-25: Posicionamento do equipamento de medição no P1 (1ª campanha). 75
Figura 11.1-26: Posicionamento do equipamento de medição no P1 (1ª campanha). 75
Figura 11.1-27: Posicionamento do equipamento de medição no P1 (2ª campanha). 75
Figura 11.1-28: Posicionamento do equipamento de medição no P1 (2ª campanha). 75
Figura 11.1-29: Posicionamento do equipamento de medição no P2 (1ª campanha). 75

Figura 11.1-30: Posicionamento do equipamento de medição no P2 (1ª campanha). 75
Figura 11.1-31: Posicionamento do equipamento de medição no P2 (2ª campanha). 76
Figura 11.1-32: Posicionamento do equipamento de medição no P2 (2ª campanha). 76
Figura 11.1-33: Posicionamento do equipamento de medição no P3 (1ª campanha). 76
Figura 11.1-34: Posicionamento do equipamento de medição no P3 (1ª campanha). 76
Figura 11.1-35: Posicionamento do equipamento de medição no P3 (2ª campanha). 76
Figura 11.1-36: Posicionamento do equipamento de medição no P3 (2ª campanha). 76
Figura 11.1-37: Posicionamento do equipamento de medição no P4 (1ª campanha). 77
Figura 11.1-38: Posicionamento do equipamento de medição no P4 (1ª campanha). 77
Figura 11.1-39: Posicionamento do equipamento de medição no P4 (2ª campanha). 77
Figura 11.1-40: Posicionamento do equipamento de medição no P4 (2ª campanha). 77
Figura 11.1-45: Resultados da amostragem de O_3. 84
Figura 11.1-46: Resultados da amostragem de NO_2. 84
Figura 11.1-47: Resultados da amostragem de SO_2. 85
Figura 11.1-48: Comparação do Lres com o RLAeq – diurno. 112
Figura 11.1-49: Comparação do Lres com o RLAeq - noturno. 112
Figura 11.1-50: Perfis topográficos da ADA e AID. 132
Figura 11.1-51: Localizações dos perfis topográficos da ADA e AID. 133
Figura 11.1-52: Vista do açude Quixaba à esquerda e Depressão Sertaneja em primeiro plano, exibindo ao fundo a Serra da Mata Fome, Planalto Residual Sertanejo. 133
Figura 11.1-53: Detalhe da Serra da Mata Fome ao fundo, com formato alongado e topo pouco aplainado. Relevo aplainado da Depressão Sertaneja em primeiro plano. 133
Figura 11.1-54: Vista para norte, exibindo colinas e serrotes da Depressão Sertaneja em primeiro plano e a Serra do Céu ao fundo. 134
Figura 11.1-55: Detalhe da porção centro-sul da AID, com vista para NW, exibindo ao fundo o Serrote da Igreja, pertencente à unidade de morros isolados da Depressão Sertaneja.. 134
Figura 11.1-56: Vista para norte, evidenciando serrotes da Depressão Sertaneja em primeiro plano e a Serra do Céu do Planalto Residual Sertanejo ao fundo. 134
Figura 11.1-57: Vista para norte da Serra do Céu, que delimita a porção norte da AID. .. 134
Figura 11.1-58: Detalhe da porção topograficamente mais elevada da Serra do Céu. 134
Figura 11.1-59: Foto a partir do Serrote da Igreja, com vista para sul, exibindo ao fundo morros isolados da Depressão Sertaneja. 134
Figura 11.1-60: Foto a partir do Serrote da Igreja com vista para noroeste, com a Depressão Sertaneja em primeiro plano, e ao fundo o Planalto Residual Sertanejo. 135
Figura 11.1-61: Aspecto de Neossolo Litólico com delgado horizonte A precedido pelo horizonte C, que corresponde a saprolito de gnaisse. 149
Figura 11.1-62: Detalhe de Neossolo Litólico sem horizontes bem definidos contendo muitos blocos de rocha de litologias diversas (depósito coluvial). 149
Figura 11.1-63: Perfil de Neossolo Litólico com horizonte A decimétrico (escuro) sobre saprólito de gnaisse – Horizonte C (alaranjado). 149
Figura 11.1-64: Aspecto de trincheira aberta no alto do Serrote da Igreja, expondo integralmente Neossolo Litólico em área de ocorrência de colofanito. 149
Figura 11.1-65: Vista da entrada do alojamento da INB com ocorrência de Neossolos Litólicos marcados pela presença de grande número de blocos de rocha. 150
Figura 11.1-66: Perfil de Neossolo Litólico aparentemente sem horizonte A e com espesso horizonte C de alteração do mármore. 150
Figura 11.1-67: Cambissolo Vermelho presença de blocos de rocha na ADA. 150
Figura 11.1-68: Cambissolo Vermelho na AII. 150

Figura 11.1-69: Exposição de Cambissolo Vermelho-Amarelo com horizonte A ligeiramente mais escuro seguido do horizonte B e C de alteração de gnaisse. 150
Figura 11.1-70: Detalhe de Cambissolo Vermelho-Amarelo. O intervalo entre as marcações laranja e amarela corresponde ao horizonte B. 150
Figura 11.1-71: Detalhe de Cambissolo Vermelho-Amarelo caracterizado por estrutura prismática, subordinadamente em blocos angulosos. 151
Figura 11.1-72: Detalhe de blocos subangulosos acumulados na base do perfil de Cambissolo. 151
Figura 11.1-73: Detalhe de Chernossolo Rêndzico (Horizonte A Chernozêmico imediatamente sobre horizonte D de mármore). 152
Figura 11.1-74: Aspecto de Chernossolo Rêndzico com horizonte A diretamente sobre afloramento de mármore – Horizonte D. 152
Figura 11.1-75: Perfil de Chernossolo Rêndzico com horizonte A chernozêmico escuro decimétrico sobre horizonte C (saprolito de mármore). 152
Figura 11.1-76: Detalhe de Chernossolo Rêndzico com horizonte A chernozêmico (cinza) seguido de horizonte B incipiente (porção alaranjada inferior) e horizonte C branco de alteração de mármore. 152
Figura 11.1-77: Curva de rebaixamento (m) x tempo (s) – Ensaios de 2021. 164
Figura 11.1-78: Curvas de rebaixamento (m) x tempo (s) – Ensaios de 2023. 169
Figura 11.1-79: A) e B) Perfuração da Sondagem e Ensaio de Rebaixamento 1- Neossolo Flúvico. C) e D) Perfuração da Sondagem Ensaio de Rebaixamento 3- Neossolo Litólico. E) Ensaio de Rebaixamento 4- Cambissolos. F) Ensaio de Rebaixamento 2 - Chernossolo Rêndzico. 169
Figura 11.1-80: Escavação no horizonte chernozênico para coleta de amostras para análise química. 172
Figura 11.1-81: Escavação em horizonte A (mineral/orgânico) de Neossolo Litólico para coleta de amostra. 172
Figura 11.1-82: Coleta do solo durante as etapas de ensaios de rebaixamento d'agua. 173
Figura 11.1-83: Gráficos *boxplot* dos elementos químicos analisados nos sedimentos de 2023. 178
Figura 11.1-84: Curvas granulométricas dos solos de alteração da Formação Alcantil. 190
Figura 11.1-85: Curvas granulométricas dos solos de alteração da Formação Barrigas. 192
Figura 11.1-86: Curva Granulométrica e foto das amostras separadas por granulação. 193
Figura 11.1-87: Pontos de amostragem do solo para análise DRX, as linhas vermelhas representam a área da ADA. 194
Figura 11.1-88: Difratograma de raio-x da amostra D12 contendo caulinita. Em Y número de fótons de raios Y e em X ângulo. 195
Figura 11.1-89: Difratograma de raio-x da amostra D8 contendo montmorilonita. Em Y número de fótons de raios Y e em X ângulo. 196
Figura 11.1-90: Difratograma de raio-x da amostra D30 contendo vermiculita. Em Y número de fótons de raios Y e em X ângulo. 196
Figura 11.1-91: Curvas de compactação dos ensaios de Proctor Normal. 197
Figura 11.1-92: Localização das sondagens SPT e das sondagens a trado ST01 a 10 realizados pela GeoHidro em 2022. 208
Figura 11.1-93: Perfil esquemático dos poços de monitoramento construídos em 2022. O perfil apresenta as litologias na primeira coluna e a segunda coluna apresenta o grau de alteração das rochas. 215
Figura 11.1-94: Mapa de Ameaça Sísmica Brasileiro contendo as acelerações de pico em rocha (PGArock). A) Probabilidade de excedência de 10% durante 50 anos, correspondendo

a um tempo de retorno de 475 anos. B) Probabilidade de excedência de 2% durante 50 anos, correspondendo a um tempo de retorno de 2475 anos. 216
Figura 11.1-95: Projeção estereográfica (Diagrama Schimit-Lambert). 221
Figura 11.1-96: Projeção ciclográfica das principais descontinuidades mapeadas. 222
Figura 11.1-97: Seções geológicas e distribuição de classes do maciço. 224
Figura 11.1-98: A) Análise de estabilidade da Cava do PSQ seção S-13, talude N2W condição estática; B) Análise de estabilidade da Cava do PSQ, seção S-13, talude S2E, condição estática. 229
Figura 11.1-99: Análise de estabilidade da Cava do PSQ. A) seção S-13, talude N2W condição pseudo-estática; B) seção S-13, talude S2E, condição pseudo-estática. 230
Figura 11.1-100: Padrões de acréscimo de tensões na fundação da pilha de estéril e fosfogesso. 231
Figura 11.1-101: Cobertura da área por cartas do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM). ..237
Figura 11.1-102: Imagens do Relevo Sombreado nas direções NE (A), NW (B), NS (C) e EW (D) 238
Figura 11.1-103: Lineamentos extraídos a partir das imagens de relevo sombreado. 239
Figura 11.1-104: Localização da área de recorte dos dados em relação ao Projeto Norte do Ceará e a AII. 240
Figura 11.1-105: Mapas gamaespectrométricos: A) Mapa do potássio, B) Mapa do Tório, C) Mapa do Urânio e D) Mapa da composição ternária RGB. 241
Figura 11.1-106: Composição ternária RGB sobreposto ao MDE, com os contatos geológicos da Folha Quixadá e o Limite da AII. 242
Figura 11.1-107: Mapa da Inclinação do Sinal Analítico (ISA) com os lineamentos magnético-estruturais interpretados e o Limite da AII (Branco) sobreposto ao MDE. 243
Figura 11.1-108: Localização da Província Borborema no Brasil. 245
Figura 11.1-109: Subdivisão da Província Borborema. 246
Figura 11.1-110: Domínios da Província Borborema Setentrional. 247
Figura 11.1-111: Mecanismos focais e locais de estações permanentes de GPS no Nordeste do Brasil Chave para a localização e idade da simicidade: a - João Câmara, RN (1986-87); b - Barragem Açu, RN (1990-91); c - Augusto Severo, RN (1990); d - Tabuleiro Grande, RN (1993); e - Palhano, CE (1989); f - Cascavel, CE (1994); g - Cascavel, CE (1989); h - Pacajus, CE (1980); i - Irauçuba, CE (1991); j - Irauçuba, CE (1991); k - Senador Sá, CE (1997), l - Groaíras, CE (1988); m - Hidrolândia, CE (1991); n - Caruaru, PE (1991); o – Graben de Cariatá. 250
Figura 11.1-112: Localização dos sismógrafos no Estado do Ceará. 251
Figura 11.1-113: Distribuição dos sismos na série histórica do Estado do Ceará. 254
Figura 11.1-114: Estação sismográfica de Itataia. 285
Figura 11.1-115: Mapa de densidade de pontos para os epicentros dos sismos elaborado pela CPRM(2023): A) Zona Sísmica Médio Coreaú; B) Zona Sísmica Cascavel-Beberibe; C) Zona Sísmica Quixeramobim. 287
Figura 11.1-116: Localização dos levantamentos geofísicos realizados na área da futura área industrial. 290
Figura 11.1-117: Resultados da pesquisa de Alcantara e Silva (2003). 293
Figura 11.1-118: Localização das linhas do levantamento geofísico de 2016, com as pontuais áreas de possíveis cavidades. Vale-ressaltar que em sua maioria estão localizadas fora da ADA. 294
Figura 11.1-119: Modelagem 2D das Linhas 1 a 6, com anomalias que podem estar associadas a cavidades. 295

Figura 11.1-120: Modelagem 2D das Linhas 7 a 10, com anomalias que podem estar associadas a cavidades. 296
Figura 11.1-121: Modelagem 2D das Linhas 11 a 14, com anomalias que podem estar associadas a cavidades. 297
Figura 11.1-122: Valores de resistividade verdadeiras obtidas na modelagem 3D, para diferentes profundidades (A-8 m, B-14 m, C-21 m, D-29 m, E-38 m, F-49 m, G-62 m e H-76 m). 298
Figura 11.1-123: Resultados da pesquisa geofísica de 2021, linhas 01 a 05. 300
Figura 11.1-124: Resultados da pesquisa geofísica de 2021. 301
Figura 11.1-125: Linhas geofísicas onde é possível visualizar as zonas de cisalhamento (traçado em preto). 302
Figura 11.1-126: Localização das sondagens realizadas de 2011 até 2022 pelo projeto. .. 303
Figura 11.1-127: Perfis de sondagens dos poços de monitoramento construídos pela GeoHidro em 2023. 306
Figura 11.1-128: A - Cruzamento de dados geofísicos e sondagens de reconhecimento de 2022. B e C – Linhas de resistividade com a localização da sondagem de reconhecimento. D – Sondagem de reconhecimento D. 314
Figura 11.1-129: Contatos resultantes da integração das Folhas Geológicas Quixadá, Taperuaba e Itatira sobrepostos ao mapa da composição ternária RGB. 316
Figura 11.1-130: Fontes de dados compiladas confecção do mapa geológico - (A) Principais fontes na região da AID. (B) Principais fontes na região da ADA. 317
Figura 11.1-131: Arcabouço geológico e a localização dos perfis geológicos em planta. .. 333
Figura 11.1-132: Perfil Geológico A – B: intercalações de Rochas da Formação Barrigas. . 334
Figura 11.1-133: Perfil Geológico A – B: intercalações de Rochas da Formação Barrigas Perfil Geológico CD. 335
Figura 11.1-134: Perfil Geológico EFG. 336
Figura 11.1-135: Perfil Geológico HI. 337
Figura 11.1-136: Perfil Geológico JKLM, devido ao tamanho o perfil foi divido em duas partes a partir do furo 196. 338
Figura 11.1-137: Amostra Santa Quitéria, tal qual. Características da associação mineral. Apatita (cinza claro), calcita (cinza médio) e plagioclásio (cinza escuro). 342
Figura 11.1-138: Imagem do processamento pelo sistema MEV/MLA, evidenciando a composição mineralógica e as características de associação dos minerais presentes. 343
Figura 11.1-139: Imagem do processamento pelo sistema MEV/MLA, evidenciando a composição mineralógica e as características de associação dos minerais presentes. Difratograma da amostra tal qual, com a presença de apatita, calcita, quartzo, argilo mineral 12-15ª, mica e plagioclásio. 343
Figura 11.1-140: Difatograma obtido pelas análises do DRX (cada cor representa um elemento químico). 346
Figura 11.1-141: (A, B e C) Vista para norte da Serra do Céu, evidenciando afloramentos naturais de rochas quartzíticas da Formação Laranjeiras no topo e Formação Serra do Céu na base. (D) Afloramento de quartzitos e micaxistos da Formação Laranjeiras na estrada que liga a área do futuro empreendimento a Lagoa do Mato. 354
A Formação Barrigas é representada por gnaisses pelíticos aluminosos. Apresenta cerca de 100 m de espessura e é constituída por biotita-silimanita-gnaisses e biotita-plagioclásio-gnaisses com porfiroblastos de granada, localmente apresentando migmatização em diferentes graus, comumente cloritizadas, processo este resultado de retrometamorfismo de fácies anfibolito para xisto verde (SILVA, 2003); Figura 11.1-142 354

Figura 11.1-142: (A) Quartzo-biotita-granada-gnaisse; (B) Detalhe de gnaisse apresentando granadas milimétricas a centimétricas em afloramento localizado nas proximidades da galeria G2; (C) Fotomicrografia de paragnaisse destacando as alteração (saussuritização) dos plagioclásios; (D) Fotomicrografia de paragnaisse mostrando zona de concentração de cristais de silimanita (fibrolita) e de micas (muscovita e biotita); (E) Fotomicrografia de paragnaisse destacando cristal de plagioclásio fraturado e alterado (sericitização) e circundado por finas lamelas de biotita; (F) Fotomicrografia de paragnaisse em porção dominada por biotitas variando de tons castanho-claro para tons mais escuros, parcialmente envolvendo cristal de granada fraturado. 355
Figura 11.1-143: (A) Afloramento muito alterado de biotita gnaisse de granulação fina, coloração cinza escura, intercalado com porções pegmatíticas de composição quartzo-feldspática; (B) Detalhe de planos limonitizados concordantes à foliação (40/40) exposta no plano de fratura 315/80. Plano de fratura de direção 150/77; 122/82; 125/80; 135/82 (Notação Clar); (C) Gnaisse apresentando porfiroblastos centimétricos de granada; (D) Granada poiquiloblástica com formato parcial de sigmoide-boudin e com diversas fraturas e inclusões (quartzo e biotita, dominantes); (E) Poiquiloblasto de granada muito fraturado incluso numa matriz de quartzo, plagioclásio e biotita. 356
Figura 11.1-144: (A) Detalhe de veios e bolsões pegmatíticos em biotita-gnaisse; (B) Detalhes de contato entre porções paleo/melanossomáticas e neo/leucossomáticas em migmatito da Formação Barrigas; (C) Outros detalhes de estruturas migmatíticas; (D) Afloramento em lajedo, extensão de aproximada de 30m, de Sillimanita-Granada-Biotita gnaisse com dobras pitgmáticas e de arrasto indicando cinemática dextral. 357
Figura 11.1-145: (A) Afloramento em laje de intercalações de mármore com rocha calciossilitcática e gnáissica; (B) Detalhe de amostra de mármore apresentando níveis ricos em granada; (C e D) Contato entre xisto e rocha Calcissilicática; (E) mármore; blocos angulosos evidenciando alto grau de fraturamento. 359
Figura 11.1-146: (A) Mármore bandado; (B) Detalhe de amostra de mármore com grafita apresentando granulação grossa e textura granoblástica; (C e D) Microfotografia de rocha Calcissilicática com cristais de condrodita (chn), escapolita (scp), epidoto (ep) e quartzo (qz); (E e F) Microfotografia de rocha Calcissilicática mostrando modificações texturais marcadas pela presença da vesuvianita (ves) alterada para epidoto; (G) metacarbonato bandado dobrado. 360
Figura 11.1-147: (A) Vista para nordeste com Serra do Céu ao fundo e em primeiro plano extenso lajedo de mármore da Formação Alcantil; (B) Aspecto de lajedos em mármore da Formação Alcantil; (C) Paredão de mármore no Serrote da Igreja; (D) Detalhe de depósito de tálus na encosta do Serrote do Canudo; (E) Detalhe de afloramentos de mármores em paredões no Serrote do Canudo. 361
Figura 11.1-148: (A) Dissolução ao longo de fratura N-S subvertical, afetando mármores da Formação Alcantil; (B) Vista de abismo localizado na porção W do Serrote da Igreja. A feição apresenta orientação N-S associada ao padrão de faturamento; (C) Afloramento de mármore da Formação Alcantil mostrando intercalação de camadas puras e impuras. A dissolução é mais efetiva nas camadas de mármore puro; (D) Afloramento de Tufas Calcárias, apresentando alta porosidade, estrutura crostiforme com formas similares a moldes de caules e folhas alongadas, e intenso processo de dissolução associado resultando na geração de cavernas. 362
Figura 11.1-149: Mapa das cavidades estudas, em vermelho as de relevância máxima e em verde as de não-máxima. Ao fundo da figura, foi inserido o mapa geológico de detalhe de 1:10.000, onde é visível a concentração das cavidades em rochas metacarbonáticas. 364

Figura 11.1-150: Cavernas rasas em relação a superfície ou associadas a depósitos de tálus. 364
Figura 11.1-151: (A e B) Minério preenchendo vazios formados devido a lixiviação de quartzo; (C) Cristais de apatita bem formados; (D) Cristais de apatita não deformados (Ap1) preenchendo vazios em rochas Calcissilicáticas, com presença da foliação principal (Sn) definida por cristais de biotita (Biotita). 366
Figura 11.1-152: (A) Colofanito associado a brechas carbonáticas, onde os clastos são compostos por rochas feldspáticas, mármores (Mb), rochas Calcissilicáticas (Cc) e colofanita (Col). A matriz da brecha é composta por carbonatos bem cristalizados (Cal) ou rochas carbonáticas cinza escuras; (B) Veios de colofanitas tipo stockwork em mármores; (C) Fraturas e falhas nos mármores da Formação Alcantil com brechas preenchidas por colofanito; (D) Brecha com colofanito e megacristais de calcita (Cal1) em mármores carstificados da Formação Alcantil; (E) Apatita coloforme (Ap2) preenchendo vazios com cristais de calcita (Cal) em mármore da Formação Alcantil; (F) Apatita associada com zeólita (Zeo) e carbonato (Cal); (G) Apatita associada com clorita; (H) Feldspato alterado (Fsp) contendo inclusões de quartzo (Qz) e fraturas preenchidas por clorita (Chl). 367
Figura 11.1-153: (A) Colofanita residual (Ap3) com textura botrioidal cobrindo e preenchendo vazios em cristais de calcita hidrotermal, incluindo megacristais de calcita hidrotermais (Cal1) e cristais menores de calcita preenchendo vazios gerados pela dissolução de megacristais (Cal2); (B) Colofanita residual no topo do depósito de Itataia, com estrutura semelhante a perfis lateríticos gerados por lixiviação química: níveis de colofanita maciça (Col) e alguns fragmentos de mármore (Mb) em solo marrom-amarelado; (C) Minério de colofanita maciças com textura botrioidal; (D) Colofanita maciça contendo apatita microcristalina e minerais de argila, com cavidades (setas pretas) que podem ser preenchidas com calcita, quartzo, feldspato, minerais de grafite ou argila; (E e F) Fotomicrografias que ilustram a fase de apatita mais recente (Ap3) associada a outra fase de fosfato microcristalino (Phs). 368
Figura 11.1-154: (A) Afloramento existente na entrada da galeria G2, com detalhe para o colofanito rosado na porção superior da foto; (B) Detalhe de colofanito preenchendo fraturas dos mármores da Formação Alcantil; (C) Detalhe de amostra de brecha de colofanito afetada por cisalhamento, observada na galeria G2; (D) Detalhe de amostra de colofanito observado no Serrote da Igreja; (E) mármore calcítico, cristais de calcita venulado com colofonita. 371
Figura 11.1-155: (A) Amostra de diabásio; (B) Blocos e calhaus em leito de rio intermitente; (C) Aluvião arenoso de cerca de 1 m de espessura. 372
Figura 11.1-156: (A) Foliação principal em mármores bandados; (B) Foliação principal em gnaisse; (c) Foliação ortogonal a galeria com mergulho de aproximadamente 50º para fora da galeria G1; (D) Mármores da formação Alcantil, com a foliação principal levemente dobrada; (E) Afloramento rasteiro de metatexito com estrutura estromática e sheets de leucogranitoide. A foliação é sub-vertical, sublinhando um possível cisalhamento. 373
Figura 11.1-157: (A) Estereograma das foliações obtidas na 5ª campanha – 18 de maio a 01 de abril, foram obtidas 125 medidas. (B) – Esteograma em 3D, em vermelho a direção do Norte, enquanto em verde o plano médio das foliações, com direção de mergulho para sul/sudeste. 374
Figura 11.1-158: Rocha Metacarbonática com sheets leucograniticas dobrada, afloramento evidencia a charneira da dobra anticlinal aberta; B - Zona de ocorrência de metacarbonática com intercalações milimétricas de gnaisse/calcissilicática e sheets de leucogranitoide. Dois sistemas de fraturas: 1) NW (N290); 2) aproximadamente E-W (N75), ambas são subverticais; C - Afloramento em lajedo de metatexito com estrutura

estromática e dobra sinforme; D - Afloramento em lajedo, extensão de aproximada de 30m, de Sillimanita, Granada, Biotita gnaisse com dobras pitgmáticas e de arrasto indicando cinemática dextral; E e F - Afloramento metacarbonato com dobramento. 376
Figura 11.1-159: (A) Detalhe de dobras isoclinais apresentando padrão em Chevron; (B) Detalhe da dobra apresentando planos nos flancos com presença de estiramento mineral; (C) Dobra com eixo verticalizado em contato entre xistos e Calcissilicáticas; (D) Afloramento em lajedo, extensão de aproximada de 30m, de Sillimanita, Granada, Biotita gnaisse com dobras pitgmáticas e de arrasto indicando cinemática dextral. 378
Figura 11.1-160: (A) Detalhe de família de fraturas com direções 295/80, 294/75, 290/72 e 292/70 (Notação Clar), apresentando 3 cm de abertura e preenchidas por solo; (B) Detalhe de família de juntas com direção 295/80; 294/75; 290/72 e 292/70, apresentando abertura da ordem de 3 cm; (C) Fratura no quartzito de direção 265/88, plana, lisa a rugosa, com espaçamento centimétrico, abertura superior a 1 mm, seca, com persistência de 1 m a 3 m; (D) Afloramento em lajedo de mármore, de cor branca, apresenta dois sistemas de fraturas: NW e E-W.; (E) Detalhe das lineações presentes em plano de falha normal e estrias slinkensides indicando movimentação normal em plano de falha com atitude 170/70 (Notação Clar).....379
Figura 11.1-161: Mapa local mostrando as principais estruturas existentes e levantamentos realizados para coleta de dados sobre MDE.....381
Figura 11.1-162: (A) Mapa geológico do depósito de fosfato-urânio de Itataia, ilustrando o corpo principal de minério e sua associação com planos de falha; (B) Seção transversal através da zona mineralizada com curvas de isovalores de Al2O3. A seção AB está desenhada em (A) e mostra as principais estruturas dúcteis e rúpteis; (C) Mapa geológico e estrutural detalhado da galeria G-3, ilustrando a relação do minério de colofanita com a tectônica rúptil. Nota-se um aumento gradual no volume do minério de sul para norte, acompanhado de brechação e carstificação de mármores. 382
Figura 11.1-163: Mapas com a identificação das posições das feições estruturais identificadas ao longo dos perfis geoelétricos da área de estudo. Destacar as correlações estruturais entre os perfis 02, 03 e 04 (retângulo em cor preta) e dos perfis com a interseção com a drenagem (riacho SN2). *Fonte: Signal (2021)*. 384
Figura 11.1-164: Seções de resistividade modeladas para os perfis 01 a 05 com suas respectivas características: comprimento da seção, escala de resistividade, cota/elevação. O traçado em cor preta significa presença de descontinuidades/feições identificadas....385
Figura 11.1-165: Seções de resistividade modeladas para os perfis 06 a 10 com suas respectivas características: comprimento da seção, escala de resistividade, cota/elevação. O traçado em cor preta significa presença de descontinuidades/feições identificadas....386
Figura 11.1-166: Correlação entre as descontinuidades estruturais presente na modelagem dos perfis 02, 03 e 04 (retângulo tracejado na cor azul). Destaque para este intervalo bastante fraturado vistos em ambos os perfis, associado a presença do riacho SN2. 388
Figura 11.1-167: Correlação entre as descontinuidades estruturais presente na modelagem do perfil 09 (retângulo tracejado na cor azul). Destaque para este intervalo (traçado em cor branca) bastante fraturado visto no perfil, associado a presença da Zona de Cisalhamento e riacho SN2. 389
Figura 11.1-168: Mapa esquemático dos poços construídos em 2022 em relação às linhas geofísicas de 2021. Em tons azul esverdeado está representado nos perfils as camadas metacarbonáticas, enquanto os tons cinza hachurados os paragnaisses, e em laranja os Pegmatoides.....392
Figura 11.1-169: Regiões hidrográficas do estado do Ceará.....395
Figura 11.1-170: Rede de drenagem da bacia do rio Acaraú. 397

Figura 11.1-171: Distribuição da precipitação das estações e postos pluviométricos analisados. 404
Figura 11.1-172: Estado trófico do açude Edson Queiroz entre os anos de 2008 e de 2023. 413
Figura 11.1-173: Porcentagem de Não Conformidades nas Águas nas Amostragens Realizadas em 2011. 417
Figura 11.1-174: Porcentagem de Não Conformidades nos Sedimentos nas Amostragens Realizadas em 2011. 418
Figura 11.1-175: Ponto P01 - Açude do riacho Caramutim (barragem), na 1ª campanha (período seco). 426
Figura 11.1-176: Ponto P01 - Açude do riacho Caramutim, na 2ª campanha (período chuvoso) 426
Figura 11.1-177: Ponto P01 - Açude do riacho Caramutim, na 3ª campanha (período chuvoso) 426
Figura 11.1-178: Ponto P02 - Açude do riacho Caramutim (remanso), na 1ª campanha (período seco). 426
Figura 11.1-179: Ponto P02 - Açude do riacho Caramutim, na 2ª campanha (período chuvoso) 427
Figura 11.1-180: Ponto P02 - Açude do riacho Caramutim, na 3ª campanha (período chuvoso) 427
Figura 11.1-181: Ponto P03 - Riacho Caramutim: sem escoamento superficial, na 1ª campanha (período seco). 427
Figura 11.1-182: Ponto P03 - Riacho Caramutim: sem escoamento superficial, na 2ª campanha (período chuvoso). 427
Figura 11.1-183: Ponto P03 - Riacho Caramutim: sem escoamento superficial, na 3ª campanha (período chuvoso). 428
Figura 11.1-184: Ponto P04 - Riacho das Guaribas: sem escoamento superficial, na 1ª campanha (período seco). 428
Figura 11.1-185: Ponto P04 - Riacho das Guaribas: sem escoamento superficial, na 2ª campanha (período chuvoso). 428
Figura 11.1-186: Ponto P04 - Riacho das Guaribas: sem escoamento superficial, na 3ª campanha (período chuvoso). 428
Figura 11.1-187: Ponto P05 – Riacho Cunha- Moti: sem escoamento superficial, na 1ª campanha (período seco). 428
Figura 11.1-188: Ponto P05 – Riacho Cunha- Moti: sem escoamento superficial, na 2ª campanha (período chuvoso). 428
Figura 11.1-189: Ponto P05 – Riacho Cunha - Moti: sem escoamento superficial, na 3ª campanha (período chuvoso). 429
Figura 11.1-190: Ponto P06 - Riacho sem denominação 3: sem escoamento superficial, na 1ª campanha (período seco) 429
Figura 11.1-191: Ponto P06 - Riacho sem denominação 3: sem escoamento superficial, na 2ª campanha (período chuvoso). 429
Figura 11.1-192: Ponto P06 - Riacho sem denominação 3, na 3ª campanha (período chuvoso) 429
Figura 11.1-193: Ponto P07 - Riacho Cunha – Moti: sem escoamento superficial, na 1ª campanha (período seco). 430
Figura 11.1-194: Ponto P07 - Riacho Cunha – Moti: sem escoamento superficial, na 2ª campanha (período chuvoso). 430

Figura 11.1-195: Ponto P07 - Riacho Cunha – Moti: sem escoamento superficial, na 3ª campanha (período chuvoso). 430
Figura 11.1-196: P08 - Açude do riacho da Gangorra: seco, na 1ª campanha (período seco). 430
Figura 11.1-197: P08 - Açude do riacho da Gangorra: seco, na 2ª campanha (período chuvoso).....430
Figura 11.1-198: P08 - Açude do riacho da Gangorra, na 3ª campanha (período chuvoso).430
Figura 11.1-199: Ponto P09 - Açude da Laís, na 1ª campanha (período seco). 431
Figura 11.1-200: Ponto P09 - Açude da Laís, na 2ª campanha (período chuvoso). 431
Figura 11.1-201: Ponto P09 - Açude da Laís, na 3ª campanha (período chuvoso). 431
Figura 11.1-202: Ponto P10: Açude Edson Queiroz, na 1ª campanha (período seco). 431
Figura 11.1-203: Ponto P10: Açude Edson Queiroz, na 2ª campanha (período chuvoso). ..432
Figura 11.1-204: Ponto P10: Açude Edson Queiroz, na 3ª campanha (período chuvoso). ..432
Figura 11.1-205: Ponto P11: Açude João Silva Guerra, na 1ª campanha (período seco). ..432
Figura 11.1-206: Ponto P11: Açude João Silva Guerra, na 2ª campanha (período chuvoso). 432
Figura 11.1-207: Sonda multiparâmetros usada para as medições *in situ*.....438
Figura 11.1-208: Garrafa de Van Dorn utilizada na amostragem de água. 438
Figura 11.1-209: Coleta de sedimentos com amostrador de fundo (2ªC, fevereiro/2021). 442
Figura 11.1-210: Coleta de sedimentos com amostrador de fundo (3ªC, abril/2023). 442
Figura 11.1-211: Cloreto nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 459
Figura 11.1-212: Cloro Residual nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).....460
Figura 11.1-213: Cor Verdadeira nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).....461
Figura 11.1-214: Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).....463
Figura 11.1-215: Demanda Química de Oxigênio – DQO nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).....464
Figura 11.1-216: Fluoreto Total nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).....465
Figura 11.1-217: Fósforo Total nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).....466
Figura 11.1-218: Nitrato nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 468
Figura 11.1-219: Nitrogênio Amoniacal nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).....468
Figura 11.1-220: Nitrito nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 469
Figura 11.1-221: Oxigênio Dissolvido nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).....471
Figura 11.1-222: Potencial Hidrogeniônico (pH) nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).....472
Figura 11.1-223: Sólidos Dissolvidos Totais nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).....473
Figura 11.1-224: Sulfato nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 474

Figura 11.1-225: Sulfeto nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 475
Figura 11.1-226: Turbidez nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 476
Figura 11.1-227: Clorofila-*a* nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 477
Figura 11.1-228: Cianobactérias nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 478
Figura 11.1-229: Coliformes termotolerantes (*E.coli*) - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 479
Figura 11.1-230: Coliformes Totais nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023. 480
Figura 11.1-231: Manganês Total nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 482
Figura 11.1-232: Zinco Total nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 483
Figura 11.1-233: Alumínio dissolvido nas águas superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) e abril/2023 (3ªC). 484
Figura 11.1-234: Ferro Dissolvido nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 485
Figura 11.1-235: Surfactantes nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 487
Figura 11.1-236: Fenóis nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 488
Figura 11.1-237: Índice de Estado Trófico (IET) - PSQ – novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 491
Figura 11.1-238: Carbono Orgânico nos Sedimentos – PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 497
Figura 11.1-239: Nitrogênio Kjeldahl Total nos Sedimentos– PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 498
Figura 11.1-240: Fósforo Total nos Sedimentos – PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 499
Figura 11.1-241: Cobre nos Sedimentos – PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 500
Figura 11.1-242: Cromo nos Sedimentos – PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 501
Figura 11.1-243: Níquel nos Sedimentos – PSQ - Novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 502
Figura 11.1-244: Porcentagem da Composição Granulométrica nos Sedimentos – PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 504
Figura 11.1-245: AII em relação as Bacias do Estado do Ceará 507
Figura 11.1-246: Principais usos das águas outorgados na RH do Acaraú. 508
Figura 11.1-247: Vazão outorgada por tipo de uso válida em 2021 na RH do Acaraú. 508
Figura 11.1-248: Evolução do volume armazenado e vazão alocada no Açude Edson Queiroz – 2012 a 2021. 513
Figura 11.1-249: Outorgas em vigência dentro dos municípios da AII. 517
Figura 11.1-250: Outorgas vigentes no rio Groaíras por tipologia e vazão outorgada. 518
Figura 11.1-251: Distribuição temporal das captações de águas subterrâneas e do volume de reservatórios monitorados da bacia do Acaraú. 523

Figura 11.1-252: Distribuição temporal das captações de águas subterrâneas da bacia do Acaraú com indicativo dos anos de seca (setas). 523
Figura 11.1-253: Tipos de Captação de águas subterrâneas cadastradas na Bacia do Acaraú. 524
Figura 11.1-254: Distribuição dos tipos de Captação de águas subterrâneas na Bacia do Acaraú. 524
Figura 11.1-255: Domínio das captações de águas subterrâneas na Bacia do Acaraú..... 528
Figura 11.1-256: Classes de uso das águas subterrâneas na Bacia do Acaraú. 528
Figura 11.1-257: Localização das outorgas na AII. 531
Figura 11.1-258: Localização dos poços de captação ativos e inativos na AID..... 533
Figura 11.1-259: Situação dos poços cadastrados no SIAGAS até o dia 15/11/2023. No eixo Y, há a contagem de poços e em X o estado atual dos poços. 546
Figura 11.1-260: Localização dos poços cadastrados no SIAGAS e COGERH (15/11/2023). 547
Figura 11.1-261: Perfil ilustrativo das litologias de cada um dos poços e nível de alteração. Os poços foram perfurados em 2022 e descritos pela INB para maior detalhamento..... 559
Figura 11.1-262: Curvas de variação do nível d'água nos *slugs tests*. 561
Figura 11.1-263: Curvas de variação nos ensaios de perda d'água em poços. 569
Figura 11.1-264: Variação do N.A. de abril a agosto de 2011. 573
Figura 11.1-265: Variação do índice pluviométrico entre abril e julho de 2011..... 573
Figura 11.1-266: Precipitação total anual da série histórica de 29 anos (1994-2023). 575
Figura 11.1-267: Mapa potenciométrico..... 579
Figura 11.1-268: Mapa topográfico..... 579
Figura 11.1-269: (A) Mapa geológico do depósito de fosfato-urânio de Itataia, ilustrando o corpo principal de minério e sua associação com planos de falha; (B) Seção transversal através da zona mineralizada com curvas de isovalores de Al2O3. A seção AB está desenhada em (A) e mostra as principais estruturas dúcteis e rúpteis em (B); (linha vermelha) seção da Galeria G1 na cota 480m. (linha verde) Cota 459 de fundo no PM-08 sem água subterrânea. (linha preta) Cota 400 referente ao nível de base da cava. 580
Figura 11.1-270: Em rosa estão delimitados, aproximadamente, os divisores de água no entorno da ADA. Marcado com uma estrela branca, está o encontro da bacia hidrográfica do Mulungu com o Rio Groíaras, principal ponto de descarga do aquífero..... 592
Figura 11.1-271: Fluxograma do funcionamento do sistema GOD. 594
Figura 11.1-272: Perfis litológicos (A) e geotécnicos (B) da área da Mina e sua localização. (C)..... 610
Figura 11.1-273: Modelo Hidrogeológico Conceitual..... 615
Figura 11.1-274: Modelamento *leapfrog* de direção de fluxo de partículas nos pontos de interesse da ADA..... 617
Figura 11.1-275: Infográfico da interação dos estudos..... 619
Figura 11.1-276: Pontos de coleta de amostras de água subterrânea (poços INB, PM, PC e SQ). 644
Figura 11.1-277: STD na água subterrânea – MS1 (mg/L) – Poços de Monitoramento PM... 695
Figura 11.1-278: STD na água subterrânea – MC1 (mg/L) – Poços de Monitoramento PM. .695
Figura 11.1-279: SDT na água subterrânea - MS1 (mg/L). 696
Figura 11.1-280: SDT na água subterrânea - MC1 (mg/L)..... 696
Figura 11.1-281: Cloreto na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM. 700
Figura 11.1-282: Cloreto na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM. 700

Figura 11.1-283: Cloreto na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC. 701
Figura 11.1-284: Cloreto na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC. 701
Figura 11.1-285: Nitrato na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM. 705
Figura 11.1-286: Nitrato na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM. 705
Figura 11.1-287: Nitrato na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC. 706
Figura 11.1-288: Nitrato na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC. 706
Figura 11.1-289: Sódio na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM. 710
Figura 11.1-290: Sódio na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM. 710
Figura 11.1-291: Sódio na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC. 711
Figura 11.1-292: Sódio na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC. 711
Figura 11.1-293: Sódio na água subterrânea - Poços de Abastecimento SQ (mg/L)..... 712
Figura 11.1-294: Sulfato na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de Monitoramento PM. 716
Figura 11.1-295: Sulfato na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de Monitoramento PM. 716
Figura 11.1-296: Sulfato na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC. 717
Figura 11.1-297: Sulfato na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC. 717
Figura 11.1-298: Sulfato na água subterrânea - Poços de abastecimento SQ (mg/L)..... 718
Figura 11.1-299: Alumínio na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM. 722
Figura 11.1-300: Alumínio na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM. 722
Figura 11.1-301: Alumínio na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de Monitoramento PC. 723
Figura 11.1-302: Alumínio na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de Monitoramento PC. 723
Figura 11.1-303: Alumínio dissolvido na água subterrânea - Poços de abastecimento SQ (mg/L)..... 724
Figura 11.1-304: Bário dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de Monitoramento PM..... 727
Figura 11.1-305: Bário dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de Monitoramento PM..... 727
Figura 11.1-306: Bário dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC..... 728
Figura 11.1-307: Bário dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC..... 728
Figura 11.1-308: Boro na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM. 731
Figura 11.1-309: Boro dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM. 731

Figura 11.1-310: Boro dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.....732
Figura 11.1-311: Boro dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.....732
Figura 11.1-312: Ferro dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM. 736
Figura 11.1-313: Ferro dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM. 736
Figura 11.1-314: Ferro dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.....737
Figura 11.1-315: Ferro dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.....737
Figura 11.1-316: Ferro dissolvido na água subterrânea - Poços de abastecimento SQ (mg/L). 738
Figura 11.1-317: Manganês Dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM. 742
Figura 11.1-318: Manganês Dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM. 742
Figura 11.1-319: Manganês dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.....743
Figura 11.1-320: Manganês dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.....743
Figura 11.1-321: Manganês na água subterrânea - Poços de abastecimento SQ (mg/L)....744
Figura 11.1-322: Níquel Dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM. 747
Figura 11.1-323: Níquel Dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM. 747
Figura 11.1-324: Níquel dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.....748
Figura 11.1-325: Níquel dissolvido na água subterrânea - MC-1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.....748
Figura 11.1-326: Urânio dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.....752
Figura 11.1-327: Urânio dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.....752
Figura 11.1-328: Urânio dissolvido na água subterrânea - Poços de abastecimento SQ (mg/L).....753
Figura 11.1-329: Grau de potencialidade de ocorrência de cavernas de acordo com a litologia, segundo Jansen et al. (2012).....763
Figura 11.1-330 - Convenção para se determinar o início da cavidade, segundo CECAV/ICMBIO.....765
Figura 11.1-331: Avaliação das lapiás junto aos afloramentos da área, para interpretação do direcionamento das águas meteóricas junto aos maciços residuais. 767
Figura 11.1-332: Características da vegetação da Caatinga durante as oportunidades de amostragem. Vegetação seca nos meses de dezembro de 2020, janeiro e agosto de 2021. Vegetação verdejante nos meses de março e junho de 2021. 769
Figura 11.1-333: Classificação de importância relativa aos atributos da cavidade natural subterrânea avaliados sob os enfoques local e regional. 774

Figura 11.1-334: Fluxograma de classificação de relevância conforme IN MMA n.º 02/2017. 775
Figura 11.1-335: Histórico dos registros espeleológicos no Projeto Santa Quitéria. 784
Figura 11.1-336: Localização das AIE. 792
Figura 11.1-337: Distribuição total das substâncias das ocorrências minerais. 799
Figura 11.1-338: Distribuição dos títulos por substância de interesse. 804
Figura 11.1-339: Distribuição dos títulos por fase do processo. 805

LISTA DE QUADROS

Quadro 11.1-1: Estações meteorológicas utilizadas neste Estudo 35
Quadro 11.1-2: Postos pluviométricos utilizados neste Estudo 36
Quadro 11.1-3: Dados de precipitação (mm) das estações e postos pluviométricos analisados 43
Quadro 11.1-4: Dados de temperatura (°C) das estações e postos pluviométricos analisados 47
Quadro 11.1-5: Distribuição anual da umidade relativa do ar (%) nas estações Itataia, Santa Quitéria e Quixeramobim 51
Quadro 11.1-6: Evapotranspiração potencial da estação Quixeramobim – Normais 1991-2020 54
Quadro 11.1-7: Velocidade média e direção predominante dos ventos na estação Itataia . 61
Quadro 11.1-8: Resumo dos Limites dos Padrões de Qualidade do Ar da Resolução CONAMA nº 491/2018 71
Quadro 11.1-9: Descrição dos equipamentos utilizados 72
Quadro 11.1-10: Identificação dos locais das medições 73
Quadro 11.1-11: Resultados da amostragem de Dióxido de Enxofre (SO_2), Material Particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}) e Partículas Totais em Suspensão (PTS) 79
Quadro 11.1-12: Resultados da amostragem de Monóxido de Carbono (CO) 80
Quadro 11.1-13: Resultados da amostragem de Ozônio (O_3) 81
Quadro 11.1-14: Resultados da amostragem de Dióxido de Nitrogênio (NO_2) 82
Quadro 11.1-15: Localização dos pontos de medição de ruído e vibração 87
Quadro 11.1-16: Limites de Ruído conforme NBR 10.151/2019 (versão corrigida em 2020) 91
Quadro 11.1-17: Níveis Recomendáveis de Vibrações 94
Quadro 11.1-18: Limites de Velocidade de Vibração do Solo – Pico (mm/s) 95
Quadro 11.1-19: Níveis de pressão sonora do ambiente acústico do PSQ 96
Quadro 11.1-20: Medições de vibração - Velocidade Pico (mm/s) 97
Quadro 11.1-21: Comparação do Lres (dB) medido com o padrão normativo 111
Quadro 11.1-22: Padrão aplicável de ruído nos pontos receptores 114
Quadro 11.1-23: Domínios geomorfológicos e elementos de relevo da AID/ADA 122
Quadro 11.1-24: Etapas de coletas de dados primários 137
Quadro 11.1-25: Porcentagens das frações granulométricas em cada formação geológica. 153
Quadro 11.1-26: Especificações dos ensaios de rebaixamento – junho/2021. 156
Quadro 11.1-27: Especificações dos ensaios de rebaixamento – agosto/2023. 158
Quadro 11.1-28: Coordenadas dos pontos dos ensaios de rebaixamento, descrição do solo e tipo de elemento de relevo situado. 160
Quadro 11.1-29: Pontos internos e externos ao CMISQ. 171

Quadro 11.1-30: Pontos de amostragem para análise de solos em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), 2021 e 2023. 173
Quadro 11.1-31: Resultados dos elementos quantificados em análise de sedimentos de 2023. 175
Quadro 11.1-32: Tabela de confecção dos gráficos em *boxplot*. 177
Quadro 11.1-33: Erodibilidade dos solos presentes na AID. 180
Quadro 11.1-34: Amostras Geotécnicas. 188
Quadro 11.1-35: Porcentagens de cada fração granulométrica para a Formação Alcantil. 191
Quadro 11.1-36: Porcentagens de cada fração granulométrica para a Formação Barrigas. 192
Quadro 11.1-37: Porcentagens das frações granulométricas em cada formação geológica. 192
Quadro 11.1-38: Constituintes mineralógicos predominantes nos solos da Formação Alcantil. 195
Quadro 11.1-39: Ensaios de compactação Proctor Normal. 198
Quadro 11.1-40: Índice de Suporte Califórnia para amostras ensaiadas. 199
Quadro 11.1-41: Índice de Suporte Califórnia para amostras ensaiadas e descrição litológica. 200
Quadro 11.1-42: Resultados de densidade, porosidade, condutividade e permeabilidade. 201
Quadro 11.1-43: Resultados de pH, F.O.C, M.O. e C.E no solo. 201
Quadro 11.1-44: Análise dos solos: umidade natural (%), conteúdo de água (%) e água disponível (%). 202
Quadro 11.1-45: Os ensaios com infiltrômetro de parede dupla em solos. 203
Quadro 11.1-46: Sondagens SPT realizadas em 2022. 205
Quadro 11.1-47: Associação das unidades geotécnicas, geológicas e pedológicas. 210
Quadro 11.1-48: Classificação da Cava, Pilha de Estéril e Pilha de Fosfogesso conforme CDA (2016) e recomendação de TR sísmico para projeto. 217
Quadro 11.1-49: Valores de coeficiente sísmico de projeto (kh e kv) para os Tempos de Retorno (TR) de 475, 1000, 2475 e 10.000 anos na região do PSQ. 218
Quadro 11.1-50: Valores de coeficiente sísmico de projeto (kh e kv) recomendável para cada estrutura. 218
Quadro 11.1-51: Conversão dos coeficientes sísmicos em intensidade na escala Mercalli (1956), e as estimativas na Escala Richter. 219
Quadro 11.1-52: Parâmetros sugeridos para análise de estabilidade da cava em nível conceitual. 223
Quadro 11.1-53: Escorregamentos Planares Potenciais. 225
Quadro 11.1-54: Escorregamentos Biplanares Potenciais. 226
Quadro 11.1-55: Escorregamentos em Cunha Potenciais. 226
Quadro 11.1-56: Etapas de coletas de dados primários 234
Quadro 11.1-57: Parâmetros de aquisição do levantamento 239
Quadro 11.1-58: Dados históricos e localização de epicentros dos sismos ocorridos no Estado do Ceará. 257
Quadro 11.1-59: Ano de realização, empresa executora, materiais e métodos aplicados na coleta de dados geofísicos primários 291
Quadro 11.1-60: Principais características observadas durante as sondagens 304
Quadro 11.1-61: Descrição dos perfils de sondagens realizados pela INB das sondagens de investigação da GeoHidro (2022) 307
Quadro 11.1-62: Correlações entre as diferentes classificações geológicas 318
Quadro 11.1-63: Unidades litoestratigráficas mapeadas com seus respectivos litotipos, composição mineralógica, sedimentar e descrição das estruturas 324

Quadro 11.1-64: Principais litologias de cada unidade mapeada 325
Quadro 11.1-65: Sondagens e cargas hidráulicas calculadas na área da jazida por Alcantara e Silva (2003) 339
Quadro 11.1-66: Análise química das amostras da área da jazida em DRX 345
Quadro 11.1-67: Análise química das amostras da área da jazida em FRX 345
Quadro 11.1-68: Análise química das amostras da área da jazida em ICP OES 346
Quadro 11.1-69: Métodos adotados pelo laboratório para análise dos radionuclídeos e respectivos limites de quantificação 348
Quadro 11.1-70: Dados analisados para as amostras de cal (bruta, lixiviada e solubilizada) 349
Quadro 11.1-71: Dados analisados para as amostras do fosfogesso (bruta, lixiviada e solubilizada) 350
Quadro 11.1-72: Dados analisados para as amostras do estéril (bruta, lixiviada e solubilizada) 351
Quadro 11.1-73: Sulfetos mais comuns e seus produtos de oxidação 370
Quadro 11.1-74: Nomenclatura dos corpos hídricos com base nos dados oficiais do IPECE e a nomenclatura local. 394
Quadro 11.1-75: Reservatórios Monitorados pela Cogerh na Região Hidrográfica do Acaraú. 396
Quadro 11.1-76: Estações Pluviométricas no município de Santa Quitéria. Destacados em negrito os postos na AII (Boa Vista) e AID (Itataia). 401
Quadro 11.1-77: Resultados da qualidade das águas do açude Edson Queiroz (2016 a 2021). 415
Quadro 11.1-78: Rede de amostragem de qualidade da água superficial e de sedimentos – PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 421
Quadro 11.1-79: Descritivo dos pontos de amostragem de qualidade da água e de sedimentos – PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 423
Quadro 11.1-80: Parâmetros analisados na caracterização da qualidade das águas superficiais – PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 433
Quadro 11.1-81: Classificação do Estado Trófico para reservatórios. 439
Quadro 11.1-82: Parâmetros analisados na caracterização da qualidade dos sedimentos – PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 440
Quadro 11.1-83: Resultados das análises da qualidade das águas superficiais na AID – PSQ – novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 444
Quadro 11.1-84: Resultados das análises da qualidade das águas superficiais em pontos fora dos limites das áreas de influência - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 450
Quadro 11.1-85: Registros de campo da Área de Influência Direta (AID) – PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 456
Quadro 11.1-86: Registros de campo em pontos dos açudes localizados fora dos limites das áreas de influência – PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 456
Quadro 11.1-87: Índice do Estado Trófico (IET) na AID - PSQ – novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 490
Quadro 11.1-88: Índice do Estado Trófico (IET) dos Pontos Fora dos Limites das Áreas de Influência - PSQ – novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 490
Quadro 11.1-89: Resultado das Análises da Qualidade dos Sedimentos na AID - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 492
Quadro 11.1-90: Resultado das Análises da Qualidade dos Sedimentos dos Pontos Fora dos Limites das Áreas de Influência – novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 494
Quadro 11.1-91: Quadro resumo das fontes de captação de água e usos. 510

Quadro 11.1-92: Principais características do açude Edson Queiroz. 512
Quadro 11.1-93: Outorgas em vigência dentro dos municípios da AII. 514
Quadro 11.1-94: Usos das águas superficiais considerando as outorgas vigentes na AII com base na Cogerh (2023) 518
Quadro 11.1-95: Açudes prospectados. 519
Quadro 11.1-96: Distribuição das captações por tipo e por município. 525
Quadro 11.1-97: Cálculo da Disponibilidade Efetiva Instalada. 529
Quadro 11.1-98: Relação de outorgas de águas subterrâneas na AII. 530
Quadro 11.1-99: Unidades Hidrogeológicas. 540
Quadro 11.1-100: Relação dos poços de captação de água subterrânea locados dentro dos limites da AII. 544
Quadro 11.1-101: Características dos poços de monitoramento instalados em 2011. 552
Quadro 11.1-102: Características dos poços de monitoramento instalados em 2022. 554
Quadro 11.1-103: Manto de alteração, fraturas e entradas de água. 555
Quadro 11.1-104: Condutividade Hidráulica e Transmissividade – *Slug Test* em Poços. ... 561
Quadro 11.1-105: Parâmetros hidrodinâmicos dos poços de monitoramento. 562
Quadro 11.1-106: Tempo e intervalo de medição em minutos do teste de bombeamento. 563
Quadro 11.1-107: Tempo e intervalo de medição em minutos do *Slug Test*. 563
Quadro 11.1-108: Parâmetros hidrodinâmicos determinados – Dupla Porosidade. 564
Quadro 11.1-109: Parâmetros hidrodinâmicos determinados - Simplificação de Cooper/Jacob. 565
Quadro 11.1-110: Parâmetros hidrodinâmicos determinados – *Slug Test*. 565
Quadro 11.1-111: Resultados das Transmissividades e Condutividade por unidades. 567
Quadro 11.1-112: Condutividade hidráulica a partir do ensaio de perda d'água em poços. 569
Quadro 11.1-113: Níveis estáticos da água subterrânea ao longo do tempo, nos poços de monitoramento instalados em 2011. 570
Quadro 11.1-114: Níveis estáticos da água subterrânea ao longo do tempo, nos poços de monitoramento levantados em 2022 e 2023. 574
Quadro 11.1-115: Tabela de Cargas hidráulicas nos poços ao longo dos monitoramentos de 2011/2020 e 2021. 576
Quadro 11.1-116: Tabela de Cargas hidráulicas nos poços ao longo dos monitoramentos de 2022 e 2023. 577
Quadro 11.1-117: Critérios técnicos para definição das zonas favoráveis a recarga. 586
Quadro 11.1-118: Sistema de valorização dos parâmetros físicos do empreendimento (adaptação do sistema GOD). 595
Quadro 11.1-119: Características do meio poroso na AID/ADA. 602
Quadro 11.1-120: Características do meio fraturado na AID/ADA. 605
Quadro 11.1-121: Características principais do meio cárstico na AID/ADA. 607
Quadro 11.1-122: Poços do mais próximos do entorno da área da cava. 609
Quadro 11.1-123: Resumo das principais informações do Modelo Hidrogeológico. 614
Quadro 11.1-124: Parâmetros Inorgânicos analisados nas campanhas de 2011 a 2021 coletados pela CAGEO – Poço INB 621
Quadro 11.1-125: Parâmetros Orgânicos analisados nas campanhas de 2011 a 2021 coletados pela CAGEO – Poço INB 622
Quadro 11.1-126: Parâmetros Agrotóxicos analisados nas campanhas de 2011 a 2021 coletados pela CAGEO – Poço INB. 623

Quadro 11.1-127: Parâmetros Microrganismos analisados nas campanhas de 2011a 2021 coletados pela CAGEO – Poço INB. 624
Quadro 11.1-128: Parâmetros Inorgânicos analisados nas campanhas de 2011 a 2021 coletados pela CAGEO – Poços de monitoramento PM. 626
Quadro 11.1-129: Parâmetros Orgânicos analisados nas campanhas de 2011 a 2021 coletados pela CAGEO – Poços de monitoramento PM. 628
Quadro 11.1-130: Parâmetros Agrotóxicos analisados nas campanhas de 2011 a 2021 coletados pela CAGEO – Poços de monitoramento PM. 630
Quadro 11.1-131: Parâmetros Microrganismos analisados nas campanhas de 2011 a 2021 coletados pela CAGEO – Poços de monitoramento PM. 631
Quadro 11.1-132: Parâmetros dissolvidos analisados nas três campanhas (de 2022 a 2023) no âmbito do PMRA-PO – Poços de monitoramento PC e poços de abastecimento SQ. 633
Quadro 11.1-133: Parâmetros Inorgânicos analisados na amostragem realizada pela Tetra Mais - CPEA/Mérieux em julho de 2023 – Poços de monitoramento PC. 638
Quadro 11.1-134: Parâmetros Orgânicos analisados na amostragem realizada pela Tetra Mais - CPEA/Mérieux em julho de 2023 – Poços de monitoramento PC. 640
Quadro 11.1-135: Parâmetros Agrotóxicos analisados na amostragem realizada pela Tetra Mais - CPEA/Mérieux em julho de 2023 – Poços de monitoramento PC. 641
Quadro 11.1-136: Parâmetros de Microrganismos analisados na amostragem realizada pela Tetra Mais - CPEA/Mérieux em julho de 2023 – Poços de monitoramento PC. 642
Quadro 11.1-137: Referencias metodológicas adotadas – Análises de 2020, 2021, 2022 e 2023. 646
Quadro 11.1-138: Métricas Estatísticas usadas no GSI Mann-Kendall Toolkit. 648
Quadro 11.1-139: Coleta de água subterrânea em cada poço por campanha. 651
Quadro 11.1-140: Leituras dos parâmetros físicos medidos *in situ* nos PMs da Unidade MC1. Campanhas 5 e 6 executadas segundo requisitos ABNT NBR ISP/IEC ISO 17025 652
Quadro 11.1-141: Leituras dos parâmetros físicos medidos *in situ* nos PMs da Unidade MS1. Campanhas 5 e 6 executadas segundo requisitos ABNT NBR ISP/IEC ISO 17025. 653
Quadro 11.1-142: Parâmetros In Situ Poço INB (novembro/2020 e fevereiro/2021) 653
Quadro 11.1-143: Coleta de água subterrânea em cada poço por campanha. 655
Quadro 11.1-144: Leituras dos parâmetros físicos medidos *in situ* nos poços de abastecimento SQs nas três campanhas realizadas no âmbito do PMRA-PO, segundo requisitos ABNT NBR ISP/IEC ISO 17025 656
Quadro 11.1-145: Leituras dos parâmetros físicos medidos *in situ* nos poços de monitoramento PCs das Unidades MC-1 e MS-1 nas três campanhas realizadas no âmbito do PMRA-PO, segundo requisitos ABNT NBR ISP/IEC ISO 17025 656
Quadro 11.1-146: Coleta de água subterrânea em cada poço por campanha. 657
Quadro 11.1-147: Leituras dos parâmetros físicos medidos *in situ* nos poços de monitoramento PCs da Unidade MC-1. Campanha de julho de 2023 executada segundo requisitos ABNT NBR ISP/IEC ISO 17025 658
Quadro 11.1-148: Leituras dos parâmetros físicos medidos *in situ* nos poços de monitoramento PCs da Unidade MS-1. Campanha de julho de 2023 executada segundo requisitos ABNT NBR ISP/IEC ISO 17025 659
Quadro 11.1-149: Parâmetros não Quantificados no PM-INB 661
Quadro 11.1-150: Substâncias quantificadas acima do VMP CONAMA 396/2008 - Poço INB663
Quadro 11.1-151: Parâmetros não quantificados nas Água Subterrâneas – Poços de Monitoramento (PM) – Campanhas de 2011, 2020 e 2021 664
Quadro 11.1-152: Parâmetros não quantificados em todas as campanhas das Água Subterrâneas – poços de monitoramento “PC”. 665

Quadro 11.1-153: Parâmetros Inorgânicos Acima dos Valores Máximos Permitidos (VMP) na Água Subterrânea (µg/L) – Unidade MS1 – Campanhas de 2011, 2020 e 2021 669
Quadro 11.1-154: Parâmetros Inorgânicos Acima dos Valores Máximos Permitidos (VMP)na Água Subterrânea (µg/L) –Unidade MC1 – Campanhas de 2011, 2020 e 2021 670
Quadro 11.1-155: Resultados Analíticos em NMP/100mL - Microrganismos na Água Subterrânea – PMs – Campanhas de 2011, 2020 e 2021 671
Quadro 11.1-156: Parâmetros Inorgânicos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Monitoramento PC - Unidade MS1 675
Quadro 11.1-157: Parâmetros Inorgânicos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Monitoramento PC - Unidade MS1 676
Quadro 11.1-158: Parâmetros Inorgânicos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Monitoramento PC - Unidade MS1 677
Quadro 11.1-159: Parâmetros Inorgânicos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Monitoramento PC - Unidade MS1 678
Quadro 11.1-160: Parâmetros Inorgânicos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Monitoramento PC - Unidade MC1 679
Quadro 11.1-161: Parâmetros Inorgânicos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Monitoramento PC - Unidade MC1 680
Quadro 11.1-162: Parâmetros Inorgânicos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Monitoramento PC - Unidade MC1 681
Quadro 11.1-163: Parâmetros Inorgânicos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Monitoramento PC – Unidade MC1 683
Quadro 11.1-164: Parâmetros Inorgânicos dissolvidos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Abastecimento – SQ 688
Quadro 11.1-165: Parâmetros Inorgânicos dissolvidos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Abastecimento – SQ 689
Quadro 11.1-166: Parâmetros inorgânicos dissolvidos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Abastecimento – SQ 690
Quadro 11.1-167: Concentrações mínima, máxima e média de sólidos dissolvidos totais na Água Subterrânea (µg/L). 693
Quadro 11.1-168: Campanhas 2011 e 2021 – Concentrações de SDT. 694
Quadro 11.1-169: Concentrações mínima, máxima e média de Cloretos na Água Subterrânea. 698
Quadro 11.1-170: Resumo dos resultados da análise estatística para Cloretos 699
Quadro 11.1-171: Concentrações mínima, máxima e média de Nitrato na Água Subterrânea. 702
Quadro 11.1-172: Resumo dos resultados da análise estatística para Nitrato. 703
Quadro 11.1-173: Concentrações mínima, máxima e média de Sódio dissolvido na Água Subterrânea. 707
Quadro 11.1-174: Resumo dos resultados da análise estatística para Sódio. 708
Quadro 11.1-175: Resumo dos resultados da análise estatística para Sódio. 708
Quadro 11.1-176: Concentrações mínima, máxima e média de Sulfato dissolvido na Água Subterrânea. 713
Quadro 11.1-177: Resumo dos resultados da análise estatística para Sulfato. 714
Quadro 11.1-178: Resumo dos resultados da análise estatística para Sulfato. 714
Quadro 11.1-179: Concentrações mínima, máxima e média de alumínio dissolvido na Água Subterrânea. 719
Quadro 11.1-180: Campanhas 2011 e 2021 - Resumo dos resultados da análise estatística para alumínio 720

Quadro 11.1-181: Campanhas 2022 e 2023 - Resumo dos resultados da análise estatística para alumínio.....721
Quadro 11.1-182: Concentrações mínima, máxima e média de bário dissolvido na Água Subterrânea. 725
Quadro 11.1-183: Campanhas 2011 e 2021 – Concentrações de bário dissolvido. 726
Quadro 11.1-184: Concentrações mínima, máxima e média de boro dissolvido na Água Subterrânea. 729
Quadro 11.1-185: Resumo dos resultados da análise estatística para boro. 730
Quadro 11.1-186: Concentrações mínima, máxima e média de ferro dissolvido na Água Subterrânea. 733
Quadro 11.1-187: Resumo dos resultados da análise estatística para ferro.....734
Quadro 11.1-188: Resumo dos resultados da análise estatística para ferro.....734
Quadro 11.1-189: Concentrações mínima, máxima e média de manganês dissolvido na Água Subterrânea. 739
Quadro 11.1-190: Resumo dos resultados da análise estatística para manganês.....740
Quadro 11.1-191: Resumo dos resultados da análise estatística para manganês.....741
Quadro 11.1-192: Concentrações mínima, máxima e média de níquel dissolvido na Água Subterrânea. 745
Quadro 11.1-193: Resumo dos resultados da análise estatística para níquel dissolvido....746
Quadro 11.1-194: Concentrações mínima, máxima e média de urânio dissolvido na Água Subterrânea. 749
Quadro 11.1-195: Resumo dos resultados da análise estatística para urânio dissolvido. ..750
Quadro 11.1-196: Resultados dos compostos orgânicos obtidos a partir da campanha de julho de 2023 nos poços de monitoramento PC. 755
Quadro 11.1-197: Resultados das análises de microrganismos da campanha de julho de 2023. 757
Quadro 11.1-198: Variáveis, classes e respectivos pesos da análise multicritério para definição do potencial espeleológico da área do projeto 762
Quadro 11.1-199: Responsáveis pelas identificações apresentadas no estudo 771
Quadro 11.1-200: Matriz para aplicação do índice de vulnerabilidade a impactos do patrimônio espeleológico.....777
Quadro 11.1-201: Critérios adotados para classificação dos impactos potenciais 780
Quadro 11.1-202: Classificação da importância relativa e da relevância das cavidades avaliadas 788
Quadro 11.1-203: Áreas de influências propostas e cavidades protegidas 791
Quadro 11.1-204: Ocorrências minerais (Substâncias) registradas por área de influência (AII/AID/ADA) de acordo com dados da CPRM. 797
Quadro 11.1-205: Relação entre substâncias e número de títulos. 803
Quadro 11.1-206: Relação entre a fase do processo e número de títulos. 804

LISTA DE MAPAS

Mapa 11.1-1: Localização das estações e postos pluviométricos. 37
Mapa 11.1-2: Classificação climática na região de inserção do empreendimento. 39
Mapa 11.1-3: Localização dos pontos de medição de ruído e vibração. 88
Mapa 11.1-4: Mapa Geomorfológico da AII. 118
Mapa 11.1-5: Mapa Hipsométrico da AII. 120

Mapa 11.1-6: Mapa de declividade da AII. 121
Mapa 11.1-7: Mapa Geomorfológico da AID/ADA. 124
Mapa 11.1-8: Mapa Hipsométrico AID/ADA. 129
Mapa 11.1-9: Mapa de Declividade AID/ADA. 130
Mapa 11.1-10: Mapa Pedológico da AII. 141
Mapa 11.1-11: Mapa Pedológico AID/ADA. 147
Mapa 11.1-12: Localizações dos pontos de teste de permeabilidade. 155
Mapa 11.1-13: Fragilidade à Erosão AID/ADA. 182
Mapa 11.1-14: Localização das Amostras Geotécnicas. 189
Mapa 11.1-15: Mapa Geotécnico da AID. 211
Mapa 11.1-16: Mapa Geotécnico da ADA. 212
Mapa 11.1-17: Mapa da geológico da AII. 248
Mapa 11.1-18: Mapa geológico da AID/ADA. 319
Mapa 11.1-19: Cartografia Geológica na Área de Implantação do Complexo Industrial. (Escala - 1:10.000) 321
Mapa 11.1-20: Delimitação da AII do PSQ na bacia do rio Groaíras. 399
Mapa 11.1-21: Localização dos Postos Pluviométricos. 403
Mapa 11.1-22: Rede Hidrográfica do PSQ. 408
Mapa 11.1-23: Rede de Amostragem de Qualidade da Água e de Sedimentos – PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC). 425
Mapa 11.1-24: Açudes prospectados na AII e outorgas vigentes. 521
Mapa 11.1-25: Unidades Aquíferas da AII. 541
Mapa 11.1-26: Unidades Aquíferas na AID e ADA. 550
Mapa 11.1-27: Mapa Potenciométrico e de Direções de Fluxo da Água Subterrânea na AID. 584
Mapa 11.1-28: Mapas Potenciométricos com os dados das quatro campanhas de 2022 a 2023. 585
Mapa 11.1-29: Zona de recarga da AID. A) Mapa de solos e localização dos ensaios de permeabilidade e sondagens para ensaios realizados na AID. B) Mapa Geomorfológico do empreendimento sotoposto as áreas de ocorrência de cavernas, cavidades mapeadas e solos mais profundos que 5 m. C) Mapa de densidade das principais estruturas geológicas da AID extraídos através da geofísica e MDT na escala de 1:60.000. A densidade é calculada através da interpolação dos dados do tamanho dos segmentos de retas dos lineamentos, assim as zonas mais escuras, apresentam maior potencial de recarga. D) Mapa de declividade segundo EMBRAPA. E) Integração dos mapas A, B, C e D. Foram desconsideradas as declividades superiores a 20% devido à baixa ou nula influência na infiltração das águas pluviométricas, servindo principalmente como zona de escoamento. Às áreas das vertentes dos córregos (buffer de 20 m), foram reunidas aos sedimentos quaternários mapeados, como áreas preferenciais para recarga devida a baixa declividade, solos arenosos e forte controle estrutural. Por fim, a região conta com diversas rochas metacarbonáticas (área propicia a existência de cavidades), foi utilizado o mapeamento do ICMBio para área propicias para cavidades como fator de mapeamento das possíveis áreas cársticas 589
Mapa 11.1-30: Zona de recarga da ADA. Foi utilizado a base de dados construída para os mapas da AID, porém com o maior detalhamento do entorno da ADA, o dado do ICMBio foi substituído por um Buffer das cavidades mapeadas pela equipe da Carste, além da utilização dos dados de sondagem rotativas e SPT para investigação das áreas com solos mais profundos que 5 metros (áreas em marrom). Essas áreas podem apresentar menor grau de recarga devido a barreira criada dos sedimentos até o aquífero fraturado. 591

Mapa 11.1-31: Mapa de Vulnerabilidade do Aquífero na AID. 596
Mapa 11.1-32: Mapa de Vulnerabilidade do Aquífero na ADA. 597
Mapa 11.1-33: Direção do fluxo das águas superficiais e do sentido das vertentes das encostas, sotopostos ao mapa dos domínios morfoestruturais da área da ADA. 601
Mapa 11.1-34: Cavidades mapeadas pela Carste. Das 124 cavidades, 89% estão sobre substrato de rochas carbonáticas e 11% sobre rochas paragnaissicas. 606
Mapa 11.1-35: Distribuição das ocorrências minerais e localização em relação às áreas de influência: AII (polígono roxo), AID (polígono laranja) e ADA (polígono amarelo). 798
Mapa 11.1-36: Títulos minerários da área de estudo classificados pela substância de interesse. 801
Mapa 11.1-37: Títulos minerários da área de estudo classificados pela situação do processo cadastrado. 802

SIGLAS

ABIO	Autorizações de Captura, Coleta e Transporte de Material Biológico
ADA	Área Diretamente Afetada
AID	Área de Influência Direta
AIEDA	Agência Internacional de Energia Atômica
AII	Área de Influência Indireta
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANDA	Associação Nacional para Difusão de Adubos
ANM	Agência Nacional de Mineração
APA	Área de Proteção Ambiental
APCB	Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade
APP	Área de Preservação Permanente
BA	Bahia
BETX	Benzeno, Etilbenzeno, Tolueno e Xileno
CBH-Acaraú	Comitê da Bacia Hidrográfica do Acaraú
CCAF	Comitê de Compensação Ambiental Federal
CCME	*Canadian Council of Ministers of the Environment*
CDB	Convenção sobre Diversidade Biológica
CE	Ceará
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CGCRE	Coordenação Geral de Acreditação
CITES Selvagens	Comércio Internacional de Espécies Ameaçadas da Fauna e da Flora
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
COGERH/CE	Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará
CONERH/CE	Conselho dos Recursos Hídricos do Ceará
COT	Carbono Orgânico Total
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CUCI	Classificação Uniforme do Comércio Internacional
DAP	*Di-ammonium Phosphate*
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio

DCP	*Dicalcium Phosphate*
DHN	Divisão Hidrográfica Nacional
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETP	Evapotranspiração Potencial
ETR	Evapotranspiração Real
EUA	Estados Unidos da América
FAO	*Food and Agriculture Organization*
FCN	Fábrica de Combustível Nuclear
FOB	*Free On Board*
FOSNOR	Fosfatados do Norte-Nordeste S/A
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GEE	Gases de Efeito Estufa
GI	Grau de Impacto
Gt	Bilhões de toneladas
GW	Gigawatt
ha	Hectares
he	Hectômetro
HPA	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
Ibama	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IET	Índice de Estado Trófico
INB	Indústria Nuclear do Brasil
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	*Intergovernamental Panel on Climate Change*

IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
ISQG	*Interium Sediment Quality Guidelines*
IUCN	*International Union for Conservation of Nature*
kt	Mil toneladas
LAS	*Linear Alkylbenzene Sulfonate*
LQ	Limite de Quantificação
lb	Libra
L/s	Litros por segundo
MAP	*Monoammonium Phosphate*
MCP	*Monocalcium Phosphate*
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços
mEa	Massa Equatorial Atlântica
mEc	Massa Equatorial Continental
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
Mt	Milhões de toneladas
MW	Megawatts
NASA	*National Aeronautics and Space Administration*
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
OD	Oxigênio Dissolvido
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PCB	*Polychlorinated Biphenyls*
PEA	Plano Estadual de Adaptação
PEL	*Problably Effect Level*
PEMC	Política Estadual de Mudanças Climáticas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PNE	Plano Nacional de Energia
PNF	Plano Nacional de Fertilizantes

PPI	Programa de Parcerias de Investimentos
PROBIO	Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira
PRONABIO	Programa Nacional da Diversidade Biológica
PSQ	Projeto Santa Quitéria
RBC	Rede Brasileira de Calibração
RJ	Rio de Janeiro
RL	Reserva Legal
ROM	*Run of Mine*
RPPN	Reservas Particulares do Patrimônio Natural
SEINFRA	Secretaria de Infraestrutura
SICAR	Sistema de Cadastro Ambiental Rural
SIGMINE	Sistema de Informações Geográficas da Mineração
SISDAGRO	Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária
SMEWW	*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*
SN1	Riacho sem Denominação 1
SN2	Riacho sem Denominação 2
SN3	Riacho sem Denominação 3
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SOP	Superintendência de Obras Públicas
SP	São Paulo
SRH/CE	Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará
SRTM	*Shuttle Radar Topography Mission*
SSP	*Single Superphosphate*
STP	Substâncias Tóxicas Poluentes
SVOC	*Semi-Volatile Organic Compound*
t	Toneladas Métricas
TEL	*Thereshold Effect Level*
TR	Termo de Referência
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
TSP	*Triple Single Phosphate*
UC	Unidades de Conservação

UE	União Europeia
UF	Unidade Federativa
UFC	Universidade Federal do Ceará
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
URA	Unidade de Concentração de Urânio
US EPA	*United State Environmental Protection Agency*
USGS	*United States Geological Survey*
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
VMP	Valor Máximo Permitido
VOC	*Volatile Organic Compound*
WNA	*World Nuclear Association*
ZA	Zonas de Amortecimento
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZEE	Zoneamento Ecológico Econômico
Zeu	Zona Eufótica

Conforme citado na introdução deste EIA (Volume I), foram realizadas algumas alterações na itemização em relação à versão anterior do EIA (2021) e ao Termo de Referência (TR) emitido pelo Ibama em agosto de 2021, relacionadas no quadro a seguir.

Quadro 11.1.1-1 - Correspondência entre itens do EIA protocolado em 2021, TR do Ibama (agosto/2021) e da revisão de 2023

CONTEÚDO	TR IBAMA AGOSTO/2021	ITEMIZAÇÃO 2021	ITEMIZAÇÃO 2023
Introdução	Item 1	Volume I item 1	Volume I item 1
Identificação do Empreendedor e da Empresa Consultora	Item 2	Volume I item 2	Volume I item 2
Objetivos e Justificativas	Item 4 e 5	Volume I item 5	Volume I item 3
Legislação Aplicada	-	Volume I item 4	Volume I item 4
Estrutura e Status do Licenciamento do Projeto	-	-	Volume I item 5
Histórico do Empreendimento	-	Volume I item 3	Volume I item 6
Estudo de Alternativas Tecnológicas, Locacionais e de não Implantação do Projeto	Item 6	Volume I item 6	Volume I item 7
Planos, Programas e Projetos Colocalizados	-	Volume III item 8	Volume I item 8
Caracterização do Empreendimento	Item 3	Volume I item 3	Volume I item 9
Definição das Áreas de Influência do empreendimento	Item 7	Volume I item 7	Volume I item 10
Diagnóstico Ambiental dos meios físico e biótico	Item 8, “a” e “b”	Volume II item 8	Volume II-A e Volume II-B, item 11
Diagnóstico Ambiental do meio socioeconômico	Item 8, “c”	Volume III item 8	Volume III item 11
Análise Integrada	Item 9	Volume IV item 9	Volume IV item 12
Identificação e Avaliação dos Impactos Ambientais	Item 10	Volume IV item 10	Volume IV item 13
Programas Ambientais	Item 11	Volume IV item 11	Volume IV item 14
Prognóstico Ambiental	Item 12	Volume IV item 12	Volume IV item 15

CONTEÚDO	TR IBAMA AGOSTO/2021	ITEMIZAÇÃO 2021	ITEMIZAÇÃO 2023
Compensação Ambiental	Item 13	Volume IV item 13	Volume IV item 16
Plano de Descomissionamento/Desativação	Item 14	Volume IV item 14	Volume IV item 17
Estudo de Análise de Riscos (EAR)	Item 15	Volume IV item 15	Volume IV item 18
Conclusão	Item 16	Volume IV item 16	Volume IV item 19
Referências Bibliográficas	Item 17	Volume IV item 17	Volume IV item 20
Glossário	Item 18	Volume IV item 18	Volume IV item 21
Anexos	-	Volume V	Volume V

11 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

Em atendimento ao Termo de Referência (TR) do PSQ o presente capítulo contém a descrição e análise dos fatores ambientais e das interações socioambientais, bióticas e abióticas que ocorrem em toda a área de influência. Tais informações subsidiarão a identificação e avaliação das alterações provocadas nestes compartimentos decorrentes do planejamento, implantação, operação e desativação do Projeto Santa Quitéria, a serem apresentadas no Volume IV.

Os estudos apresentados no Diagnóstico Ambiental tiveram como objetivo, portanto, identificar de maneira quantitativa a variabilidade espacial e temporal de parâmetros avaliados na situação atual (linha base), possibilitando a comparação dos dados a serem monitorados nas diferentes fases do empreendimento. As análises dos dados obtidos consideraram análises estatísticas sempre que possível, o que possibilitará a realização de análises qualitativas e/ou quantitativas com os dados coletados.

O levantamento de dados primários e secundários para o diagnóstico dos meios foram realizados por equipe multidisciplinar e interdisciplinar, que consideraram os planos, programas e projetos governamentais e suas eventuais interrelações.

De forma geral, para a AID do empreendimento, foram considerados dados primários e, quando cabível, complementados e, eventualmente, confrontados/comparados com dados secundários levantados para caracterização da AII. Vale ressaltar que todos os dados secundários utilizados foram baseados em publicações científicas, teses acadêmicas e fontes oficiais do Poder Público (municipais, estaduais e federais).

Além disso, foram consideradas diretrizes das políticas setoriais em vigor, especialmente às voltadas para as questões socioeconômicas, bem como -às potencialidades, fragilidades e restrições ambientais (incluindo o zoneamento ecológico econômico – ZEE), especialmente da área de influência direta, visando caracterizar o equilíbrio do ecossistema e da bacia hidrográfica, como um todo.

Foram mapeadas eventuais atividades ou obras que possuem interface com o PSQ e/ou sinergia ou cumulatividade de seus impactos, as quais foram apresentadas em capítulo específico (Capítulo 13 – Volume IV) deste EIA.

O Diagnóstico Ambiental está dividido em três blocos: Meio Físico, Meio Biótico e Meio Socioeconômico. Cada meio apresenta suas especificidades metodológicas e de análise de

dados, e são apresentados a seguir, sendo Meio Físico no Volume II-A, Meio Biótico no Volume II-B e Meio Socioeconômico no Volume III.

11.1 Meio Físico

O diagnóstico do meio físico está estruturado de acordo com o Termo de Referência (TR), e apresenta os principais aspectos de clima, qualidade do ar, ruído e vibração, geomorfologia, pedologia, geotecnia, geologia, hidrologia, qualidade dos corpos d'água, usos das águas superficiais e/ou subterrâneas, hidrogeologia, qualidade das águas subterrâneas, patrimônio espeleológico e recursos minerários, com foco na avaliação das eventuais influências da implantação e operação do Projeto Santa Quitéria (PSQ).

Os temas supracitados são avaliados, de modo geral, em três diferentes escalas: regional, para a caracterização da área de influência dentro de um contexto mais abrangente dos aspectos avaliados; semirregional, para levantamento compatível com a abrangência da AII; e local, para a caracterização em escala de detalhe compatível com a extensão da ADA e da AID. Assim, são apresentadas informações pertinentes às áreas de influência previamente identificadas, conforme a existência e disponibilidade desses dados em estudos anteriormente realizados, além de fontes de pesquisa oficiais.

Quanto ao tema Patrimônio Espeleológico, vale destacar que o item 11.1.13 apresenta as atividades, estudos e os resultados obtidos visando o processo de licenciamento ambiental de forma resumida. O relatório completo, com o detalhamento dos procedimentos e análises realizadas, encontra-se no Anexo 11.1.13-1.

11.1.1 Clima e Meteorologia

11.1.1.1 Considerações Metodológicas

A caracterização do clima e das condições meteorológicas foi realizada considerando as escalas de análise regional e local, apoiando-se em dados secundários de institutos e órgãos públicos, além de consultas bibliográficas específicas.

Para a compreensão do contexto climático regional, referente à localização do empreendimento no Estado do Ceará, foram utilizadas as classificações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2002), além de consultas em bibliografias específicas, como livros, artigos e/ou mapas.

Para a caracterização em escala local, foram utilizados os dados consistidos das Normais Climatológicas da estação convencional de Quixeramobim, no intervalo de 1990-2020, administrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Além disso, foram utilizados dados das estações Itataia e Santa Quitéria, ambas operadas pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

A escolha das estações levou em consideração a distância para o empreendimento e o período de dados disponíveis. Entre as duas estações existentes em Quixeramobim, optou-se por adotar apenas os dados da estação convencional. O critério de escolha foi a série de anos com dados disponíveis (maior que a estação automática) e a quantidade de falhas de leitura (menor que a estação automática, que possui ausência de dados em determinados parâmetros desde o ano de 2019).

As estações Santa Quitéria e Itataia foram escolhidas por estarem mais próximas do empreendimento. Vale ressaltar que as estações adotadas pertencem a um contexto similar, permitindo uma comparação de variáveis em escala regional. Os dados de direção e velocidade do vento que estão sujeitos a interferências de fatores como relevo e especificidades locais são a exceção. Para esses dados, foram utilizadas apenas as informações da estação Itataia da Funceme, localizada na propriedade da INB.

O Quadro 11.1.1-1 a seguir sumariza os atributos destas estações e as séries históricas utilizadas neste diagnóstico.

Quadro 11.1.1-1: Estações meteorológicas utilizadas no presente diagnóstico.

ESTAÇÃO	OPERADORA	LATITUDE/ LONGITUDE	DISTÂNCIA DA ADA	PARÂMETROS	SÉRIE HISTÓRICA
Quixeramobim (convencional, cod. 82586)	INMET	-5,17 -39,29	84,5 km	temperatura, precipitação, umidade relativa, evapotranspiração, balanço hídrico, insolação, radiação	1991-2020
Itataia (cod. 24571)	FUNCEME	-4,5670 -39,7833	2 km	Precipitação, temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar, direção e velocidade dos ventos	2006, 2007, 2013, 2014, 2015
Santa Quitéria	FUNCEME	-4,3097	50,1 km	Precipitação, temperatura,	2004, 2005,

ESTAÇÃO	OPERADORA	LATITUDE/ LONGITUDE	DISTÂNCIA DA ADA	PARÂMETROS	SÉRIE HISTÓRICA
(cod. 35)		-40,1767		umidade relativa do ar, direção e velocidade dos ventos	2006, 2009, 2010, 2011, 2012 e 2013

Elaboração: Tetra Mais, 2023.

As variáveis climáticas consideradas para a caracterização foram: temperatura, precipitação, umidade relativa, evaporação, evapotranspiração, balanço hídrico, insolação, radiação, direção predominante e velocidade média dos ventos.

Para a análise da precipitação, além das estações citadas foram utilizados dados de postos pluviométricos do período de 2000 a 2020, operados pela Funceme e localizados no entorno do empreendimento: Bandeira, Lagoa do Mato, Saco de Belém, Itatira e Raimundo Martins (Quadro 11.1.1-2).

Quadro 11.1.1-2: Postos pluviométricos utilizados no presente diagnóstico.

ESTAÇÃO	COORDENADAS (ZONA 24 M)	DISTÂNCIA DA ADA	SÉRIE HISTÓRICA
Bandeira (cod. 375)	9490913/428228	13,7 km	2000-2020
Itatira (cod.71)	9499411/429589	15,5 km	
Lagoa do Mato (cod. 379)	9485684/425654	13,8 km	
Raimundo Martins (cod. 675)	9485971/381684	34,3 km	
Saco de Belém (cod. 558)	9510328/411716	16,1 km	

Elaboração: Tetra Mais, 2023.

No Mapa 11.1-1, a seguir, é apresentada a localização das estações e postos pluviométricos utilizados.

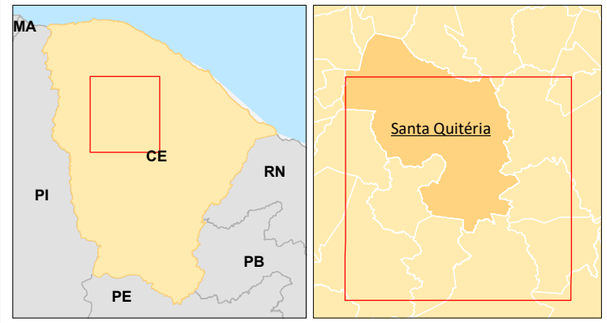
345.000 360.000 375.000 390.000 405.000 420.000 435.000

9.530.000 9.515.000 9.500.000 9.485.000 9.470.000 9.455.000 9.440.000

Trapia
Trapia
Edson Queiroz
Sta Rita dos Galdinos
Santa Quitéria
Santa Quitéria
Santa Quitéria
Hidrolândia
Muribeca
Saco de Belém
Boa Vista
Itatira
Itatira
Itataia
Itataia
Bandeira
Raimundo Martins
Lagoa do Mato
Catunda
Cachoeira
Rio Groaíras
Monsenhor Tabosa
Tamboril

Itataia

Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional
- Sede Municipal
- Limite Municipal
- Áreas Urbanizadas/Edificadas

Áreas de Influência
- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)
- Área de Influência Indireta (AII)

Hidrografia
- Rio Groaíras
- Cursos d'água

Estações
- Estação Climatológica
- Postos Pluviométricos

Fonte:
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:390.000
0 2 4 km
Escala Gráfica
Norte do Mapa
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria
tetra+

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Localização das Estações e Postos Pluviométricos

Formato	Escala	Folha
A3	1:390.000	Única

Data	Localização
31/10/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

11.1.1.2 Contexto Regional

A região do empreendimento, localizada na porção central do Estado do Ceará, está inserida na área compreendida pelo Semiárido Nordestino. A região é caracterizada pela irregularidade sazonal e escassez pluviométrica em determinados períodos do ano, apresentando altas taxas de evaporação/evapotranspiração.

O comportamento irregular das chuvas, tanto na sua intensidade como na sua distribuição, resulta em eventos de secas prolongadas. De acordo com o Ministério da Integração Nacional (MI, 2005), o semiárido nordestino ou Polígono das Secas é delimitado externamente pela isoieta de 800mm anuais e apresenta índice de aridez de 0,5%.

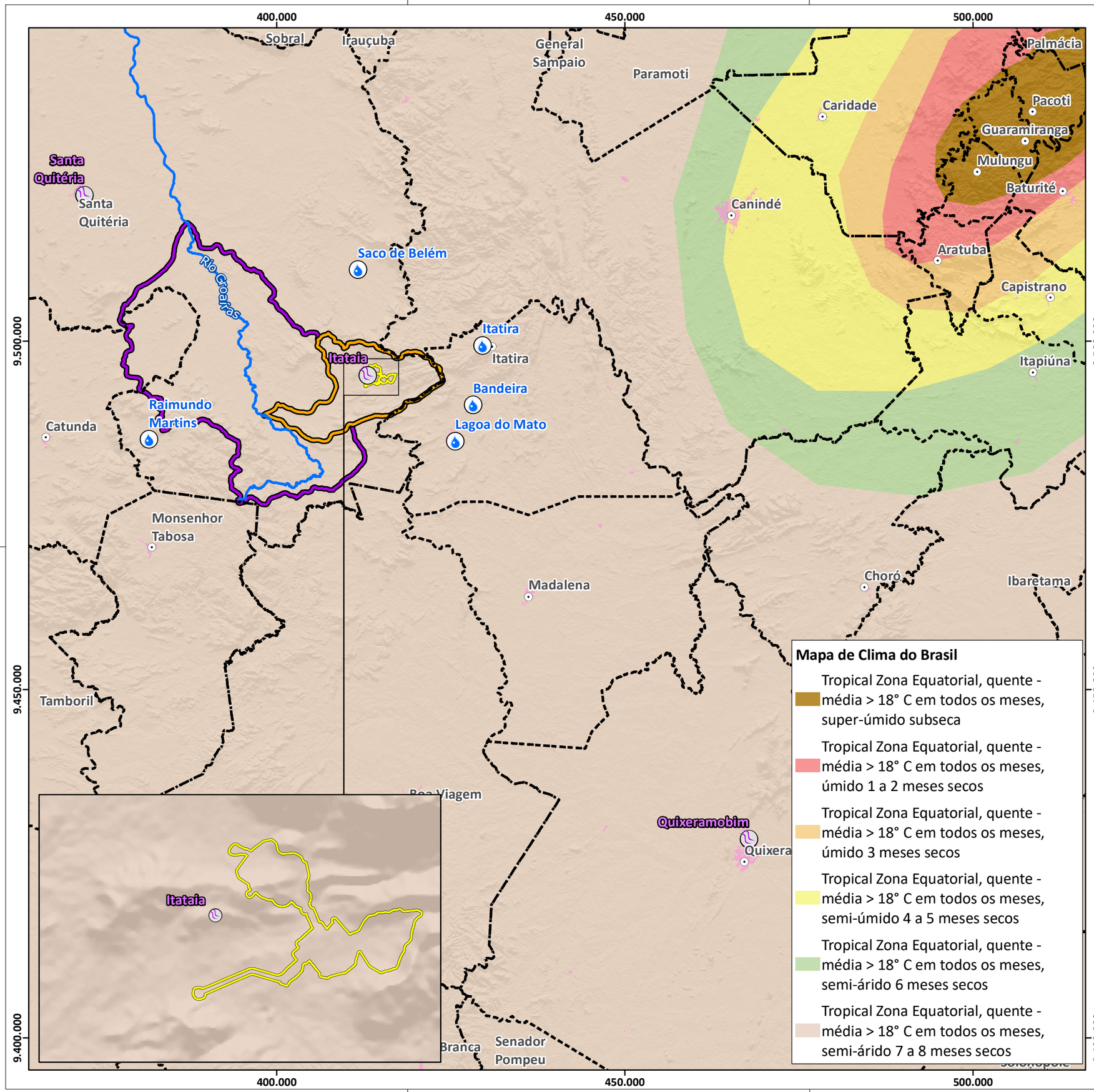
De acordo com a classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), elaborada em 2002 (IBGE, 2002), com enfoque na escala regional do Brasil, a região do empreendimento é caracterizada pelo Clima Tropical Zona Equatorial, abrangido pela categoria quente e semiárido, com 7 a 8 meses secos e média de temperatura acima de 18°C em todos os meses do ano.

O Mapa 11.1-2, demonstra a classificação climática na região de inserção do empreendimento.

No que diz respeito à circulação atmosférica, merece destaque o comportamento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos Oceanos Pacífico e Atlântico, cuja variabilidade impulsiona a variação espacial e flutuações nos acumulados de precipitação.

O comportamento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) influencia a posição e intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que, de acordo com a Funceme, é o sistema meteorológico mais importante na determinação de quão abundante ou deficiente serão as chuvas no setor norte do Nordeste do Brasil, onde a região de estudo se encontra inserida. De modo geral, as anomalias mais quentes no Atlântico Tropical Norte do que no Atlântico Tropical Sul, mantêm a ZCIT ancorada durante a estação úmida do Nordeste – fevereiro, março, abril e maio - produzindo condições de seca para a região. Por outro lado, um gradiente de anomalia de TSM negativa provoca incursões mais ao sul da ZCIT, levando a anos, em geral, com acumulados acima da média histórica (MARTINS e JUNIOR, 2017).

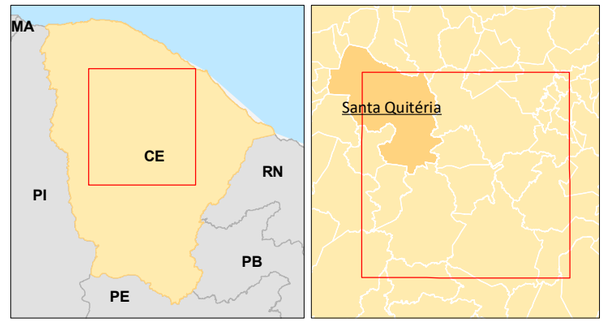
A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) também influencia a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, caracterizados pelo menor ou maior favorecimento à ocorrência de chuvas.



Mapa de Clima do Brasil

- Tropical Zona Equatorial, quente - média > 18° C em todos os meses, super-úmido subseca
- Tropical Zona Equatorial, quente - média > 18° C em todos os meses, úmido 1 a 2 meses secos
- Tropical Zona Equatorial, quente - média > 18° C em todos os meses, úmido 3 meses secos
- Tropical Zona Equatorial, quente - média > 18° C em todos os meses, semi-úmido 4 a 5 meses secos
- Tropical Zona Equatorial, quente - média > 18° C em todos os meses, semi-árido 6 meses secos
- Tropical Zona Equatorial, quente - média > 18° C em todos os meses, semi-árido 7 a 8 meses secos

Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional

- Sede Municipal
- Limite Municipal
- Áreas Urbanizadas/Edificadas

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)
- Área de Influência Indireta (AII)

Hidrografia

- Rio Groaíras

Estações

- Estação Climatológica
- Postos Pluviométricos

Fonte:
IBGE, 2006. Mapa de Clima do Brasil.
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
COGERH, 2015. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.
Acesso via IPECE.

1:550.000
0 5 10 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria

tetra+

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Classificação Climática

Formato	Escala	Folha
A3	1:550.000	Única

Data	Localização
30/10/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

No que se refere à atuação das massas de ar, a região recebe maior atuação da massa equatorial atlântica (mEa) e, em menor quantidade, da massa equatorial continental (mEc), ambas úmidas e quentes.

A Massa Equatorial Atlântica (mEa) forma-se no Atlântico, sendo quente, úmida e de alta pressão. A umidade, que se concentra na base, diminui com o aumento da temperatura, e por isso caracteriza-se como uma massa de estabilidade atmosférica. No verão, sua atuação no interior do Nordeste varia de baixa a média, pois perde sua intensidade justamente pelo aumento de temperatura e perda de umidade (OLIVEIRA *et al.*, 2019). Já no inverno, penetra em todo o Nordeste e avança para o Centro Sul e Norte do Brasil, mantendo as mesmas características e ganhando calor, mas sem proporcionar chuvas (Figura 11.1-1).

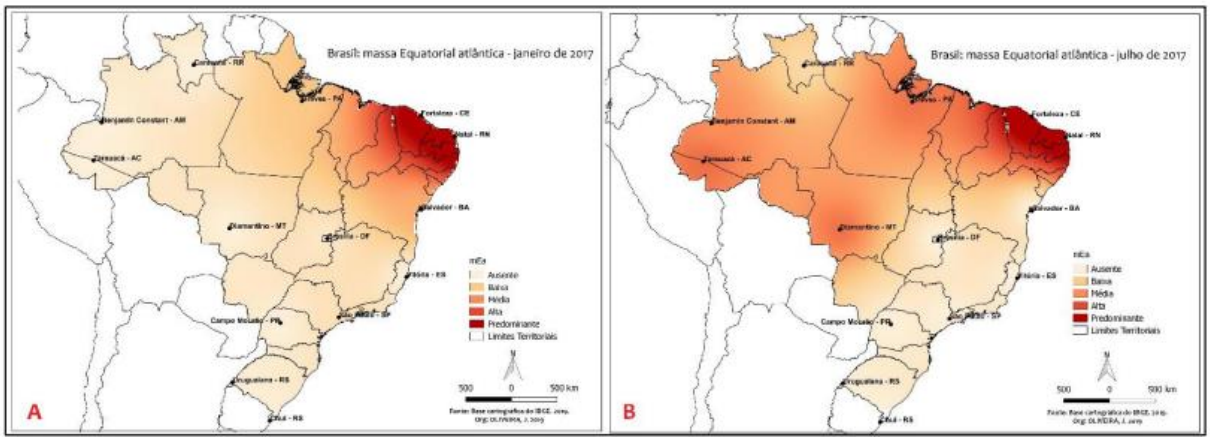


Figura 11.1-1: Expansão da Massa Equatorial Atlântica durante o verão (cena 1) e inverno (cena 2).

Fonte: Oliveira et al., 2019.

Já a Massa Equatorial Continental se desenvolve no interior na Amazônia e também se caracteriza por ser quente e úmida, porém de baixa pressão. Portanto, apresenta uma dinâmica de expansão no verão (estendendo-se inclusive para o sul e sudeste do Brasil, mas com pouca expressão ao alcance do Estado do Ceará) e contração no inverno (atendo-se à região amazônica) (Figura 11.1-2).

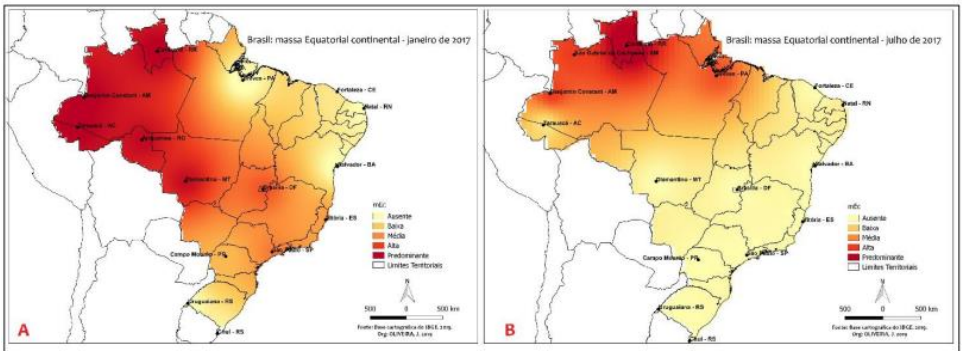


Figura 11.1-2: Expansão da Massa Equatorial Continental durante o verão (cena 1) e inverno (cena 2).

Fonte: Oliveira et al., 2019.

Adicionalmente, atuam na região os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) que se formam no oceano Atlântico e penetram na região Nordeste do Brasil entre os meses de novembro e março. Os VCANs caracterizam-se como sistema com tempo de vida que varia de 7 a 10 dias. Possuem forma aproximada de círculo, onde há formação de nuvens causadoras de chuva na periferia e movimentos de ar de cima para baixo (subsidência) no centro, aumentando a pressão e inibindo a formação de nuvens.

11.1.1.3 Contexto Local – Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA)

11.1.1.3.1 Pluviosidade

Para análise da distribuição da chuva na região do empreendimento foram utilizados os dados da estação convencional de Quixeramobim (Normais de 1991 a 2020); dados dos anos 2004, 2005, 2006, 2009 a 2013 da estação Santa Quitéria; e dados dos anos de 2006, 2007, 2013, 2014 e 2015 da estação Itataia da Funceme, localizada na propriedade da INB.

Adicionalmente, foram considerados os dados do período de 2000 a 2020 dos postos pluviométricos de Bandeira, Lagoa do Mato, Itatira, Saco de Belém e Raimundo Martins, localizados no entorno do empreendimento.

Conforme apresentado na Figura 11.1-3 e no Quadro 11.1.1-3 as precipitações na região apresentam valores anuais abaixo de 800mm, o que corrobora com a inserção da região no Polígono das Secas. Nas estações e postos pluviométricos analisados verifica-se que os totais pluviométricos anuais variaram entre 355,7 mm registrado na estação Itataia e 663,6 mm registrado na estação Quixeramobim (considerando, no caso, apenas os meses com dados válidos, à exceção de julho).

Vale destacar que a estação Itataia apresenta um curto e irregular período de dados disponíveis, o que pode influenciar nas médias apresentadas, notando-se que os postos de Bandeira, Itatira e Lagoa do Mato, cujas distâncias para o empreendimento são de cerca de 15 km, apresentam comportamentos semelhantes à estação Quixeramobim (Figura 11.1-4).

As precipitações são influenciadas por alguns sistemas atmosféricos, com destaque para a Zona de Convergência Intertropical, que intensifica a ocorrência de chuvas na região entre março e abril, meses nos quais a ZCIT atua de forma mais intensa (MELO, 1997).

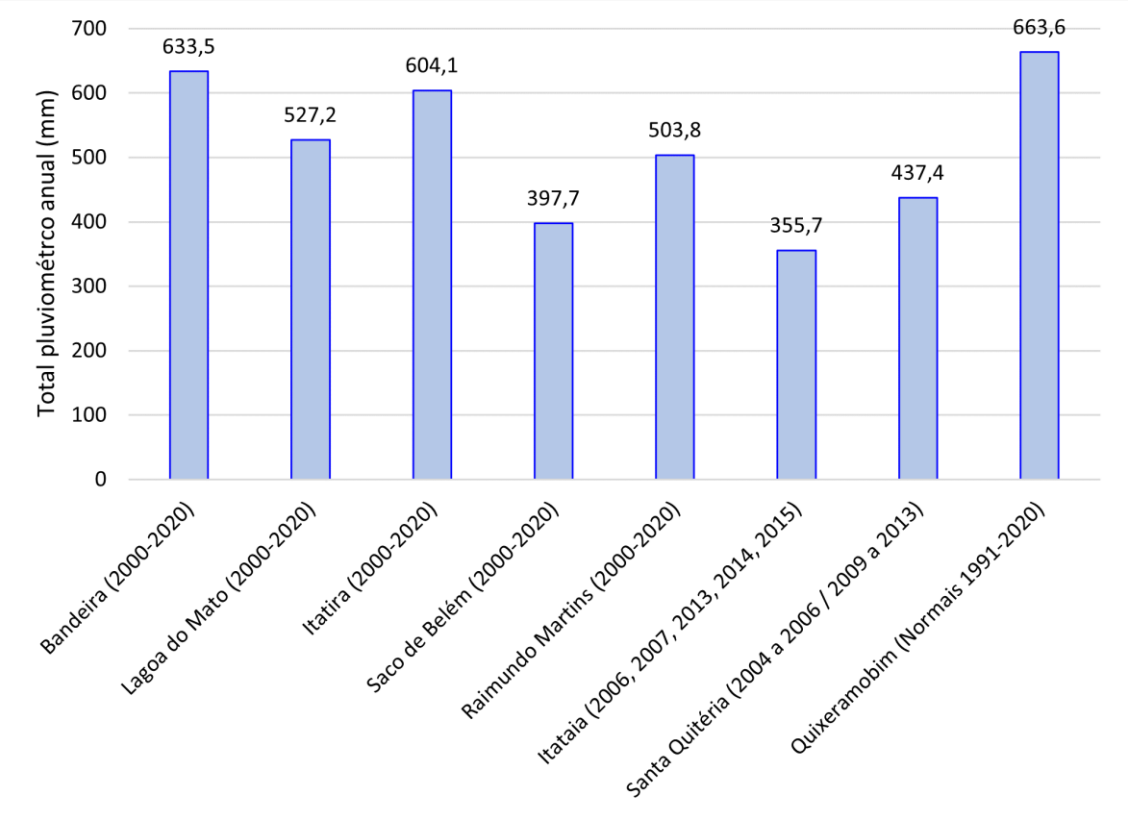


Figura 11.1-3: Total pluviométrico anual nas estações meteorológicas e postos pluviométricos analisados.

Fonte: INMET, 2023/ Funceme, 2021 / Consórcio Santa Quitéria. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

Quadro 11.1.1-3: Dados de precipitação (mm) das estações e postos pluviométricos analisados

TIPO	NOME / PERÍODO DADOS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL ANUAL
Postos Pluviométricos	Bandeira (2000-2020)	82,4	74,5	150,2	133,6	112,5	48,9	16,1	7,5	0,0	0,0	1,7	6,1	633,5
	Lagoa do Mato (2000-2020)	65,8	60,2	121,9	123,8	71,5	49,3	20,1	4,6	1,0	0,0	1,8	7,2	527,2
	Itatira (2000-2020)	69,1	110,9	72,8	97,1	138,8	83,0	24,3	0,1	2,0	0,2	0,4	5,4	604,1
	Saco de Belém (2000-2020)	70,0	60,2	103,2	87,3	53,3	8,7	4,2	0,0	0,0	0,4	2,7	7,7	397,7
	Raimundo Martins (2000-2020)	114,5	75,8	122,0	112,8	47,7	9,4	4,5	0,0	0,0	0,0	1,3	15,8	503,8
Estações	Itataia (2006, 2007, 2013, 2014, 2015)	14,6	59,7	71,4	82,6	47,6	32,1	20,5	2,9	3,5	0,7	9,5	10,8	355,7
	Santa Quitéria (2004 a 2006 / 2009 a 2013)	102,4	43,0	111,6	93,7	50,4	16,3	5,6	4,1	2,0	2,8	0,9	4,6	437,4
	Quixeramobim (1991-2020)	86,6	85,6	136,9	160	100,9	53	-	13,2	1,8	2,5	5,2	17,9	663,6

Fonte: INMET, 2023 / Funceme, 2021 / Consórcio Santa Quitéria. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

Apesar dos totais pluviométricos das estações e postos avaliados mostrarem diferença entre si, todos os locais analisados possuem o mesmo comportamento no que se refere a distribuição das chuvas ao longo do ano, verificando-se a concentração de chuvas entre os meses de janeiro a junho e redução dos índices pluviométricos entre os meses de julho a dezembro. Os dados da estação Itataia da Funceme, localizada na propriedade da INB, foram exceção. Neste local os índices de chuva em janeiro são bem próximos aos observados nos meses de seca, com aumento das precipitações a partir do mês de fevereiro.

Conforme ilustra a Figura 11.1-4 a seguir, em todas as estações e postos pluviométricos analisados nos meses de março e abril são registrados os maiores índices pluviométricos, onde os totais mensais oscilam entre 160,0mm (estação Quixeramobim) e 71,4mm (estação Itataia). Tal cenário é influenciado por alguns sistemas atmosféricos, com destaque para a ZCIT, que neste período intensifica a atuação sobre a região e favorece o aumento da precipitação.

Com o recuo da atuação da ZCIT, os menores índices pluviométricos são registrados entre os meses de setembro e outubro, quando os totais mensais ficam abaixo de 3,5mm.

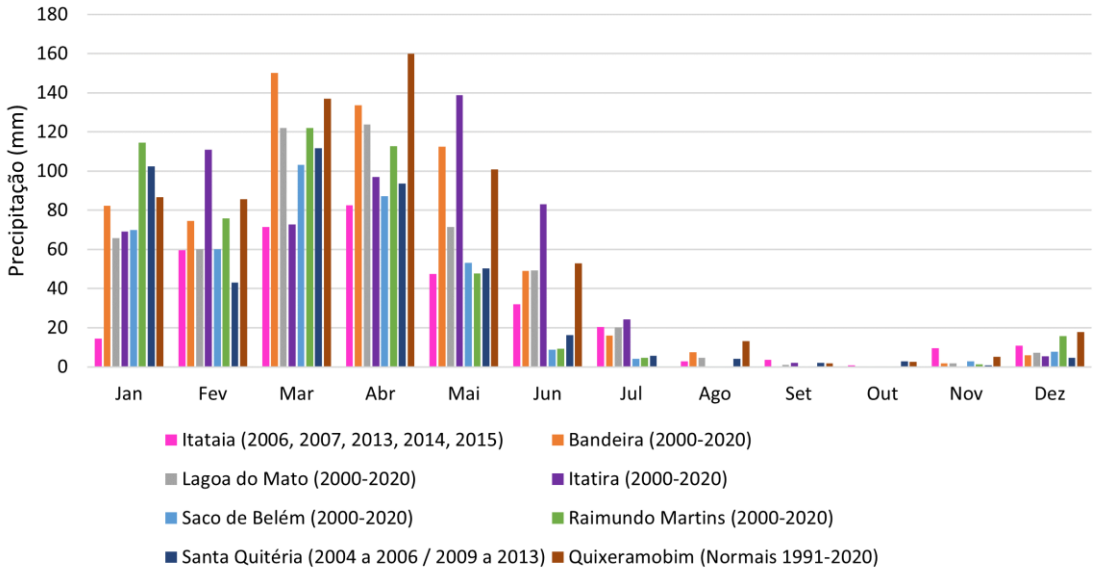


Figura 11.1-4: Distribuição da precipitação das estações e postos pluviométricos analisados.
Fonte: INMET, 2023 / Funceme, 2021 / Consórcio Santa Quitéria. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

A. Número de dias sem precipitação

Um indicador importante sobre a irregularidade das chuvas durante o ano hidrológico é o número de dias no mês sem precipitação (<1mm), que podem ser tratados como

veranicos. Na estação Quixeramobim, os meses de setembro, outubro e novembro são os que registram maior número de dias sem precipitação, superando os 30 dias. Março e abril são os meses com menor número de dias sem precipitação, entre 18 e 19 (Figura 11.1-5). É importante citar que os meses de junho e julho não possuem dados validados para este parâmetro nas Normais Climatológicas da referida estação, porém estes são meses que podem ser enquadrados na estação seca e possuir número elevado de dias sem precipitação.

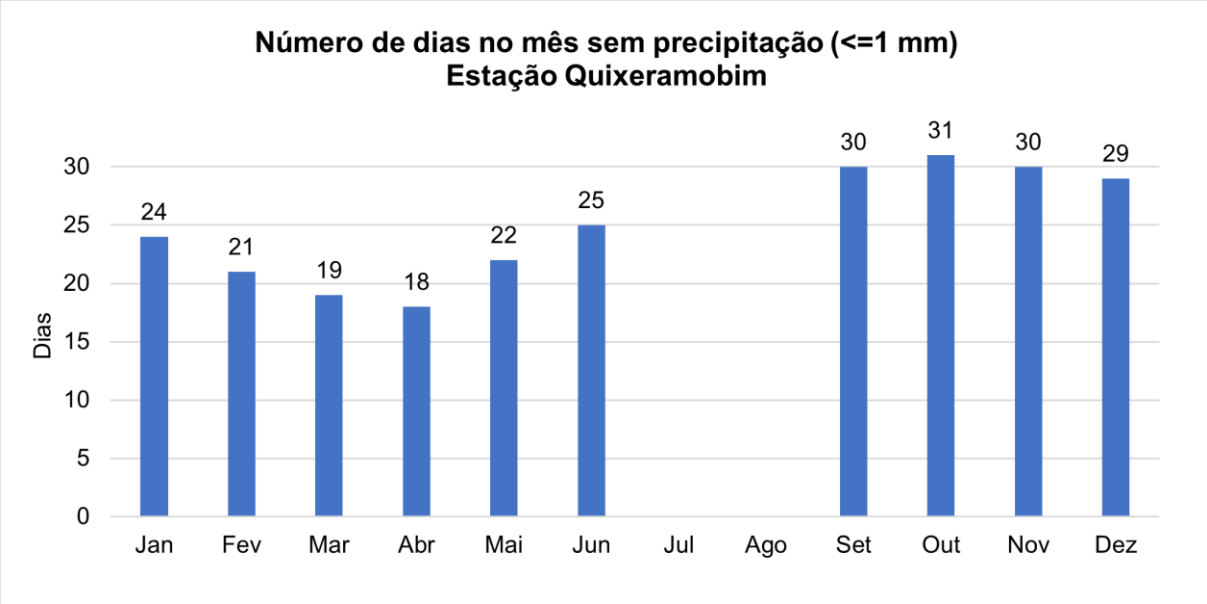


Figura 11.1-5: Distribuição do número de dias sem chuvas na Estação Quixeramobim.
Fonte: INMET, 2023. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

11.1.1.3.2 Temperatura do ar

A temperatura pode ser definida como grau de calor que um corpo possui, sendo a condição que determina o fluxo de calor que passa de uma substância para outra (AYOADE, 1996). O calor se desloca de superfícies com maiores temperaturas (alta pressão) para as de menor temperatura (baixa pressão).

Dentre os fatores que influenciam a distribuição e variação da temperatura destacam-se a localização geográfica (latitude), a natureza da superfície, a distância a partir dos corpos hídricos, o relevo, a natureza dos ventos predominantes e as correntes oceânicas.

Na região de estudo, as temperaturas são influenciadas principalmente pelo seu posicionamento geográfico próximo ao equador (baixa latitude), o que submete a região à forte radiação solar. A intensidade deste fenômeno depende essencialmente da altura do sol sobre o horizonte, ou seja, do ângulo de incidência dos raios solares, sendo tanto mais intensa quanto menor ele for, e este varia na proporção inversa da latitude (NIMER, 1989).

A caracterização das temperaturas máximas, mínimas e médias foi realizada com base nos dados das normais climatológicas (1991-2020) da estação Quixeramobim e nos dados dos anos de 2006, 2007, 2013, 2014 e 2015 da estação Itataia da Funceme, localizada na propriedade da INB. Para a estação Santa Quitéria foram considerados apenas os dados de temperatura média, disponibilizados pela Funceme, dos anos 2004 a 2006 / 2009 a 2013. É importante destacar que os valores referentes ao mês de julho da estação Quixeramobim não foram validados pelo INMET.

No Quadro 11.1.1-4 e na Figura 11.1-6 são apresentadas a distribuição da temperatura ao longo do ano e a média anual.

Quadro 11.1.1-4: Dados de temperatura (°C) das estações e postos pluviométricos analisados

ESTAÇÃO	VARIÁVEL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA ANUAL
Quixeramobim (Normais 1991-2020)	Média Máximas	34,0	33,3	32,7	31,8	31,7	31,7	-	33,9	35,1	35,7	35,6	35,4	33,7
	Média Mínimas	23,7	23,6	23,2	23,0	22,6	22,0	-	22,0	22,7	23,3	23,7	24,0	23,1
	Média	27,9	27,5	26,9	26,5	26,3	25,9	-	27,2	27,9	28,2	28,5	28,6	27,4
Itataia (2006, 2007, 2013, 2014, 2015)	Média Máximas	35,8	35,2	34,4	33,9	32,8	32,7	33,8	36,5	38,0	36,1	35,6	35,0	35,0
	Média Mínimas	20,7	20,1	20,2	19,9	19,4	18,7	18,8	20,8	20,9	21,0	20,9	20,7	20,2
	Média	27,8	26,7	26,1	25,7	25,6	25,5	25,9	28,1	28,8	28,0	27,8	27,5	27,0
Santa Quitéria (2004 a 2006 / 2009 a 2013)	Média	27,7	28,2	27,4	26,6	27,5	27,4	27,6	28,5	29,5	29,6	30,0	30,2	28,4

Fonte: INMET, 2023 / Funceme, 2021 / Consórcio Santa Quitéria. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

A análise dos dados apresentados acima mostra que a temperatura média anual da estação Quixeramobim e Itataia no período analisado é cerca de 27°C, com variação média anual de temperatura de 2,6°C na estação Quixeramobim e de 3,3°C na estação Itataia. Na estação Santa Quitéria a média anual é 28,4°C, com variação média anual de 3,6°C.

A média térmica elevada e a baixa variação anual da temperatura na área de estudo é típica de regiões localizadas próximas à linha do equador, onde a incidência solar ao longo do ano é alta.

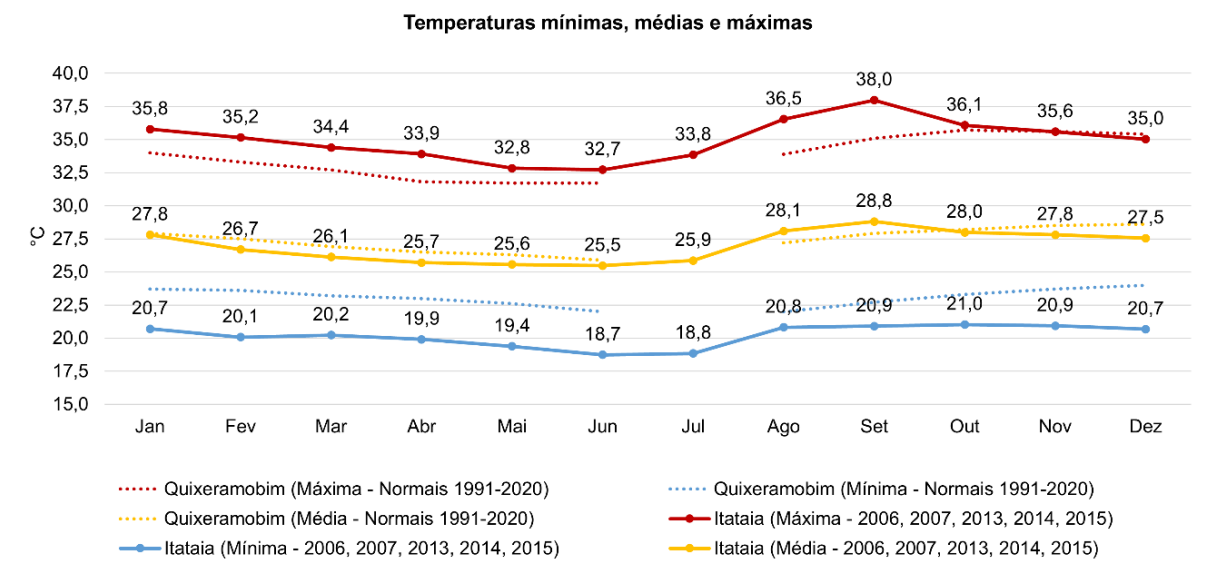


Figura 11.1-6: Temperaturas máximas, médias e mínimas da estação Itataia (linhas contínuas) e da estação Quixeramobim (linhas tracejadas).

Fonte: INMET, 2023/ Consórcio Santa Quitéria. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

Apesar da baixa variação de temperatura, observa-se que as médias térmicas são ligeiramente maiores nos meses de agosto a fevereiro (Figura 11.1-6), com máxima de 38°C registrada na estação Itataia no mês de setembro. Entre os meses de março a julho são registradas as menores temperaturas, com mínima de 18,7°C registrada no mês de junho, na estação Itataia.

A distribuição da temperatura ao longo do ano nas estações Itataia e Quixeramobim apresenta correlação com a distribuição das chuvas (Figura 11.1-7 e Figura 11.1-8). No primeiro semestre, quando os totais de precipitação são maiores, notam-se temperaturas menores; a situação é invertida no segundo semestre quando a estação seca é marcada por baixos índices pluviométricos e altas temperaturas.

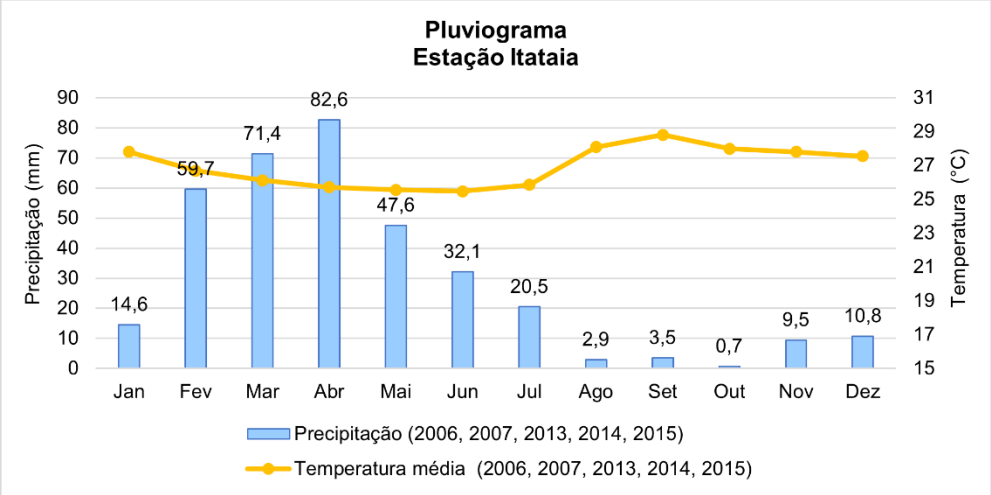


Figura 11.1-7: Pluviograma da estação Itataia.

Fonte: Consórcio Santa Quitéria. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

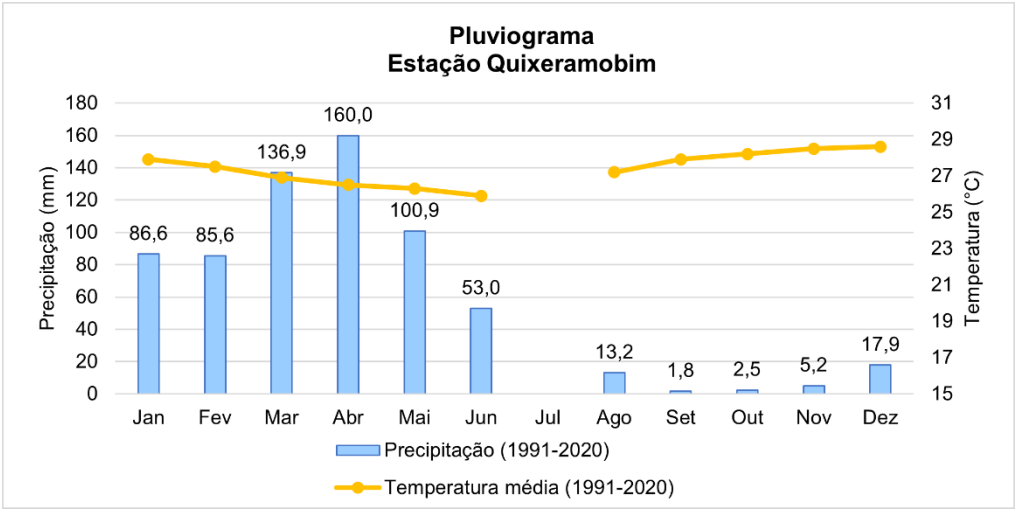


Figura 11.1-8: Pluviograma da estação Quixeramobim.

Fonte: INMET, 2023. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

11.1.1.3.3 Umidade relativa

A caracterização da umidade relativa do ar foi realizada com base nos dados das Normais Climatológicas (1991-2020) da estação Quixeramobim, nos dados dos anos de 2004 a 2006/2009 a 2013 da estação Santa Quitéria e dos anos de 2006, 2007, 2013, 2014 e 2015 da estação Itataia da Funceme, localizada na propriedade da INB.

A umidade relativa do ar expressa a relação de proporção entre o vapor existente no ar e seu ponto de saturação. Dentre os fatores que a controlam, destacam-se temperatura, insolação, nebulosidade, precipitação pluviométrica e direção e velocidade dos ventos.

Conforme apresentado no Quadro 11.1.1-5, a média anual de umidade relativa do ar nas estações analisadas ficou abaixo de 66%, com menor média apresentada pela estação Santa Quitéria (60,5%) e maior média apresentada pela estação Itataia (65,9%). É importante ressaltar que os valores referentes ao mês de julho da estação Quixeramobim não foram validados pelo INMET.

Quadro 11.1.1-5: Distribuição anual da umidade relativa do ar (%) nas estações Itataia, Santa Quitéria e Quixeramobim

ESTAÇÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA ANUAL
Itataia (2006, 2007, 2013, 2014, 2015)	59,5	69,9	76,8	79,9	78,2	72,3	67,1	59,8	54,7	55,4	59,2	57,4	65,9
Santa Quitéria (2004 a 2006 / 2009 a 2013)	61,8	63,6	74,6	80,7	83,3	65,0	55,7	49,7	46,0	49,0	48,1	48,7	60,5
Quixeramobim (Normais Climatológicas 1991-2020)	65,8	69,4	73,3	75,4	73,9	70,8	-	57,8	56,7	58,1	58,8	61,3	65,6

Fonte: INMET, 2023 / Funceme, 2021. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

Ao longo do ano, a umidade relativa do ar tende a ser menor no segundo semestre, de julho a dezembro; e maior no primeiro semestre, entre janeiro e junho. Tal variação está relacionada à distribuição da temperatura do ar ao longo do ano e às ocorrências de precipitação.

Logo, o comportamento da umidade relativa do ar é inversamente proporcional aos registros de temperatura: no segundo semestre, quando as temperaturas são ligeiramente mais elevadas, verifica-se a diminuição da umidade relativa do ar. A partir do mês de fevereiro, quando as temperaturas são menores, verifica-se a inversão da curva de umidade relativa, com valores maiores (Figura 11.1-9, Figura 11.1-10 e Figura 11.1-11).

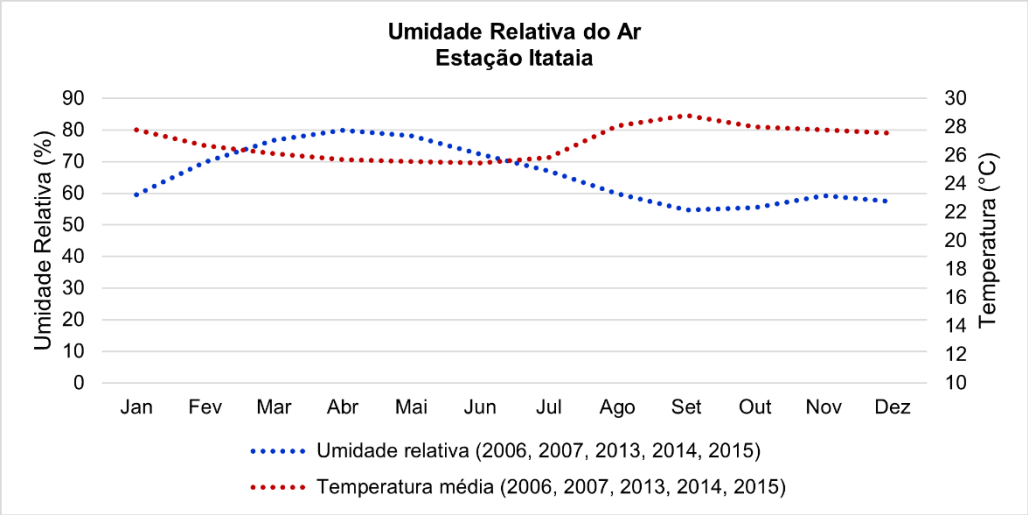


Figura 11.1-9: Relação entre umidade relativa e temperatura do ar na estação Itataia.
Fonte: Funceme, 2021. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

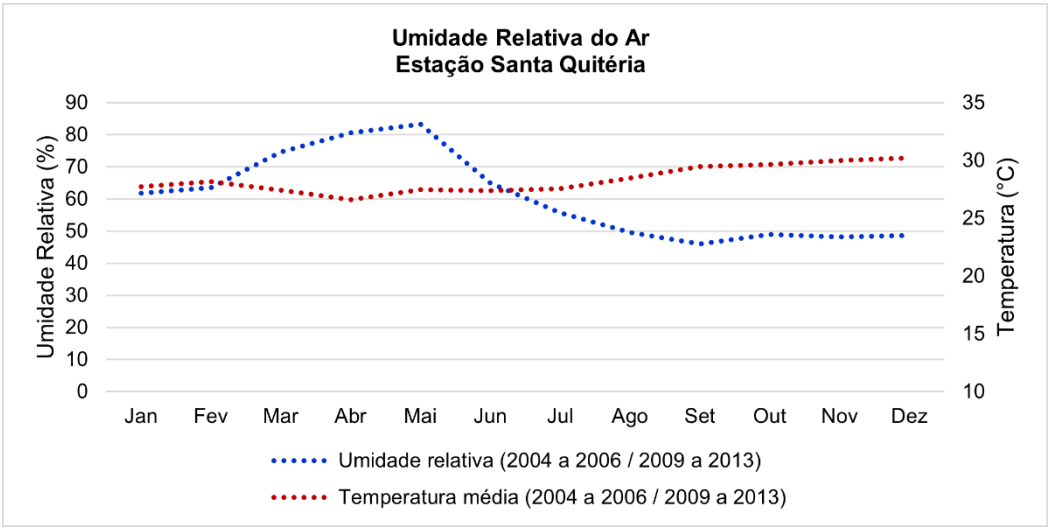


Figura 11.1-10: Relação entre umidade relativa e temperatura do ar na estação Santa Quitéria.
Fonte: Funceme, 2021. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

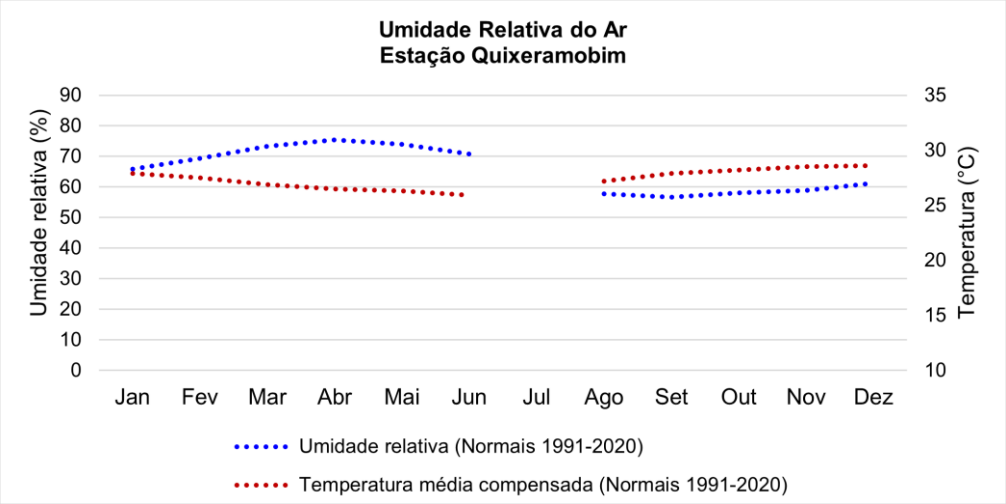


Figura 11.1-11: Relação entre umidade relativa e temperatura do ar na estação Quixeramobim.
Fonte: INMET, 2023. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

11.1.1.3.4 Evapotranspiração

A evapotranspiração potencial pode ser entendida como a transferência de água para a atmosfera sob a forma de vapor, derivado das plantas e do solo, perdido para a atmosfera.

A taxa de evapotranspiração de uma determinada área é determinada por dois fatores principais, ligados à disponibilidade de umidade na superfície onde há a evaporação e à capacidade da atmosfera de vaporizar a água.

Outros fatores que controlam a evapotranspiração são a insolação, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade dos ventos.

O conhecimento de tais variáveis é importante para o entendimento das perdas hídricas e, em regiões semiáridas, tais como a região onde o empreendimento se encontra inserido, cuja disponibilidade hídrica é um fator limitante, o seu conhecimento se torna ainda mais relevante, facilitando o estabelecimento de políticas públicas visando o uso racional da água (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Conforme apresentado no Quadro 11.1.1-6, considerando os dados das normais climatológicas da estação Quixeramobim, o total anual de evapotranspiração potencial registrado foi de 2045,3mm.

Quadro 11.1.1-6: Evapotranspiração potencial da estação Quixeramobim – Normais 1991-2020

VARIÁVEL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL ANUAL
Evapotranspiração Potencial (mm) - Normais 1991-2020	214,9	188,2	187,1	163,3	157,0	142,6	-	178,6	184,9	203,1	205,6	220,0	2045,3

Fonte: INMET, 2023. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

Ao longo do ano os totais de evapotranspiração potencial apresentam comportamento sazonal. Entre o mês de janeiro e junho ocorre uma redução gradativa dos totais mensais, com mínima de 142,6mm registrada no mês de junho. A partir de agosto nota-se o comportamento inverso, com aumento gradativo dos totais de evapotranspiração até o final do ano hidrológico, com máxima de 220,0 mm no mês de dezembro. É importante ressaltar que os valores referentes ao mês de julho da estação Quixeramobim não foram validados pelo INMET.

Tal situação é influenciada pela variação da temperatura e da umidade relativa do ar. No primeiro semestre a redução da evapotranspiração é influenciada pela redução das temperaturas e aumento da umidade relativa do ar (Figura 11.1-12 e Figura 11.1-13), ao passo que no segundo semestre, o aumento da temperatura resulta em uma maior capacidade da atmosfera de vaporizar a água e, consequentemente, no aumento da evapotranspiração e na redução da umidade do ar no segundo semestre.

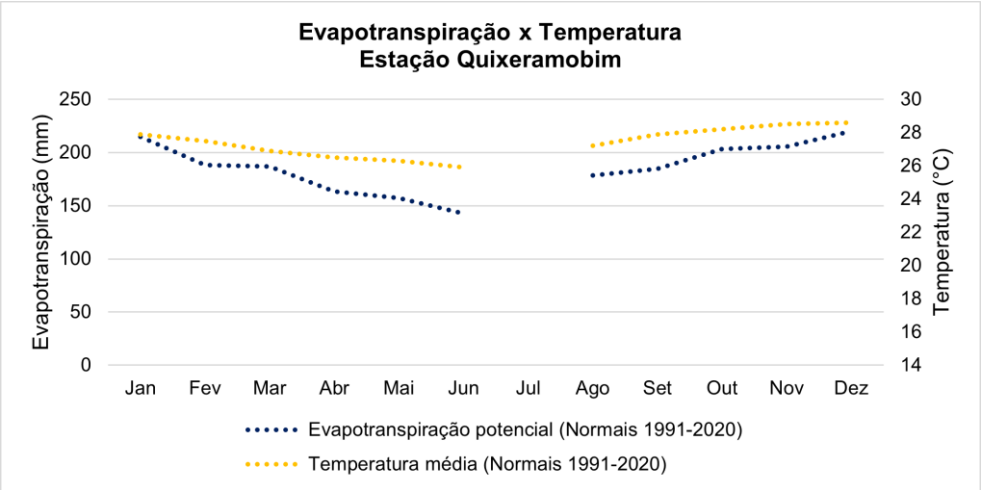


Figura 11.1-12: Relação entre evapotranspiração potencial e temperatura do ar na estação Quixeramobim.

Fonte: INMET, 2023. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

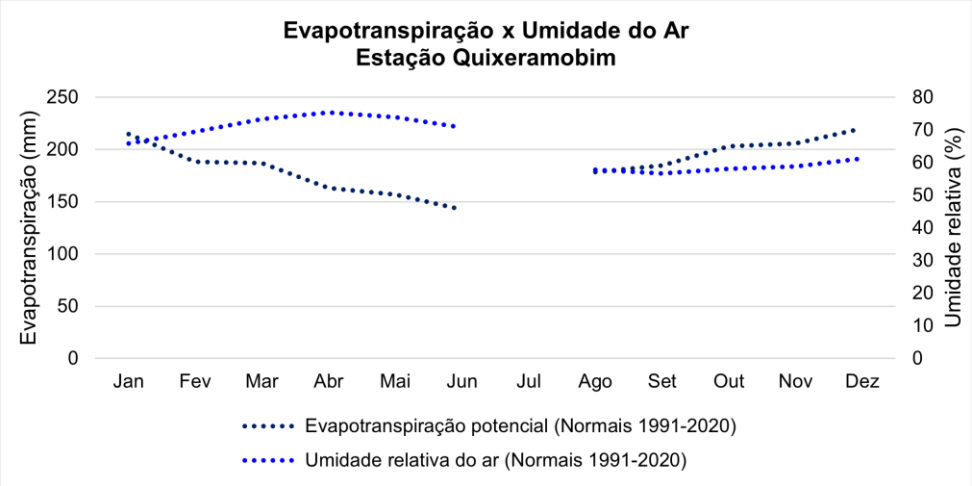


Figura 11.1-13: Relação entre evapotranspiração potencial e umidade relativa do ar na estação Quixeramobim.

Fonte: INMET, 2023. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

11.1.1.3.5 Balanço Hídrico Climatológico

Os dados relativos ao balanço hídrico foram calculados com a ferramenta denominada Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (SISDAGRO), vinculada ao próprio INMET, e os dados da estação Quixeramobim. Conforme pode ser observado nos gráficos a seguir a região caracteriza-se por balanço hídrico significantemente negativo, típico do semiárido brasileiro, cuja evapotranspiração real (ETR) ultrapassa a precipitação na maior parte do ano (Figura 11.1-14).

Na segunda metade do mês de março até a metade de maio há o início de um breve período de excedente hídrico: as chuvas superam a quantidade de evapotranspiração perdida no solo e geram armazenamento. É importante lembrar que a estação chuvosa inicia em janeiro. Mesmo nos meses de março e abril, quando os valores de precipitação são maiores do que a evapotranspiração real (ETR) e evapotranspiração potencial (ETP), o excedente hídrico na região é muito baixo, sendo inferior a 20mm. Este valor não é superado em nenhum outro período do ano (Figura 11.1-15).

O período de déficit hídrico começa em meados de maio e dura até março do ano seguinte, resultando em um pico no mês de outubro, que alcança cerca de -220mm.

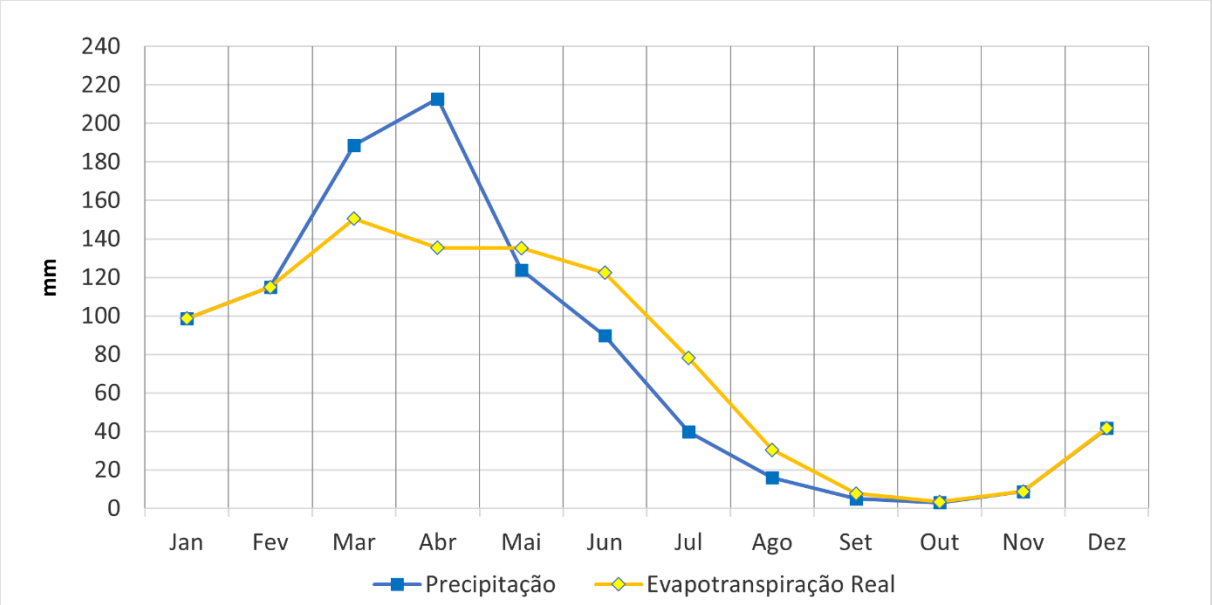


Figura 11.1-14: Balanço Hídrico Climatológico Mensal da estação Quixeramobim.

Fonte: INMET, 2023. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

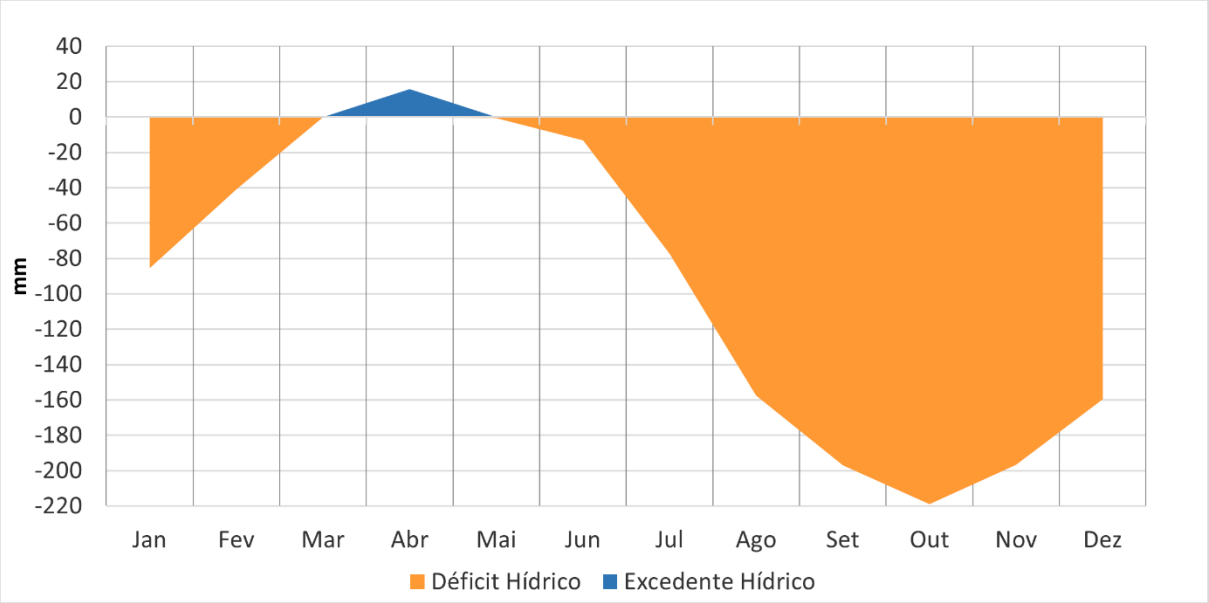


Figura 11.1-15: Extrato do Balanço Hídrico Climatológico Mensal (Déficits e Excedentes) da estação Quixeramobim.

Fonte: INMET, 2023. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

11.1.1.3.6 Insolação e Radiação Solar

Para observar o comportamento da insolação total, foram analisados os dados das Normais Climatológicas (1991-2020) da estação Quixeramobim.

Adicionalmente, foram analisados os dados de radiação solar da estação Itataia, considerando os dados dos anos de 2006, 2007, 2013, 2014 e 2015.

De acordo com dados do Atlas Solarimétrico do Brasil (TIBA *et. al.*, 2000), o empreendimento está inserido na faixa de uma média anual de radiação solar global diária 18 e 20 MJ/m^2 (Figura 11.1-16).

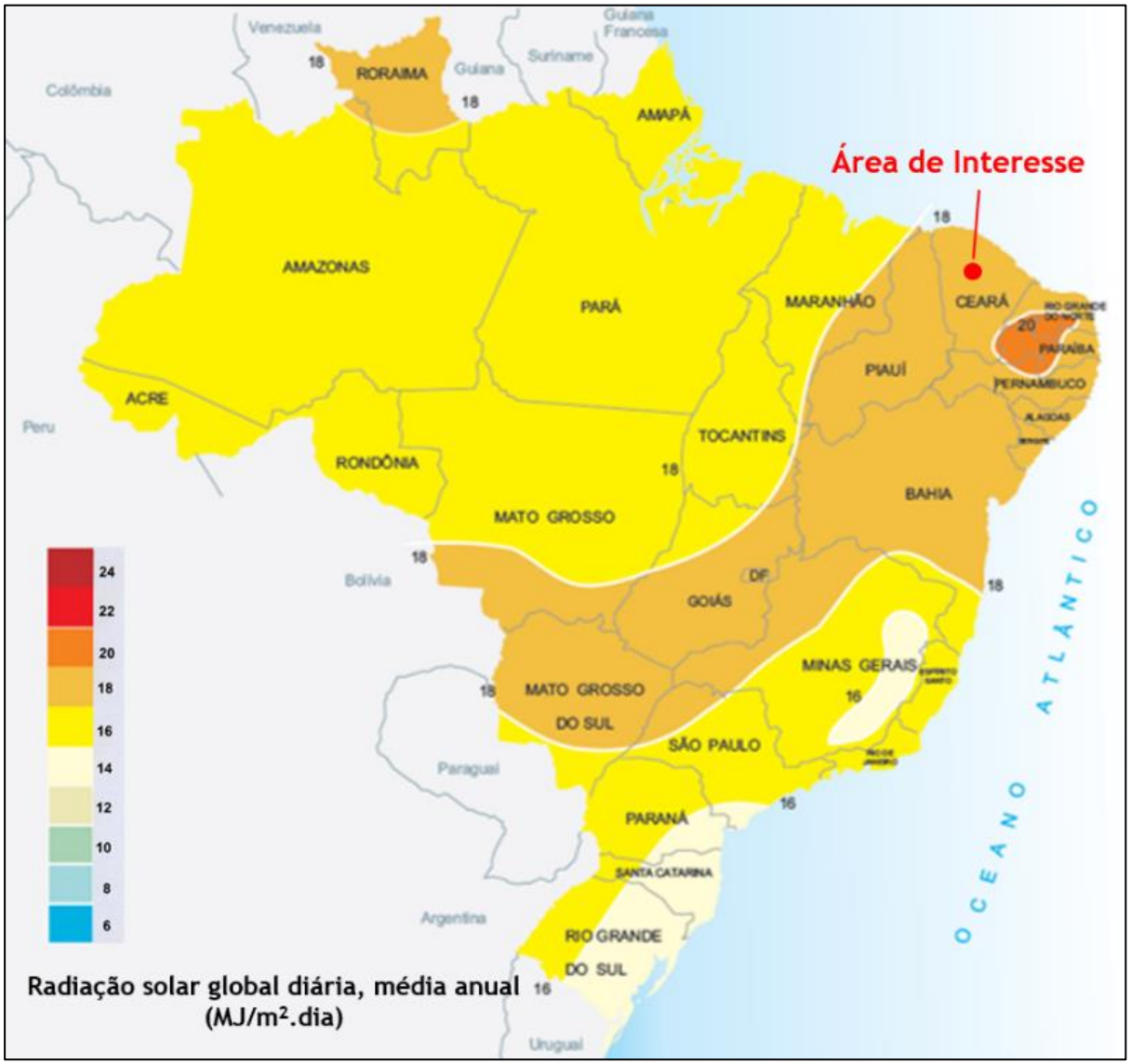


Figura 11.1-16: Distribuição da radiação solar global diária (média anual).

Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil (TIBA, C. et al, 2000). Adaptado por: Tetra Mais, 2021.

Conforme dados da estação Itataia, localizada na propriedade da INB, os valores diários médios de radiação solar são de 19.627,93 kJ/m^2 (19,63 MJ/m^2) por dia. Tal valor está de acordo com os valores encontrados no Atlas Solarimétrico do Brasil (TIBA *et. al.*, 2000).

Considerando a média de radiação solar acumulada por mês para o período analisado (Figura 11.1-17), é possível observar maiores valores de radiação nos meses de agosto a

novembro, coincidindo com o período de menor pluviosidade. Contudo, o mês de janeiro também possui alta taxa de radiação solar acumulada.

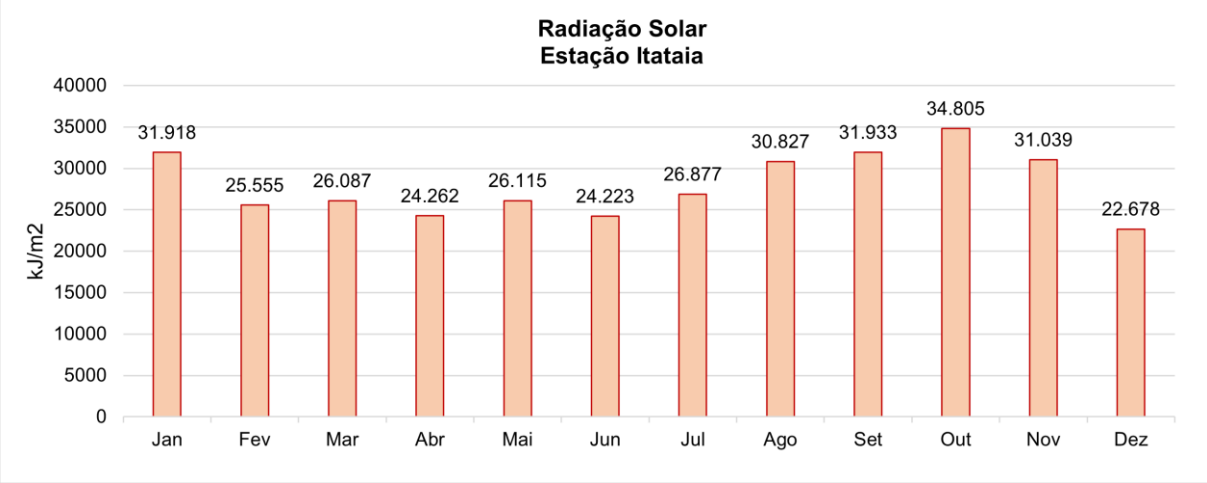


Figura 11.1-17: Radiação solar acumulada mensal da estação Itataia.

Fonte: Consórcio Santa Quitéria, 2021. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

No que se refere à distribuição diária de radiação solar, nota-se que os picos ocorrem entre as 11h e 13h (Figura 11.1-18), quando os valores de radiação ficam acima de 2.500 kJ/m².

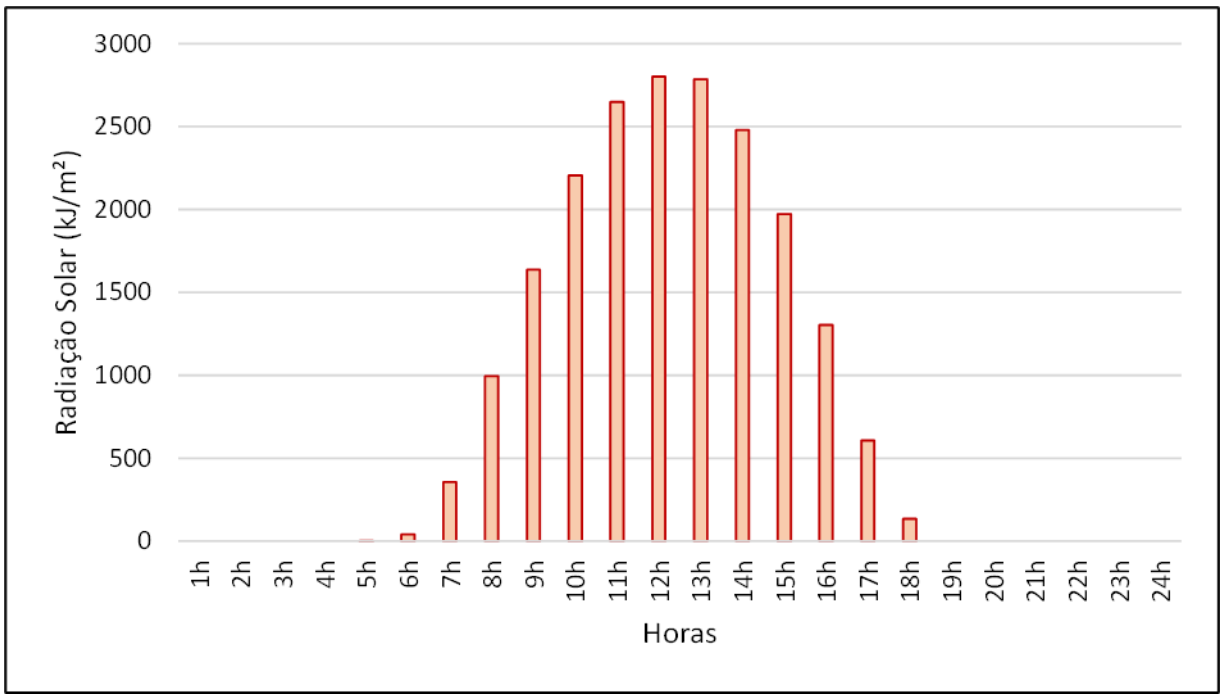


Figura 11.1-18: Distribuição da radiação solar diária da estação Itataia.

Fonte: Consórcio Santa Quitéria, 2021. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

Considerando os dados de insolação das Normais Climatológicas da estação Quixeramobim, nota-se que a distribuição anual possui padrão semelhante ao apresentado pela radiação solar da estação Itataia, com totais de insolação mais elevados nos meses de agosto a novembro (Figura 11.1-19), coincidindo com o período de menor pluviosidade.

Como apontado anteriormente neste Diagnóstico, os valores referentes ao mês de julho da estação Quixeramobim não foram validados pelo INMET.

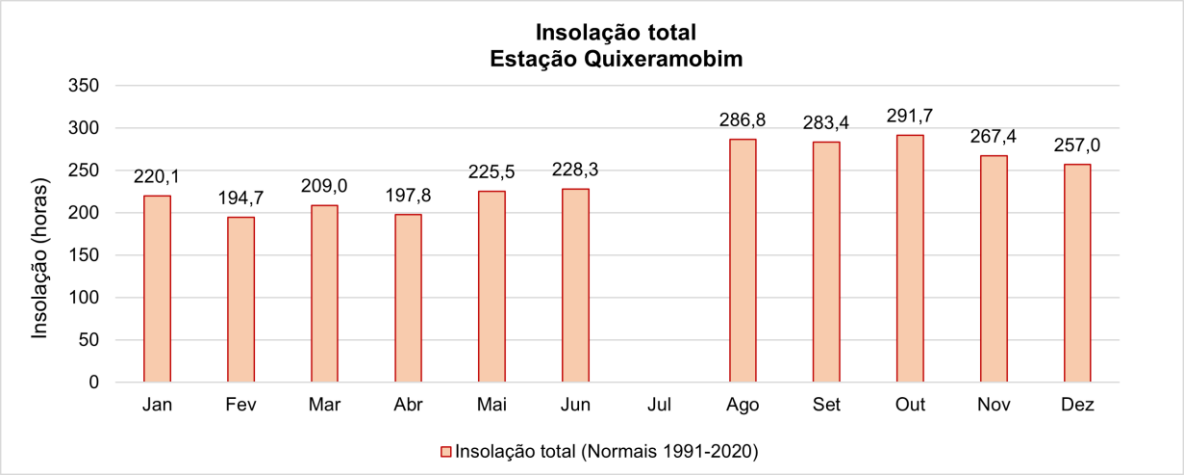


Figura 11.1-19: Distribuição da insolação total na estação Quixeramobim.
Fonte: INMET, 2023. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

11.1.1.3.7 Ventos

Tendo em vista que a velocidade do vento pode variar significativamente em curtas distâncias (algumas centenas de metros), devido as características topográficas, presença de vegetação e edificações, entre outros, para análise da velocidade e direção dos ventos foram utilizados apenas os dados locais da estação Itataia, considerando o período de dados disponível (2006, 2007, 2013, 2014 e 2015).

Conforme pode ser observado no Quadro 11.1.1-7 a seguir, a velocidade média anual no período foi de 3,7m/s, que de acordo com a Escala de Beaufort, é classificado como vento fraco, onde as folhas das árvores se agitam e as bandeiras se desfraldam.

Quadro 11.1.1-7: Velocidade média e direção predominante dos ventos na estação Itataia

PERÍODO/ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA ANUAL
Velocidade média	3,8	3,0	2,8	2,5	3,0	3,5	3,9	4,4	4,7	4,8	4,3	3,8	3,7
Direção predominante	E	E	ESE	ESE	ESE	ESE	ESE	ESE	ESE	E	E	E	-

Fonte: Consórcio Santa Quitéria. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

No Figura 11.1-20 abaixo é possível observar o comportamento da velocidade do vento durante o ano.

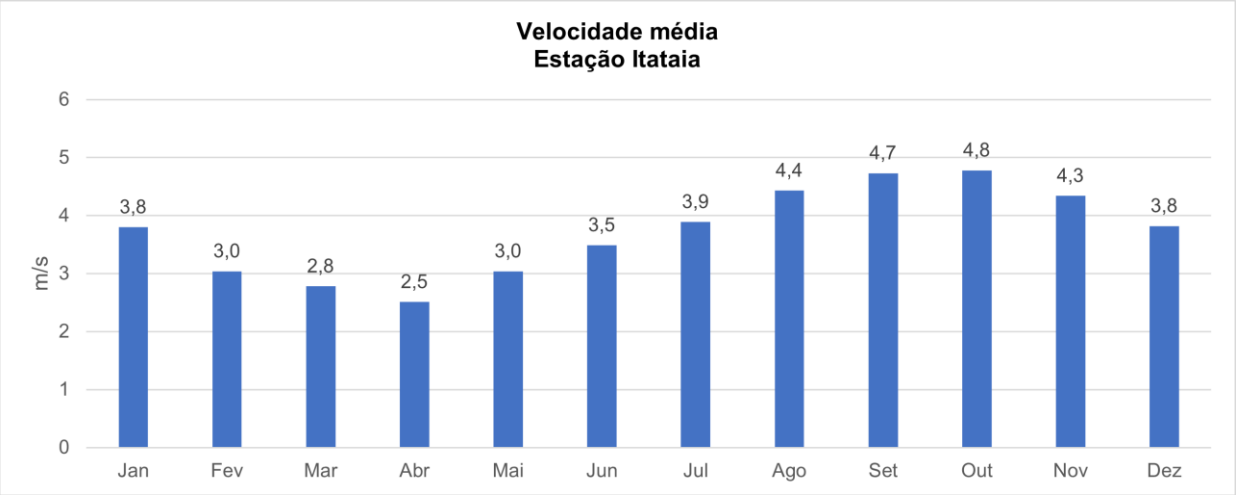


Figura 11.1-20: Distribuição da velocidade do vento ao longo do ano na estação Itataia.
Fonte: Consórcio Santa Quitéria. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

Nota-se pelo gráfico acima que a velocidade dos ventos na região do empreendimento é maior durante o segundo semestre, com máxima de 4,8 m/s, registrada no mês de outubro. O aumento da velocidade dos ventos durante o segundo semestre é influenciado pelo aumento das temperaturas, que intensifica o gradiente de pressão e ocasiona o maior deslocamento do ar.

No que se refere à direção do vento, nota-se que entre os meses de outubro a fevereiro predominam ventos de leste e entre os meses de março a setembro a predominância é de ventos provenientes de leste/sudeste.

Conforme apresentado na rosa dos ventos (Figura 11.1-21), considerando a características gerais dos ventos da área de estudo, pode-se dizer que a velocidade média do vento predominante está na faixa de 3,6 a 5,7 m/s, notando-se a predominância dos ventos provenientes de leste/sudeste.

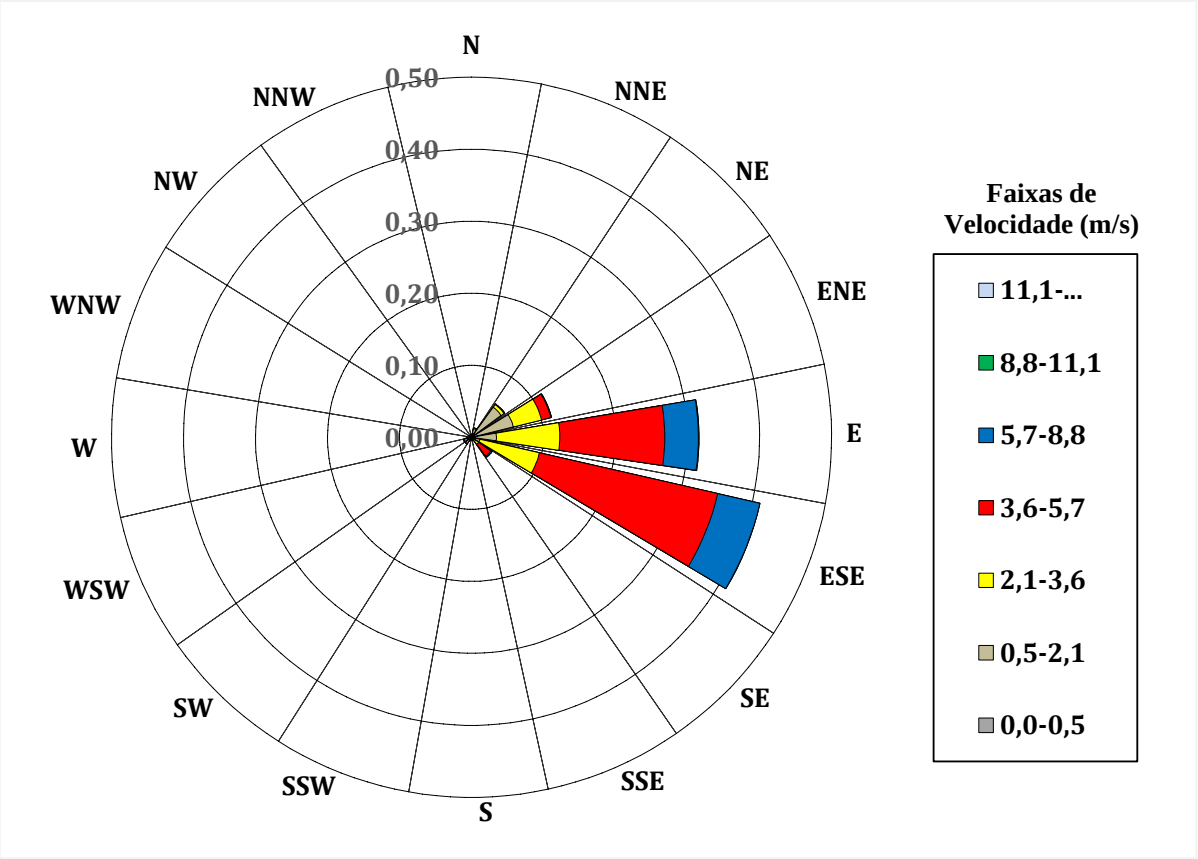


Figura 11.1-21: Rosa dos ventos da Estação Itataia.

Fonte: Consórcio Santa Quitéria. Elaboração: Tetra Mais, 2021.

11.1.1.3.8 Eventos extremos e mudanças climáticas

O clima é afetado pela ocorrência de intercalação de fenômenos naturais (que se sobrepõem em escalas intersazonais, interanuais e interdecadais), que resultam em cenários alternados de maiores e menores registros pluviométricos, térmicos, de circulação atmosférica e de outros parâmetros envolvidos na composição de padrões climáticos de uma região. No entanto, a influência antrópica tem sido apontada desde meados do século XX como um potencial modificador das condições meteorológicas e climáticas naturais, por meio da queima de gases-estufa de forma crescente e contínua, as quais são responsáveis por prognósticos de aumento das temperaturas médias globais.

Os estudos dessa temática indicam que as influências antrópicas têm interferido e alterado tais fenômenos naturais e os respectivos padrões climáticos, modificando a intensidade e frequência de eventos extremos.

As definições conceituais de eventos extremos utilizadas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) dividem o fenômeno em duas categorias:

+ Extremo meteorológico: um evento raro em um determinado lugar e época do ano;

+ Extremo climático: um padrão de extremos meteorológicos que persiste por algum tempo, como uma estação.

É importante destacar que as abordagens ao conceito de "extremos" são variadas, podendo ser considerados limites absolutos (por exemplo, a temperatura máxima de um dia quente) ou relativos (como o percentil 90), acima dos quais as condições podem ser consideradas extremos. Além disso, os eventos extremos podem ser considerados a partir da alteração das frequências de um evento, ou de suas intensidades.

Os eventos extremos podem ter várias escalas temporais e espaciais. As secas, por exemplo, podem ser prolongadas (anos) e afetar grandes regiões, enquanto tornados podem durar poucos minutos e atingir uma escala espacial de poucos metros ou quilômetros.

Neste contexto, os tipos de extremos enquadrados pelo IPCC incluem:

+ temperaturas extremas (ondas de calor, ondas de frio);

+ inundações[1];

+ secas (secas meteorológicas[2], secas agrícolas/ecológicas[3] e secas hidrológicas[4]);

+ tempestades (ciclones tropicais, ciclones extratropicais e tempestades convectivas severas[5]).

Os padrões de circulação atmosférica em grande escala mais relevantes no Nordeste Brasileiro são o ENOS / El Niño Oscilação Sul e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). O ENOS resulta do aquecimento das águas do Pacífico, alterando a circulação atmosférica global e regional (incluindo a ZCIT) e inibindo a formação de chuvas em latitudes médias.

Os episódios de El Niño começam a se desenvolver em meados do ano, atingem sua intensidade máxima no final daquele mesmo ano e se dissipam cerca de seis meses depois. Isso resulta em diminuição do total de chuvas justamente durante a estação chuvosa no semiárido nordestino (dezembro a maio). Já a La Niña, resultante do resfriamento da TSM

[1] Resultantes de precipitação extrema ou degelo.
[2] Que derivam em déficits de precipitação.
[3] Que resultam em reduções do rendimento das culturas ou mortalidade de árvores por estresse hídrico, muitas vezes relacionadas com déficits de umidade do solo.
[4] Geradoras de escassez de água em cursos d'água, reservatórios e aquíferos.
[5] Tornados, granizo, chuva ou neve, ventos fortes e relâmpagos.

do Pacífico, pode gerar o efeito contrário, disparando um aumento de chuvas. A intensidade de ambos pode variar de fraca, moderada a forte.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é o principal mecanismo dinâmico responsável pelas chuvas do semiárido entre os meses de fevereiro e maio. Esta, por meio de movimentos ascendentes, baixas pressões, nebulosidades e chuvas abundantes, segue, preferencialmente, as regiões em que a temperatura da superfície do mar (TSM) é mais elevada (MARENGO *et al.*, 2011). A ZCIT é fortemente influenciada pelo Dipolo de TSM do Atlântico Tropical, o qual move a ZCIT mais para sul quando a TSM é positiva no Atlântico Sul (acima de 0°) levando a anos, em geral, com acumulados acima da média histórica (MARTINS e JUNIOR, 2017). Quando o Dipolo entra em fase negativa no Atlântico Sul (abaixo de 0°), a ZCIT fica ancorada mais a norte, desfavorecendo a ocorrência de chuvas no Nordeste do Brasil no período (DURAND e CAMPOS, 2007).

A combinação do El Niño ao Dipolo de TSM pode gerar períodos secos durante a estação chuvosa, resultando em vários dias consecutivos sem chuva ou com chuva não significativa. Estes intervalos, chamados de veranicos e considerados como eventos extremos, podem ter consequências desastrosas no sistema de agricultura de sequeiro e de captação de água local.

O clima semiárido presente do Estado do Ceará possui um histórico de secas prolongadas, resultantes da baixa quantidade de chuvas e elevada evaporação, o que torna a região particularmente vulnerável a alterações ambientais.

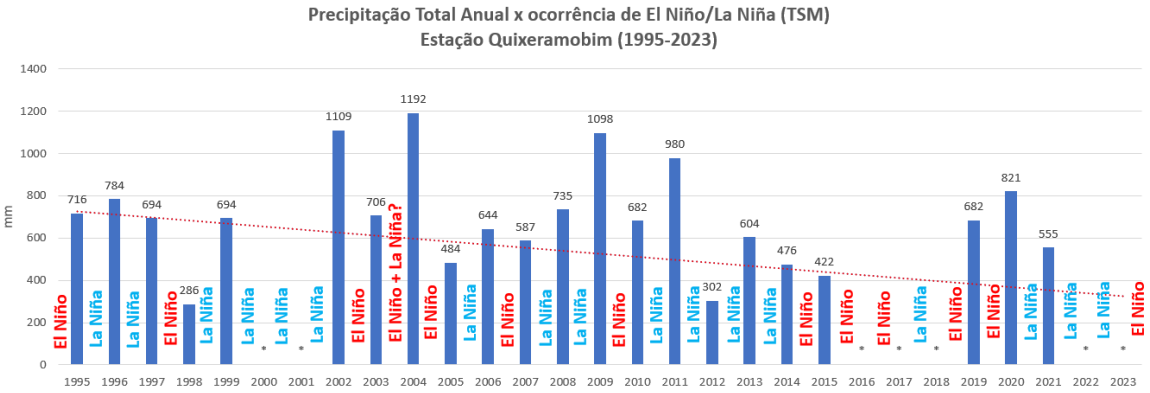
Secas meteorológicas extremas atingiram o Estado em 1915, 1919 e 1958. Já as secas classificadas como severas se manifestaram por sequências de anos com baixas precipitações, como 1930-1933, 1979-1983, 1990-1993 e o período mais longo e mais recente, de 2012-2017 (NUNES e MEDEIROS, 2020).

Estudos realizados com série histórica de 94 anos da estação Quixeramobim apontam que o Dipolo de TSM explica uma parte maior da variância de precipitação da quadra chuvosa e o El Niño explica uma parte maior da variabilidade da duração do maior veranico da série histórica (DURAND e CAMPOS, 2007).

Visando entender como se dá o comportamento histórico das chuvas na região, traçou-se um gráfico de distribuição da precipitação total anual com base numa série histórica de 28 anos (1995-2023) obtidos da estação Quixeramobim. A série indica uma relevante variabilidade anual dos totais pluviométricos, com anos em que o acumulado total supera a média pluviométrica, em torno de 660mm considerando as Normais Climatológicas de 1991-

2020 (a exemplo dos anos de 2002, 2004, 2009 e 2011); enquanto isso, em outros anos, o acumulado permanece muito abaixo dessa média (286mm em 1998, por exemplo).

A linha de tendência do gráfico apresentado na Figura 11.1-22 mostra também um sutil decréscimo do acumulado de precipitações no período.



*anos com mais de 1 mês com falhas na estação

Fonte: INMET (2023); Columbia Climate School (2023). Organizado por Tetra Mais (2023)

Figura 11.1-22: Acumulado anual de precipitação e ocorrência de ENOS / El Niño Oscilação Sul. *Fonte: INMET, 2023. Organizado por Tetra Mais, 2023.*

No gráfico também são indicados os anos de eventos de El Niño e La Niña no período, considerando as intensidades fraca, moderada e forte. Em alguns momentos, a ocorrência de El Niño resulta em chuvas abaixo da média pluviométrica (registradas da metade do ano até o ano seguinte), enquanto a La Niña resulta em chuvas acima da média pluviométrica (registradas da metade do ano até o ano seguinte). Uma sequência de anos de El Niño pode resultar em secas prolongadas no Nordeste do Brasil, como pode se ver no intervalo de 2015 a 2017, (NUNES e MEDEIROS, *op. cit.*).

Entretanto, cabe relembrar que o ENOS não é o único fenômeno de circulação atmosférica incidente no Nordeste do Brasil, e que sua atuação combinada com outros fenômenos resulta em condições meteorológicas distintas.

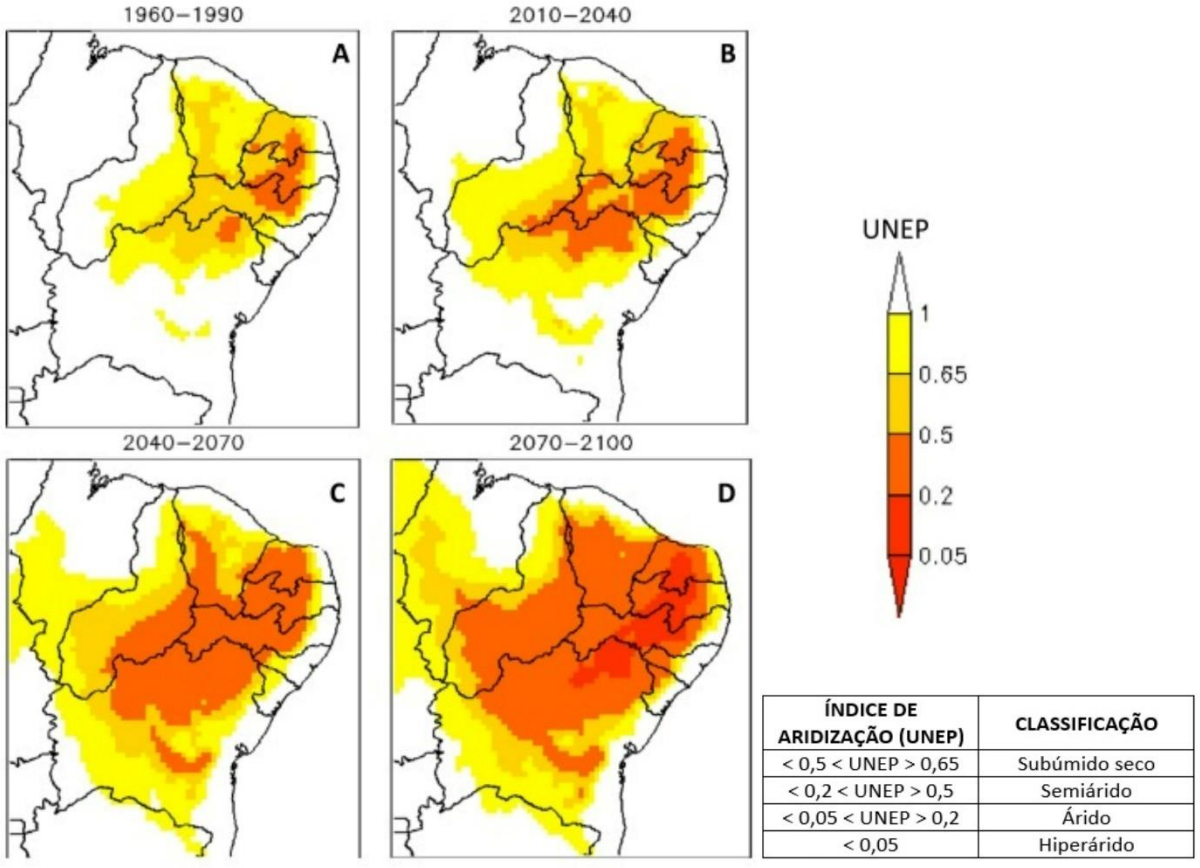
Em suma, o gráfico permite dizer que além da distribuição irregular das chuvas durante o ano, já demonstrada anteriormente no presente Diagnóstico de Clima deste EIA, existe uma grande irregularidade de chuvas, evidenciando uma oscilação significativa de anos chuvosos e anos secos.

Em se tratando de um prognóstico, estudos ainda têm sido realizados para compreender as tendências de médio e longo prazo e comportamento das chuvas num cenário das mudanças climáticas globais. O aquecimento projetado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) para as temperaturas máximas anuais

extremas é de acréscimo de 2°C no Nordeste do Brasil (para um cenário de aumento de 1,5°C na temperatura média global), ou um acréscimo de 2,5°C (para um cenário de aumento de 2°C da temperatura média global) (HOEGH-GULDBERG *et. al.*, 2018 *apud* IPCC, 2022).

Esse cenário pode levar a um aumento da duração das secas (com significativo aumento dos veranicos), diminuição dos índices pluviométricos (de 10% a 15%) e a um aumento da temperatura nesta área, bem como a uma redução espacial do bioma Caatinga do semiárido em detrimento de uma vegetação de climas efetivamente áridos, segundo dados classificados como de alta confiança pelo relatório (IPCC, 2022).

O relatório cita ainda que o aumento na severidade das secas devido à combinação do aumento de temperatura e redução de chuvas e umidade podem criar déficits hídricos, os quais são projetados para a região após o ano de 2041. Estas projeções são embasadas em estudos de curto (2010-2040), médio (2040-2070) e longo prazo (2070-2100) que calculam o Índice de Aridização da região por meio de parâmetros meteorológicos (MARENGO E BERNASCONI, 2015), prevendo a expansão de climas áridos até o fim do século XXI (Figura 11.1-23 a seguir). Vale pontuar que o atual Índice de Aridização do município de Santa Quitéria é de 0,35, o que o classifica como semiárido (FUNCEME, 2023).



ÍNDICE DE ARIDIZAÇÃO (UNEP)	CLASSIFICAÇÃO
< 0,5 < UNEP > 0,65	Subúmido seco
< 0,2 < UNEP > 0,5	Semiárido
< 0,05 < UNEP > 0,2	Árido
< 0,05	Hiperárido

Figura 11.1-23: Projeções do avanço do clima árido no Nordeste do Brasil para o século XXI.
Fonte: Marengo e Bernasconi, 2015. Adaptado por Tetra Mais, 2023.

Na última década, o Estado do Ceará tem estudado medidas para combate e adaptação às mudanças climáticas, por meio da Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC) (Lei n.º 16.146/2016) e do Plano Estadual de Adaptação (PEA). Ambos visam definir diretrizes de mitigação sobre impactos adversos das mudanças climáticas sobre o meio físico e a biota, intensificados por ações antrópicas causadas por emissões de gases de efeito estufa. Além disso, em 2021 o Estado aderiu às campanhas "*Race to zero*" e "*Under2Coalition*" estabelecidas pela Convenção da ONU sobre mudanças no clima, com o objetivo de elaborar um Plano de Ação Climática com metas intermediárias e finais até 2050 e um Inventário Estadual de Gases de Efeito Estufa, entre outras providências.

Ainda antes disso, em 2008, o Estado do Ceará aprovou a Lei nº14.198/2008, que institui a Política Estadual de Combate e Prevenção à Desertificação, como importante marco nas políticas de prevenção e mitigação das mudanças climáticas.

Como as mudanças climáticas são externalidades naturais e cíclicas acrescidas de um componente antrópico acumulado desde a Revolução Industrial pela produção de gases estufa, de impacto regional e global, a redução de volume precipitado na região pode afetar a disponibilidade de água superficial disponível em rios, açudes e de águas subterrâneas. Este cenário resultante de externalidades climáticas reflete no planejamento de ações que possam estimar a intensidade deste impacto e mitigar seus efeitos na área de estudo, visando a resiliência do projeto em seus objetivos, mas também em relação conjunta com o ambiente e as comunidades do entorno.

Considerando o horizonte temporal de implantação e operação do projeto objeto deste EIA – que é de 20 anos -, e o cenário climático projetado até 2041 (curto prazo), entende-se que a área de ocupação já está impactada por processos naturais de desertificação e mudanças climáticas. Visando contribuir para o não agravamento dos cenários futuros de médio e longo prazo, bem como ser resiliente aos desafios climáticos já instalados e aos previstos em curto prazo, o PSQ deve incorporar medidas de mitigação e adaptação relacionadas sobretudo ao controle das emissões de gases estufa e ao uso da água, buscando uma integração com a agenda das políticas estaduais de contenção dos impactos das Mudanças Climáticas.

11.1.1.4 Considerações Finais

As variáveis climáticas consideradas para a caracterização foram: temperatura, precipitação, umidade relativa, evapotranspiração, balanço hídrico, insolação, radiação, direção predominante e velocidade média dos ventos.

As precipitações na região apresentam valores anuais abaixo de 800mm, corroborando com a sua inserção no Polígono das Secas. Nas estações e postos pluviométricos analisados verificou-se que os totais pluviométricos anuais variaram entre 355,7mm e 663,6mm.

Quanto às temperaturas, estas recebem influências principalmente pelo seu posicionamento geográfico, próximo ao Equador (baixa latitude), submetendo a região a forte radiação solar. A temperatura média anual é de 27,4°C na estação Quixeramobim, com variação média anual de temperatura de 2,7°C. Na estação Itataia, a média anual é de 27,0°C, com variação de 3,3°C. Já na estação Santa Quitéria a média anual é 28,4°C, com variação média anual de 3,6°C.

A média térmica elevada e a baixa variação anual da temperatura na área de estudo é típica de regiões localizadas próximas ao Equador, onde a incidência solar o longo do ano é alta.

Quanto à evapotranspiração potencial, observa-se comportamento sazonal, sendo que entre o mês de janeiro e maio ocorre uma redução gradativa dos totais mensais com mínima de 142,6 mm registrada no mês de junho. Da mesma forma, a partir de agosto, nota-se o comportamento inverso com aumento gradativo dos totais mensais, com máxima de 220,0mm no mês de dezembro.

Os ventos na região do PSQ são mais fortes durante o segundo semestre, com máxima de 4,78 m/s, registrada no mês de outubro. O aumento da velocidade dos ventos durante o segundo semestre é influenciado pelo aumento das temperaturas que intensifica o gradiente de pressão e ocasiona o maior deslocamento do ar. Quanto à sua direção, nota-se que entre os meses de outubro e fevereiro predominam ventos de leste e entre os meses de março e setembro a predominância é de ventos provenientes de leste/sudeste.

11.1.2 Qualidade do Ar

11.1.2.1 Considerações Metodológicas

11.1.2.1.1 Padrões de Qualidade do Ar

A poluição do ar pode ser definida como o resultado da alteração das características físicas, químicas e biológicas normais da atmosfera, e pode causar danos ao ser humano, à

fauna, à flora, aos materiais, restringir o pleno uso e gozo da propriedade e/ou afetar negativamente o bem-estar da população.

Dentro desse conceito, existem níveis de referência para diferenciar a atmosfera poluída da atmosfera não poluída. O nível de referência sob o aspecto legal é denominado Padrão de Qualidade do Ar. Na Resolução CONAMA nº 491 de 19 de novembro de 2018 estão descritos os padrões para os poluentes emitidos em todo o território nacional.

Os padrões de qualidade do ar foram fixados pela legislação com base em estudos científicos acerca dos efeitos produzidos pelos poluentes denominados regulados, isto é, poluentes cuja alta concentração na atmosfera seja capaz de gerar danos à saúde e ao bem-estar da população.

Neste sentido, são considerados poluentes regulados: monóxido de carbono (CO); dióxido de enxofre (SO_2); dióxido de nitrogênio (NO_2); ozônio (O_3); material particulado inalável (MP10 e MP2,5), partículas totais em suspensão (PTS), partículas totais em suspensão na forma de fumaça (FMC) e chumbo (Pb).

A Resolução CONAMA nº 491/2018, define os padrões de qualidade do ar, que conforme determinações deverão ser adotados sequencialmente em quatro etapas (PI-1, PI-2, PI-3 e PF). A primeira etapa, denominada Padrão Intermediário PI – 1, entrou em vigor a partir da publicação da Resolução CONAMA nº 491/2018 e estabeleceu o valor limite referencial dos parâmetros SO_2, NO_2, O_3, MP10, MP2,5 e FMC. Os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários (PI-2, PI-3) e Final (PF) serão adotados, cada um, de forma subsequente, levando em consideração os Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar, elaborados pelos órgãos estaduais e distrital de meio ambiente, conforme os artigos 5º e 6º, respectivamente. Caso não seja possível a migração para o padrão subsequente, prevalece o padrão já adotado. Para os poluentes CO, Pb e PTS, o valor limite adotado é o Padrão Final, já a partir da publicação da Resolução CONAMA nº 491/2018.

Cabe destacar que a Resolução CONAMA nº 491/2018 estabelece no Art. 7º, que após o período de cinco anos de sua publicação e a partir do envio dos Planos de Controle de Emissões Atmosféricas - PCEAs e relatórios de qualidade do ar ao Ministério do Meio Ambiente – MMA, haverá discussão sobre a adoção dos padrões de qualidade do ar subsequentes ao PI-1, até que todos os estados e Distrito Federal consigam atingir os níveis recomendados pela OMS, equivalente ao padrão final (PF).

Ressalta-se que o estudo diagnóstico não pode ser utilizado para realizar projeções futuras, sendo apenas um retrato do período em que as campanhas de caracterização foram

realizadas, portanto, os padrões vigentes até o momento e considerados como referência no presente diagnóstico são os assinalados em vermelho no Quadro 11.1.2-1.

Quadro 11.1.2-1: Resumo dos Limites dos Padrões de Qualidade do Ar da Resolução CONAMA nº 491/2018

POLUENTE ATMOSFÉRICO	PERÍODO DE REFERÊNCIA	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		µG/M³	µG/M³	µG/M³	µG/M³	PPM
Material Particulado - MP10	24 horas	**120**	100	75	50	-
	Anual[1]	**40**	35	30	20	-
Material Particulado - MP2,5	24 horas	**60**	50	37	25	-
	Anual[1]	**20**	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre - SO_2	24 horas	**125**	50	30	20	-
	Anual[1]	**40**	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO_2	1 hora[2]	**260**	240	220	200	-
	Anual[1]	**60**	50	45	40	-
Ozônio - O_3	8 horas[3]	**140**	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	**120**	100	75	50	-
	Anual[1]	**40**	35	30	20	-
Monóxido de Carbono – CO	8 horas[3]	-	-	-	-	**9**
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	**240**	-
	Anual[4]	-	-	-	**80**	-
Chumbo – Pb[5]	Anual[1]	-	-	-	**0,5**	-

1 - Média aritmética anual; 2 - Média horária; 3 - Máxima média móvel obtida no dia; 4 - Média geométrica anual; 5 - Medido nas partículas totais em suspensão. Fonte: Resolução CONAMA nº 491, 2018. Adaptado ISQ Brasil, 2023.

Esclarece-se que, segundo os parágrafos 1º e 2º do art. 3 da Resolução CONAMA nº 491 de 2018, os parâmetros Pb, PTS, e FMC, possuem conceituações de obrigatoriedade de monitoramento diferenciadas dos demais parâmetros apresentados, conforme descrito a seguir:

> *§ 1º. O Chumbo no material particulado é um parâmetro a ser monitorado em áreas específicas, em função da tipologia das fontes de emissões atmosféricas e a critério do órgão ambiental competente.*
>
> *§ 2º. As Partículas Totais em Suspensão (PTS) e o Material Particulado em Suspensão na forma de Fumaça (FMC) são parâmetros auxiliares, a serem utilizados em situações específicas, a critério do órgão ambiental competente.*

11.1.2.1.2 Parâmetros Amostrados e Materiais

Para o diagnóstico da qualidade do ar foram consideradas as medições dos seguintes parâmetros: SO_2, NO_2, O_3, MP10, MP2,5, CO e PTS.

Os resultados das medições dos gases SO_2, NO_2, O_3 e CO foram gerados continuamente, ou seja, 24 horas por dia, por meio de sensores eletroquímicos de detecção automática, e as Partículas Inaláveis MP10 e MP2,5, assim como as Partículas Totais Suspensão – PTS, foram contadas também em medições contínuas, por meio de sensores ópticos, todos acoplados a uma estação automática compacta de qualidade do ar. A estação foi programada para fazer a captura, leitura e mensuração dos gases e partículas em intervalos de 15 minutos, totalizando quatro medições a cada hora e noventa e seis medições a cada 24 horas.

As médias horárias dos poluentes NO_2, O_3 e CO, assim como as médias diárias de SO_2, MP2,5, MP10 e PTS foram gerados de acordo com os critérios de representatividade exigidos pelo Guia Técnico para o monitoramento e avaliação da qualidade do ar do Ministério do Meio Ambiente (2019). Os resultados das medições efetuadas foram comparados com os padrões de Qualidade do Ar definidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018.

Os materiais (instrumentos) utilizados nas medições de qualidade do ar estão apresentados Quadro 11.1.2-2 e os respectivos certificados de calibração estão apresentados no Anexo 11.1.2-1.

Quadro 11.1.2-2: Descrição dos equipamentos utilizados

EQUIPAMENTO	FABRICANTE	MODELO	CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO	DATA CALIBRAÇÃO	VALIDADE CALIBRAÇÃO
Estação de Qualidade do Ar	*Environmental Instruments*	AQMesh	AQM31/2020	09/08/2020	18 meses
			AQM25/2020	06/07/2020	18 meses
Barômetro	*Vectus*	WS110	1352/2019	04/07/2019	24 meses
GPS	*Garmin*	62	-	-	-
Câmera	*Nikon*	S33	-	-	-

Elaboração: Q3A, 2021.

11.1.2.1.3 Malha amostral e periodicidade amostragem

O conceito de bacia aérea, dado a sua maior abrangência geográfica, foi aplicado de forma regional, na avaliação de impacto apresentada no Capítulo 13 do Volume IV deste EIA, através da modelagem de dispersão de poluentes atmosféricos, com recurso ao modelo

matemático AERMOD, recomendado pela USEPA (*United States Environmental Protection Agency*).

Já a caracterização da qualidade do ar (diagnóstico) possui aspecto local, posto que é realizada junto aos receptores mais próximos do entorno do futuro empreendimento. Assim, foram selecionados quatro locais buscando uma distribuição espacial que contemplasse a inserção dos pontos de medição entre a ADA e potenciais receptores do seu entorno.

As medições foram realizadas entre os dias 17 e 21 de novembro de 2020 (primeira campanha), no período de estiagem, e nos dias 22 e 26 de fevereiro de 2021 (segunda campanha), no período chuvoso, respeitando a sazonalidade local. O equipamento permaneceu por um período de 24 horas amostrando em cada ponto, na primeira e na segunda campanha.

A amostragem em duas campanhas ao longo do ano está de acordo com o Termo de Referência emitido pelo Ibama e as informações levantadas foram suficientes para realizar a avaliação de impactos apresentada no Volume IV do EIA. Cabe ressaltar que o monitoramento de qualidade do ar será continuado nas etapas de implantação e operação do empreendimento, por meio do Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar também previsto no Volume IV do EIA.

A identificação dos pontos amostrados está apresentada no Quadro 11.1.2-3.

Quadro 11.1.2-3: Identificação dos locais das medições

PONTOS DE MEDIÇÃO	COORDENADAS UTM 24 - M	DESCRIÇÃO
P1	Longitude: 414929 Latitude: 9492773	Ponto localizado nas proximidades da entrada da fazenda Itataia, estrada vicinal, s/nº, zona rural de Santa Quitéria – CE.
P2	Longitude: 414652 Latitude: 9495775	Ponto localizado nas proximidades da Galeria, entrada da Mina de Itataia, zona rural de Santa Quitéria – CE.
P3	Longitude: 411672 Latitude: 9494239	Ponto localizado nas dependências da Sede da Fazenda Itataia (alojamento principal), estrada vicinal, s/nº, zona rural de Santa Quitéria – CE.
P4	Longitude: 408281 Latitude: 9494739	Ponto localizado no Assentamento Morrinhos, estrada vicinal, s/nº, zona rural de Santa Quitéria – CE.

Elaboração: Q3A, 2021.

A seguir, são apresentados, na Figura 11.1-24, a localização dos pontos de monitoramento da qualidade do ar, e os registros fotográficos estão apresentados entre a Figura 11.1-25 e a Figura 11.1-40, indicando o posicionamento dos equipamentos de medição nos pontos amostrados.

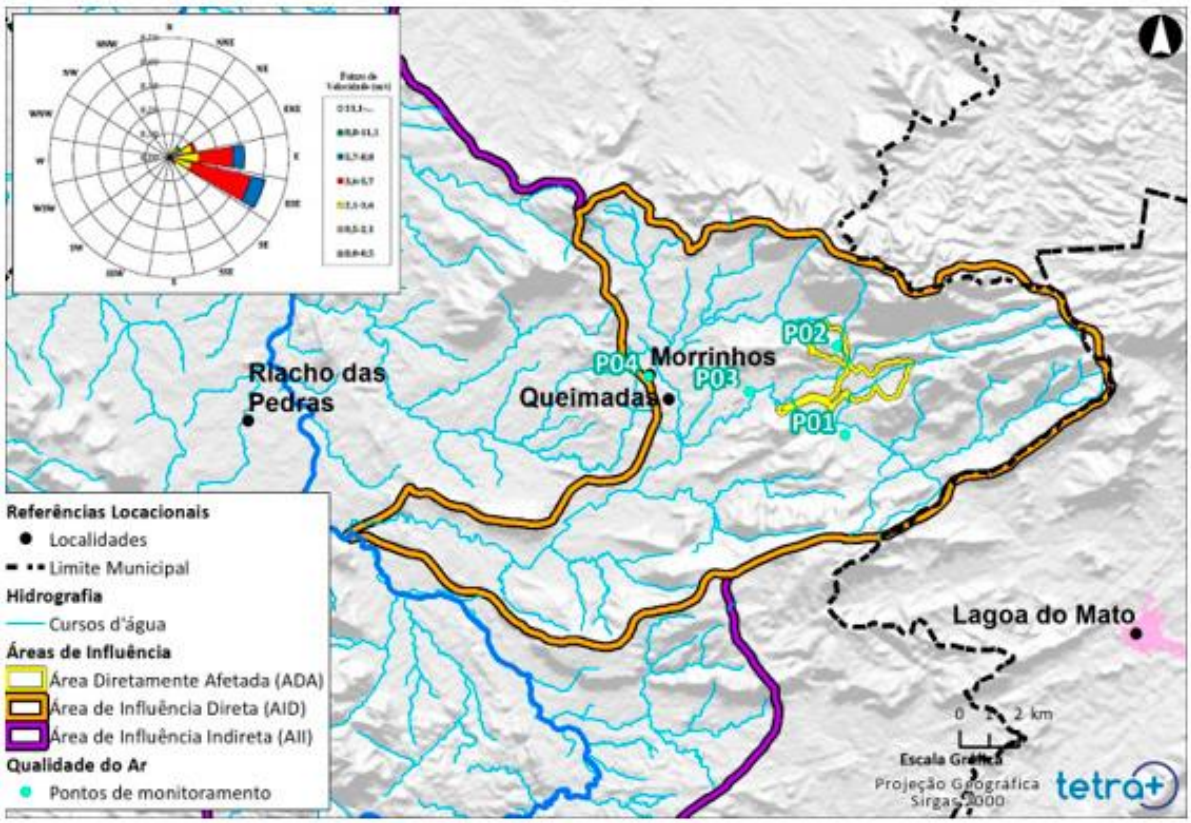


Figura 11.1-24: Localização dos pontos de monitoramento de qualidade do ar.

Elaboração: Tetra Mais, 2023.

Figura 11.1-25: Posicionamento do equipamento de medição no P1 (1ª campanha).

Figura 11.1-26: Posicionamento do equipamento de medição no P1 (1ª campanha).

Figura 11.1-27: Posicionamento do equipamento de medição no P1 (2ª campanha).

Figura 11.1-28: Posicionamento do equipamento de medição no P1 (2ª campanha).

Figura 11.1-29: Posicionamento do equipamento de medição no P2 (1ª campanha).

Figura 11.1-30: Posicionamento do equipamento de medição no P2 (1ª campanha).

Figura 11.1-31: Posicionamento do equipamento de medição no P2 (2ª campanha).

Figura 11.1-32: Posicionamento do equipamento de medição no P2 (2ª campanha).

Figura 11.1-33: Posicionamento do equipamento de medição no P3 (1ª campanha).

Figura 11.1-34: Posicionamento do equipamento de medição no P3 (1ª campanha).

Figura 11.1-35: Posicionamento do equipamento de medição no P3 (2ª campanha).

Figura 11.1-36: Posicionamento do equipamento de medição no P3 (2ª campanha).

Figura 11.1-37: Posicionamento do equipamento de medição no P4 (1ª campanha).

Figura 11.1-38: Posicionamento do equipamento de medição no P4 (1ª campanha).

Figura 11.1-39: Posicionamento do equipamento de medição no P4 (2ª campanha).

Figura 11.1-40: Posicionamento do equipamento de medição no P4 (2ª campanha).

11.1.2.2 Caracterização da Área de Influência Direta (AID) e da Área Diretamente Afetada (ADA)

11.1.2.2.1 Dados obtidos

Conforme apontado anteriormente, entre os dias 17 e 21 novembro 2020 e do dia 22 a 26 de fevereiro de 2021, foram realizadas duas campanhas de monitoramento, as quais tiveram por objetivo diagnosticar a qualidade do ar da área de estudo e determinar os valores de "background" para posterior comparação e avaliação da contribuição do empreendimento nas alterações da qualidade do ar no contexto local. Para o diagnóstico da qualidade do ar foram consideradas as medições dos seguintes parâmetros: SO_2, NO_2, O_3, MP10, MP2,5, CO, PTS.

O entorno da ADA apresenta amplo predomínio de cobertura vegetal típica de Caatinga, baixa densidade demográfica, notando-se a presença de residências dispersas e uso predominantemente rural, sendo os Assentamentos de Morrinhos e Queimadas os mais próximos. A presença de maquinário é escassa, sendo utilizado, quando aplicável, na prática da agricultura em pequena escala.

As principais fontes de emissões atmosféricas identificadas estão relacionadas ao tráfego rodoviário, ocorrências eventuais de queimadas e a suspensão de poeiras pelo vento nas estradas e terrenos sem cobertura vegetal.

Os resultados quantitativos das medições referentes às duas campanhas estão apresentados no Quadro 11.1.2-4 até Quadro 11.1.2-7.

Quadro 11.1.2-4: Resultados da amostragem de Dióxido de Enxofre (SO_2), Material Particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}) e Partículas Totais em Suspensão (PTS)

HORA	MÉDIA DIÁRIA (µG/M³)								LIMITE DO PADRÃO DE QUALIDADE DO AR (µG/M³)
	P1		P2		P3		P4		
	1ª CAMP	2ª CAMP	1ª CAMP	2ª CAMP	1ª CAMP	2ª CAMP	1ª CAMP	2ª CAMP	
	17 A 18/11/20	22 A 23/02/21	18 A 19/11/20	23 A 24/02/21	19 A 20/11/20	24 A 25/02/21	20 A 21/11/20	25 A 26/02/21	
SO_2	11	12	11	10	10	11	11	10	125
$MP_{2,5}$	19	19	18	18	19	19	17	20	60
MP_{10}	31	27	26	32	30	27	28	25	120
PTS	72	57	49	49	65	45	67	64	240

Fonte: Q3A, 2021. Elaboração: Tetra Mais, 2021.

Quadro 11.1.2-5: Resultados da amostragem de Monóxido de Carbono (CO)

HORA	MÁXIMA MÉDIA OCTOHORÁRIA DO DIA (PPM) - MONÓXIDO DE CARBONO - CO								LIMITE DO PADRÃO FINAL MÉDIA OCTOHORÁRIA (PPM)
	P1		P2		P3		P4		
	1ª CAMP	2ª CAMP	1ª CAMP	2ª CAMP	1ª CAMP	2ª CAMP	1ª CAMP	2ª CAMP	
	17 A 18/11/20	22 A 23/02/21	18 A 19/11/20	23 A 24/02/21	19 A 20/11/20	24 A 25/02/21	20 A 21/11/20	25 A 26/02/21	
12:00 - 20:00	0,53	0,43	0,47	0,44	0,45	0,39	0,45	0,45	9
20:00 - 04:00	0,29	0,32	0,52	0,37	0,37	0,28	0,32	0,31	
04:00 - 12:00	0,44	0,37	0,61	0,3	0,28	0,37	0,35	0,35	
MÉDIA	**0,42**	**0,37**	**0,53**	**0,37**	**0,37**	**0,35**	**0,37**	**0,37**	

Fonte: Q3A, 2021. Elaboração: Tetra Mais, 2021.

Quadro 11.1.2-6: Resultados da amostragem de Ozônio (O_3)

HORA	MÁXIMA MÉDIA OCTOHORÁRIA DO DIA (µG/M³) - OZÔNIO (O_3)								LIMITE DO PADRÃO INTERMEDIÁRIO MÉDIA OCTOHORÁRIA (µG/M³)
	P1		P2		P3		P4		
	1ª CAMP	2ª CAMP	1ª CAMP	2ª CAMP	1ª CAMP	2ª CAMP	1ª CAMP	2ª CAMP	
	17 A 18/11/20	22 A 23/02/21	18 A 19/11/20	23 A 24/02/21	19 A 20/11/20	24 A 25/02/21	20 A 21/11/20	25 A 26/02/21	
12:00 - 20:00	55	59	45	76	71	78	73	68	140
20:00 - 04:00	108	50	74	64	64	73	65	42	
04:00 - 12:00	79	36	56	49	36	54	47	49	
MÉDIA	**80,67**	**48,33**	**58,33**	**63,00**	**57,00**	**68,33**	**61,67**	**53,00**	

Fonte: Q3A, 2021. Elaboração: Tetra Mais, 2021.

Quadro 11.1.2-7: Resultados da amostragem de Dióxido de Nitrogênio (NO_2)

HORA	MÉDIA HORÁRIA (µG/M³) - DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO_2)								PADRÃO INTERMEDIÁRIO MÉDIA HORÁRIA (µG/M³)
	P1		P2		P3		P4		
	1ª CAMP	2ª CAMP	1ª CAMP	2ª CAMP	1ª CAMP	2ª CAMP	1ª CAMP	2ª CAMP	
	17 A 18/11/20	22 A 23/02/21	18 A 19/11/20	23 A 24/02/21	19 A 20/11/20	24 A 25/02/21	20 A 21/11/20	25 A 26/02/2021	
12:00	89	84	66	69	86	70	75	78	260
13:00	76	82	67	67	79	65	73	75	260
14:00	70	97	66	68	110	65	76	70	260
15:00	75	69	71	67	79	62	95	73	260
16:00	75	70	68	66	73	59	67	68	260
17:00	74	71	72	64	74	61	65	68	260
18:00	63	51	63	55	60	54	59	62	260
19:00	35	31	43	31	35	47	33	53	260
20:00	30	33	31	32	32	40	33	46	260
21:00	37	35	31	34	36	41	36	39	260
22:00	35	38	38	38	49	39	33	38	260
23:00	35	35	53	36	62	48	33	36	260
00:00	52	34	51	46	55	53	32	44	260
01:00	51	61	42	42	47	52	37	49	260

HORA	MÉDIA HORÁRIA (µG/M³) - DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO_2)								PADRÃO INTERMEDIÁRIO MÉDIA HORÁRIA (µG/M³)
	P1		P2		P3		P4		
	1ª CAMP	2ª CAMP	1ª CAMP	2ª CAMP	1ª CAMP	2ª CAMP	1ª CAMP	2ª CAMP	
	17 A 18/11/20	22 A 23/02/21	18 A 19/11/20	23 A 24/02/21	19 A 20/11/20	24 A 25/02/21	20 A 21/11/20	25 A 26/02/2021	
02:00	42	73	39	43	50	48	42	47	260
03:00	51	81	54	49	53	57	53	55	260
04:00	82	93	66	64	63	64	90	58	260
05:00	105	112	88	101	86	75	101	63	260
06:00	97	96	89	97	88	79	111	65	260
07:00	84	75	84	89	94	80	106	78	260
08:00	76	76	87	85	83	77	97	81	260
09:00	71	70	87	87	88	79	82	83	260
10:00	69	74	85	75	83	74	73	77	260
11:00	65	71	90	67	73	63	85	76	260
MÉDIA	**64,13**	**67,17**	**63,79**	**61,33**	**68,25**	**60,50**	**66,13**	**61,75**	**260**

Fonte: Q3A, 2021. Elaboração: Tetra Mais, 2021.

O poluente O_3 apresentou variações irrelevantes entres os pontos amostrados nas duas campanhas. O maior valor amostrado foi de 81 µg/m³ na primeira campanha que ocorreu no ponto P1 e de 68 µg/m³ na segunda campanha do ponto P3. Esses valores representam 57,8% e 48,5% respectivamente, do padrão intermediário PI-1 de 140 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018.

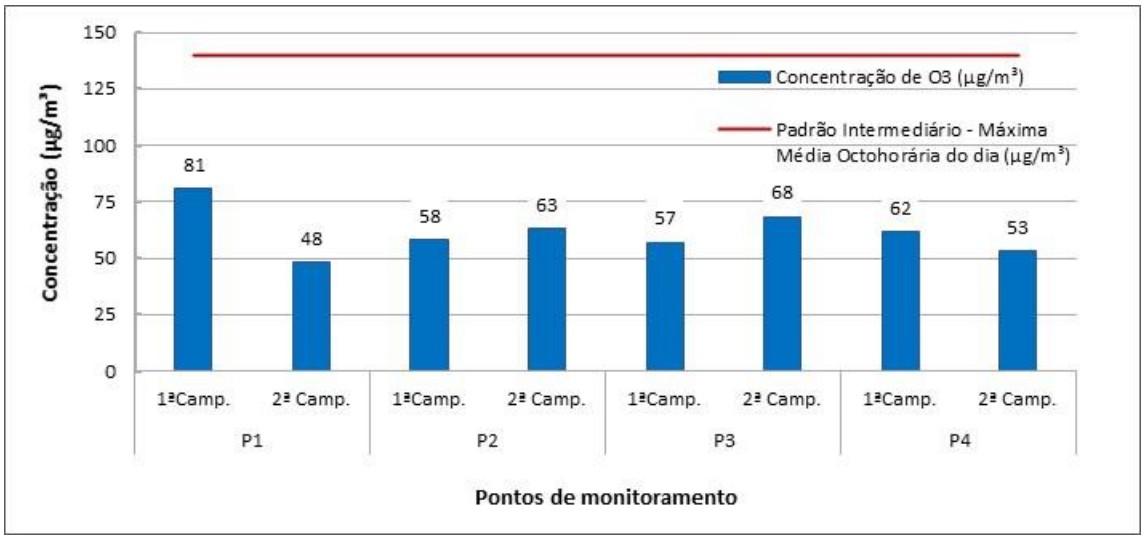


Figura 11.1-41: Resultados da amostragem de O_3.

Elaboração: Tetra Mais, 2021.

As maiores concentrações apresentadas pelo NO_2 foram 68 µg/m³ (primeira campanha) e 67 µg/m³ (segunda campanha) nos pontos P3 e P1 respectivamente, que representam 26% na primeira campanha e 25,7% na segunda campanha em relação ao padrão intermediário PI-1 de 260 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018.

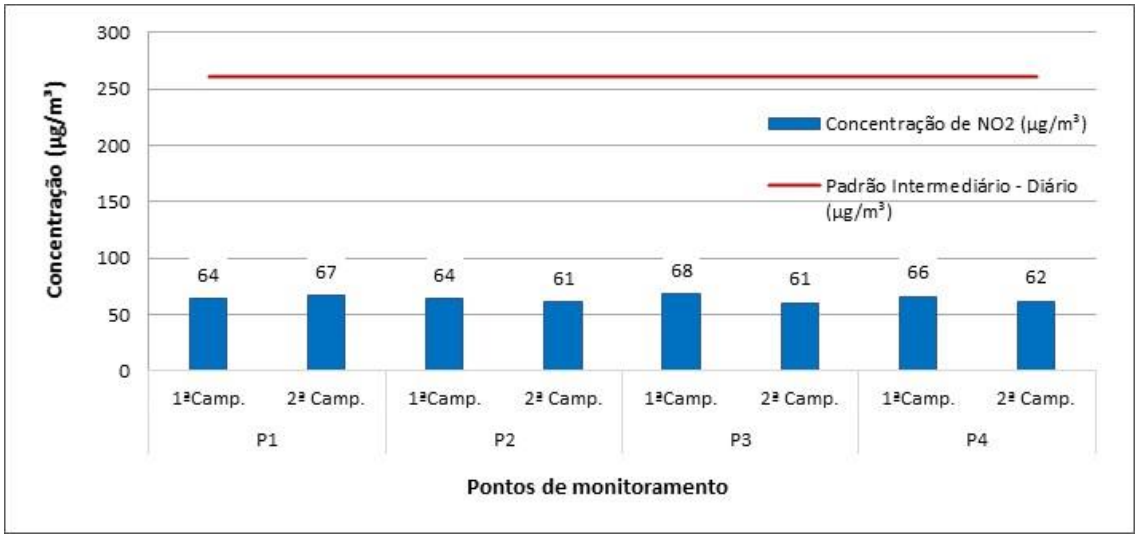


Figura 11.1-42: Resultados da amostragem de NO_2.

Elaboração: Tetra Mais, 2021.

As maiores concentrações de SO_2 foram de 11 µg/m³ (primeira campanha) e 12 µg/m³ (segunda campanha). Esses valores representam 8,8% na primeira campanha e 9,6% na segunda campanha em relação ao padrão intermediário PI-1 de 125 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018. Devido à ausência de chuvas nos dias de amostragens das campanhas, não houve variações relevantes nos valores das concentrações registrados nas duas campanhas.

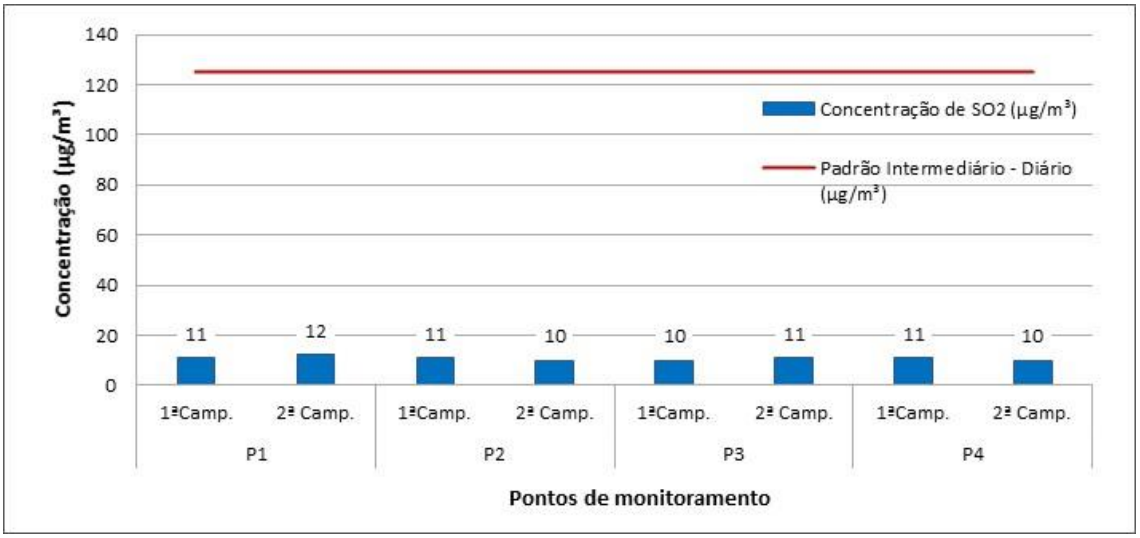


Figura 11.1-43: Resultados da amostragem de SO_2.
Elaboração: Tetra Mais, 2021.

11.1.2.3 Considerações Finais

Os resultados obtidos durante as campanhas de qualidade do ar indicam que os receptores do entorno do futuro empreendimento não estiveram expostos a concentrações de partículas e gases em níveis prejudiciais à saúde, e que as emissões registradas durante as campanhas realizadas não constituíram potencial incômodo aos residentes, nem ofereceram risco de danos à fauna, flora e materiais, uma vez que os valores amostrados para todos os poluentes não alcançaram 60% do limite máximo permitido para cada um deles segundo a Resolução CONAMA nº 491/2018.

Esclarece-se ainda que, o objetivo do presente diagnóstico foi avaliar a situação atual do local e, dessa forma, diz respeito especificamente às campanhas realizadas, o que caracteriza a impossibilidade de projetar conclusões para o futuro. Portanto, nas conclusões do presente diagnóstico ambiental, os resultados das campanhas de monitoramento evidenciam os aspectos da atmosfera da região sem a contribuição do empreendimento.

Esses resultados permitiram avaliar a caracterização dos poluentes na atmosfera local e a determinação do atual nível de concentração de gases e partículas das localidades amostradas, estabelecendo memória de valores base da qualidade do ar para o futuro acompanhamento dos potenciais impactos gerados pelas obras de implantação e pela fase de operação do PSQ.

11.1.3 Ruído e Vibração

11.1.3.1 Considerações Metodológicas

11.1.3.1.1 Pontos de Amostragem

A seleção dos pontos de medição de ruído e vibração foi realizada em função da localização do PSQ, buscando-se preferencialmente receptores sensíveis potencialmente mais expostos aos potenciais ruídos e vibrações das fases de obras e operação, de modo a serem representativos das áreas receptoras de ruído e vibração, sendo os locais em princípio mais críticos da ADA e AID.

Ressalta-se que a escolha dos pontos de medição de ruído foi definida de acordo com o conceito da NBR-10.151-2019, que por se tratar de norma para avaliação de ruído em áreas habitadas, pressupõe que a definição dos locais de interesse para avaliação seja junto a este tipo de receptor, ou seja, residências ou demais ocupações sensíveis ao ruído como instituições de ensino ou de saúde.

Foram selecionados 12 pontos de medição localizados no entorno do empreendimento (Mapa 11.1-3), considerando distâncias com potencial influência do ruído e vibração que poderão ser gerados durante as fases de implantação e operação do projeto, e os principais potenciais receptores situados ao longo da rota de acesso ao empreendimento, onde o incremento do fluxo de veículos pode constituir um potencial agente de alteração das condições de ruídos e/ou vibrações existentes na área de influência do projeto.

As medições de ruído foram realizadas em 10 de novembro de 2020, nos períodos diurno e noturno, e as medições de vibração, no entanto, foram conduzidas apenas durante o período diurno na mesma data. O Quadro 11.1.3-1 apresenta a localização georreferenciada dos pontos de medição.

Quadro 11.1.3-1: Localização dos pontos de medição de ruído e vibração

PONTO	LOCALIDADE	COORDENADAS UTM DATUM - SIRGAS 2000 / ZONA 24M	
		E	N
P-01	PA Queimadas	409.548,929	9.492.880,516
P-02	PA Queimadas	409.127,938	9.494.048,793
P-03	Cantina (Núcleo pertencente ao PA Queimadas)	410.443,848	9.494.456,720
P-04	Fazenda Itataia	411.768,225	9.494.255,355
P-05	Fazenda Itataia	414.647,509	9.495.753,228
P-06	Fazenda Itataia	413.582,974	9.493.231,405
P-07	Fazenda Itataia	414.934,784	9.492.775,440
P-08	Barriguinha	415.878,122	9.491.907,291
P-09	Quixabá (proximidades)	416.942,381	9.491.823,889
P-10	Quixabá	417.489,589	9.491.461,339
P-11	Raposa	423.203,887	9.487.372,440
P-12	Lagoa do Mato	424.638,891	9.486.197,186

Elaboração: Tetra Mais, 2023.

405.000

420.000

9.500.000

9.485.000

Morrinhos

Queimadas

P-01

P-02

P-03

P-04

P-05

P-06

P-07

P-08

P-09

P-10

P-11

P-12

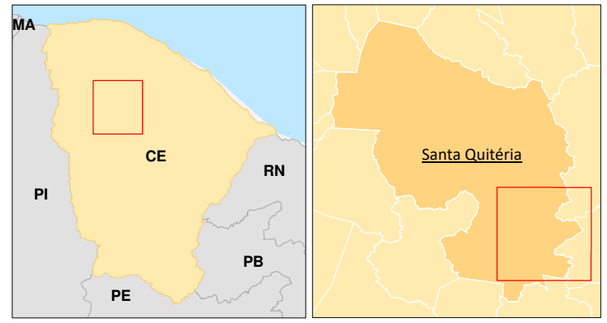
CE 366

CE 168

Rio Groaíras

Lagoa do Ma

Macrolocalização



Legenda

Referências Locacionais

- Localidades
- Limite Municipal
- Áreas Urbanizadas/Edificadas

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)
- Área de Influência Indireta (AII)

Sistema Viário

- Rodovia

Hidrografia

- Rio Groaíras
- Cursos d'água

Cadastro Ambiental Rural (CAR)

- Limite da Fazenda Itataia

Medição de Ruídos e Vibração

- Localização dos Pontos de Medição

Fonte:
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.
Tetra+, 2020. Pontos de ruídos e vibrações.

1:115.000
0 2 4 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria

tetra+

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Localização dos Pontos de Medição de Ruído e Vibração

Formato	Escala	Folha
A3	1:115.000	Única

Data	Localização
31/10/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

11.1.3.1.2 Procedimentos de Medição

O diagnóstico de ruído e vibração do PSQ foi realizado por medições diretas na AID e ADA considerando, para tal, locais com ocupação sensível – áreas com residências – a distâncias com potencial influência do ruído e vibração das fases de implantação e operação do empreendimento e áreas ocupadas ao longo da rota de acesso ao empreendimento, onde o incremento do fluxo de veículos pode constituir um potencial agente de alteração das condições de ruído e/ou vibração.

Em cada ponto selecionado foram feitas medições de nível sonoro com um período de amostragem mínimo de cinco minutos, desde que o valor do LAeq - nível de pressão sonora equivalente estivesse estabilizado (contínuo por um determinado período de tempo). Essa metodologia está de acordo com a ABNT NBR 10.151:2019 - Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral.

As medições de ruído foram feitas com análise estatística dos dados, sendo anotados, entre outros parâmetros, o LAeq, que é o índice de referência legal para o caso em análise, o L90 e o L10. O LAeq representa o nível de ruído que, emitido de forma constante, apresenta a mesma energia da fonte medida na prática. Pode, portanto, ser considerado como o "ruído médio". Já o L90, é o nível de ruído que é ultrapassado 90% do tempo, sendo denominado "ruído de fundo". Finalmente, o L10, é o ruído que é ultrapassado em 10% do tempo sendo, portanto, o nível sonoro máximo, se forem desconsiderados os picos isolados.

A avaliação de vibrações foi feita concomitantemente às medições diurnas dos níveis sonoros, também em amostragens de pelo menos cinco minutos, em cada ponto, tendo sido anotados entre outros parâmetros, a velocidade RMS (valor eficaz da pressão sonora expresso pela raiz quadrada da média dos quadrados) e pico, com utilização de acelerômetro triaxial, permitindo a análise da resultante dos eixos horizontais e do eixo vertical, separadamente. A avaliação de velocidade de partícula em vibração indica o movimento vibratório, de forma linear, de mais simples compreensão, sendo um indicador bastante abrangente para médias frequências (de 10 a 1000 Hz, RMS). Dá, portanto, uma boa indicação da severidade, motivo pelo qual é utilizada a velocidade como parâmetro de avaliação em padrões ambientais e legais.

O resultado em RMS representa a energia média do fenômeno vibratório, considerando o histórico do movimento de vibração, sendo um parâmetro representativo do potencial efeito danoso.

A medição do pico vibratório indica o máximo movimento, a maior amplitude do fenômeno vibratório e, por não considerar o histórico da vibração, indica os choques de curta

duração, sendo esta a referência para os padrões normativos. Em uma análise detalhada devem ser considerados os dois parâmetros conjuntamente, sendo que nos laudos também se apresenta o segundo maior pico de vibração, que dá uma melhor indicação de se tratar ou não de evento isolado.

11.1.3.1.3 Equipamentos Utilizados

Para a realização das medições foram utilizados os seguintes equipamentos:

+ **Medidor de Ruído e Vibrações**: Marca Svantek, modelo 958, nº de série 15813, com análise estatística de dados. O certificado de calibração nº 114.180, emitido em 12/05/2020, pelo laboratório da Chrompack (pertencente à RBC – Rede Brasileira de Calibração, conforme credenciamento nº 256, emitido pelo Cgre/Inmetro), está apresentado no Anexos 11.1.3-1,11.1.3-2,11.1.3-3 do Volume V deste EIA;

+ **Microfone Capacitativo:** Marca Svantek, modelo SV22, nº de série 4013418. O certificado de calibração nº 113.952, emitido em 30/04/2020, pelo laboratório da Chrompack (pertencente à RBC – Rede Brasileira de Calibração, conforme credenciamento nº 256, emitido pelo Cgre/Inmetro), está apresentado no Anexos 11.1.3-1,11.1.3-2,11.1.3-3 do Volume V deste EIA;

+ **Acelerômetro Triaxial**: Marca Dytran, modelo 3233A, nº de série 620. Com certificado de calibração 114.300, emitido em 15/05/2020, pelo laboratório da Chrompack (pertencente à RBC – Rede Brasileira de Calibração, conforme credenciamento nº 256, emitido pelo Cgre/Inmetro), está apresentado Anexos 11.1.3-1,11.1.3-2,11.1.3-3 do Volume V deste EIA

+ **Calibrador Acústico**: Marca Svantek, modelo Svan SV 30A, nº de série 10532. Com certificado de calibração no 113.945, emitido em 30/04/2020, pelo laboratório da Chrompack (pertencente à RBC – Rede Brasileira de Calibração, conforme credenciamento no 256, emitido pelo Cgre/Inmetro); está apresentado no Anexos 11.1.3-1,11.1.3-2,11.1.3-3 do Volume V deste EIA; e

+ **GPS:** Marca Garmim, modelo GPSmap CSx60, com altímetro barométrico.

Todas as avaliações de ruído seguiram os procedimentos da norma ABNT NBR 10151:2019, sendo os equipamentos classificados como de tipo I, de precisão.

11.1.3.1.4 Legislação Aplicável

A. Ruído

No Brasil a legislação pertinente aos níveis de ruído é a Resolução CONAMA nº 1/90, que determina que sejam atendidos os critérios estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, em sua norma técnica ABNT NBR 10.151:2019 (versão corrigida em 2020).

A NBR-10.151 (revisão de 2019, corrigida em 2020) – "Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral", é aplicável para ruídos emitidos em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, e considera recomendável, para conforto acústico, os padrões de ruído apresentados no Quadro 11.1.3-2, a seguir.

Quadro 11.1.3-2: Limites de Ruído conforme NBR 10.151/2019 (versão corrigida em 2020)

TIPOS DE ÁREA	PERÍODO DO DIA	
	DIURNO	NOTURNO
Áreas de residências rurais	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista predominantemente residencial	55	50
Área mista com predominância de atividade comercial e/ou administrativa	60	55
Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: NBR 10.151/2019 (versão corrigida em 2020). Elaboração: Tetra Mais, 2023.

Conforme requerido pela norma ABNT NBR 10.151:2019 (versão corrigida em 2020), a classificação do tipo de uso e ocupação do solo nos pontos receptores medidos deve ser realizada por observação local imediata durante as medições dos níveis sonoros.

Desta forma, a classificação de uso e ocupação nos pontos receptores não representa, necessariamente, o zoneamento oficial do município, pois frequentemente a ocupação real não corresponde a este. Por outro lado, os padrões de ruído são estabelecidos em função da sensibilidade dos agentes receptores, que estão intrinsecamente relacionados com o tipo de ocupação existente.

No contexto deste estudo, admitiu-se preliminarmente que os pontos P-01, P-02, P-03, P-07, P-08, P-09, P-10 e P-11 podem ser classificados como localizados em áreas de residências rurais, onde são recomendados pela NBR 10.151 o nível de ruído de 40 dB(A) para o período diurno e 35 dB(A) para o noturno. O ponto P-12 foi classificado como localizado em área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa, onde são recomendados pela NBR 10.151 o nível de ruído de 60 dB(A) para o período diurno e 55 dB(A) para o noturno. Os pontos P-04, P-05 e P-06 estão localizados dentro da ADA ou dentro da Fazenda Itataia, sendo que nos dois últimos não há receptores, não sendo aplicável o padrão ambiental.

Vale destacar que, na última revisão da NBR 10.151, publicada em 31 de maio de 2019, e corrigida em 2020, foi modificado o critério de comparação do nível de ruído medido com os padrões estabelecidos.

Na aplicação dos padrões, a NBR 10.151:2019 determina que, na avaliação do ruído das obras, caso o nível medido (chamado som total) estiver abaixo dos padrões da tabela, estará de acordo com a norma.

Já, se houver ultrapassagem destes valores, deverá ser feito o cálculo do ruído específico da fonte sonora em análise (o ruído das obras, sem considerar o ruído ambiente), com base nos valores da avaliação prévia, sem as obras, chamado ruído residual.

Desta forma, o ruído específico (só obras), é calculado pela seguinte expressão:

$$Lesp = 10 \cdot \log10 (10^{Ltot/10} - 10^{Lres/10})$$

onde:

Lesp: é o nível de pressão sonora do som específico;

Ltot: é o nível de pressão sonora do som total;

Lres: é o nível de pressão sonora do som residual.

O Lesp deverá ser comparado com os padrões normatizados. Por exemplo, o limite diurno de 55 dB(A) e noturno de 50 dB(A), para áreas mistas com predominância residencial.

O Lres é o som residual: nível de ruído ambiente prévio, sem as obras.

O Ltot é o som total: nível sonoro medido, que engloba tanto o ruído ambiente quanto o eventual ruído das obras.

Por fim, segundo a NBR 10.151:2019 – item 9.2.3, Nota 2, acréscimos de níveis de ruído em até 3 dB(A) sobre o som ambiente (residual) em um dado local, não caracterizam que a fonte sonora em avaliação seja predominante.

Aplicabilidade dos padrões em áreas de preservação: [6]

Em áreas de preservação natural, sem ocupação humana, a aplicabilidade da norma NBR-10.151 e a forma de análise do potencial de poluição sonora é particularizada.

A norma, em suas definições, objetivos e, inclusive, no seu título, se aplica a "áreas habitadas", classificando os pontos receptores (por definição locais com uso habitacional ou outra atividade humana) conforme o tipo de região. Portanto, os padrões são aplicáveis a áreas habitadas e, em princípio, valeriam somente em alguma residência (ou outra ocupação sensível) que porventura exista na área preservada, não sendo o critério adequado para avaliação de potencial de prejuízos à fauna.

Isto porque os padrões da NBR-10.151 foram desenvolvidos com base em respostas humanas ao ruído, enquanto outros animais reagem de forma distinta aos estímulos sonoros, variando enormemente de espécie para espécie, não apenas na intensidade sonora, mas também as diferentes frequências, que podem ser audíveis ou não a cada espécie animal.

Sem dúvida, a depender da intensidade e características de uma fonte antrópica de ruído, que venha a atingir uma área preservada, existe a possibilidade de a fauna reagir de maneiras distintas, com alguns animais se afastando, enquanto outras espécies são menos afetadas pelo ruído, e decorrer em uma quebra do equilíbrio natural daquele ecossistema.

Desta forma, a aplicação direta dos padrões da norma como critério de análise de potencial alterações na fauna não é o procedimento recomendável, sendo estes usados apenas como indicadores. O correto, nestas situações, é uma análise mais subjetiva, considerando a alteração acústica que o empreendimento em análise provoca na área de influência.

Ou seja, se as condições acústicas sofrerem mudanças significativas, começa a haver um potencial de que a fauna sofra influência, com o possível afastamento de algumas espécies. Não é possível se prever como será esta alteração e que efeitos trará na diversidade da fauna, pois se trata apenas de um potencial de alteração, com cada espécie presente reagindo de forma distinta. Portanto, em áreas onde não houver alteração acústica, é possível se descartar a possibilidade de impactos sobre a fauna, decorrentes do ruído. Já

6 Murgel, E. M. - "Fundamentos de Acústica Ambiental", ed. Senac, 2007.

em caso de eventual alteração acústica, caracteriza-se um potencial de efeitos sobre a fauna, mas que não necessariamente irão ocorrer.

Na verdade, em ambientes naturais, ocorrem frequentemente níveis sonoros das fontes naturais superiores aos padrões normativos aplicáveis ao conforto acústico para seres humanos, sendo muito comum estas "desconformidades" ocorrerem no período noturno, visto que os animais notívagos dependem muito mais da comunicação e defesa por sinais sonoros, do que os de hábitos diurnos. Fontes naturais sonoras como cachoeiras, vento em vegetação, trovões, fauna etc., ocorrem sistematicamente em regiões de mata preservada, sem que isto implique em prejuízo à fauna. Isto torna muito subjetivos e variáveis os efeitos do ruído na fauna e, portanto, a inviabilidade e inaplicabilidade de uma análise mais cartesiana do ruído em ambientes naturais.

Portanto, se não houver alteração acústica, há uma segurança de que se manterão as condições naturais da região. Porém, a ocorrência de uma alteração acústica significa apenas um potencial de desequilíbrio da fauna, cujas efetivação e magnitude irão depender de inúmeros fatores relativos ao ambiente e à fonte sonora.

B. Vibração

Não há legislação federal brasileira específica para avaliação de vibração. Entretanto, existem diversos estudos internacionais que visam determinar o grau de incômodo de vibrações sobre o ser humano e em construções. Dentre estes, adotou-se neste estudo o critério de avaliação das possíveis interferências a serem causadas no meio ambiente pelos eventos de vibração, conforme apresentados no Quadro 11.1.3-3 a seguir.

Quadro 11.1.3-3: Níveis Recomendáveis de Vibrações

VELOCIDADE DE PARTÍCULA - PICO (MM/S)	REAÇÃO HUMANA	EFEITOS SOBRE AS CONSTRUÇÕES
0 - 0,15	Imperceptível pela população, não incomoda	Não causam danos de nenhum tipo
0,15 a 0,30	Limiar de percepção - possibilidade de incômodo	Não causam danos de nenhum tipo
2,0	Vibração perceptível	Vibrações máximas recomendadas para ruínas e monumentos antigos
2,5	Vibrações contínuas produzem incômodo na população	Virtualmente, não há risco de dano arquitetural às construções
5	Vibrações incomodativas	Limiar, no qual existe risco de às construções

VELOCIDADE DE PARTÍCULA - PICO (MM/S)	REAÇÃO HUMANA	EFEITOS SOBRE AS CONSTRUÇÕES
10 – 15	Vibrações desagradáveis	Causam danos arquiteturais às residências

Observações: Os valores de velocidade referem-se ao componente vertical da vibração. A medição para avaliação da resposta humana é feita no ponto onde se localiza. Para edificações, o valor refere-se à medição realizada no solo. Considera-se, na aplicação destes parâmetros, os movimentos vibratórios com frequência acima de 3 Hz. As recomendações de níveis de vibração realçadas em azul são adotadas por agências de controle ambiental para avaliações de vibração induzidas à vizinhança. Fonte: Whiffin A. C. and D.R. Leonard, 1971.

Com base nestes e outros critérios, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) instituiu a sua norma específica, conforme DD nº 215/2007/E (Quadro 11.1.3-4), que determina os seguintes padrões de vibrações, aplicáveis a áreas com ocupação humana ou edificações, vigente no Estado de São Paulo, que constitui a única regulamentação ambiental brasileira de vibrações.

Quadro 11.1.3-4: Limites de Velocidade de Vibração do Solo - Pico (mm/s)

TIPOS DE ÁREAS	DIURNO (7:00 ÀS 20:00)	NOTURNO (20:00 ÀS 7:00)
Áreas de hospitais, casas de saúde, creches e escolas	0,3	0,3
Área predominantemente residencial	0,3	0,3
Área mista, com vocação comercial e administrativa	0,4	0,3
Área predominantemente industrial	0,5	0,5

Obs.: Estes limites devem ser verificados diferenciadamente nos planos horizontal e vertical.

Para a avaliação de condições ambientais de vibração no solo, onde os fenômenos geradores destas são aleatórios e dispersos, podendo se originar em qualquer sentido do plano horizontal e, considerando, também, que a norma CETESB determina que a avaliação deverá ser feita diferenciadamente para os planos horizontal e vertical, é recomendável que a medição seja feita com um acelerômetro triaxial, de modo a se obter, concomitantemente, os níveis de vibração no eixo vertical e em dois eixos horizontais.

Com esta metodologia, os níveis obtidos nos dois eixos horizontais devem ser somados vetorialmente, segundo a segundo, determinando o valor máximo de vibração neste eixo, a cada instante e, assim, obtendo-se o máximo pico horizontal, como preconiza a norma CETESB.

11.1.3.2 Caracterização da Área de Influência Direta (AID) e da Área Diretamente Afetada (ADA)

11.1.3.2.1 Dados Obtidos

Foram avaliados 12 pontos na área em estudo, representativos dos pontos receptores vizinhos à ADA do PSQ e sua rota de acesso. As medições de ruído ocorreram nos períodos diurno e noturno, conforme os procedimentos da norma NBR 10.151:2019 (versão corrigida em 2020).

O Quadro 11.1.3-5 a seguir, apresenta os níveis de pressão sonora diurno e noturno medidos nos pontos amostrados, assim como a indicação das fontes sonoras predominantes identificadas.

Quadro 11.1.3-5: Níveis de pressão sonora do ambiente acústico do PSQ

PONTO	NÍVEL DE RUÍDO - LAEQ (DB(A))		FONTE SONORA PREDOMINANTE
	DIURNO	NOTURNO	
P-01	42,4	33,1	Diurno: Fauna. Noturno: Fauna.
P-02	45,9	38,6	Diurno: Fauna e animais domésticos (galinhas). Noturno: Fauna
P-03	42,7	35,4	Diurno: Fauna e vento na vegetação. Noturno: Fauna e tráfego na região.
P-04	43,9	31,5	Diurno: Vento na vegetação. Noturno: Fauna.
P-05	36,8	31,9	Diurno: Fauna e vento na vegetação. Noturno: Fauna.
P-06	49,7	33,8	Diurno: Fauna e vento na vegetação. Noturno: Fauna.
P-07	49,2	34,9	Diurno: Fauna e vento na vegetação. Noturno: Fauna.
P-08	41,4	35,1	Diurno: Vento na vegetação. Noturno: Fauna, cachorros e tráfego de veículos.
P-09	37,3	30,3	Diurno: Vento na vegetação e vozes. Noturno: Fauna.
P-10	42,3	30,5	Diurno: Fauna e vento na vegetação. Noturno: Fauna.

PONTO	NÍVEL DE RUÍDO - LAEQ (DB(A))		FONTE SONORA PREDOMINANTE
	DIURNO	NOTURNO	
P-11	46,3	29,7	Diurno: Fauna, vento na vegetação e tráfego de veículos. Noturno: Fauna.
P-12	61,6	52,1	Diurno: Tráfego de veículos. Noturno: Fauna e tráfego de veículos.

Elaboração: Tetra Mais, 2020.

Conforme apresentado no quadro anterior, as principais fontes sonoras observadas nos pontos amostrados durante o período diurno foram os sons de fauna e de vento na vegetação, sendo identificado em pontos isolados sons de tráfego de veículos (P-11 e P-12), de vozes (P-09) e de animais domésticos (P-02). No período noturno a principal fonte sonora identificada foram os sons de fauna, com identificação pontual de sons de tráfego de veículos nos pontos P-03, P-08 e P-12.

O ponto com maior nível de ruído amostrado foi o ponto P-12, localizado no distrito de Lagoa do Mato, cujas fontes sonoras registradas foram sons de fauna, vento na vegetação e tráfego de veículos, este resultado é esperado por se tratar do único ponto localizado em uma área urbanizada. Nos demais locais, por estarem em área rural, foram predominantes os ruídos de origem natural – fauna e, eventualmente, vento na vegetação.

No que se refere à vibração, foram verificados picos perceptíveis em todos os pontos avaliados, mas em níveis sem o potencial de danos às pessoas ou edificações (Quadro 11.1.3-6).

Quadro 11.1.3-6: Medições de vibração - Velocidade Pico (mm/s)

PONTOS	VERTICAL		HORIZONTAL		OBSERVAÇÃO
	1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA	1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA	
P-01	0,376	0,363	0,385	0,305	Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde
P-02	0,610	0,589	0,379	0,374	Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde
P-03	1,059	0,813	1,016	0,669	Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde

PONTOS	VERTICAL		HORIZONTAL		OBSERVAÇÃO
	1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA	1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA	
P-04	0,525	0,519	0,472	0,443	Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde
P-05	0,484	0,447	0,306	0,278	Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde
P-06	0,589	0,490	0,700	0,519	Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde
P-07	0,794	0,750	0,367	0,318	Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde
P-08	0,575	0,562	0,386	0,356	Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde
P-09	0,447	0,385	0,346	0,304	Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde
P-10	0,841	0,724	0,560	0,528	Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde
P-11	0,485	0,451	0,741	0,692	Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde
P-12	0,427	0,407	0,662	0,577	Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde

Observação: Os valores máximos apresentados têm o objetivo de indicar se o maior pico de vibração foi um evento isolado. Elaboração: Tetra Mais, 2021.

Interessante observar que estes picos de vibração também, como o ruído, têm origem natural visto que, com exceção do ponto 12 (onde os valores medidos foram de mesma ordem de grandeza dos demais pontos), não há atividade humana nestes locais, como por exemplo tráfego pesado de veículos ou atividades industriais, que poderiam gerar os picos de vibração. Trata-se, portanto, de movimentação natural do solo na região.

As informações detalhadas de cada ponto de amostragem estão apresentadas na Ficha 1 até Ficha 12.

Ficha 1: Ponto de medição (P-01).

PONTO P-01, NA LOCALIDADE PA QUEIMADAS
Localização:

Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000)

Zona	Easting	Northing
24M	409549	9492881

CAMPANHA	NÍVEL DE RUÍDO - L_{AEQ} (DB(A))		VELOCIDADE PICO (MM/S)			
	DIURNO	NOTURNO	VERTICAL		HORIZONTAL	
			1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA	1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA
Avaliação Prévia novembro/2020	42,4	33,1	**0,376**	0,363	**0,385**	0,305

Área de residências rurais (NBR-10.151): padrão de ruído diurno 40 dB(A) e noturno 35 dB(A).

+ Fonte sonora predominante:

  Diurno: Fauna.
  Noturno: Fauna.

+ Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde.

Ficha 2: Ponto de medição (P-02).

PONTO P-02, NA LOCALIDADE PA QUEIMADAS
Localização:

Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000)

Zona	Easting	Northing
24M	409128	9494049

CAMPANHA	NÍVEL DE RUÍDO - L_{AEQ} (DB(A))		VELOCIDADE PICO (MM/S)			
	DIURNO	NOTURNO	VERTICAL		HORIZONTAL	
			1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA	1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA
Avaliação Prévia novembro/2020	45,9	38,6	**0,610**	0,589	**0,379**	0,374

Área de residências rurais (NBR-10.151): padrão de ruído diurno 40 dB(A) e noturno 35 dB(A).

+ Fonte sonora predominante:

  Diurno: Fauna e animais domésticos (galinhas).
  Noturno: Fauna.

+ Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde.

Ficha 3: Ponto de medição (P-03).

PONTO P-03, NA LOCALIDADE CANTINA (NÚCLEO PERTENCENTE AO PA QUEIMADAS)
Localização: Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000) Zona Easting Northing 24M 410444 9494457

CAMPANHA	NÍVEL DE RUÍDO - L_{AEQ} (DB(A))		VELOCIDADE PICO (MM/S)			
	DIURNO	NOTURNO	VERTICAL		HORIZONTAL	
			1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA	1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA
Avaliação Prévia novembro/2020	42,7	35,4	**1,059**	0,813	**1,016**	0,669

Área de residências rurais (NBR-10.151): padrão de ruído diurno 40 dB(A) e noturno 35 dB(A).

+ Fonte sonora predominante:

  Diurno: Fauna e vento na vegetação.
  Noturno: Fauna e tráfego na região.

+ Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde.

Ficha 4: Ponto de medição (P-04).

PONTO P-04, NA FAZENDA ITATAIA

Localização: Sede da Fazenda Itataia

Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000)

Zona	Easting	Northing
24M	411768	9494255

CAMPANHA	NÍVEL DE RUÍDO - L_{AEQ} (DB(A))		VELOCIDADE PICO (MM/S)			
	DIURNO	NOTURNO	VERTICAL		HORIZONTAL	
			1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA	1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA
Avaliação Prévia novembro/2020	43,9	31,5	**0,525**	0,519	**0,472**	0,443

Ponto em frente à Sede da Fazenda da INB (Fazenda Itataia).

Área de residências rurais (NBR-10.151): padrão de ruído diurno 40 dB(A) e noturno 35 dB(A). No entanto, se trata de ponto interno ao empreendimento, não cabendo a análise de impactos ambientais neste local.

+ Fonte sonora predominante:

  Diurno: Vento na vegetação.
  Noturno: Fauna.

+ Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde.

Ficha 5: Ponto de medição (P-05).

PONTO P-05, NA FAZENDA ITATAIA
Localização: Entrada da galeria Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000) Zona 24M — Easting 414648 — Northing 9495753

CAMPANHA	NÍVEL DE RUÍDO - L_{AEQ} (DB(A))		VELOCIDADE PICO (MM/S)			
	DIURNO	NOTURNO	VERTICAL		HORIZONTAL	
			1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA	1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA
Avaliação Prévia novembro/2020	36,8	31,9	**0,484**	0,447	**0,306**	0,278

Ponto na Fazenda Itataia, dentro da ADA, próximo à entrada da galeria de amostragem G3, não aplicável padrão ambiental, ausência de receptores.

+ Fonte sonora predominante:

  Diurno: Fauna e vento na vegetação.
  Noturno: Fauna.

+ Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde.

Ficha 6: Ponto de medição (P-06).

PONTO P-06, NA FAZENDA ITATAIA
Localização:

Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000)

Zona	Easting	Northing
24M	413583	9493231

CAMPANHA	NÍVEL DE RUÍDO - L_{AEQ} (DB(A))		VELOCIDADE PICO (MM/S)			
	DIURNO	NOTURNO	VERTICAL		HORIZONTAL	
			1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA	1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA
Avaliação Prévia novembro/2020	49,7	33,8	**0,589**	0,490	**0,700**	0,519

Ponto na Fazenda Itataia próximo ao Açude localmente conhecido como Quixaba, ausência de receptores, portanto não aplicáveis padrões.

+ Fonte sonora predominante:

  Diurno: Fauna e vento na vegetação.
  Noturno: Fauna.

+ Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde.

Ficha 7: Ponto de medição (P-07).

PONTO P-07, NA FAZENDA ITATAIA
Localização: Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000) Zona 24M — Easting 414935 — Northing 9492775

CAMPANHA	NÍVEL DE RUÍDO - L_{AEQ} (DB(A))		VELOCIDADE PICO (MM/S)			
			VERTICAL		HORIZONTAL	
	DIURNO	NOTURNO	1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA	1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA
Avaliação Prévia novembro/2020	49,2	34,9	**0,794**	0,750	**0,367**	0,318

Área de residências rurais (NBR-10.151): padrão de ruído diurno 40 dB(A) e noturno 35 dB(A).

+ Fonte sonora predominante:

  Diurno: Fauna e vento na vegetação.
  Noturno: Fauna.

+ Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde.

Ficha 8: Ponto de medição (P-08).

PONTO P-08, NA LOCALIDADE BARRIGUINHA
Localização: Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000) Zona 24M — Easting 415878 — Northing 9491907

CAMPANHA	NÍVEL DE RUÍDO - L_{AEQ} (DB(A))		VELOCIDADE PICO (MM/S)			
	DIURNO	NOTURNO	VERTICAL		HORIZONTAL	
			1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA	1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA
Avaliação Prévia novembro/2020	41,4	35,1	**0,575**	0,562	**0,386**	0,356

Área de residências rurais (NBR-10.151): padrão de ruído diurno 40 dB(A) e noturno 35 dB(A).

+ Fonte sonora predominante:

  Diurno: Vento na vegetação.
  Noturno: Fauna, cachorros e tráfego de veículos.

+ Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde.

Ficha 9: Ponto de medição (P-09).

PONTO P-09, NAS PROXIMIDADES DA LOCALIDADE QUIXABÁ
Localização:

Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000)

Zona	Easting	Northing
24M	416942	9491824

CAMPANHA	NÍVEL DE RUÍDO - L_{AEQ} (DB(A))		VELOCIDADE PICO (MM/S)			
	DIURNO	NOTURNO	VERTICAL		HORIZONTAL	
			1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA	1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA
Avaliação Prévia novembro/2020	37,3	30,3	**0,447**	0,385	**0,346**	0,304

Área de residências rurais (NBR-10.151): padrão de ruído diurno 40 dB(A) e noturno 35 dB(A).

+ Fonte sonora predominante:

  Diurno: Vento na vegetação e vozes.
  Noturno: Fauna.

+ Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde.

Ficha 10: Ponto de medição (P-10).

PONTO P-10, NA LOCALIDADE QUIXABÁ
Localização: Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000) Zona Easting Northing 24M 417490 9491461

CAMPANHA	NÍVEL DE RUÍDO - L_{AEQ} (DB(A))		VELOCIDADE PICO (MM/S)			
	DIURNO	NOTURNO	VERTICAL		HORIZONTAL	
			1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA	1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA
Avaliação Prévia novembro/2020	42,3	30,5	**0,841**	0,724	**0,560**	0,528

Área de residências rurais (NBR-10.151): padrão de ruído diurno 40 dB(A) e noturno 35 dB(A).

+ Fonte sonora predominante:

  Diurno: Fauna e vento na vegetação.
  Noturno: Fauna.

+ Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde.

Ficha 11: Ponto de medição (P-11).

PONTO P-11, NA LOCALIDADE RAPOSA
Localização: Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000) Zona 24M — Easting 423204 — Northing 9487372

CAMPANHA	NÍVEL DE RUÍDO - L_{AEQ} (DB(A))		VELOCIDADE PICO (MM/S)			
	DIURNO	NOTURNO	VERTICAL		HORIZONTAL	
			1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA	1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA
Avaliação Prévia novembro/2020	46,3	29,7	**0,485**	0,451	**0,741**	0,692

Área de residências rurais (NBR-10.151): padrão de ruído diurno 40 dB(A) e noturno 35 dB(A).

+ Fonte sonora predominante:

  Diurno: Fauna, vento na vegetação e tráfego de veículos.
  Noturno: Fauna.

+ Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde.

Ficha 12: Ponto de medição (P-12).

PONTO P-12, EM LAGOA DO MATO
Localização: PA Morrinhos

Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000)

Zona	Easting	Northing
24M	424639	9486197

CAMPANHA	NÍVEL DE RUÍDO - L_{AEQ} (DB(A))		VELOCIDADE PICO (MM/S)			
	DIURNO	NOTURNO	VERTICAL		HORIZONTAL	
			1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA	1ª MÁXIMA	2ª MÁXIMA
Avaliação Prévia novembro/2020	61,6	52,1	**0,427**	0,407	**0,662**	0,577

Área mista com predominância de atividade comercial e/ou administrativa (NBR-10.151): padrão de ruído diurno 60 dB(A) e noturno 55 dB(A).

+ Fonte sonora predominante:

  Diurno: Tráfego de veículos.
  Noturno: Fauna e tráfego de veículos.

+ Picos de vibração perceptíveis, sem potencial de danos às edificações e à saúde.

11.1.3.2.2 Análise do Dados

A maior parte dos receptores estão localizados em área de residências rurais, onde são recomendados pela NBR 10.151:2019 (versão corrigida em 2020) o nível de ruído de 40 dB(A) para o período diurno e 35 dB(A) para o noturno. As exceções são representadas pelo ponto P-12, localizado em área mista com predominância de atividade comercial e/ou administrativa, onde são recomendados pela NBR 10.151:2019 (versão corrigida em 2020) o nível de ruído de 60 dB(A) para o período diurno e 55 dB(A) para o noturno, e pelos pontos P-04, P-05 e P-06, localizados dentro da Fazenda Itataia, sendo que nos dois últimos não há receptores e, portanto, não são aplicáveis os padrões da norma.

A comparação do Lres medido com o padrão (RLAeq) indicado na NBR 10.151:2019 (versão corrigida em 2020) está apresentado no Quadro 11.1.3-7 e na Figura 11.1-44 e Figura 11.1-45 a seguir.

Quadro 11.1.3-7: Comparação do Lres (dB) medido com o padrão normativo

Ponto	Nível de Ruído (DB(A))			
	Padrão		Medido Prévio (Lres)	
	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno
1	40,0	35,0	42,4	33,1
2	40,0	35,0	45,9	38,6
3	40,0	35,0	42,7	35,4
4	n.a.	n.a.	43,9	31,5
5	n.a.	n.a.	36,8	31,9
6	n.a.	n.a.	49,7	33,8
7	40,0	35,0	49,2	34,9
8	40,0	35,0	41,4	35,1
9	40,0	35,0	37,3	30,3
10	40,0	35,0	42,3	30,5
11	40,0	35,0	46,3	29,7
12	60,0	55,0	61,6	52,1

Elaboração: Tetra Mais, 2023.

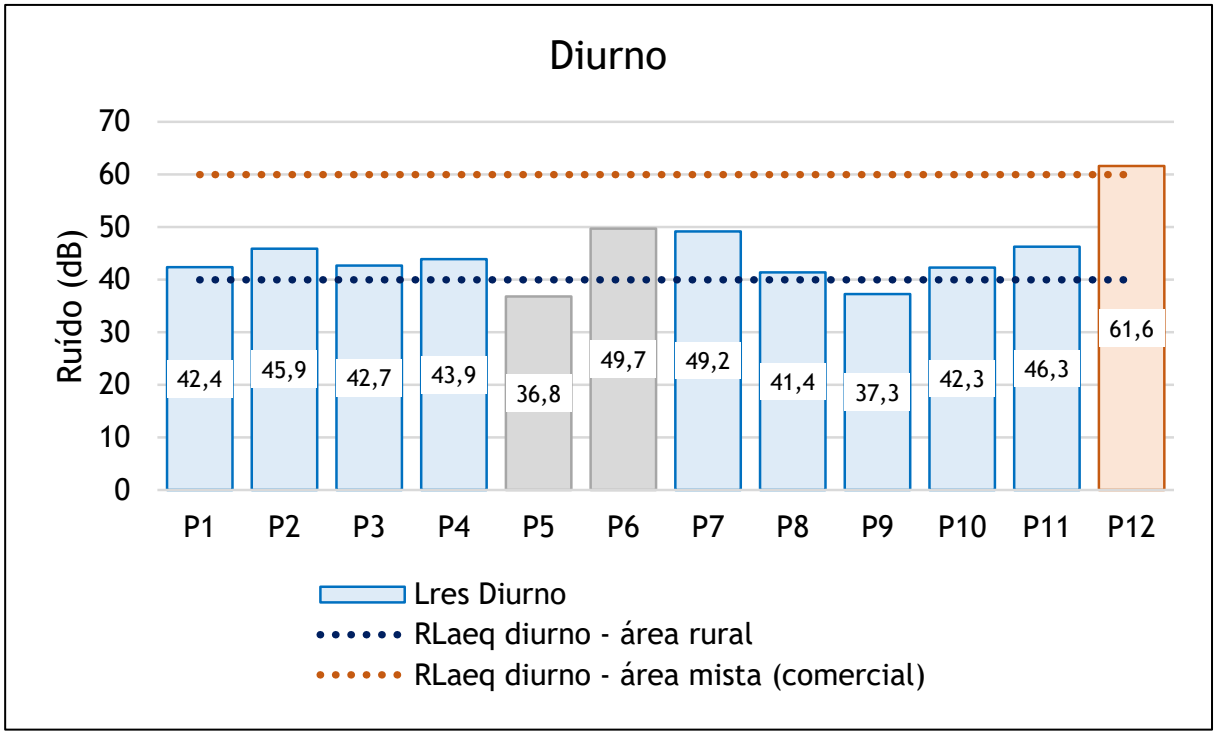


Figura 11.1-44: Comparação do Lres com o RLAeq - diurno.

Elaboração: Tetra Mais, 2020.

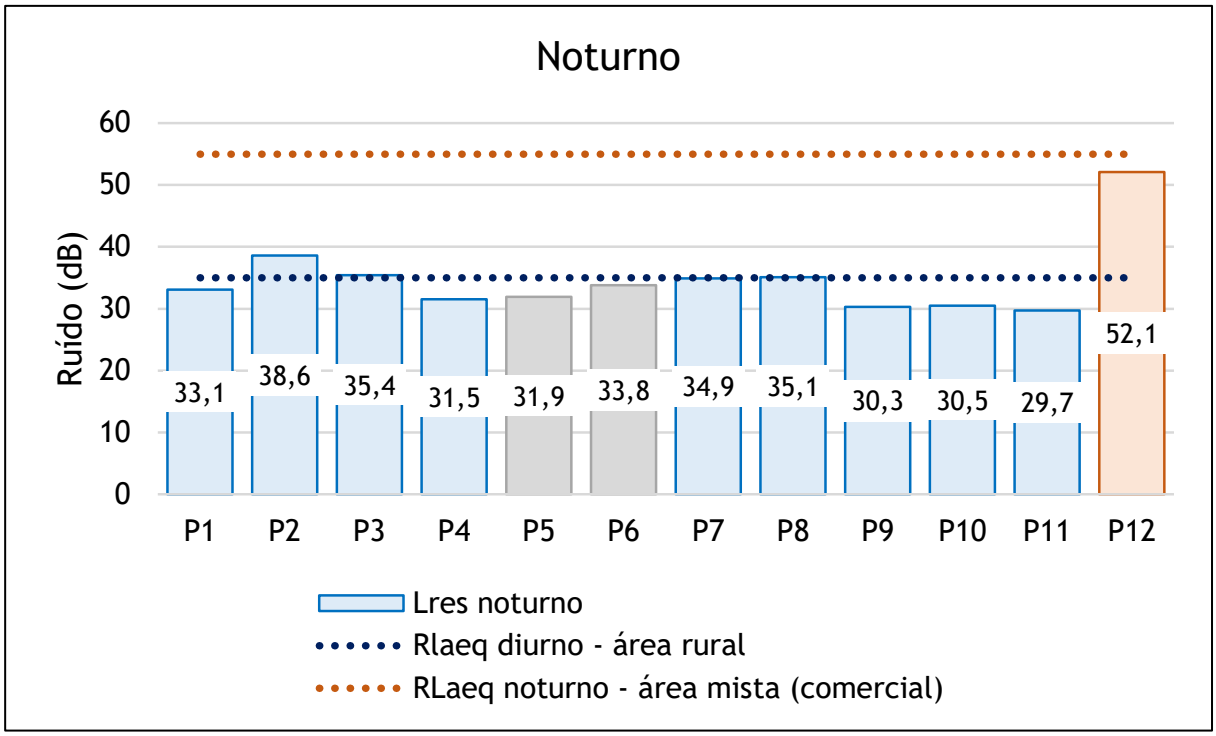


Figura 11.1-45: Comparação do Lres com o RLAeq - noturno.

Elaboração: Tetra Mais, 2020.

Apesar de se tratar de área predominantemente rural, sem fontes sonoras significativas além do ruído de fauna, em vários pontos verificou-se ultrapassagem dos padrões estipulados pela ABNT para este tipo de área. Isto ocorre com relativa frequência em avaliações em áreas rurais, particularmente à noite, pois os padrões normatizados para áreas rurais pressupõem praticamente uma ausência de fontes sonoras, ignorando o fato de que ao haver fauna na região, certamente ocorrerão os sons pertinentes e, muitas vezes, em níveis acima dos padrões.

Os resultados das medições indicaram que o atual nível de pressão sonora residual - Lres das localidades amostradas ultrapassam o limite de emissão sonora determinado pela NBR 10.151:2019, no período diurno, em 8, dos 9 pontos com receptores avaliados, fora da ADA, demonstrando que atualmente já se verifica a alteração dos padrões acústicos causada por fontes naturais (fauna) de ruído em 7 destes pontos, e no P-12, onde a influência de tráfego de veículos na área urbanizada era a fonte sonora predominante. No período noturno, a ultrapassagem ocorre em apenas 3 pontos (P-2, P-3 e P-8), dos 9 pontos com receptores avaliados.

Destaca-se que os valores obtidos nesta campanha serão referência para futuras avaliações durante o período de obras e operação do empreendimento, conforme os critérios da NBR-10151:2019 (versão corrigida em 2020).

Como já apresentado na descrição da NBR-10.151:2019 (versão corrigida em 2020), o Som Específico (apenas do empreendimento) – Lesp – não deve ultrapassar os padrões da norma, e é calculado pela diferença logarítmica do som total (Ltot) que é o nível efetivamente medido, que incluirá o ruído ambiente e do empreendimento, subtraído do som residual (Lres) - ruído ambiente que é o nível sonoro medido neste diagnóstico, pré-existente ao empreendimento. Fazendo o cálculo ao contrário, determina-se o máximo Som Total que poderá ocorrer na fase de obras ou operação do empreendimento, de forma que o Som Específico resultante não ultrapasse o respectivo padrão aplicável em cada ponto e período.

O Quadro 11.1.3-8 a seguir, apresenta o padrão aplicável de ruído em cada ponto receptor, os resultados medidos durante a campanha prévia, nos dois períodos, e os valores máximos calculados conforme a metodologia descrita na NBR 10.151/2019 (versão corrigida em 2020), que deverão servir como referência no futuro monitoramento, durante as fases de obras e operação.

Quadro 11.1.3-8: Padrão aplicável de ruído nos pontos receptores

Ponto	Nível de Ruído (dB(A))					
	Padrão		Medido Prévio (Lres)		Limite Fase Obras/Operação (Ltot)	
	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno
1	40,0	35,0	42,4	33,1	44,4	37,2
2	40,0	35,0	45,9	38,6	46,9	40,2
3	40,0	35,0	42,7	35,4	44,6	38,2
4	n.a.	n.a.	43,9	31,5	n.a.	n.a.
5	n.a.	n.a.	36,8	31,9	n.a.	n.a.
6	n.a.	n.a.	49,7	33,8	n.a.	n.a.
7	40,0	35,0	49,2	34,9	49,7	38,0
8	40,0	35,0	41,4	35,1	43,8	38,1
9	40,0	35,0	37,3	30,3	41,9	36,3
10	40,0	35,0	42,3	30,5	44,3	36,3
11	40,0	35,0	46,3	29,7	47,2	36,1
12	60,0	55,0	61,6	52,1	63,9	56,8

Elaboração: Tetra Mais, 2021.

Com relação às vibrações, também foram verificados picos perceptíveis em todos os pontos avaliados, mas em níveis sem o potencial de danos à saúde ou às edificações, o que também é um indicativo de que ocorrem, naturalmente, picos vibratórios acima do que os padrões normativos determinam como ideais.

11.1.3.3 Considerações Finais

Conforme apresentado anteriormente, a locação dos pontos de medição considerou a proximidade dos eventuais receptores com relação ao empreendimento, conforme as diretrizes da norma NBR-10.151:2019 (versão corrigida em 2020).

O nível de pressão sonora residual - Lres nas localidades amostradas, ultrapassam o limite determinado pela NBR 10.151:2019, no período diurno, em 8, dos 9 pontos com receptores avaliados fora da Fazenda Itataia. Esse resultado aponta que já ocorre alteração dos padrões acústicos durante o período diurno, basicamente causada por fontes naturais (fauna), exceto no P-12, localizado em área urbanizada, onde houve influência de ruído de veículos automotores. No período noturno, esta alteração foi registrada em três dos 9 pontos

avaliados fora da Fazenda Itataia. Apesar dos registros de picos de vibrações, os níveis registrados não possuem potencial de danos à saúde ou às edificações.

11.1.4 Geomorfologia

11.1.4.1 Considerações Metodológicas

Os estudos geomorfológicos realizados na área de estudo do PSQ tiveram por objetivo caracterizar os tipos de relevos, considerando-se as características litológicas, estruturais e geotectônicas responsáveis pelos aspectos da morfoestrutura, e as características morfológicas responsáveis pela morfoescultura do relevo.

Os estudos foram realizados com base na compilação e análise de dados bibliográficos e cartográficos preexistentes e estudos ambientais anteriores.

O Mapa Geomorfológico da AII foi elaborado com base no mapa geomorfológico produzido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2019, na escala 1:250.000. Os mapas hipsométrico e de declividade foram produzidos a partir Modelo Digital de Elevação (MDE) adquiridos da base de dados do projeto Topodata[7], um banco de dados geomorfométricos do Brasil, elaborados e refinados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, que disponibiliza o MDE e suas derivações em cobertura nacional com células de 30 metros de resolução, elaborados a partir dos dados do programa *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM, da Agência Aeroespacial dos Estados Unidos – NASA.

Para a AID e ADA foi adotado o detalhamento das unidades de relevo proposta pela ARCADIS LOGOS (2014), cujos critérios utilizados correspondem a uma adaptação da proposta original de Ponçano *et al.* (1979).

Para caracterização da área de estudo também foram considerados os dados primários obtidos no levantamento topográfico georreferenciado atualizado em 2021 (AKISE, 2021) e inspeções técnicas ao longo das etapas de campo, realizadas em novembro de 2020 e junho de 2021, pela Tetra Mais.

[7] http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php.

11.1.4.2 Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII)

A região de estudo se encontra inserida no domínio morfoestrutural dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos, caracterizado por planaltos, alinhamentos serranos e depressões interplanálticas elaborados em terrenos dobrados e falhados, incluindo principalmente metamórficos e granitóides associados (IBGE, 2009).

Na região destacam-se duas macrounidades geomorfológicas, correspondentes aos Maciços Residuais Sertanejos (Planalto Sertanejo) e à Depressão Sertaneja. Tais unidades são caracterizadas, geneticamente, por formas de relevo de degradação desenvolvidas sobre rochas pré-cambrianas, com a ocorrência predominante de relevo de colinas e morrotes, nas áreas de depressão, e montanhoso nas áreas do planalto.

Os Maciços Residuais Sertanejos (IBGE, 2019) ou Planalto Sertanejo (RADAM, 1981), recobrem cerca de 25% da AII e se caracterizam por um conjunto de sistemas de relevos dissecados, de altitudes relativamente elevadas, variando entre máximos e mínimos de 650m e 1.000m.

Configuram-se como relevos residuais que se sobressaem na paisagem e, normalmente, associam-se a terrenos pré-cambrianos que apresentam intenso padrão de dobramento e falhamentos, que se refletem no relevo através de alinhamentos de cristas de morros e morrotes.

Na região de estudo correspondem a importantes acidentes topográficos, como a Serra do Céu, Serra das Cacimbas, Serra da Mata Fome, Serra das Laranjeiras e Serra Trapiá, que constituem grandes divisores de águas da região.

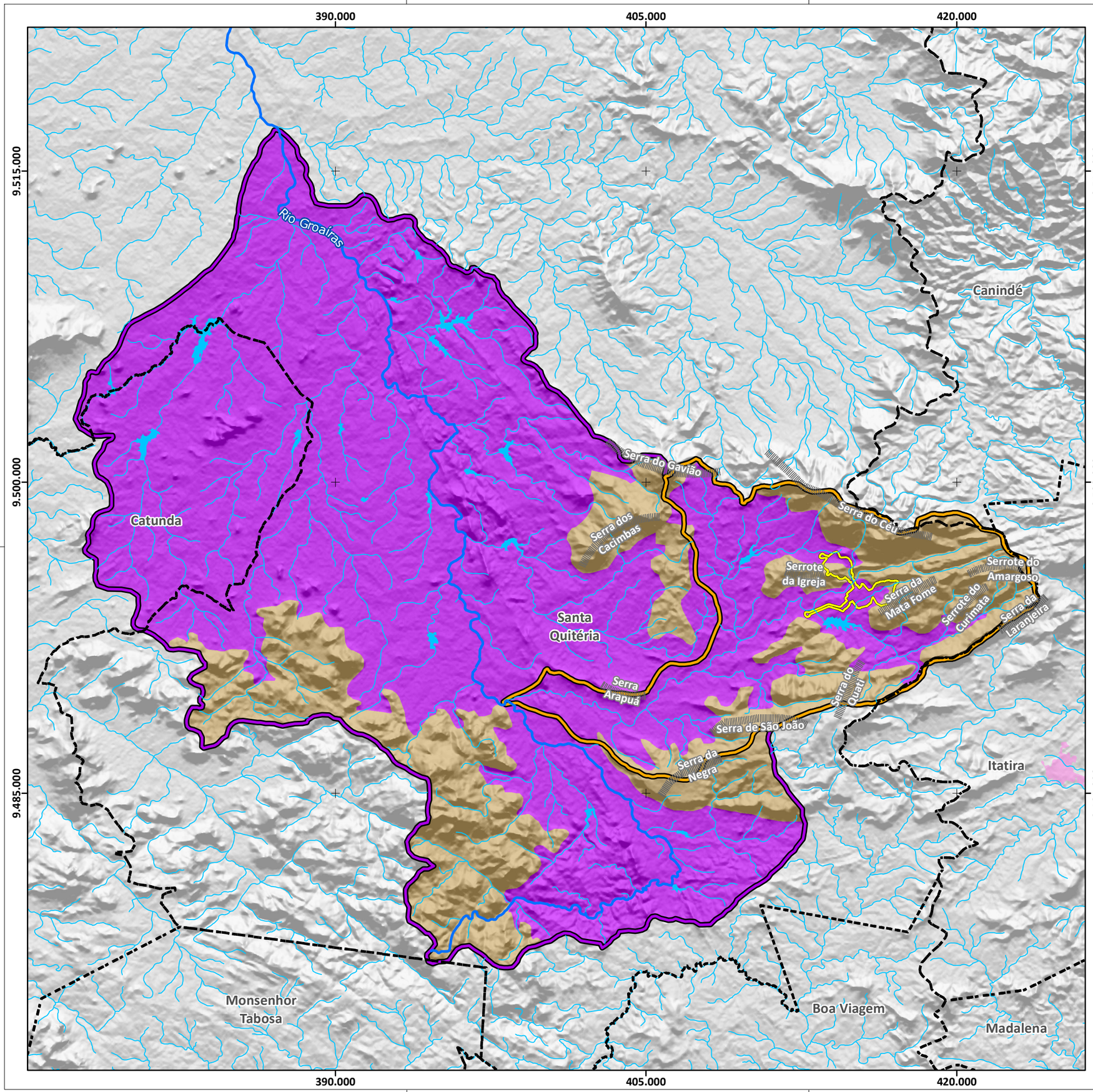
A Depressão Sertaneja é caracterizada por relevo relativamente plano com superfície dissecada, suavemente ondulada. Esta unidade ocupa cerca de 75% da AII e é representada por um pediplano desenvolvido sobre rochas pré-cambrianas expostas a um intenso processo erosivo associado à regressão de escarpas.

Em geral, apresenta relevo predominantemente constituído por colinas e morrotes rebaixados. Entretanto, destacam-se na paisagem algumas elevações de testemunhos reliquiares (inselbergs), que formam conjuntos de pequenos morros com altitudes entre 180 m e 650 m.

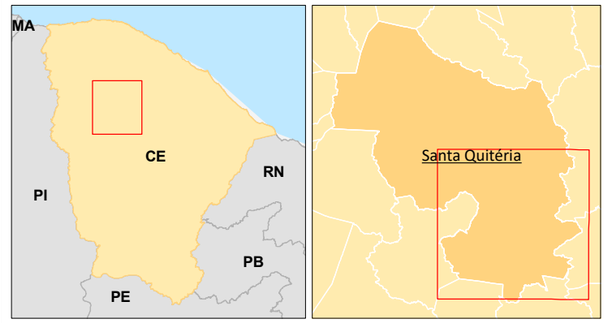
As feições de dissecação comumente observadas nessa unidade correspondem a formas convexas e tabulares com diferentes ordens de grandeza e aprofundamento de drenagem. As principais formas correspondem a relevos de topo convexo, limitados por vales em “V”

ou, eventualmente, por vales apresentando fundo plano. As feições tabulares correspondem a relevos de topo plano separados, geralmente, por vales também apresentando fundo aplainado (RADAM, 1981).

O Mapa 11.1-4 apresenta as grandes unidades geomorfológicas que ocorrem na região de estudo.



Macrolocalização



Domínio Morfoestrutural dos Cinturões Móveis

Fonte:
IBGE, 2019. Geomorfologia, 1:250.000.
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

0 2 4 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria

tetra+

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Mapa Geomorfológico da AII

Formato	Escala	Folha
A3	1:185.000	Única

Data	Localização
27/10/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

Conforme apresentado no Mapa 11.1-4, o relevo associado à Depressão Sertaneja ocorre em todas as áreas da AII, com destaque para as porções central e leste. Tais áreas correspondem às regiões topograficamente rebaixadas da área de estudo, com altitudes variando entre 214,8 m e 578,9 m (Mapa 11.1-5). Dentro dos limites da AII, esta unidade é caracterizada por relevo pouco movimentado caracterizado por predominância de áreas planas a onduladas onde a declividade normalmente é inferior a 20% (Mapa 11.1-6).

Associado a essa unidade também ocorrem colinas e morrotes com morros esparsos, constituindo típicos inselbergs. Tais elevações apresentam declividades mais acentuadas, podendo exceder 75%, e constituem formas locais com cristas alinhadas, orientadas segundo as principais direções estruturais da área (preferencialmente NW-SE).

Na região de estudo, a Depressão Sertaneja se desenvolve, principalmente, sobre rochas de composição granítica pertencentes ao Complexo Tamboril/Santa Quitéria e, de maneira subordinada, aos metassedimentos do Grupo Itataia. A maior parte da área apresenta relevo com topos tabulares notando-se também a ocorrência de topo convexo e aguçado.

O Planalto Residual Sertanejo ocorre, principalmente, nas porções centro-leste e centro sul da AII. Dentro dos limites da AII esta unidade apresenta, predominantemente, relevo montanhoso, constituindo os terrenos mais altos e declivosos, com altitudes variando entre 326,3 m e 1.084,1 m (Mapa 11.1-5) e declividades normalmente superior a 20% (Mapa 11.1-6).

As áreas topograficamente mais elevadas, com amplitudes acima de 300 m, apresentam relevo tipicamente montanhoso, de topo pouco aplainado, vertentes íngremes e ravinadas, localmente desfeitas em anfiteatros.

De acordo com Alcântara e Silva (2003), a Serra do Céu, presente na porção nordeste da AII, com 1.085 m de altura, é o ponto culminante na região, sendo o segundo mais alto do estado do Ceará, constituindo o importante divisor de águas das Bacias dos rios Curú e Acaraú. Tal morfologia ocorre associada a rochas metassedimentares paleoproterozóicas do Grupo Itataia e apresenta afinidades com relevo de “cuestas”, com mergulho suave para norte e escarpas íngremes, localmente verticalizadas.

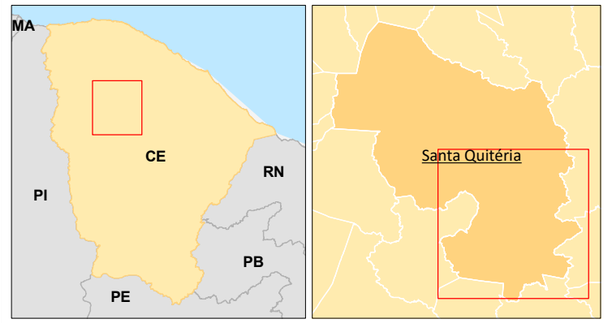
390.000 405.000 420.000

9.515.000 9.500.000 9.485.000

Canindé
Catunda
Santa Quitéria
Itatira
Monsenhor Tabosa
Boa Viagem
Madalena

Serra do Gavião
Serra do Céu
Serra dos Cacimbas
Serrote da Igreja
Serra da Mata Fome
Serrote do Amargoso
Serrote do Curumata
Serra da Laranjeira
Serra do Quati
Serra Arapuá
Serra de São João
Serra da Negra
Rio Groaíras

Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional

- Limite Municipal
- Áreas Urbanizadas/Edificadas

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)
- Área de Influência Indireta (AII)

Hidrografia

- Rio Groaíras
- Cursos d'água
- Massas d'água

Elementos Fisiográficos Naturais

- Serras

Hipsometria (m)

Até 300 m | 300 - 400 | 400 - 500 | 500 - 600 | 600 - 700 | 700 - 800 | 800 - 900 | 900 - 1000 | >1000

Fonte:
INPE, 2008. Topodata. Hipsometria.
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:185.000
0 2 4 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

CONSÓRCIO Santa Quitéria

tetra+

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Mapa Hipsométrico da AII

Formato	Escala	Folha
A3	1:185.000	Única

Data	Localização
27/10/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

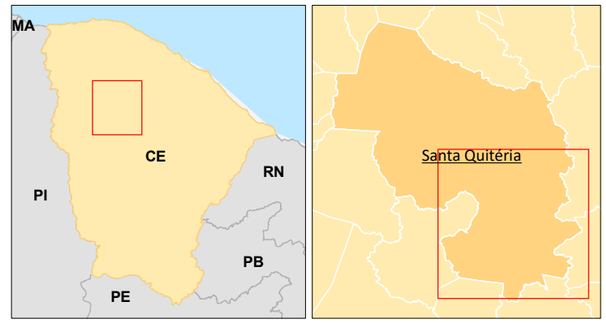
390.000 405.000 420.000

9.515.000 9.500.000 9.485.000

Catunda
Canindé
Santa Quitéria
Itatira
Monsenhor Tabosa
Boa Viagem
Madalena

Serra do Gavião
Serra do Céu
Serra dos Cacimbas
Serrote da Igreja
Serra da Mata Fome
Serrote do Curimata
Serrote do Amargoso
Serra da Laranjeira
Serra Arapuá
Serra do Quati
Serra de São João
Serra da Negra
Rio Groaíras

Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional
- Limite Municipal
- Áreas Urbanizadas/Edificadas

Áreas de Influência
- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)
- Área de Influência Indireta (AII)

Hidrografia
- Rio Groaíras
- Cursos d'água
- Massas d'água

Elementos Fisiográficos Naturais
- Serras

Declividade (graus)
- 0° - 5°
- 5° - 10°
- 10° - 15°
- 15° - 20°
- 20° - 30°
- 30° - 45°
- > 45°

Fonte:
INPE, 2008. Topodata. Hipsometria.
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:185.000
0 2 4 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria

tetra+

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Mapa de Declividade da AII

Formato	Escala	Folha
A3	1:185.000	Única

Data	Localização
27/10/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

11.1.4.3 Contexto Local – Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA)

Conforme destacado anteriormente, para a AID e ADA foi adotado o detalhamento das unidades de relevo proposta pela ARCADIS LOGOS (2014), cujos critérios utilizados correspondem a uma adaptação da proposta original de Ponçano *et al*. (1979). No Quadro 11.1.4-1 estão detalhados os domínios geomorfológicos e elementos de relevo adotados e no Mapa 11.1-7 é ilustrada a área de ocorrência e são apresentados os perfis topográficos.

Quadro 11.1.4-1: Domínios geomorfológicos e elementos de relevo da AID/ADA

A. Depressão Sertaneja	A.1. Relevo de Colinas e Morrotes: Padrão de drenagem subdendrítica a subparalela; altitudes entre 180 m e 400 m; declividade predominantemente inferior a 15°.	A.1.1. Relevo de colinas alongadas: Amplitude de até 100 m; declividade predominantemente inferior a 5°, com pontos dispersos e localizados com declividade entre 5° e 15°; comprimento de onda entre 2000 m e 6000 m; vertentes predominantemente retilíneas em níveis intermediários, próximo à rede de drenagens as vertentes tendem a ser côncavas e nos interflúvios convexas; a elongação média dos interflúvios é de 25%.
	A.2. Relevo de Morros e colinas: Padrão de drenagem subdendrítica; altitudes entre 180 m e 600 m; declividade entre 5° e 45°.	A.2.1. Relevo de Morros Isolados: Amplitude acima de 100 m; declividade predominantemente entre 10° e 45°; comprimento de onda entre 1600 m e 7000 m; vertentes predominantemente côncavas próximo à rede de drenagens e convexas próximo aos interflúvios, com pequenas porções retilíneas em níveis intermediários; a elongação média dos interflúvios é de 25%.
		A.2.2. Relevo de Colinas: Amplitude de até 100 m; declividade de até 15°, comprimento de onda entre 1600 m e 7600 m; vertentes predominantemente retilíneas em níveis intermediários. Próximo à rede de drenagens, as vertentes tendem a ser côncavas e nos interflúvios convexas; a elongação média dos interflúvios é de 40%.
B. Maciços Residuais Sertanejos (Planalto	B.1. Relevo de Morros e Montanhas Baixas: Padrão de drenagem subdendrítica; altitudes entre	B.1.1. Relevo de Morros: Amplitude de até 300 m; declividade de até 30°; comprimento de onda entre 3000 m e 8000 m; vertentes predominantemente côncavas próximo à rede de drenagens e

Residual Sertanejo)	500 m a 850 m; declividade de até 45º.	convexas e retilíneas próximo aos interflúvios; a elongação média dos interflúvios é de 45%, com padrão alongado.
		B.1.2. Relevo de Montanhas Baixas: Amplitude acima de 300 m; declividade entre 15º e 30º; comprimento de onda entre 3000 m e 5000 m; vertentes predominantemente côncavas próximo à rede de drenagens e convexas próximo aos interflúvios; a elongação média dos interflúvios é de 50%.
	B.2. Relevo de Montanhas e Serras alongadas: Padrão de drenagem subdendrítica e retangular; altitudes entre 400 m e 1083 m; declividade de até 58º.	B.2.2. Relevo de Serras alongadas: Amplitude acima de 300 m; declividade predominantemente entre 15º e 45º; comprimento de onda entre 3000 m e 7000 m; vertentes predominantemente côncavas próximo à rede de drenagens e convexas próximo aos interflúvios; a elongação média dos interflúvios é de 45%.

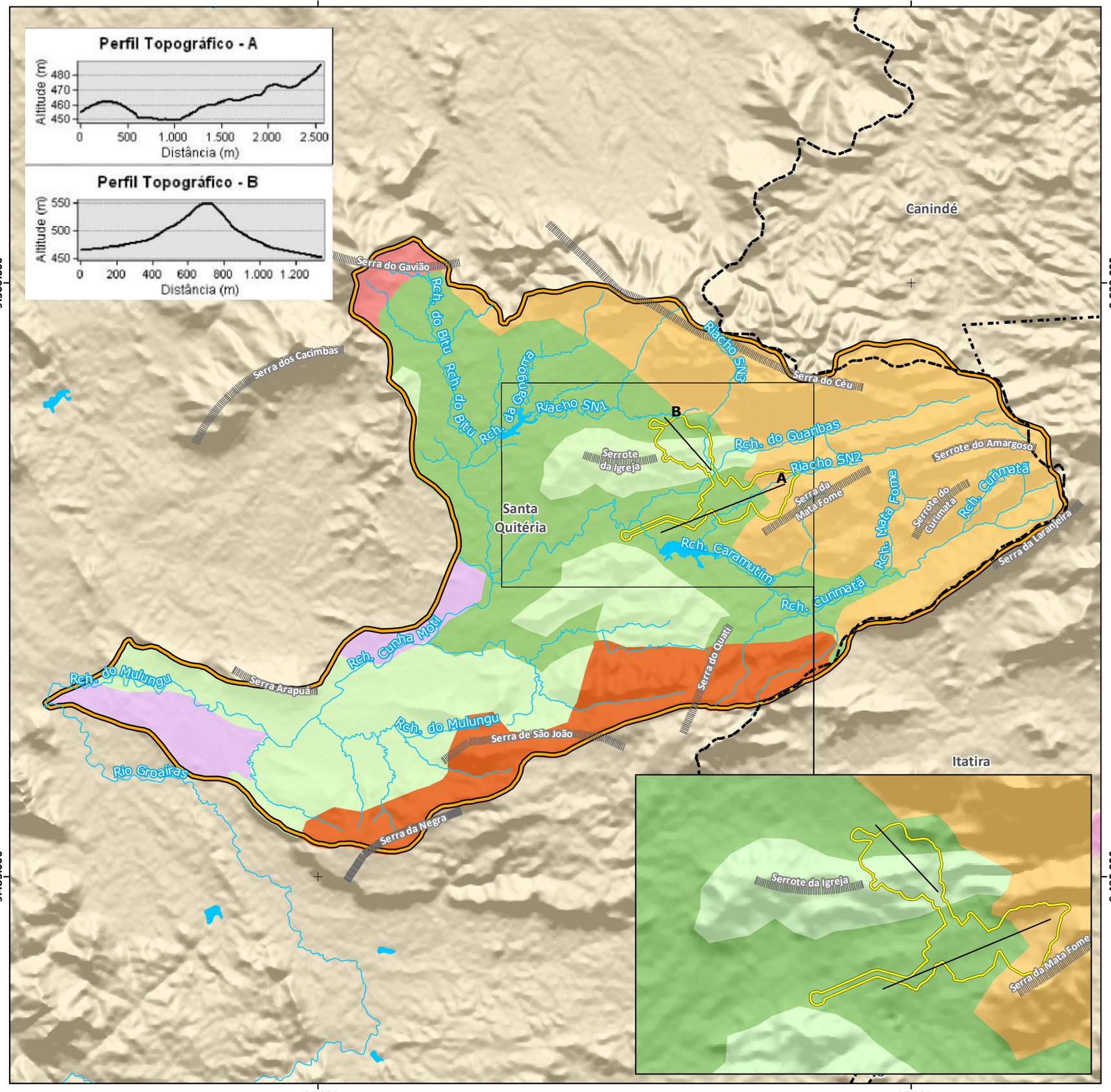
Elaboração: Tetra Mais, 2023. Adaptado de: ARCADIS LOGOS, 2014.

405.000

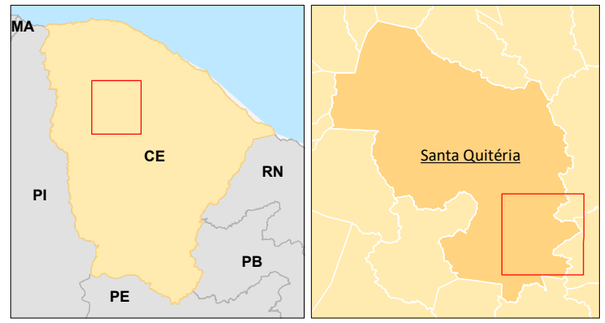
420.000

9.500.000

9.485.000



Macrolocalização



Referência Locacional
- Limite

Áreas de
- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)

- Cursos
- Massas d'água

Elementos Fisiográficos Naturais
- Serras

Elementos do

Depressão
- A.1.1 - Relevo de colinas e morrotes com predomínio de colinas alongadas
- A.2.1 - Relevo de morros e colinas com predomínio de morros isolados
- A.2.2 - Relevo de morros e colinas com predomínio de colinas

Planalto Residual
- B.2.2 - Relevo de montanhas e serras alongadas com predomínio de serras alongadas
- B.1.2 - Relevo de morros e montanhas baixas com predomínio de montanhas baixas
- B.1.1 - Relevo de morros e montanhas baixas com predomínio de morros

Fonte:
ARCADIS LOGOS, 2014.Unidades de Relevo.
Adap. Ponçano et al. (1979).
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

0 2 4 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

CONSÓRCIO Santa Quitéria

tetra+

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Geomorfológico da AID/ADA

Formato	Escala	Folha
A3	1:100.000	Única

Data	Localização
27/11/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

Conforme apresentado no Mapa 11.1-7, assim como a AII, a AID e ADA estão inseridas em duas unidades de relevo regionais, designadas Maciços Residuais Sertanejos (Planalto Residual Sertanejo) e Depressão Sertaneja. Os perfis topográficos A e B representam as formas de relevo presentes na Área Diretamente Afetada, sendo o Perfil A composto pelas duas unidades de relevo regionais e o Perfil B contemplando elementos do relevo presentes na unidade de relevo Depressão Sertaneja.

A Depressão Sertaneja ocorre na maior parte da AID/ADA e caracteriza-se pela presença de unidades de relevo ligadas a Colinas e Morrotes (A.1) e de Morros e Colinas (A.2). Em linhas gerais, a Depressão Sertaneja é constituída por formas de relevo de degradação em planaltos dissecados, associada à ocorrência de rochas gnáissicas da Formação Barrigas e litotipos calciossilicáticos pertencentes à Formação Alcantil. Tais unidades geológicas se encontram intensamente deformadas e ocorrem intercaladas, formando corpos lenticulares alongados segundo a estruturação regional. Os processos de denudação e formação escultural do relevo são representados pelo marcante controle da litologia e da geologia estrutural da área decorrente da denudação do antigo substrato rochoso. Planícies aluviais formadas por sedimentos quaternários inconsolidados ocorrem junto às principais drenagens da região central da área, como o riacho Cunha-Moti, no qual predominam terrenos baixos topograficamente aplainados (Figura 11.1-53 e Figura 11.1-56).

O relevo de Colinas e Morrotes (A.1) ocupa a porção sudoeste e pequena área da borda centro oeste da AID, sendo representada pela microunidade de Relevo de colinas e morrotes com predomínio de colinas alongadas (A.1.1). Esta compartimentação geomorfológica é caracterizada pela predominância de formas de topo arredondado com perfis predominantemente retilíneos nas porções intermediárias, côncavos próximos às drenagens e convexos nos interflúvios. De modo geral, a rede de drenagem apresenta densidade baixa, com padrão subdendrítico. O relevo se caracteriza por declividades abaixo de 5°, podendo atingir 14° nas encostas de algumas colinas (Mapa 11.1-9). As altitudes máximas podem atingir 423 m, ao passo que as áreas mais rebaixadas, próximas aos riachos Cunha-Moti e Mulungu, apresentam altitude entre 319 m e 380 m (Mapa 11.1-8). As amplitudes predominantes observadas nesta compartimentação apresentam valores inferiores a 100 m. Dentro dos limites da área, esta compartimentação do relevo está relacionada às rochas gnáissicas da Formação Barrigas e aos migmatitos do Complexo Tamboril.

O relevo de Morros e Colinas (A.2) se distribui pela porção centro sul e norte da AID e é representado por duas microunidades: Relevo de morros e colinas com predomínio de morros isolados (A.2.1), e Relevo de morros e colinas com predomínio de colinas (A.2.2).

A microunidade de relevo de morros e colinas com predomínio de morros isolados (A.2.1) caracteriza-se pela presença de elevações topográficas solitárias com amplitudes entre 100 m e 300 m. Os morros, em geral, apresentam topos arredondados com perfis côncavos próximo às drenagens, convexos nos interflúvios, e vertentes retilíneas nas porções intermediárias. De modo geral, a rede de drenagem apresenta densidade relativamente baixa, com padrão subdendrítico. O relevo se caracteriza por declividades entre 5° e 15°, podendo atingir 30° nas encostas dos morros isolados. As declividades abaixo de 15°, comumente, restritas aos topos de alguns morros e à planície do riacho Cunha-Moti encontra-se desenvolvida sobre rochas metassedimentares do Grupo Itataia, especificamente sobre os litotipos gnáissicos pertencentes à Formação Barrigas e calciossilicáticas da Formação Alcantil. Nesta unidade, destaca-se o Serrote da Igreja, onde se encontra a Jazida Itataia (Figura 11.1-51 e Figura 11.1-55).

A microunidade de relevo de morros e colinas com predomínio de colinas (A.2.2) é caracterizada por um relevo relativamente plano, predominantemente constituído por colinas baixas, com interflúvios sem orientação preferencial e topos arredondados. Os perfis das vertentes apresentam forma côncava próximo às drenagens e convexa nos interflúvios, nos quais as porções intermediárias tendem a ser retilíneas, com declividades normalmente inferiores a 5°. De modo geral, pode-se afirmar que a rede de drenagem apresenta densidade média a alta, com padrão subdendrítico. Esta compartimentação do relevo se caracteriza por declividades predominantemente inferiores a 5°, podendo, pontualmente, atingir 10° nas encostas das colinas topograficamente mais elevadas (Mapa 11.1-9).

Os Maciços Residuais Sertanejos (Planalto Residual Sertanejo) ocorrem nas bordas leste, norte e sul da AID, caracterizando-se pelo Relevo de Morros e Montanhas Baixas (B.1) e pelo Relevo de Montanhas e Serras alongadas (B.2). Representam um conjunto de maciços montanhosos que se destacam em meio as formas de relevo de cotas baixas formadas pela Depressão Sertaneja. São relevos residuais geradas por processos de erosão diferencial, preservando rochas graníticas e quartzíticas, mais resistentes ao intemperismo e à erosão em relação ao embasamento cristalino a sua volta.

O Relevo de Morros e Montanhas Baixas (B.1) se concentra na borda leste e no extremo noroeste da AID e é representado por duas microunidades: morros e montanhas baixas com predomínio de morros (B.1.1) e morros e montanhas baixas com predomínio de montanhas baixas (B.1.2).

A microunidade de morros e montanhas baixas com predomínio de morros (B.1.1) se caracteriza por apresentar predomínio de declividades entre 15° e 25°, podendo localmente atingir 30°. As declividades com valores acima de 15° ocorrem de forma restrita às vertentes

dos morros (Mapa 11.1-9). As altitudes máximas podem atingir 730 m, enquanto no vale do riacho Mulungu, as altitudes oscilam entre 350 m e 400 m (Mapa 11.1-8). A Serra do Quati compõe a principal elevação topográfica deste compartimento geomorfológico. Esta serra ocorre, de maneira geral, condicionada à estruturação geológica regional, apresentando direção preferencial ENE-WSW. Os quartzitos da Formação Laranjeiras perfazem as encostas destas serras, enquanto suas cristas são constituídas por gnaisses migmatizados da Formação Serra do Céu. O vale do rio Cunha-Moti foi entalhado em rochas calciossilicáticas e mármores da Formação Alcantil.

A microunidade de morros e montanhas baixas com predomínio de montanhas baixas (B.1.2) caracteriza-se pelo relevo de degradação formado por montanhas baixas de amplitude acima de 300 m e declividades máximas de 30º. Nesta área, as serras com amplitudes acima de 300 m apresentam, em geral, cristas alongadas com topos pouco aplainados, perfis côncavos próximos às drenagens e convexos nos interflúvios, sendo que as altitudes máximas podem atingir 760 m (Mapa 11.1-8). As Serras do Gavião e das Cacimbas compõem as principais elevações topográficas deste compartimento geomorfológico. Os quartzitos da Formação Laranjeiras perfazem as cristas destas serras, ao passo que suas encostas são constituídas por gnaisses migmatizados da Formação Serra do Céu e da Formação Barrigas.

O Relevo de Montanhas e Serras alongadas (B.2) ocorre na porção norte da AID e na porção nordeste da ADA. É representado pela microunidade das montanhas e serras alongadas com predomínio de serras alongadas (B.2.2), caracterizada pelo relevo de degradação com serras com amplitudes acima de 300 m, que apresentam cristas alongadas com topos pouco aplainados, perfis côncavos próximos às drenagens e convexos nos interflúvios. A declividade varia entre 15° e 35°, e pontualmente até 47° (Mapa 11.1-9). As declividades abaixo de 15° estão restritas aos topos de alguns morros e à base das encostas (Mapa 11.1-9Mapa 11.1-6). As altitudes máximas podem atingir 1.085 m (Mapa 11.1-8), enquanto no vale do riacho das Guaribas, a principal drenagem deste compartimento de relevo, as altitudes oscilam em torno de 440 m a 500 m e estão associadas a amplitudes médias de 500 m. A Serra do Céu (Figura 11.1-50, Figura 11.1-52, Figura 11.1-53 e Figura 11.1-54), Serra da Mata Fome (Figura 11.1-48 e Figura 11.1-49) e Serra das Laranjeiras, que compõem as principais elevações topográficas deste compartimento geomorfológico, estão condicionadas à estruturação geológica regional, apresentando direção preferencial NE-SW. Os quartzitos da Formação Laranjeiras perfazem as cristas destas serras, ao passo que suas encostas são constituídas por gnaisses migmatizados da Formação Serra do Céu e da Formação Barrigas. Os vales dos principais rios e riachos dessa região foram entalhados em

rochas calciossilicáticas e mármores da Formação Alcantil. O Mapa 11.1-8 e o Mapa 11.1-9 apresentam, respectivamente, a hipsometria e declividade da AID e ADA.

405.000

420.000

9.500.000

9.485.000

Santa Quitéria

Canindé

Itatira

Boa Viagem

Serra do Gavião

Serra dos Cacimbas

Serra do Cati

Rch. do Bitu

Rch. da Gangorra

Riacho SN1

Riacho SN3

Rch. do Guaribas

Riacho SN2

Serrote da Igreja

Serrote do Amargoso

Rch. do Bitu

Serra da Mata Fome

Rch. Mata Fome

Serrote do Curimatã

Rch. Curimatã

Rch. Caramutim

Serra da Laranjeira

Rch. Cunha Mota

Rch. Curimatã

Serra do Questi

Rch. do Mulungu

Serra Arapuá

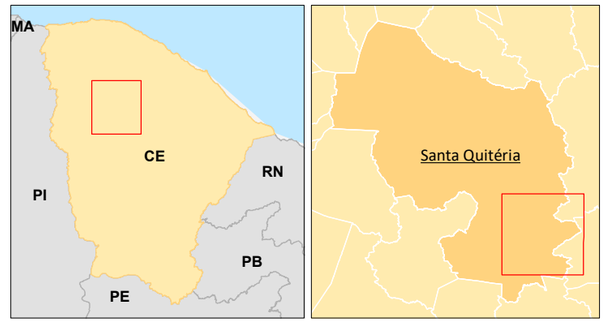
Rch. do Mulungu

Serra de São João

Serra da Negra

Rio Groaíras

Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional

Limite Municipal

Áreas de Influência

Área Diretamente Afetada (ADA)

Área de Influência Direta (AID)

Hidrografia

Cursos d'água

Massas d'água

Elementos Fisiográficos Naturais

Serras

Hipsometria (m)

Até 300 m

300 - 400

400 - 500

500 - 600

600 - 700

700 - 800

800 - 900

900 - 1000

> 1000

Fonte:
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
INPE, 2008. Topodata. Hipsometria.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:100.000

0 2 4 km

Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria

tetra+

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Hipsométrico AID/ADA

Formato	Escala	Folha
A3	1:100.000	Única

Data	Localização
27/11/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

405.000

420.000

9.500.000

9.485.000

Santa Quitéria

Canindé

Itatira

Boa Viagem

Serra do Gavião

Serra do Céu

Serra dos Cacimbas

Rch. do Bitu

Rch. da Gangorra

Riacho SN1

Riacho SN3

Rch. do Guaribas

Riacho SN2

Serrote da Igreja

Serrote do Amargoso

Serra da Mata Fome

Rch. Mata Fome

Serrote do Curimatá

Rch. Curimatá

Serra da Laranjeira

Rch. Caramutim

Rch. Cunha Mori

Serra Arapuá

Rch. do Mulungu

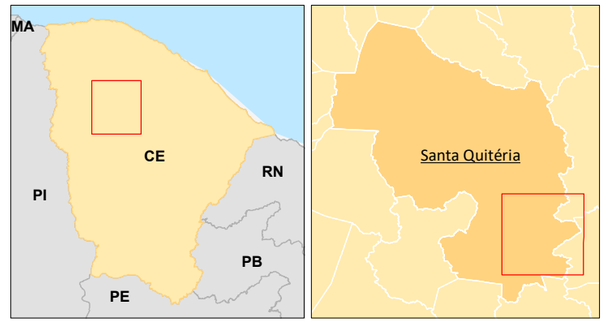
Serra de São João

Serra do Quati

Rio Groaíras

Serra da Negra

Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional

Limite Municipal

Áreas de Influência

Área Diretamente Afetada (ADA)

Área de Influência Direta (AID)

Hidrografia

Cursos d'água

Massas d'água

Elementos Fisiográficos Naturais

Serras

Declividade (graus)

0 - 5

5 - 10

10 - 15

15 - 20

20 - 30

30 - 45

> 45

Fonte:
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
INPE, 2008. Topodata. Declividade.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:100.000

0 2 4 km

Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

CONSÓRCIO Santa Quitéria

tetra+

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Declividade AID/ADA

Formato	Escala	Folha
A3	1:100.000	Única

Data	Localização
27/11/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

Conforme apresentado no Mapa 11.1-8, as características do relevo variam consideravelmente dentro dos limites da área de estudo, apresentando altitudes entre 320 m e 1.075 m, e declividades oscilando entre 0° e 47° (Mapa 11.1-9). As cotas e declividades mais altas ocorrem na região nordeste da área e correspondem às serras do Céu, da Mata Fome e da Laranjeira, ao passo que as cotas e declividades mais baixas ocorrem na região sudoeste da área, acompanhando a planície dos riachos Cunha-Moti e Mulungu.

Dentro dos limites estipulados para a AID, a quebra no relevo entre o planalto e a depressão é marcada pela transição entre as duas unidades de relevo regionais em direção à Bacia do rio Groaíras, a oeste da AID. Sedimentos recentes e inconsolidados compõem a planície aluvial dos riachos Cunha-Moti, Mulungu e Camurutim, nos quais predominam terrenos baixos e aplainados.

A ADA é caracterizada por relevo de degradação associado às ocorrências gnáissicas da Formação Barrigas e calciossilicáticas da Formação Alcantil. Nesta área predomina relevo de dissecação constituído por morros e serras restritas isoladas em meio ao relevo plano da Depressão Sertaneja. As elevações mais significativas exibem um controle estrutural regional de direção predominantemente NE-SW, resultante da variação litológica presente nas zonas de charneiras de dobramentos associados a falhas de empurrão.

Conforme já mencionado, o Serrote da Igreja é umas das feições geomorfológicas de maior relevância da área, pois é onde se localiza a Jazida de Itataia. Esta elevação corresponde a uma forma de relevo isolada (inselberg), com amplitude pouco superior a 100 m e declividade entre 10° e 20°. Sua morfologia apresenta interflúvios côncavos e encostas convexas, com baixa densidade de drenagem apresentando padrão subdendrítico.

O vale do riacho das Guaribas, importante curso d´água intermitente localizado na base da Serra do Céu, conforma um vale encaixado delimitado por encostas íngremes, com declividades entre 20° e 30° e altitude variando de 470 m a 580 m.

Nas adjacências da margem esquerda do rio Mulungu ocorre à unidade de relevo dissecado relativamente plano da Depressão Sertaneja, na qual predominam colinas e morrotes baixos. Nesta área, o relevo apresenta amplitudes menores que 100 m (comumente abaixo de 20 m) e declividades predominantemente inferiores a 5°, localmente atingindo 10°.

Quanto à favorabilidade a inundações, a AID e a ADA, não são favoráveis a eventos de cheia, frente aos baixos índices pluviométricos do clima semiárido da região, e nos casos de

ocorrência de alta densidade de precipitações pluviométricas, os corpos hídricos ficam restritos aos canais de drenagem bem definidos e escavados no relevo de morros e serras, configurando redes de drenagem encaixadas em planos de fraquezas decorrentes das estruturas resultantes dos processos reológicos da rocha, em fundos de vales escavados pela própria ação intempérica dos escoamentos superficiais.

A Figura 11.1-46, a seguir, apresenta três perfis topográficos da área, cujas localizações se encontram no Mapa Geomorfológico da AID e ADA (Mapa 11.1-7). A análise das seções demonstra a predominância de relevo montanhoso na região nordeste, com altas declividades e amplitudes, e relevo aplainado nas regiões sul e sudoeste da área, com baixas declividades e amplitudes.

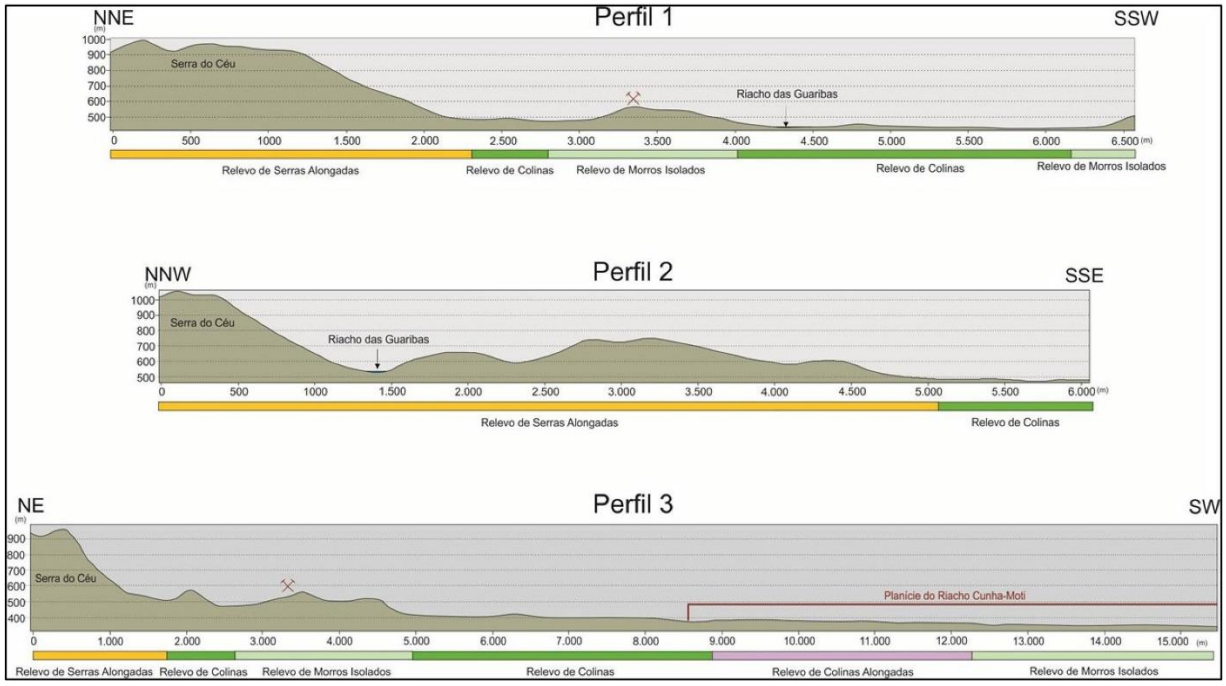


Figura 11.1-46: Perfis topográficos da ADA e AID.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

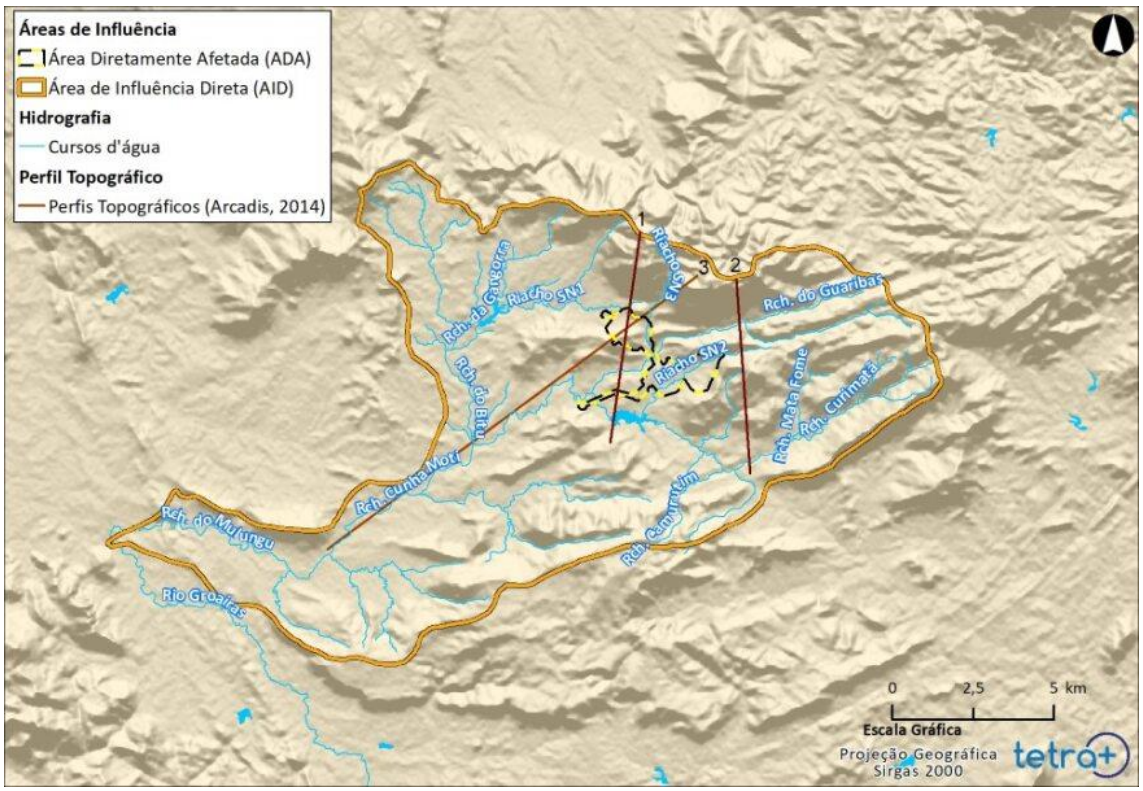


Figura 11.1-47: Localizações dos perfis topográficos da ADA e AID.

Elaboração: Tetra Mais, 2023. Adaptado de: ARCADIS LOGOS, 2014.

As figuras a seguir ilustram as características geomorfológicas observadas nas áreas de influência do empreendimento e demonstram as formas de relevo vistas nos três perfis topográficos apresentados anteriormente localizados por meio da Figura 11.1-47.

Figura 11.1-48: Vista do açude Quixaba à esquerda e Depressão Sertaneja em primeiro plano, exibindo ao fundo a Serra da Mata Fome, Planalto Residual Sertanejo.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Figura 11.1-49: Detalhe da Serra da Mata Fome ao fundo, com formato alongado e topo pouco aplainado. Relevo aplainado da Depressão Sertaneja em primeiro plano.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Figura 11.1-50: Vista para norte, exibindo colinas e serrotes da Depressão Sertaneja em primeiro plano e a Serra do Céu ao fundo.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Figura 11.1-51: Detalhe da porção centro-sul da AID, com vista para NW, exibindo ao fundo o Serrote da Igreja, pertencente à unidade de morros isolados da Depressão Sertaneja.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Figura 11.1-52: Vista para norte, evidenciando serrotes da Depressão Sertaneja em primeiro plano e a Serra do Céu do Planalto Residual Sertanejo ao fundo.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Figura 11.1-53: Vista para norte da Serra do Céu, que delimita a porção norte da AID.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

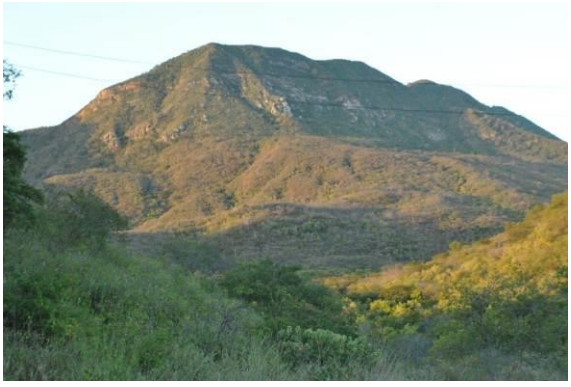


Figura 11.1-54: Detalhe da porção topograficamente mais elevada da Serra do Céu.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Figura 11.1-55: Foto a partir do Serrote da Igreja, com vista para sul, exibindo ao fundo morros isolados da Depressão Sertaneja.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Figura 11.1-56: Foto a partir do Serrote da Igreja com vista para noroeste, com a Depressão Sertaneja em primeiro plano, e ao fundo o Planalto Residual Sertanejo.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

11.1.4.4 Considerações Finais

A área de estudo (AII, AID e ADA) está inserida no domínio morfoestrutural dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos caracterizado por planaltos, alinhamentos serranos e depressões interplanálticas, onde se destacam duas macrounidades geomorfológicas.

Os Maciços Residuais Sertanejos (Planalto Sertanejo) representados por relevo montanhoso na região nordeste; e à Depressão Sertaneja representada por relevo aplainado nas regiões sul e sudoeste da área.

Os Maciços Residuais Sertanejos como a Serra do Céu, Serra das Cacimbas, Serra da Mata Fome, Serra das Laranjeiras e Serra Trapiá constituem grandes divisores de águas da região, que representam barreiras naturais de proteção ambiental.

As elevações mais significativas exibem um controle estrutural regional de direção predominantemente NE-SW, resultante da variação litológica presente nas zonas de charneiras de dobramentos associados a falhas de empurrão.

A Depressão Sertaneja ocupa cerca de 75% da área de estudo (AII) e é caracterizada por relevo relativamente plano com superfície dissecada, suavemente ondulada. A Jazida de Itataia está localizada no Serrote da Igreja. Esta elevação corresponde a uma forma de relevo isolada (inselberg), com amplitude pouco superior a 100 m e declividade entre 10° e 20°. Sua morfologia apresenta interflúvios côncavos e encostas convexas, com baixa densidade de drenagem.

O vale do riacho das Guaribas, importante curso d´água intermitente localizado na base da Serra do Céu, conforma um vale encaixado delimitado por encostas íngremes, com declividades entre 20° e 30° e altitude variando de 470 m a 580 m.

Nas adjacências da margem esquerda do rio Groaíras ocorre à unidade de relevo dissecado relativamente plano da Depressão Sertaneja, na qual predominam colinas e morrotes baixos. Nesta área, o relevo apresenta amplitudes menores que 100 m (comumente abaixo de 20 m) e declividades predominantemente inferiores a 5°, localmente atingindo 10°.

A AID e a ADA, não são favoráveis a eventos de cheia, frente aos baixos índices pluviométricos do clima semiárido da região. Nos casos de ocorrência de alta densidade de precipitações pluviométricas, os corpos hídricos ficam restritos aos canais de drenagem bem definidos e escavados no relevo de morros e serras. A rede de drenagem é encaixada em planos de fraquezas decorrentes das estruturas resultantes dos processos reológicos da rocha, formando fundos de vales escavados pela própria ação intempérica dos escoamentos superficiais.

11.1.5 Pedologia

11.1.5.1 Considerações Metodológicas

A caracterização pedológica da AII foi realizada a partir da compilação de dados secundários provenientes de mapeamentos regionais preexistentes (IBGE, 2019), além dos dados de primários (Quadro 11.1.5-1) realizados em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014). Esses levantamentos foram complementados e atualizados com dados primários obtidos em uma campanha de campo realizada nas áreas de influência do empreendimento em junho de 2021, e de uma campanha de coleta de solo realizada em fevereiro de 2021.

Em julho de 2022, foram realizadas oito sondagens a trado a fim de caracterizar o solo da Formação Barrigas e Alcantil. Através dessas sondagens, foram obtidos a granulometria por peneiramento e os limites de Atteberg, Compactação Proctor normal e Índice de suporte Califórnia CBR, que serão explanados no capítulo de Geotecnia (11.1.6).

Por fim, em 2023, foram realizados novos ensaios de rebaixamento d'água, com descrição do solo e coleta de amostras. As sondagens foram realizadas de acordo com a norma ABNT/NBR 15.492/2007 – Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental, com descrição dos tipos de solos segundo a ABNT NBR 6502/1995 - Rochas e Solos; A Coleta de amostras de solo foram realizadas de acordo com as normas ABNT/NBR 16.434/2015 Amostragem de resíduos sólidos, solos e sedimentos — e ABNT/NBR 16.435/2015

Controle qualidade na amostragem para áreas contaminadas; com acondicionamento, refrigeração e elaboração das cadeias de custódia, para análise laboratorial dos parâmetros estabelecidos na Resolução CONAMA nº 420/2009.

Quadro 11.1.5-1: Etapas de coletas de dados primários

ANO	DESCRIÇÕES PEDOLÓGICA	SONDAGENS	AMOSTRAGEM E/OU ANÁLISES QUÍMICAS	ENSAIOS DE PERMEABILIDADE
2011	x	x	x	x
2020				
2021	x	x	x	x
2022			x	
2023	x	x	x	x

As descrições das classes de solo foram realizadas com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) que se encontra vigente na 5ª edição na data de elaboração deste estudo (EMBRAPA, 2018), que está liberado para o uso e pode ser citado e correlacionado com outros sistemas, onde mantém a mesma estrutura geral, incorpora mudanças, redefinições e correções em relação ao SiBCS (EMBRAPA, 2013). Vale destacar que, na data de elaboração deste estudo, a proposta de atualização da 5ª edição do SiBCS, publicada em 2023, apresenta alterações propostas à 5ª edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, mas ainda não vigentes.

A caracterização considerou as descrições em campo de perfis de solo em taludes de corte das estradas, nos emboques das galerias de prospecção existentes sob a jazida, em antigas trincheiras abertas em vários pontos da área, em escavações associadas com a retirada de material de empréstimo, além de pequenas escavações manuais executadas em encostas naturais, e da perfuração de sondagens rasas e ensaios de infiltração no solo superficial.

Os Valores de Referência de Qualidade (VRQs) adotados para o solo, referem-se aos apresentados na Resolução CONAMA n°420/2009, a qual estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

As referências metodológicas dos ensaios analíticos para os solos são:

+ VOC: Determinação: EPA 8260 D: 2018 / Preparo: EPA 5021 A: 2014;
+ Porcentagem de Sólidos e Cinzas: SMWW, 23ª Edição, 2017 - Método 2540 G;
+ SVOC: Determinação: EPA 8270 E-1:2018, POP PA 076/ Preparo: EPA 3550 C: 2007;
+ Mercúrio: Determinação: EPA 245.7: 2005 / Preparo: EPA 3051 A: 2007;
+ Metais (ICP-OES): Determinação: EPA 6010 D-1: 2018 / Preparo: EPA 3051 A: 2007;
+ Ânions: EPA 300.0: 1993.

Para obter informações específicas da ADA sobre a velocidade de fluxo de água subterrânea, foram realizados quatro ensaios de rebaixamento (carga) em furo da sondagem em 02/06/2021, conforme preconizado pela ABGE (1996). Em 2023, foram realizados 18 (dezoito) novos ensaios de rebaixamento, afim realizar um ensaio em cada tipo de solo, mapeado com integrações do tipo de relevo geomorfológico diferente. Os ensaios foram realizados em parcelas previamente planejadas e distribuídas em função das características pedológicas e geomorfológicas.

Para aplicação do método foram executadas as seguintes etapas:

+ Preenchimento do furo de sondagem com água até a boca;
+ Manutenção do nível d'água (n.a.) constante por 10 minutos, para saturação[8];
+ Medição do volume de água introduzido;
+ Interrupção do fornecimento de água, e início da contagem (instante zero);
+ Medição do rebaixamento do n.a. em intervalos mais curtos no início;
+ Aumento do intervalo de tempo das medições de n.a.;
+ Conclusão do ensaio com rebaixamento de 20% em relação a carga inicial, ou em 30 minutos de ensaio.

A análise da fragilidade dos solos aos processos erosivos foi realizada com base nas avaliações realizadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), com base na modelagem matemática-computacional balizada pela Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS). A

[8] em ensaios acima do nível d'água, na zona vadosa, é necessário saturar o solo com água por 10 minutos.

EUPS representa o modelo de erosão empírica resultante da compilação de dados experimentais, segundo o modelo original de Wischmeier & Smith (1978):

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P,$$

Onde,

- **A** é a perda anual média de solo (t/ha.ano);
- **R** é o fator erosividade da chuva, disponível para cada município (Mj.mm/ha.h.ano);
- **K** é o fator erodibilidade do solo (t.h/Mj.mm);
- **LS** é o fator relevo, considerando-se valores de declividade e comprimento das rampas (adimensional);
- **C** é o fator de uso do solo (adimensional); e
- **P** é o fator prática conservacionista (adimensional), sendo os dois últimos relacionados às formas de ocupação e uso do solo (ação antrópica).

A erosividade da chuva é um índice numérico que expressa a capacidade de causar erosão em uma área sem proteção. Conforme apontado nos estudos apresentados em ARCADIS LOGOS, 2014, o fator erosividade (R) adotado foi determinado pelo software "Erosividade Brasil 1° versão" (SILVA, 2006), desenvolvido pelos departamentos de Engenharia Ambiental e de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Sorocaba. O software fornece índices de erosividade por município, a partir de um sistema de consulta a banco de dados obtidos através de cálculos de erosividade para o território brasileiro com base em diferentes equações. Os dados de chuvas utilizados possuem diversas fontes, tais como o sistema Hidroweb e da Rede Nacional de Agrometeorologia, entre outros.

A erodibilidade do solo é definida como a quantidade de material que é removida por unidade de área quando os demais fatores determinantes da erosão permanecem constantes. O fator erodibilidade (K) foi obtido a partir da proporção relativa das frações granulométricas e do teor de matéria orgânica que formam o solo. O cálculo de erodibilidade do solo contou com auxílio do software livre "Erodibilidade", baseado no método de Mitchell & Bubenzer (1980).

11.1.5.2 Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII)

De acordo com o mapeamento pedológico realizado pelo IBGE no âmbito do programa de Mapeamento de Recurso Naturais (MRN), na AII do empreendimento predominam cinco ordens principais de solo, a saber: Luvissolos Crômicos, Planossolos Háplico, Neossolos Litólicos, Argissolos Vermelho e Chernossolo Rêndzico.

O Mapa 11.1-10, a seguir, apresenta as ordens principais de solo que ocorrem na Área de Influência Indireta (AII).

390.000 405.000 420.000

9.515.000 9.500.000 9.485.000

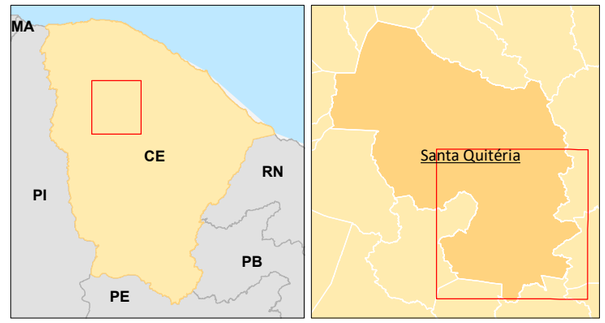
TC21 SG7 RL43 PVA85 TC17

Catunda Canindé Santa Quitéria Itatira Monsenhor Tabosa Boa Viagem Madalena

Serra do Gavião Serra dos Cacimbas Serra do Céu Serrote da Igreja Serra da Mata Fome Serrote do Amargoso Serrote do Curimata Serra da Laranjeira Serra Arapuá Serra do Quati Serra de São João Serra da Negra

Rio Groaíras

Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional

- Limite Municipal

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)
- Área de Influência Indireta (AII)

Hidrografia

- Cursos d'água
- Rio Groaíras

Elementos Fisiográficos Naturais

- Serras

Solos

- PVA - Argissolos Vermelho
- RL - Neossolo Litólico
- SG - Planossolo Háplico
- TC - Luvissolo Crômico

Fonte:
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.
SUDENE, 1973. Reconhecimento de solos do Estado do Ceará 1:600.000.

1:185.000
0 2 4 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

CONSÓRCIO Santa Quitéria

tetra+

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Mapa Pedológico da AII

Formato	Escala	Folha
A3	1:185.000	Única

Data	Localização
02/11/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

11.1.5.2.1 Planossolo Háplico

A classe dos Planossolos Háplicos ocorre, majoritariamente, na porção central e oeste da AII, associados ao relevo rebaixado da Depressão Sertaneja e as rochas do Complexo Tamboril- Santa Quitéria. Essa classe de solo totaliza uma área de cerca de 270 km^2 (30,1%).

Os Planossolos caracterizam-se como solos minerais pouco profundos com horizonte B plânico imediatamente subjacente ao horizonte A e/ou E. O horizonte B plânico apresenta-se adensado e exibe estruturas primáticas, colunares ou em blocos angulares e subangulares muito grandes a médios, e às vezes maciça, podendo apresentar elevado teor de argila dispersa em água, o que favorece a restrição à percolação de água e formação, por vezes, de lençol de água suspenso em períodos chuvosos (OLIVEIRA, 2011; EMBRAPA, 2013).

A ordem dos Planossolos é dividida em duas subordens: os Planossolos Nátricos e Planossolos Háplicos. Os Planossolos Nátricos apresentam horizonte B plânico com caráter sódico (PST ≥ 15%) imediatamente abaixo de um horizonte A ou E ou dentro de 120 cm a partir da superfície, desde que na parte superior do horizonte B tenha a soma de Mg +Na trocável seja maior que Ca + H, enquanto os Háplicos são aqueles que não se enquadram nos requisitos anteriores (EMBRAPA, 2013). Na região de estudo ocorre na forma de Planossolo Háplicos eutróficos, indicando saturação por bases ≥ 50% na maior parte do horizonte B.

A mudança textural abrupta, a pouca profundidade, assim como a presença de NA+ e baixos teores de matéria orgânica condicionam a alta susceptibilidade à erosão desse tipo de solo.

11.1.5.2.2 Luvissolo Crômico

Os Luvissolos Crômicos ocorrem, principalmente, na porção leste da AII, notando-se também fragmentos na porção norte e oeste, abarcando uma área total de cerca de 270,3 km^2 (cerca de 30,2%). Na porção oeste da região de estudo, os Luvissolos Crômicos estão associados ao relevo topograficamente aplainado pertencente à Depressão Sertaneja. Esta unidade se desenvolve sobre litotipos pertencentes ao Complexo Tamboril Santa Quitéria, constituídos, predominantemente, por migmatitos entrecortados por intrusões graníticas.

Na porção norte e leste a ordem dos Luvissolos Crômicos também ocorre em relevo associado à Depressão Sertaneja, porém parte deste se encontra subordinadamente desenvolvida sobre rochas do Complexo Ceará.

Os Luvissolos Crômicos se caracterizam por solos minerais não hidromórficos, B (inclusive BA), definidos pelo SiBCS (EMBRAPA, 2018) pela presença de horizonte B textural (Bt) com argila de atividade alta e saturação por bases alta na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A (exceto A chernozêmico) ou sob horizonte E.

Em geral o horizonte B textural apresenta cores vivas (em matizes avermelhadas ou cromadas) e o horizonte A se apresenta fraco a moderado. Compõe perfis pouco profundos (60 cm a 120 cm), com clara distinção entre os horizontes A e B, marcada por contraste de textura ou cor. São solos moderadamente ácidos a alcalinos, que podem ou não apresentar pedregosidade em sua porção superficial e comumente apresentam estrutura em blocos ou prismática. Na região de estudo apresentam caráter órtico.

11.1.5.2.3 Neossolo Litólico

Os Neossolos Litólicos abarcam cerca de 197,5 km^2 (22%) e ocorrem, predominantemente, nas porções centro norte e leste da AII, a leste da Falha de Groaíras. Localmente na porção oeste também é observado a ocorrência desta classe de solo.

Na porção leste da região de estudo, os Neossolos Litólicos estão associados a relevo dissecado dos Maciços Residuais Sertanejos (Planalto Sertanejo) com os principais representantes a Serra do Céu e Serra do Gavião.

Na porção norte e leste, estão associados à Depressão Sertaneja onde, apesar de predominar relevo plano com colinas e morrotes rebaixados, destacam-se na paisagem algumas elevações de testemunhos reliquiares (inselbergs), que formam conjuntos de pequenos morros

São solos minerais, pouco evoluídos, formados acima do substrato rochoso, do qual podem guardar características mineralógicas e estruturais. Em geral são solos que não apresentam horizontes bem desenvolvidos (B diagnóstico) e sua espessura é reduzida (em campo com médias inferiores a 1,0 metro), estando associados normalmente a relevos mais declivosos.

Na região de estudo, o atributo eutrófico, indica a ocorrência de solos com saturação por bases ≥ 50%, o que caracteriza solos de alta fertilidade. No entanto as condições de relevo e a pouca profundidade limitam o seu uso.

11.1.5.2.4 Argissolo Vermelho

Os Argissolos Vermelho incidem, unicamente, na porção oeste da AII, relacionados às áreas topograficamente elevadas dos Maciços Residuais Sertanejos (Planalto Sertanejo), que constituem as cabeceiras dos principais cursos d´água que drenam para o norte da área de influência. Estas áreas de relevo medianamente movimentado encontram-se desenvolvidas sobre rochas do Complexo Tamboril-Santa Quitéria. Os Argissolos Vermelho perfazem cerca 161,3 km^2 da AII, os quais correspondem a 17% da sua área total.

Caracterizam-se como solos minerais, com horizonte B textural, medianamente profundos a profundos, moderadamente drenados, com nítida diferenciação entre os horizontes, sobretudo no que diz respeito a textura, apresentando acúmulo de argila em profundidade devido à mobilização e perda de argila da parte mais superficial.

Apresentam cores com matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Na região de estudo, o atributo eutrófico, indica a ocorrência de solos com saturação por bases ≥ 50%, o que caracteriza solos de alta fertilidade.

A relação textural presente nestes solos, com acúmulo de argila em profundidade, implica em diferenças de infiltração dos horizontes superficiais e subsuperficiais, o que aumenta a sua susceptibilidade a erosão.

11.1.5.2.5 Chernossolo Rêndzico

Os Chernossolos Rêndzicos ocorrem pontualmente na área de estudo, associando-se ao relevo movimentado do Serrote da Igreja, onde se encontra a Jazida Itataia.

Caracteriza-se como solos constituídos por material mineral que apresentam horizonte A chernozêmico e alta saturação por bases, teores elevados de carbono orgânico e de carbonato de cálcio acima de um horizonte B textural.

Com relação às características físicas, variam de solos pouco profundos a profundos, podendo apresentar suscetibilidade aos processos erosivos sobretudo em áreas de relevo movimentado.

De acordo com as informações da Embrapa (SIBCS 2018), os Chernossolos Rêndzicos apresentam horizonte cálcico, petrocálcico ou caráter carbonático coincidindo com horizonte A chernozêmico e/ou com horizonte C, admitindo-se, entre os dois, horizonte Bi com espessura < 10 cm. Podem apresentar também contato lítico desde que o horizonte A chernozêmico contenha 150 g kg-1 de solo ou mais de carbonato de cálcio equivalente.

Na região de estudo apresentam caráter órtico, o que indica que não apresentam restrição ao uso e manejo.

11.1.5.3 Contexto Local – Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA)

Devido às particularidades climáticas da região, os processos pedogenéticos na AID podem ser classificados como praticamente incipientes. As significativas oscilações térmicas, principalmente as ocorridas ao longo do dia, contribuem para a ação de processos intempéricos físicos que provocam a fragmentação das rochas e a formação de blocos de rocha geralmente angulosos, mas pouco contribuem para a formação dos solos.

11.1.5.3.1 Caracterização Geral

Os baixos índices de pluviosidade anual não favorecem a atuação dos processos de intemperismo químico, de forma que mesmo os solos residuais de alteração de rocha sejam pouco expressivos na área. O processo de pedogênese, por sua vez, tem influência direta da geomorfologia e ainda mais do clima. Assim, de forma análoga, mesmo nos poucos locais onde ocorrem espessuras maiores de solo não se observa uma evolução pedogenética significativa.

Este contexto resulta em um arcabouço pedológico muito homogêneo e monótono, onde todo terreno é marcado por extensas ocorrências de Neossolos predominantemente Litólicos, e subordinadamente Flúvicos, com ocorrências conjuntas de Chernossolo Rêndzicos e Cambissolos Vermelhos, além de áreas com afloramentos rochosos.

Outro aspecto de interesse diagnosticado durante os levantamentos de campo diz respeito à notável correlação entre pedologia e geologia. Nos locais onde os Neossolos Litólicos dão lugar a solos mais evoluídos, observa-se a influência da rocha aflorante sobre os horizontes desenvolvidos. Esta correlação é embasada, principalmente, nas diferenças geoquímicas marcantes entre os principais litotipos, em especial entre os gnaisses e migmatitos, e os metacarbonatos (calcissilicáticas e mármores), que por serem ricos em cálcio, condicionam a formação dos horizontes chernozêmicos.

Assim, é possível afirmar que, quando há horizonte desenvolvido, os Neossolos Litóticos dão lugar nas regiões onde os mármores da Formação Alcantil (Chernossolos Rêndzicos) são visíveis, enquanto nas áreas onde as rochas relacionadas à Formação Barrigas são expostas, são predominantes os Cambissolos de coloração avermelhada.

Exclusivamente nas escarpas das serras e morros da região ocorrem faixas de afloramentos rochosos que foram cartografadas com base nos levantamentos de campo e interpretação de imagem de satélite. O Mapa 11.1-11 ilustra, claramente, a compartimentação dos diversos pedotipos, cujas principais características são descritas a seguir.

405.000

420.000

9.500.000

9.485.000

Canindé

Itatira

Santa Quitéria

Serra do Gavião

Serra dos Cacimbas

Serra do Céu

Serra da Mata Fome

Serrote do Amargoso

Serrote da Igreja

Serrote do Curimatã

Serra da Laranjeira

Serra do Quati

Serra Arapuá

Serra de São João

Serra da Negra

Rio Groaíras

AF

NF

NL1

NL2

NL3

ST 01

ST 02

ST 03

ST 04

ST 05

ST 06

ST 07

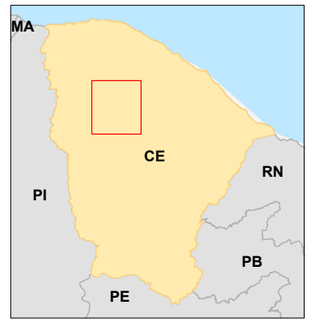
ST 08

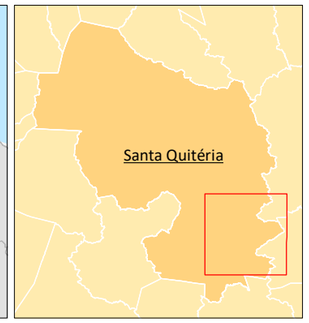
Legenda

Tipos de Solos

AR	*Predominantemente afloramentos rochosos com eventuais ocorrências de Neossolos Litólicos.*
RY	*Neossolos Flúvicos consistindo de solos predominantemente arenosos associados aos principais cursos d'água intermitentes.*
RL1	*Predomínio de Neossolos Litólicos com afloramentos rochosos localizados.*
RL2	*Predomínio de Neossolos Litólicos, subordinadamente Chernossolos Rêndzicos com afloramentos rochosos isolados.*
RL3	*Predomínio de Neossolos Litólicos, subordinadamente Cambissolos com afloramentos rochosos isolados.*

Macrolocalização





Legenda

Referência Locacional

Limite Municipal

Áreas de Influência

Área Diretamente Afetada (ADA)

Área de Influência Direta (AID)

Hidrografia

Cursos d'água

Rio Groaíras

Elementos Fisiográficos Naturais

Serras

Pontos de execução do teste de permeabilidade

Testes realizados em 2021

Testes realizados em 2023

Pontos de Sondagem

sondagens a trado

Fonte:
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.
ARCADIS, 2011. Mapa Pedológico.
- Pontos de campo (Arcadis logo, 2011; Tetra Mais, 2021/2023)

1:100.000

0 2 4 km

Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria

tetra+

Projeto:

Projeto Santa Quitéria

Título:

Pedologia na Área de Influência Direta (AID) e na Área Diretamente Afetada (ADA)

Formato	Escala	Folha
A3	1:100.000	Única

Data	Localização
03/11/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

Conforme apresentado no Mapa 11.1-11, os Neossolos Litólicos se associam, principalmente, com as rochas das formações geológicas Laranjeiras e Serra do Céu nas regiões sudeste e norte da AID. Na ADA, recobre a área da cava e o limite norte da pilha de fosfogesso e cal.

Esse pedotipo se apresenta bastante heterogêneo, sendo que na maior parte da AID se caracterizam pela ocorrência de horizontes superficiais ricos em blocos de dimensões, formas e litologias variadas. A matriz que envolve os blocos, comumente não apresenta diferenciação pedogenética evidente, nem mesmo do horizonte superficial. Localmente, se observa um horizonte A fraco ou moderado, sempre muito delgado. Nas áreas onde a quantidade de blocos diminui, esses solos passam a desenvolver horizontes A com espessura centimétrica a decimétrica (chegando a no máximo 40 cm) que, conforme citado anteriormente, apresentam relação direta com a rocha-mãe.

No caso específico em que os Neossolos Litólicos ocorrem associados às áreas de ocorrência de mármores, o horizonte A é de caráter chernozêmico com espessura inferior a 10 cm, situado diretamente sobre o horizonte C ou rocha (Figura 11.1-57). Nas áreas em que se associam à ocorrência de gnaisses e migmatitos, os horizontes A (moderados a proeminentes) tendem a ser mais espessos, apresentando matizes avermelhadas e espessura superior a 6 cm.

Conforme destacado anteriormente, os Neossolos Litólicos ocorrem em praticamente toda a área, no entanto em algumas porções esses solos ocorrem em associação com Cambissolos e Chernossolos, respectivamente nas áreas de ocorrência de gnaisses e mármores. Nas porções SE e NE se encontram em relevos de serras do Planalto Residual Sertanejo, e nas demais regiões ocorrem associados às áreas aplainadas da Depressão Sertaneja.

Os Cambissolos na área de estudo podem ser caracterizados, principalmente, como Vermelhos (Figura 11.1-63 e Figura 11.1-64) e subordinadamente como Vermelho-Amarelos (Figura 11.1-65 e Figura 11.1-66). Estes se apresentam de forma subordinada aos Neossolos Litólicos, e normalmente ocorrem nas áreas de ocorrência dos gnaisses da Formação Barrigas, ocupando a maior parte da AID e ADA. Caracterizam-se pela existência de um horizonte B incipiente (centimétrico), pouco desenvolvido por definição, que se diferencia do horizonte A por um sutil aumento na quantidade de argila, certamente de origem eluvial (Figura 11.1-66).

Tendem a apresentar cores mais semelhantes aos horizontes C sotopostos do que aos horizontes superficiais, por sua vez mais escuros devido ao elevado teor de matéria orgânica

dispersa na matriz mineral (Figura 11.1-65). Localmente, os Cambissolos apresentam estrutura prismática ou em blocos angulosos a subangulosos (Figura 11.1-67 e Figura 11.1-68).

Segundo a tabela Münsell, os horizontes A dos Cambissolos Vermelho-Amarelos apresentam cores com variação de matiz, valor e croma, respectivamente entre Y10 e YR7.5, 4 a 6 e 4 a 8. Para os horizontes B e C estes mesmos valores se situam entre Y10 e YR7,5, 5 a 7 e 8 a 10.

Os dados de campo de ensaios granulométricos realizados em amostras desta unidade (apresentados em detalhe no item 11.1.6 Geotecnia) demonstram que, segundo o diagrama triangular de Atterbeg, todos os horizontes dos Cambissolos apresentam textura franco-arenosa.

Figura 11.1-57: Aspecto de Neossolo Litólico com delgado horizonte A precedido pelo horizonte C, que corresponde a saprolito de gnaisse.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Figura 11.1-58: Detalhe de Neossolo Litólico sem horizontes bem definidos contendo muitos blocos de rocha de litologias diversas (depósito coluvial).

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

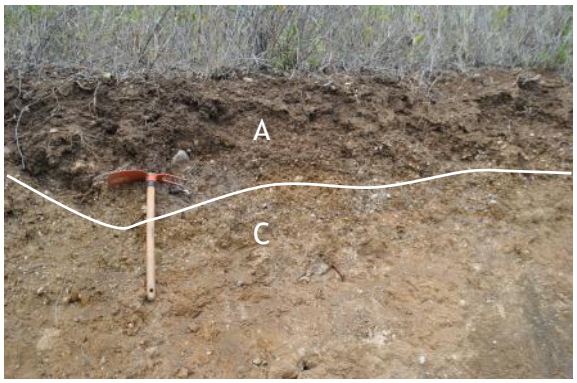


Figura 11.1-59: Perfil de Neossolo Litólico com horizonte A decimétrico (escuro) sobre saprólito de gnaisse - Horizonte C (alaranjado).

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Figura 11.1-60: Aspecto de trincheira aberta no alto do Serrote da Igreja, expondo integralmente Neossolo Litólico em área de ocorrência de colofanito.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Figura 11.1-61: Vista da entrada do alojamento da INB com ocorrência de Neossolos Litólicos marcados pela presença de grande número de blocos de rocha.

Fonte: 2011 ARCADIS LOGOS, 2014.

Figura 11.1-62: Perfil de Neossolo Litólico aparentemente sem horizonte A e com espesso horizonte C de alteração do mármore.

Fonte: 2011 ARCADIS LOGOS, 2014.

Figura 11.1-63: Cambissolo Vermelho presença de blocos de rocha na ADA.

Fonte: BTB Explorers, 2021.

Figura 11.1-64: Cambissolo Vermelho na AII.

Fonte: BTB Explorers, 2020.

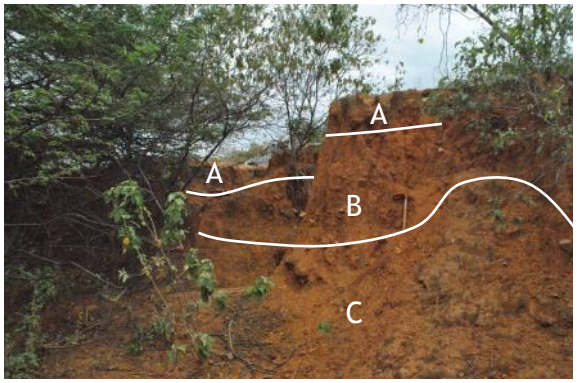


Figura 11.1-65: Exposição de Cambissolo Vermelho-Amarelo com horizonte A ligeiramente mais escuro seguido do horizonte B e C de alteração de gnaisse.

Fonte: 2011 ARCADIS LOGOS, 2014.

Figura 11.1-66: Detalhe de Cambissolo Vermelho-Amarelo. O intervalo entre as marcações laranja e amarela corresponde ao horizonte B.

Fonte: 2011 ARCADIS LOGOS, 2014.

Figura 11.1-67: Detalhe de Cambissolo Vermelho-Amarelo caracterizado por estrutura prismática, subordinadamente em blocos angulosos.

Fonte: 2011 ARCADIS LOGOS, 2014.

Figura 11.1-68: Detalhe de blocos subangulosos acumulados na base do perfil de Cambissolo.

Fonte: 2011 ARCADIS LOGOS, 2014.

Os Chernossolos Rêndzicos (antiga classe de solo Rendzima) se caracterizam pela existência de um horizonte A chernozêmico com espessura comumente superior a 20 cm. Os horizontes chernozêmicos apresentam, como aspectos principais, a coloração variando de cinza clara a escura, teor de bases superior a 65% e, geralmente, teores de carbono orgânico iguais ou superiores a 0,6%. O desenvolvimento destes horizontes apresenta nítida afinidade geoquímica com os mármores e rochas calcissilicáticas da Formação Alcantil.

Na AID e ADA os Chernossolos Rêndzicos, ocorrem de forma subordinada aos Neossolos Litólicos e associam-se às áreas sustentadas pelos mármores da Formação Alcantil, com destaque para a porção sul da AID e faixas da porção centro norte. Na ADA se sobressaem na porção noroeste, em parte da área da pilha de estéril e da cava.

Salvo em poucos pontos restritos, possuem o horizonte superficial diagnóstico posicionado sobre o horizonte C ou diretamente sobre a rocha representativa do horizonte D (Figura 11.1-70 e Figura 11.1-71). Os horizontes B, raramente observados, são sempre incipientes e de difícil identificação. O único local onde foi observado um horizonte de transição mais bem definido se localiza a norte do Serrote da Igreja (Figura 11.1-72), embora, mesmo neste caso, se apresente como incipiente.

Com relação à textura, os horizontes chernozêmicos podem ser classificados como franco-argilo-arenosos. Em termos de cores, os Chernossolos apresentam diferenças marcantes entre seus horizontes, com os horizontes A apresentando matizes entre R7.5 e RP5, valor entre 5 e 7, e croma entre 3 e 4, enquanto os horizontes C apresentam matizes entre Y 2,5 a Y 7,5, valor entre 8 e 6, e croma entre 4 e 5.

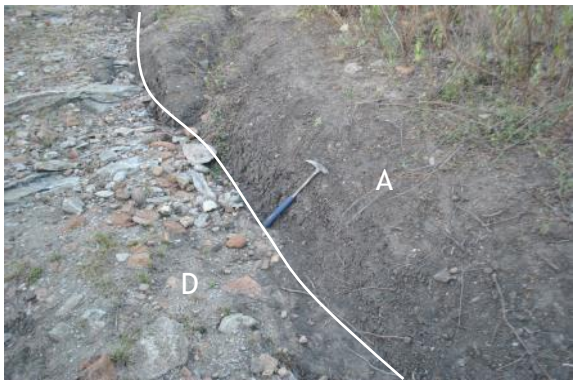


Figura 11.1-69: Detalhe de Chernossolo Rêndzico (Horizonte A Chernozêmico imediatamente sobre horizonte D de mármore).

Fonte ARCADIS LOGOS, 2014.

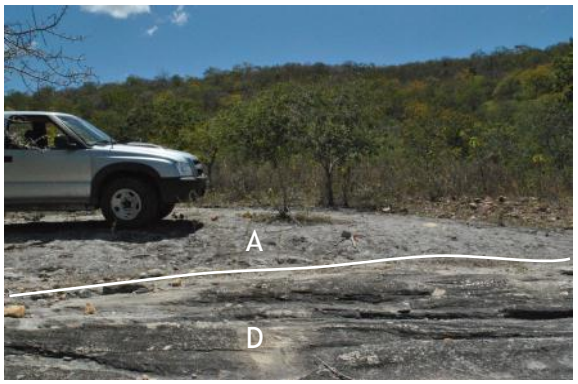


Figura 11.1-70: Aspecto de Chernossolo Rêndzico com horizonte A diretamente sobre afloramento de mármore - Horizonte D.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Figura 11.1-71: Perfil de Chernossolo Rêndzico com horizonte A chernozêmico escuro decimétrico sobre horizonte C (saprolito de mármore).

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

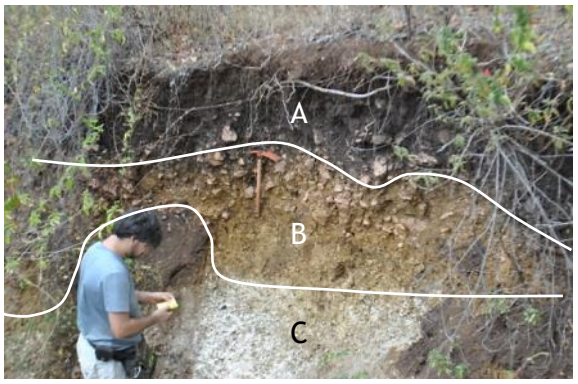


Figura 11.1-72: Detalhe de Chernossolo Rêndzico com horizonte A chernozêmico (cinza) seguido de horizonte B incipiente (porção alaranjada inferior) e horizonte C branco de alteração de mármore.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Restritos aos leitos e adjacências das principais drenagens, ocorrem Neossolos Flúvicos associados aos depósitos aluvionares. Caracterizam-se pela heterogeneidade, apresentando quantidades variadas de blocos de rocha de litotipos e dimensões muito diversas. A matriz que envolve os blocos apresenta textura arenosa a franco-arenosa e cores com matizes amarelados, além de valores e cromas elevados.

Por fim os Afloramentos Rochosos ocorrem em porções esparsas a sudeste e norte da área, e expõem rochas das formações Serra do Céu e Laranjeiras. Esta unidade também ocorre em pequenas áreas no centro da AID, onde afloram litotipos da Formação Alcantil.

Além das descrições em campo em 2022 foram realizadas oito sondagens a trado, seguindo as normas técnicas da ABNT NBR 6484-01 e as recomendações do Manual de

Sondagens da ABGE, a fim de complementar os dados obtidos pela ARCADIS (2014), em relação a granulométrica dos sedimentos de cada uma das formações. Os furos foram distribuídos pela área da Fazenda Itataia, chegando atingir medias de profundidades de 1 metro, sendo realizado cinco sondagens na Formação Barrigas e três na Formação Alcantil. Os resultados, foram obtidos através de peneiramento seguindo as normas ABNT NBR7181 de 09/2016, e estão contidos no Quadro 11.1.5-2 a seguir.

Quadro 11.1.5-2: Porcentagens das frações granulométricas em cada formação geológica.

GRANULOMETRIA	FORMAÇÃO ALCANTIL			FORMAÇÃO BARRIGAS				
	ST 03	ST 06	ST 02	ST 01	ST 04	ST 05	ST 07	ST 08
Silte e Argila	46,0%	41,0%	36,0%	29,0%	31,0%	19,0%	21,0%	23,0%
Areia Fina	31,0%	34,0%	41,0%	20,0%	23,0%	27,0%	21,0%	40,0%
Areia Média	15,0%	21,0%	20,0%	20,0%	22,0%	20,0%	15,0%	24,0%
Areia Grossa	4,0%	3,0%	2,0%	7,0%	12,0%	4,0%	7,0%	4,0%
Pedregulho	4,0%	1,0%	1,0%	24,0%	12,0%	30,0%	36,0%	9,0%

Fonte: GeoHidro, 2022.

Com os dados do quadro acima é possível identificar que a formação Alcantil apresenta maior porcentagem de sedimentos finos, enquanto a Formação Barrigas, concentra maiores concentrações de sedimentos arenosos e pedregosos. Essa diferença, deriva da composição de ambas as principais litologias, onde a Fm. Barrigas composta por paragnaisses, apresenta concentrações maiores de sílica (Feldspato e Quartzo) que é de difícil alteração, formando grãos de areia e pedregulhos preferencialmente. Já a Fm. Alcantil, é composta principalmente por rochas químicas e pelitos dispersos, dando origem a sedimentos mais finos ao intemperizar.

11.1.5.3.2 Ensaios de Rebaixamento d'água no Solo

Para obter informações específicas do site sobre a condutividade hidráulica nas diferentes classes pedológicas de solo da AID, foram realizados quatro ensaios de rebaixamento (carga) no furo da sondagem em 02/06/2021, conforme preconizado pela ABGE (1996).

Os resultados das medidas de rebaixamento e demais especificações técnicas dos ensaios de 2021 e 2023, são apresentadas no Quadro 11.1.5-3 e no Quadro 11.1.5-4, respectivamente. As coordenadas dos pontos onde foram realizados os ensaios de

rebaixamento e os resultados as descrições litológicas, são apresentadas no Quadro 11.1.5-5. A localização dos pontos pode ser visualizada no Mapa 11.1-12, de unidades pedológicas da AID apresentado anteriormente. O Quadro 11.1.5-5 ilustra as perfurações das sondagens e a realização dos ensaios de rebaixamento em furos de sondagem.

405.000

420.000

9.500.000

9.485.000

Canindé

Santa Quitéria

Itatira

Riacho SN3

Riacho SN1

Riacho SN2

Rch. da Gangorra

Rch. do Guaribas

Rch. do Bitu

Rch. Mata Fome

Rch. Curimatã

Rch. Cunha Moti

Rch. Carnutim

Rch. do Mulungu

Rio Groaíras

AF

NF

NL1

NL2

NL3

ST01

ST02

ST03

ST04

ST05

ST06

ST07

ST08

ST10

ST11

ST13

ST14

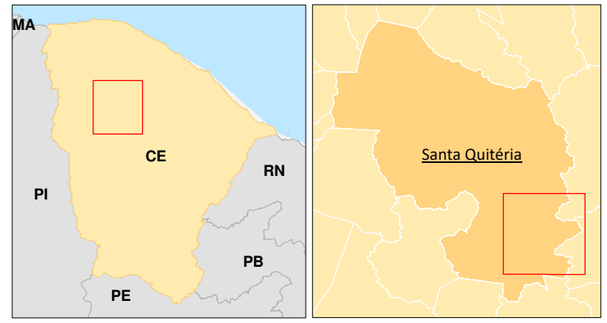
ST15

ST16

ST17

ST18

Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional
- Limite Municipal
- Limite da Fazenda Itataia

Áreas de Influência
- Área Diretamente Afetada
- Área de Influência Direta (AID)

Hidrografia
- Cursos d'água
- Rio Groaíras

Elementos do Relevo

Depressão Sertaneja
- A.1.1 - Relevo de colinas e morrotes com predomínio de colinas alongadas
- A.2.1 - Relevo de morros e colinas com predomínio de morros isolados
- A.2.2 - Relevo de morros e colinas com predomínio de colinas

Planalto Residual Sertanejo
- B.2.2 - Relevo de montanhas e serras alongadas com predomínio de serras alongadas
- B.1.2 - Relevo de morros e montanhas baixas com predomínio de montanhas baixas
- B.1.1 - Relevo de morros e montanhas baixas com predomínio de morros montanhas baixas

Pontos de execução do teste de permeabilidade
- Testes realizados em 2021
- Testes realizados em 2023

Pedologia

- AR — *Predominantemente afloramentos rochosos com eventuais ocorrências de Neossolos Litólicos.*
- RY — *Neossolos Flúvicos consistindo de solos predominantemente arenosos associados aos principais cursos d'água intermitentes.*
- RL1 — *Predomínio de Neossolos Litólicos com afloramentos rochosos localizados.*
- RL2 — *Predomínio de Neossolos Litólicos, subordinadamente Chernossolos Rêndzicos com afloramentos rochosos isolados.*
- RL3 — *Predomínio de Neossolos Litólicos, subordinadamente Cambissolos com afloramentos rochosos isolados.*

Fonte:
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.
ARCADIS LOGOS, 2014. Unidades de Relevo. Adap. Ponçano et al. (1979).
ARCADIS, 2011. Mapa Pedológico.

1:100.000
0 2 4 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria

tetra+

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Localizações dos Pontos deTeste de Permeabilidade

Formato	Escala	Folha
A3	1:100.000	Única

Data	Localização
03/11/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Clareana S. M. Soto	Cristina Poggiali Almeida

Quadro 11.1.5-3: Especificações dos ensaios de rebaixamento - junho/2021.

PRIMEIRO LEVANTAMENTO				
Ponto de Ensaio	**ENSAIO 01**	**ENSAIO 02**	**ENSAIO 03**	**ENSAIO 04**
Data do Ensaio	02/06/2021	02/06/2021	02/06/2021	02/06/2021
Condições Climáticas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas
Volume de água utilizado (L)	3,40	12,90	12,27	9,95
Profundidade do Sondagem (m)	0,50	0,54	0,53	0,50
Diâmetro da Sondagem (pol.)	4,00	4,00	4,00	4,00
Raio da Sondagem (m)	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508
Raio de Influência Calculado (m)	0,37	0,39	0,38	0,37
TEMPO (MIN)	**N.A. (M)**	**N.A. (M)**	**N.A. (M)**	**N.A. (M)**
10,00	0,000	0,017	0,025	0,015
10,25	0,010	0,025	0,035	0,025
10,50	0,013	0,035	0,042	0,025
11,00	0,018	0,055	0,050	0,035
12,00	0,020	0,070	0,072	0,050
13,00	0,030	0,088	0,095	0,066
14,00	0,033	0,110	0,105	0,083
15,00	0,035	0,118	0,130	0,093
20,00	0,047	0,165	0,190	0,100
25,00	0,055	0,195	0,230	0,114
30,00	0,060	0,225	0,265	0,125
35,00	0,067	0,240	-	0,140
40,00	0,073	0,250	-	0,145

Legenda: n.a.: nível d'água. Fonte: BTB Explorers, 2021.

Em 2023, foram realizados 18 novos ensaios, com o objetivo de realizá-los em cada tipo de Elemento do Relevo Geomorfológico simultaneamente às diferentes classes pedológicas mapeadas, conforme o Mapa 11.1-12 e Quadro 11.1.5-4.

Inicialmente foram estabelecidos 20 ensaios. O solo do tipo AR tem predomínio de afloramentos rochosos com eventuais ocorrências de Neossolos Litólicos, são comumente encontrados em topos de colinas, que junto a baixa espessura da camada de solo e na maioria das situações sua inexistência, inviabiliza a realização do ensaio.

Quadro 11.1.5-4: Especificações dos ensaios de rebaixamento – agosto/2023.

SEGUNDO LEVANTAMENTO																		
PONTO DE ENSAIO	**ENSAIO 01**	**ENSAIO 02**	**ENSAIO 03**	**ENSAIO 04**	**ENSAIO 05**	**ENSAIO 06**	**ENSAIO 07**	**ENSAIO 08**	**ENSAIO 09**	**ENSAIO 10**	**ENSAIO 11**	**ENSAIO 12**	**ENSAIO 13**	**ENSAIO 14**	**ENSAIO 15**	**ENSAIO 16**	**ENSAIO 17**	**ENSAIO 18**
Data do Ensaio	31/07/2023	31/07/2023	03/08/2023	03/08/2023	03/08/2023	03/08/2023	04/08/2023	04/08/2023	04/08/2023	03/08/2023	03/08/2023	04/08/2023	03/08/2023	04/08/2023	04/08/2023	02/08/2023	02/08/2023	04/08/2023
Condições Climáticas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas	Sem chuvas
Volume de água utilizado (L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Profundidade da Sondagem (m)	0,40	0,60	1,00	0,60	1,55	0,50	0,50	0,90	0,50	0,55	0,40	0,60	0,80	0,70	0,50	0,80	0,50	1,20
Diâmetro da Sondagem (pol.)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Raio da Sondagem (m)	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508
Raio de Influência Calculado (m)	0,31	0,42	0,62	0,42	0,84	0,37	0,37	0,57	0,37	0,39	0,31	0,42	0,52	0,47	0,37	0,52	0,37	0,70
Tempo (min)	N.A. (m)	N.A. (m)	N.A. (m)	N.A. (m)	N.A. (m)	N.A. (m)	N.A. (m)	N.A. (m)	N.A. (m)	N.A. (m)	N.A. (m)	N.A. (m)	N.A. (m)	N.A. (m)	N.A. (m)	N.A. (m)	N.A. (m)	N.A. (m)

SEGUNDO LEVANTAMENTO																		
PONTO DE ENSAIO	ENSAIO 01	ENSAIO 02	ENSAIO 03	ENSAIO 04	ENSAIO 05	ENSAIO 06	ENSAIO 07	ENSAIO 08	ENSAIO 09	ENSAIO 10	ENSAIO 11	ENSAIO 12	ENSAIO 13	ENSAIO 14	ENSAIO 15	ENSAIO 16	ENSAIO 17	ENSAIO 18
10,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000
10,50	0,015	0,040	0,045	0,020	0,029	0,000	0,092	0,092	0,037	0,000	0,025	0,000	0,061	0,032	0,015	0,035	0,010	0,145
11,00	0,020	0,051	0,104	0,024	0,035	0,004	0,169	0,169	0,061	0,005	0,129	0,000	0,062	0,056	0,023	0,074	0,015	0,221
11,50	0,026	0,066	0,158	0,031	0,050	0,007	0,247	0,247	0,090	0,009	0,240	0,000	0,085	0,075	0,049	0,136	0,020	0,274
12,00	0,034	0,090	0,197	0,039	0,054	0,012	0,311	0,311	0,109	0,011	0,361	0,016	0,106	0,094	0,070	0,170	0,026	0,312
12,50	0,040	0,105	0,229	0,046	0,066	0,016	0,345	0,345	0,122	0,014	0,400	0,021	0,135	0,119	0,088	0,231	0,028	0,355
13,00	0,051	0,130	0,266	0,057	0,077	0,019	0,382	0,382	0,145	0,015		0,025	0,156	0,134	0,114	0,281	0,031	0,369
13,50	0,061	0,151	0,298	0,066	0,085	0,025	0,409	0,409	0,161	0,018		0,031	0,176	0,144	0,128	0,315	0,034	0,375
14,00	0,068	0,175	0,315	0,072	0,096	0,029	0,443	0,443	0,176	0,020		0,035	0,201	0,151	0,139	0,346	0,038	0,390
14,50	0,076	0,195	0,326	0,081	0,105	0,032	0,464	0,464	0,189	0,023		0,040	0,218	0,156	0,147	0,385	0,040	0,412
15,00	0,082	0,210	0,360	0,087	0,114	0,035	0,479	0,479	0,199	0,025		0,045	0,240	0,167	0,153	0,411	0,045	0,429
16,00	0,091	0,249	0,394	0,096	0,131	0,044	0,510	0,510	0,231	0,030		0,051	0,274	0,176	0,170	0,450	0,051	0,455
17,00	0,110	0,281	0,415	0,115	0,145	0,052	0,545	0,545	0,247	0,035		0,057	0,304	0,183	0,184	0,495	0,056	0,472
18,00	0,123	0,302	0,441	0,127	0,164	0,057	0,574	0,574	0,265	0,039		0,064	0,335	0,187	0,189	0,528	0,062	0,487
19,00	0,135	0,320	0,455	0,140	0,176	0,064	0,594	0,594	0,290	0,045		0,070	0,355	0,195	0,197	0,557	0,066	0,498
20,00	0,144	0,410	0,476	0,149	0,192	0,069	0,610	0,610	0,301	0,051		0,076	0,381	0,199	0,213	0,592	0,071	0,508
25,00	0,173	0,415	0,539	0,180	0,263	0,101	0,675	0,675	0,355	0,072		0,102	0,455	0,225	0,230	0,687	0,094	0,552
30,00	0,208	0,480	0,585	0,214	0,318	0,125	0,715	0,715	0,397	0,091		0,122	0,523	0,245	0,248	0,864	0,105	0,586

SEGUNDO LEVANTAMENTO																	
PONTO DE ENSAIO	ENSAIO 01	ENSAIO 02	ENSAIO 03	ENSAIO 04	ENSAIO 05	ENSAIO 06	ENSAIO 07	ENSAIO 08	ENSAIO 09	ENSAIO 10	ENSAIO 11	ENSAIO 12	ENSAIO 13	ENSAIO 14	ENSAIO 15	ENSAIO 16	ENSAIO 17	ENSAIO 18
35,00	0,226	0,502	0,625	0,234	0,357	0,144	0,759	0,759	0,442	0,119		0,144	0,545	0,267	0,261	0,800	0,134	0,610
40,00	0,240	0,521	0,648	0,245	0,395	0,152	0,797	0,797	0,480	0,128		0,165	0,593	0,277	0,273		0,145	0,635

Fonte: BTB Explores, 2023.

Quadro 11.1.5-5: Coordenadas dos pontos dos ensaios de rebaixamento, descrição do solo e tipo de elemento de relevo situado.

DATA	ENSAIO	CLASSE PEDOLÓGICA		ELEMENTO DE RELEVO/GEOMORFOLOGIA	SOLO NA SONDAGEM	K* (CM/S)	COORDENADAS UTM	
2021	ST01	NF	Neossolos Flúvicos	Depressão Sertaneja Setentrional (A.2.2)	Silto Arenoso Marrom Claro	$1,22 \times 10^{-04}$	408473,46	9490653,66
	ST02	NL2	Chernossolos Rêndzicos	Depressão Sertaneja Setentrional (A.2.1)	Silto Arenoso Marrom Escuro	$5,08 \times 10^{-04}$	406201,78	9488748,68
	ST03	NL1	Neossolos Litólicos	Depressão Sertaneja Setentrional (B.1.1)	Silto Arenoso Marrom Claro	$5,57 \times 10^{-04}$	418162,87	9490949,32
	ST04	NL3	Cambissolos	Depressão Sertaneja Setentrional (A.2.2)	Silto Argiloso Marrom Claro	$4,41 \times 10^{-04}$	411145,75	9491039,96
2023	ST01	NF	Neossolos Flúvicos	Depressão Sertaneja Setentrional (A.2.2)	Areia Fina-Média com blocos de rocha de cor castanho claro	$3,67 \times 10^{-04}$	411804,327	9494187,66
	ST02	NL3	Cambissolos	Depressão Sertaneja Setentrional (A.2.2)	Areia Fina-Média com blocos de rocha de cor castanho avermelhado	$4,20 \times 10^{-04}$	410871,274	9493874,7
	ST03	NL1	Neossolos Litólicos	Depressão Sertaneja Setentrional (B.2.2)	Areia Fina-Média de cor castanho claro	$2,43 \times 10^{-04}$	418213,629	9491045,6

DATA	ENSAIO	CLASSE PEDOLÓGICA		ELEMENTO DE RELEVO/GEOMORFOLOGIA	SOLO NA SONDAGEM	K* (CM/S)	COORDENADAS UTM	
	ST04	NL2	Neossolos Litólicos/Mármore	Depressão Sertaneja Setentrional (A.2.2)	Areia Fina-Média de cor castanho claro	$1,97 \times 10^{-04}$	415088,141	9492671,9
	ST05	NL3	Neossolos Litólicos/Gnaisse	Depressão Sertaneja Setentrional (A.2.1)	Areia Fina-Média com argila de cor castanho escuro e presença de muscovita	$7,59 \times 10^{-05}$	413679,375	9492858,49
	ST06	NL2	Cambissolos	Depressão Sertaneja Setentrional (A.2.2)	Areia Fina-Média de cor castanho claro	$1,63 \times 10^{-04}$	412932,897	9493503,13
	ST07	NL3	Neossolos Litólicos	Depressão Sertaneja Setentrional (A.2.1)	Areia Fina-Média com blocos de rocha de cor castanho claro a escuro	$8,53 \times 10^{-04}$	414744,485	9495140,82
	ST08	NL1	Neossolos Litólicos	Planalto Sertanejo (A.2.1)	Areia Fina-Média de cor castanho claro a escuro	$3,49 \times 10^{-04}$	414626,718	9495693,94
	ST09	NL3	Cambissolos	Planalto Sertanejo (A.2.1)	Areia Fina-Média cor castanho escuro	$4,87 \times 10^{-04}$	414386,092	9496026,61
	ST10	NL3	Cambissolos /Gnaisse	Planalto Sertanejo (B.2.2)	Areia Fina-Média cor castanho escuro	$1,18 \times 10^{-04}$	418661,408	9491985,48
	ST11	NL3	Neossolos Litólicos	Depressão Sertaneja Setentrional (A.2.2)	Areia Fina-Média cor castanho escuro	$7,34 \times 10^{-03}$	419676,586	9492635,37
	ST12	NL3	Neossolos Litólicos	Depressão Sertaneja Setentrional (A.2.2)	Areia Fina-Média de cor castanho claro	$1,33 \times 10^{-04}$	415775,779	9494731,39
	ST13	NL1	Neossolos Litólicos/Quartzito	Depressão Sertaneja Setentrional (B.1.1)	Areia Fina-Média com blocos de rocha de cor castanho claro	$3,09 \times 10^{-04}$	418055,994	9491095,67
	ST14	NL2	Chernossolos Rêndzicos	Depressão Sertaneja Setentrional (A.2.2)	Areia Fina-Média com blocos de rocha de cor castanho preto	$1,60 \times 10^{-04}$	415976,779	9494422,7
	ST15	NF	Neossolos Flúvicos	Depressão Sertaneja Setentrional (A.2.2)	Areia Fina-Média com blocos de rocha de cor castanho claro	$2,92 \times 10^{-04}$	415250,043	9494167,02

DATA	ENSAIO	CLASSE PEDOLÓGICA		ELEMENTO DE RELEVO/GEOMORFOLOGIA	SOLO NA SONDAGEM	K* (CM/S)	COORDENADAS UTM	
	ST16	NL2	Chernossolos Rêndzicos	Depressão Sertaneja Setentrional (A.1.1)	Areia Fina-Média com blocos de rocha de cor castanho claro	$5{,}00 \times 10^{-04}$	403318,162	9487679,14
	ST17	NL3	Neossolos Litólicos	Depressão Sertaneja Setentrional (A.1.1)	Areia Fina-Média com blocos de rocha de cor castanho claro	$1{,}55 \times 10^{-04}$	401555,217	9487865,75
	ST18	NF	Neossolos Flúvicos	Depressão Sertaneja Setentrional (A.1.1)	Areia Fina-Grossa com blocos de rocha de cor castanho claro	$1{,}84 \times 10^{-04}$	408809,501	9491782,71
A.1.1 - Relevo de colinas e morrotes com predomínio de colinas alongadas								
A.2.1 - Relevo de morros e colinas com predomínio de morros isolados								
A.2.2 - Relevo de morros e colinas com predomínio de colinas								
B.1.1 - Relevo de morros e montanhas baixas com predomínio de morros montanhas baixas B.2.2 - Relevo de montanhas e serras alongadas com predomínio de serras alongadas								

Legenda: (*) Descrição durante a sondagem. Fonte: BTB Explorers, 2023.

A condutividade hidráulica (K) foi calculada com base na seguinte equação de Ródio (1965) descrita abaixo.

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} \times \left(\frac{r}{R}\right)^2$$

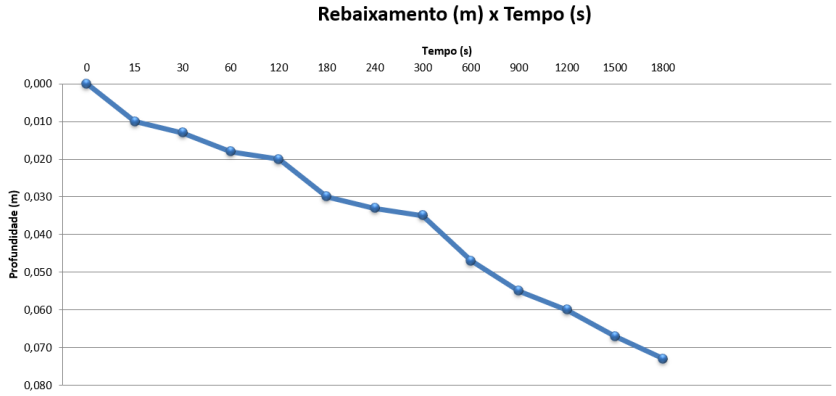
Onde:

+ K: Condutividade hidráulica
+ Δh: diferença de carga hidráulica inicial e final
+ Δt: diferença do tempo inicial e final
+ r: raio da sondagem
+ R: raio de influência calculado

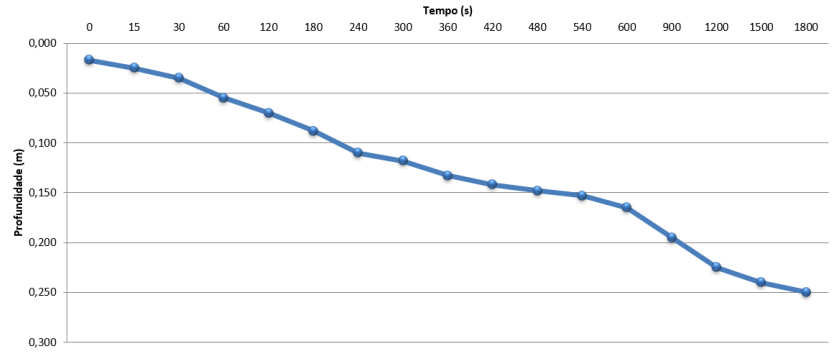
Esta equação considera um raio de influência calculado (R) através de uma relação entre R e h, obtida supondo que o escoamento se faz segundo uma parábola, cujo vértice está no centro do furo, na altura do nível d'água inicial (t=10*).

Os gráficos apresentados na Figura 11.1-73 e Figura 11.1-74, a seguir, apresentam as curvas de rebaixamento ao longo do tempo nos ensaios de infiltração e na Figura 11.1-75 as fotos dos levantamentos em campo.

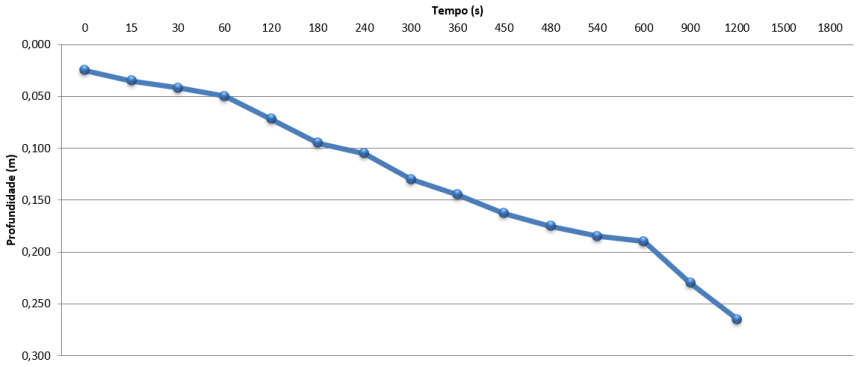
ST 01 -2021



ST 02 -2021



ST 03 -2021



ST 04 -2021

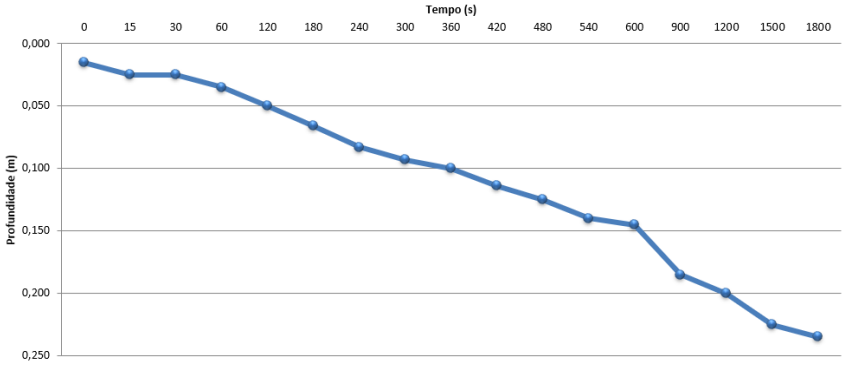
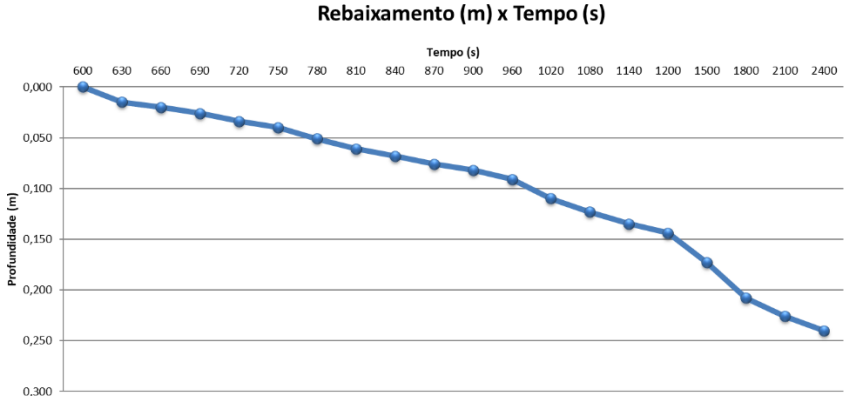


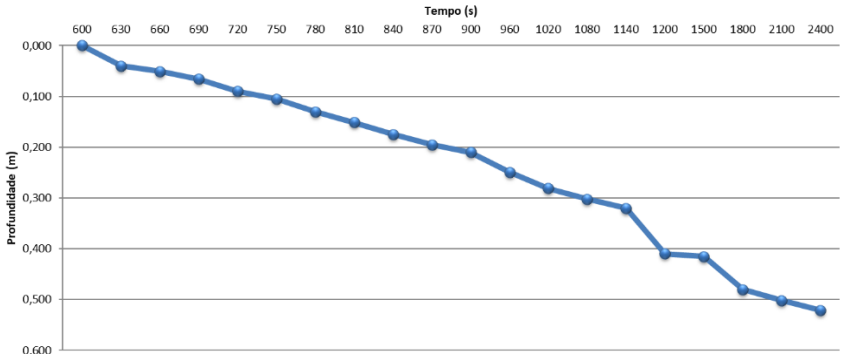
Figura 11.1-73: Curva de rebaixamento (m) x tempo (s) – Ensaios de 2021.

Fonte: BTB Explorers, 2021.

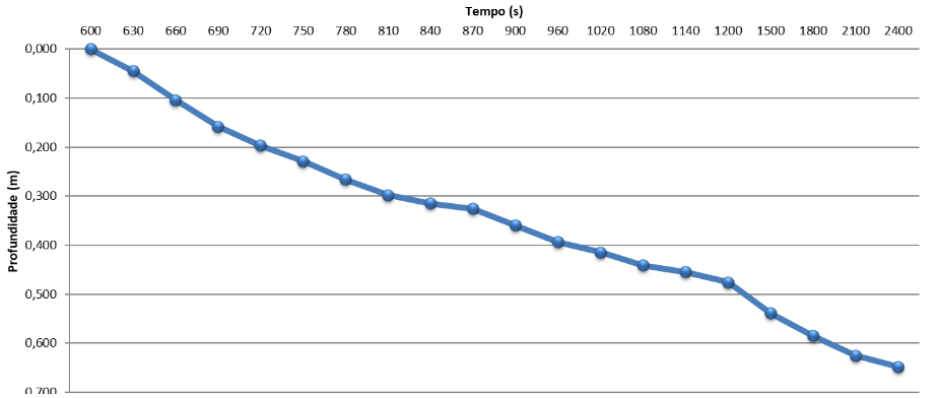
ST 01 -2023



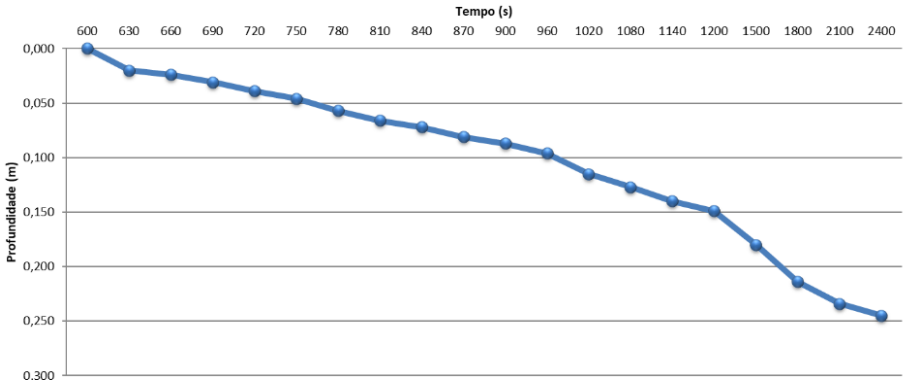
ST 02 -2023



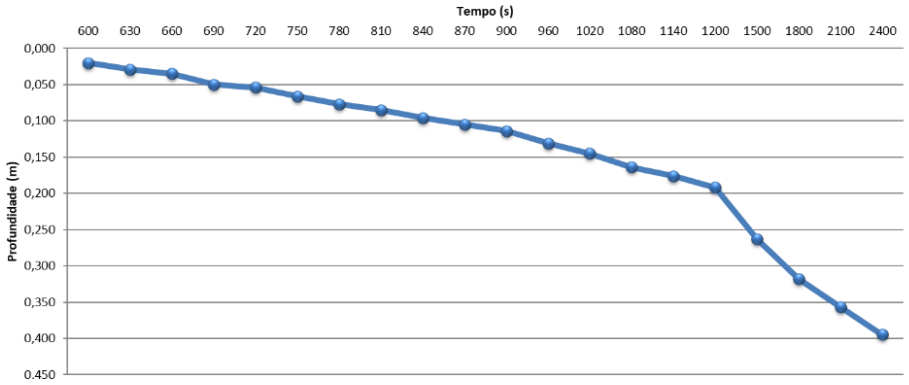
ST 03 -2023



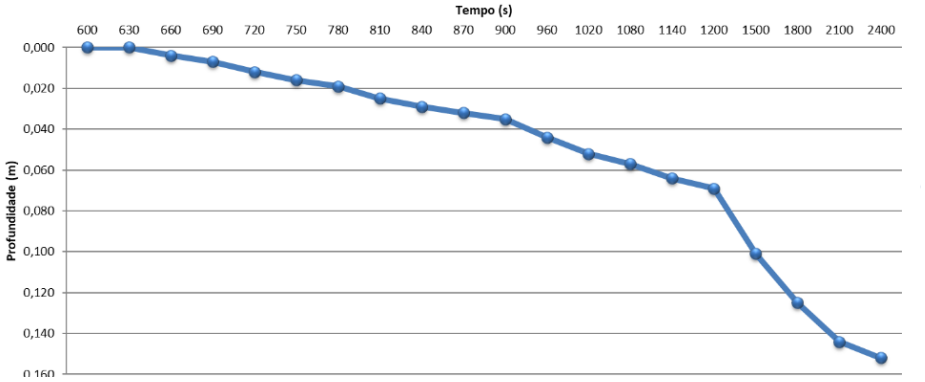
ST 04 -2023



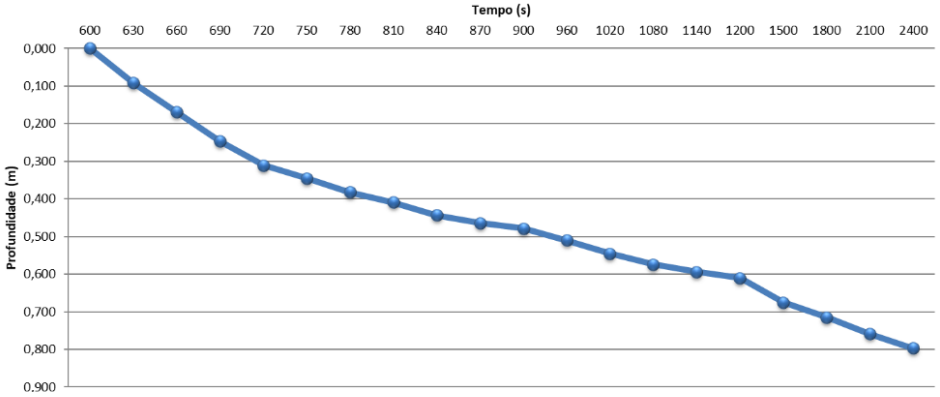
ST 05 -2023



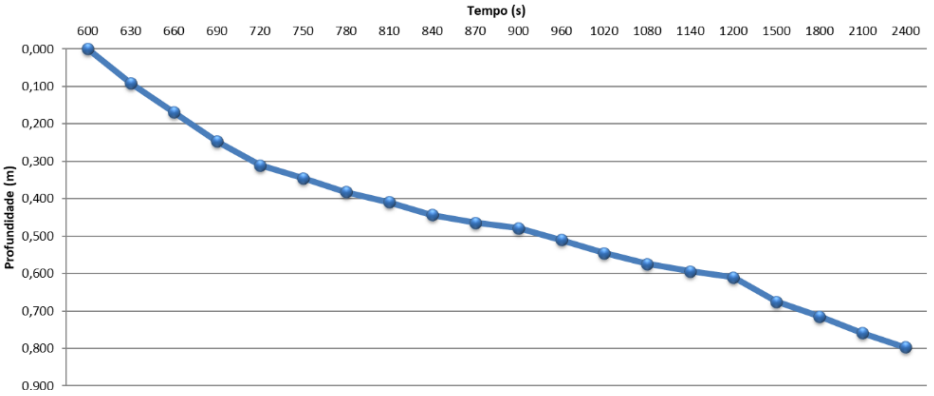
ST 06 -2023



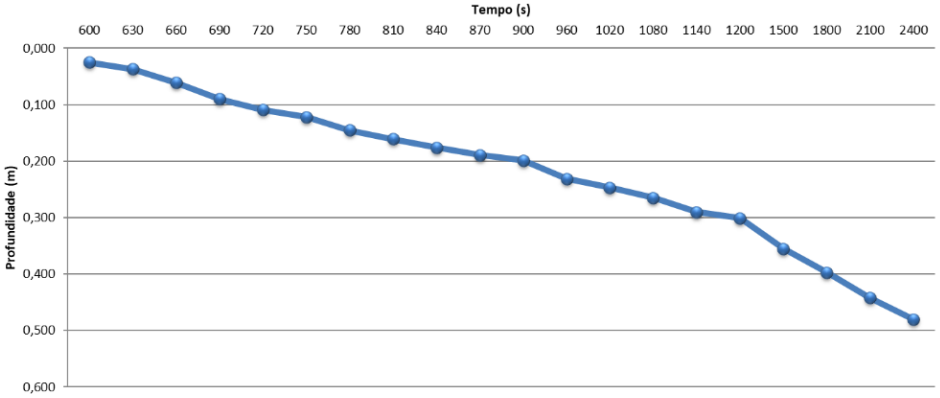
ST 07 -2023



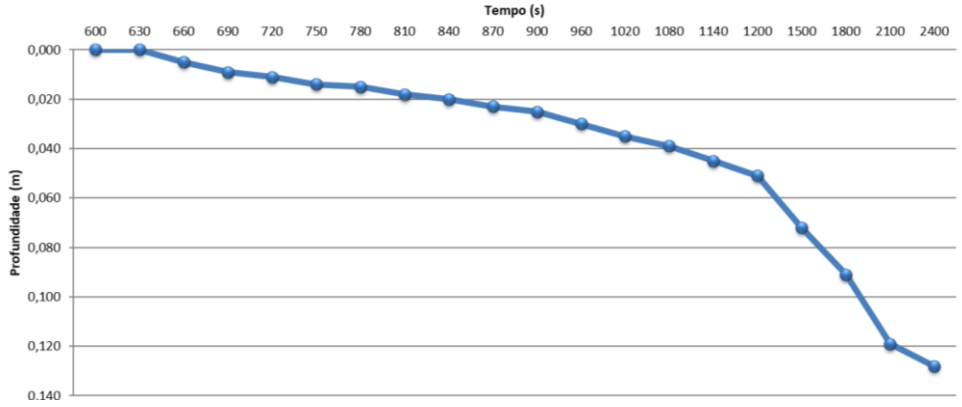
ST 08 -2023



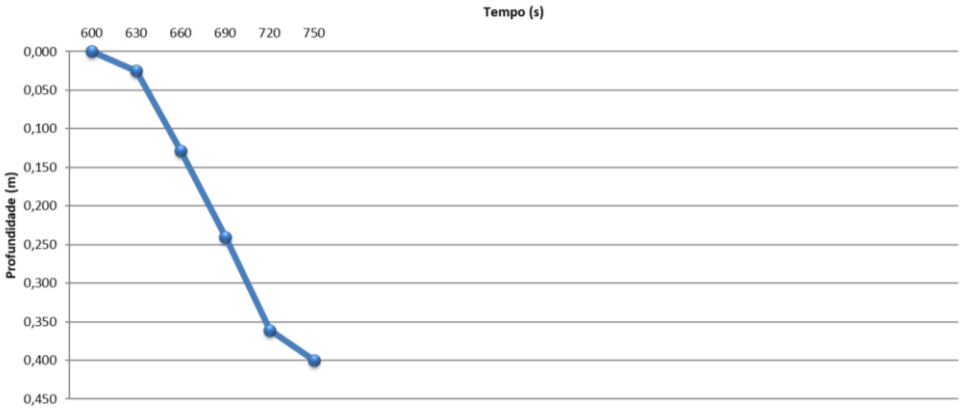
ST 09 -2023



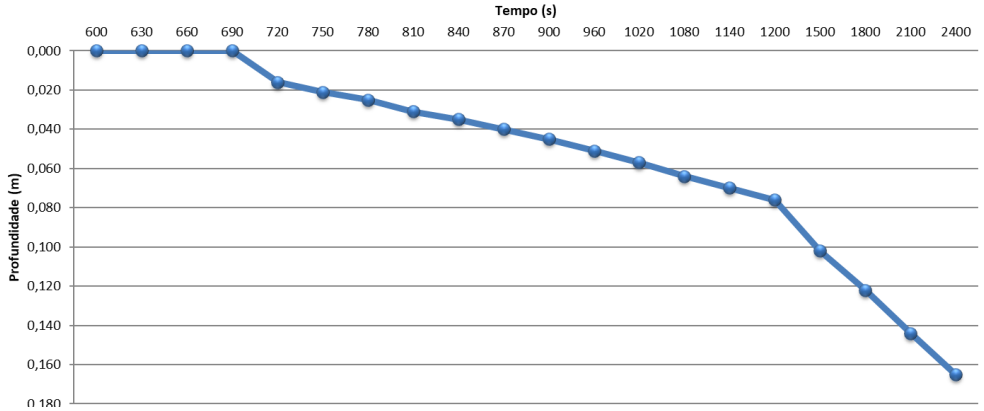
ST 10 -2023



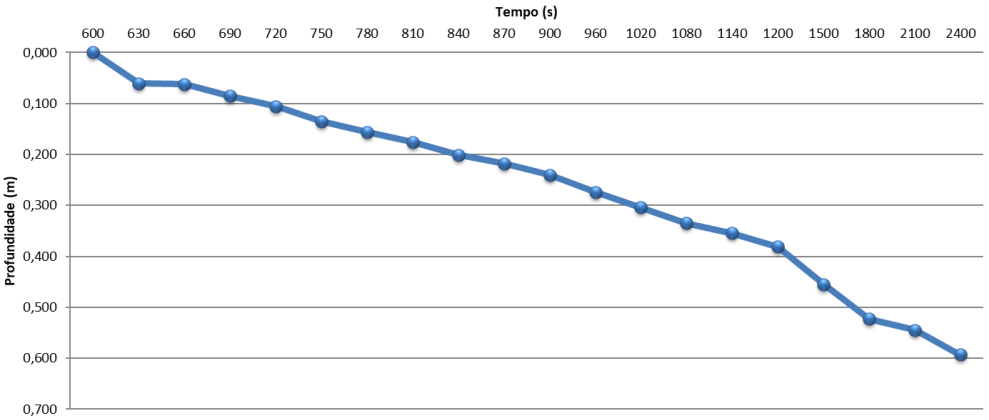
ST 11 -2023



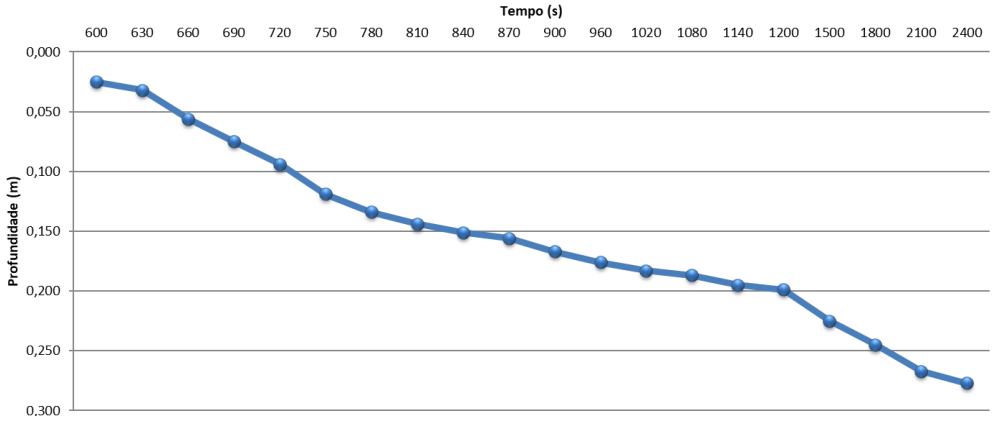
ST 12 -2023



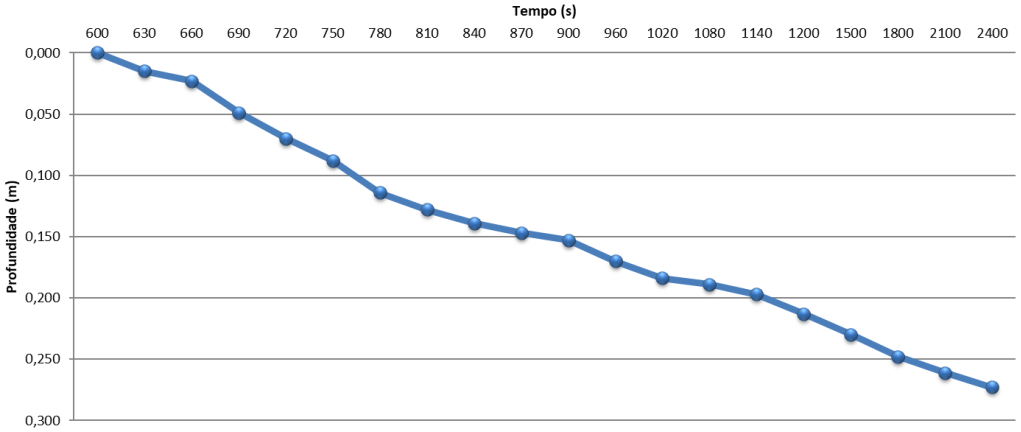
ST 13 -2023



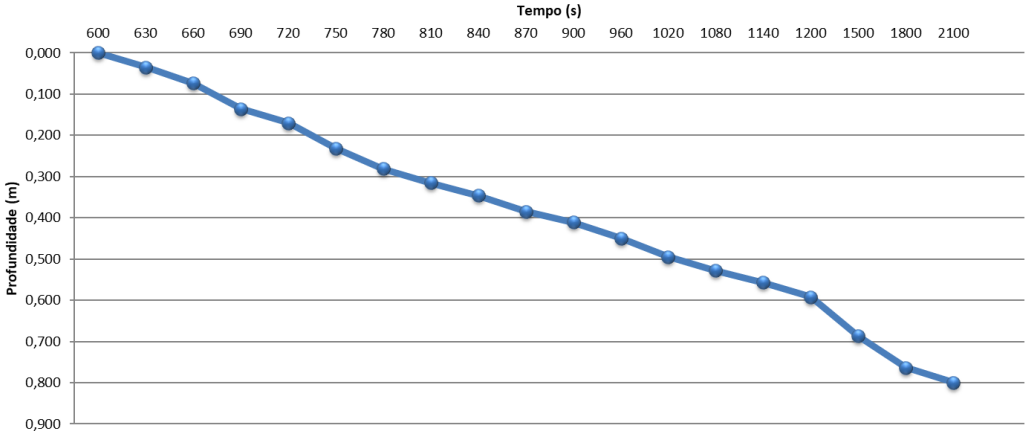
ST 14 -2023



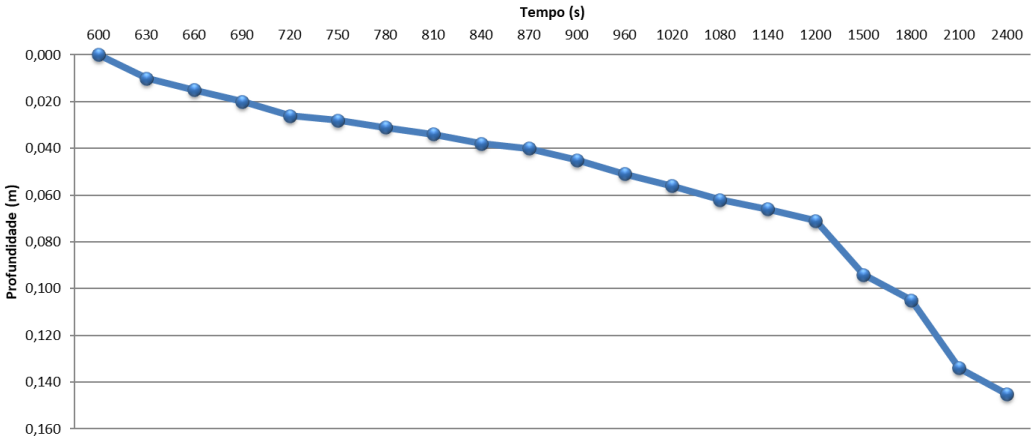
ST 15 -2023



ST 16-2023



ST 17 -2023



ST 18 -2023

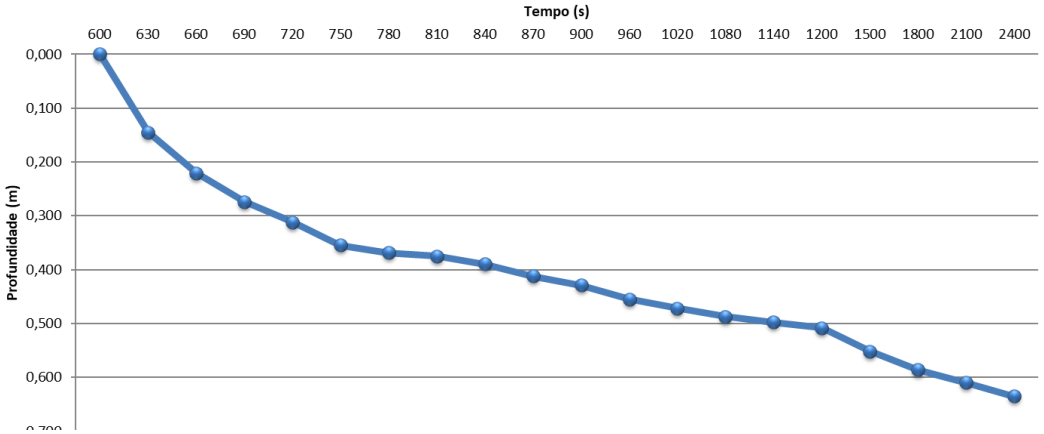


Figura 11.1-74: Curvas de rebaixamento (m) x tempo (s) - Ensaios de 2023.

Fonte: BTB Explorers, 2023.

Figura 11.1-75: A) e B) Perfuração da Sondagem e Ensaio de Rebaixamento 1- Neossolo Flúvico. C) e D) Perfuração da Sondagem Ensaio de Rebaixamento 3- Neossolo Litólico. E) Ensaio de Rebaixamento 4- Cambissolos. F) Ensaio de Rebaixamento 2 - Chernossolo Rêndzico.

Fonte: BTB Explorers, 2021 e 2023.

De forma geral os resultados obtidos, tanto em 2021 e 2023, apresentam condutividade hidráulica na ordem de 10^{-04} cm/s, que estão de acordo com as condutividades médias para solos contendo silte, areia fina, e argila segundo Fetter, C. W. (1994). Porém, dois ensaios apresentaram valores destoantes, o ST-05(2023) com condutividade na casa 10^{-05} cm/s e o

ST-11(2023) com valor de 10^{-03} cm/s. De forma geral, os Neossolos Litólicos predominam na área onde o estudo foi realizado (AID) em especial os associados aos Cambissolos, onde ambos os furos estão localizados. Um dos motivos para essa variação pode ser o nível de compactação do solo, sendo mais compactado e menor compactado respectivamente. Outro fator é a grande quantidade de mineral muscovita no furo ST-05, que ao intemperizar gera como subproduto argilo-minerais, que justificaria o valor menor de condutividade.

11.1.5.3.3 Caracterização Química dos Valores de Base para os Solos da ADA

A caracterização química dos solos da área de estudo (ADA e entorno imediato) foi realizada com base em 32 amostras de solo, sete realizadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), sete realizadas pela Tetra Mais (BTB Explores) em 2021, e dezoito coletas em 2023 pela Tetra Mais (BTB Explores). Tais análises tiveram por objetivo a caracterização química dos padrões de qualidade basais (antes da implantação do empreendimento). Para a caracterização dos radionuclídeos foi elaborado um programa de monitoração radiológica ambiental pré-operacional (PMRA-PO), onde foram coletadas, nas campanhas 01 e 03, 32 amostras, nas quais Tório total apareceu em todas as amostragens, enquanto o Urânio natural apresentou acima da atividade mínima detectável em 30 das 32 duas amostras coletadas. Vale destacar que a amostra SQ-13-SED apresentou Urânio total natural acima das demais concentrações observadas (882,47 Bq/Kg), conforme o Quadro 11.1.5-6.

Quadro 11.1.5-6: Pontos internos e externos à ADA.

			(Pontos internos à ADA)																				(Pontos externos à ADA)											
			AS-01-SED		AS-02-SED		AS-03-SED		AS-04-SED		AS-05-SED		AS-06-SED		AS-07-SED		AS-08-SED		AS-09-SED		AS-10-SED		SQ-01-SED		SQ-02-SED		SQ-05-SED		SQ-06-SED		SQ-10-SED		SQ-13-SED	
			C1	C3	C1	C3	C1	C3	C1	C3	C1	C3	C1	C3	C1	C3	C1	C3	C1	C3	C1	C3	C1	C3	C1	C3	C1	C3	C1	C3	C1	C3	C1	C3
Chumbo-210 (Pb)		Bq/Kg	0,64	3,91	0,91	7,24	0,94	22,78	0,94	0,62	0,64	0,58	4,42	0,61	6,8	0,67	10,34	9,29	10,66	16,19	2,57	8,63	0,99	0,74	1	0,72	6,68	0,62	11,88	0,66	0,91	4,02	4,78	2,26
Rádio-226 (Ra)		Bq/Kg	0,93	47,66	26,58	2,17	1,82	30,6	50,13	5,27	34,36	73,66	0,96	27,23	3,39	8,18	4,32	38,96	2,46	18,91	43,03	9,39	5,38	47,64	0,77	41,78	18,61	26,99	0,73	20,13	6,7	8,29	0,88	25,22
Rádio-228 (Ra)		Bq/Kg	6,53	0,84	3,47	0,58	5,17	1,66	13,89	0,87	62,67	2,6	8,06	2,55	4,84	3,62	2,62	2,95	4,72	3,78	31,97	0,79	0,81	8,65	6,56	0,7	23,99	4,54	7,97	0,57	0,76	6,45	1,69	0,62
Tório total (Th)		Bq/Kg	47,14	41,67	81,59	24,07	57	15,6	21,55	98,56	53,14	31,93	31,57	19,03	16,5	18,81	74,34	45,37	41,37	39,36	43,28	19,22	33,3	9,95	91,41	30,51	24,95	41,32	41,19	18,18	92,56	80,16	108,39	26,74
Urânio natural (U)		Bq/Kg	173,68	76,75	40,16	91,18	143,68	21,12	72,67	63,15	78,22	9,31	61,51	5,04	47,29	1,32	193,85	7,62	208,56	18,06	35,6	1,38	179,7	10,21	330,21	62,71	94,14	28,19	138,14	14,58	150,9	166,26	882,47	120,08
Mínimo - Série histórica	Chumbo-210 (Pb)		66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	67,27	67,27	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16	66,16
	Rádio-226 (Ra)		62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	110,22	110,22	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48	62,48
	Rádio-228 (Ra)		79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	87,34	87,34	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41	79,41
	Tório total (Th)		17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	20,20	20,20	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09
	Urânio natural (U)		123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75
Máximo - Série histórica	Chumbo-210 (Pb)		226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	125,32	125,32	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15	226,15
	Rádio-226 (Ra)		280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	157,33	157,33	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53	280,53
	Rádio-228 (Ra)		137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	108,62	108,62	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04	137,04
	Tório total (Th)		67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	26,50	26,50	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24	67,24
	Urânio natural (U)		203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	184,71	184,71	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18	203,18

Valores dentro ou acima da máxima histórica | Valores dentro ou abaixo da mínima histórica | AMD - Atividade Mínima Detectável da Amostra Analisada

Elaboração: BTB Explores, 2023.

A escolha dos pontos de amostragem do solo foi orientada de forma a realizar ao menos uma coleta em cada tipo de solo e em diferentes tipos de domínios geomorfológicos. As sondagens foram realizadas de acordo com a norma ABNT/NBR 15.492/2007 – Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental, com descrição dos tipos de solos segundo a ABNT NBR 6502/1995 - Rochas e Solos; A Coleta de amostras de solo foi realizada de acordo com as normas ABNT/NBR 16.434/2015 Amostragem de resíduos sólidos, solos e sedimentos — e ABNT/NBR 16.435/2015; Controle qualidade na amostragem para áreas contaminadas; com acondicionamento, refrigeração e elaboração das cadeias de custódia. Após a coleta e acondicionamento adequado, todas as amostras foram enviadas ao laboratório analítico (Bioagri Laboratórios Ltda.), visando a determinação dos parâmetros previstos na Resolução CONAMA nº 420/2009.

As amostras de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), de 2021 (Tetra Mais/BTB Explores) e de 2023 (Tetra Mais/BTB Explores) foram coletadas através de pequenas escavações com 1 m x 1 m e 20 cm de profundidade (Figura 11.1-76 e Figura 11.1-77).

Figura 11.1-76: Escavação no horizonte chernozênico para coleta de amostras para análise química.

Fonte: ARCADIS Logos, 2014.

Figura 11.1-77: Escavação em horizonte A (mineral/orgânico) de Neossolo Litólico para coleta de amostra.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Em 2023, com o levantamento dos ensaios de rebaixamento d'água no solo supracitados no item anterior, foram coletadas amostras do solo e enviadas para o laboratório Mérieux NutriSciences, para análise por cromatografia VOC, seguindo os parâmetros da Resolução CONAMA nº 420/2009. As amostras foram coletadas no ponto mais fundo das sondagens, conforme a Figura 11.1-78.

Figura 11.1-78: Coleta do solo durante as etapas de ensaios de rebaixamento d'agua.
Fonte: BTB Explorers, 2023.

Levando-se em conta o arcabouço pedológico e geológico da área, os principais aspectos do empreendimento e o uso do solo na região, o qual não apresenta grandes influências antrópicas ou existência de fontes poluidoras potenciais ao longo de seu histórico de ocupação, considera-se que a malha amostral adotada é adequada aos propósitos deste diagnóstico. No Quadro 11.1.5-7 são apresentadas as coordenadas dos pontos de amostragem, e no Mapa 11.1-11.

Quadro 11.1.5-7: Pontos de amostragem para análise de solos em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), 2021 e 2023.

PONTO	SOLO/ROCHA	UTM X (m)	UTM Y (m)	ANO
P-05-C	Neossolo Litólico/ Gnaisse	415257	9494945	2011
P-07-C	Chernossolo Rêndzico/ Mármore	414991	9495523	
P-11-C	Neossolo Litólico/ Colofanito	414254	9495783	
P-01-C	Neossolo Litólico/ Gnaisse	414606	9493925	
P-06-C	Cambissolo Vermelho-Amarelo/Gnaisse	415029	9494595	
P-08-C	Neossolo Litólico/ Gnaisse	414213	9496052	
P-10-C	Chernossolo Rêndzico/ Mármore	413112	9494603	

PONTO	SOLO/ROCHA	UTM X (m)	UTM Y (m)	ANO
P1	Chernossolo Rêndzico	414058	9496248	2021
P2	Neossolo Litólico	414389	9495453	
P3	Chernossolo Rêndzico	415437	9494314	
P4	Neossolo Litólico	416765	9494851	
P5	Neossolo Litólico	414688	9494056	
P6	Neossolo Litólico	416144	9494601	
P7	Neossolo Litólico	413534	9496405	
ST01	Neossolos Flúvicos	411804	9494188	2023
ST02	Cambissolos	410871	9493875	
ST03	Neossolos Litólicos	418214	9491046	
ST04	Neossolos Litólicos/Mármore	415088	9492672	
ST05	Neossolos Litólicos/Gnaisse	413679	9492858	
ST06	Cambissolos	412933	9493503	
ST07	Neossolos Litólicos	414744	9495141	
ST08	Neossolos Litólicos	414627	9495694	
ST09	Cambissolos	414386	9496027	
ST10	Cambissolos /Ganisse	418661	9491985	
ST11	Neossolos Litólicos	419677	9492635	
ST12	Neossolos Litólicos	415776	9494731	
ST13	Neossolos Litólicos/Quartzito	418056	9491096	
ST14	Chernossolos Rêndzicos	415977	9494423	
ST15	Neossolos Flúvicos	415250	9494167	
ST16	Chernossolos Rêndzicos	403318	9487679	
ST17	Neossolos Litólicos	401555	9487866	
ST18	Neossolos Flúvicos	408810	9491783	

Elaboração: BTB Explorers, 2023.

Os padrões de qualidade adotados para o solo, se referem aos estabelecidos na Resolução CONAMA nº 420/2009.

Os resultados analíticos apresentados nas tabelas do Anexo 11.1.5-1, obtidos a partir dos laudos laboratoriais, também apresentados no Anexo 11.1.5-1, referentes às campanhas de 2021 e 2023. Os dados levantados durante a campanha de 2023 estão compilados no Quadro 11.1.5-8, onde são apresentados apenas os elementos químicos que ultrapassaram o limite de quantificação. Foram analisados a porcentagem de sólidos totais, 20 metais e 60 hidrocarbonetos aromáticos e policíclicos aromáticos. Dos 20 metais, apenas Cádmio, Prata e Selênio não foram detectados. Foi realizado levantamento estatístico de percentil 90, 75, 50 e 25 para melhor compreensão e distinção entre locais amostrados.

Quadro 11.1.5-8: Resultados dos elementos quantificados em análise de sedimentos de 2023.

Análise	Unidade	VP	VI (i)	ST01 (reamostragem)	ST01	ST02	ST 03	ST04	ST05	ST06	ST07	ST08	ST09	ST10	ST11	ST12	ST13	ST14	ST15	ST16	ST17	ST18	Percentil 90	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75
% de Sólidos	% p/p			97,5	97,7	96,9	97,9	89,7	83,6	97,5	87,8	93,3	83,8	92,8	82,1	99,4	88,3	77,2	92,5	97,2	90,3	92,5	97,74	88,08	92,50	97,35
Alumínio	mg/kg	-	-	8280	35600	13800	6220	32900	77800	27200	39200	15100	46900	73200	39300	9260	34300	45800	45500	42100	40400	13500	52160	14520	35600	43800
Antimônio	mg/kg	2	25	0,91	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	3,8	1,3	2,1	1,2	3,7	3,7	<0,5	<0,5	14,4	3,1	<0,5	<0,5	12,6	<0,5	12,60	1,23	3,09	3,76
Arsênio	mg/kg	15	150	<1	2,4	4,2	<1	1,9	2,4	3,4	1,8	1,2	25,9	4,0	<1	<1	1,5	3,4	<1	<1	<1	2,3	4,17	1,88	2,40	3,50
Bário	mg/kg	150	750	88,9	121,0	89,6	18,5	66,3	321,0	104,0	130,0	78,2	309,0	349,0	152,0	68,5	102,0	82,7	154,0	87,0	186,0	63,0	311,40	80,69	102,00	153,00
Boro	mg/kg	-	-	22,1	32,6	23,6	18,4	37,4	57,4	37,3	49,6	27,4	54,6	60,3	50,4	23,7	32,1	23,7	41,8	33,1	39,5	25,7	55,16	24,81	33,10	45,70
Chumbo	mg/kg	72	900	4,5	9,2	6,4	3,2	6,4	5,8	3,0	14,2	4,6	20,8	12,4	9,3	4,6	10,1	45,2	6,8	27,8	9,2	4,0	22,20	4,58	6,84	11,25
Cobalto	mg/kg	25	90	4,5	11,0	6,4	2,1	9,9	23,9	9,5	15,1	6,1	15,0	12,5	12,9	4,1	6,7	3,9	13,3	7,7	13,9	6,7	15,02	6,25	9,46	13,10
Cobre	mg/kg	60	600	11,7	27,6	15,6	3,7	17,2	43,9	21,6	29,5	10,7	59,5	51,6	25,5	7,4	17,6	31,3	26,6	26,6	29,0	10,1	45,44	13,86	25,50	29,25
Cromo	mg/kg	75	400	20,1	56,5	315,0	25,9	47,8	86,7	64,3	55,0	41,9	66,6	82,8	47,2	66,4	47,2	27,2	30,8	41,6	71,5	24,2	83,58	36,78	47,80	66,50
Ferro	mg/kg	-	-	8240	21000	14400	3950	25100	53000	26000	43300	14100	45200	58300	25800	8840	23000	7130	33700	18300	31900	13500	46760	13832	23000	32800
Manganês	mg/kg	-	-	177	333,0	161,0	81,4	270,0	922,0	190,0	496,0	139,0	824,0	157,0	627,0	49,5	195,0	68,5	628,0	913,0	563,0	323,0	841,80	159,22	270,00	595,00
Mercúrio	mg/kg	0,5	70	<0,05	0,1	0,1	<0,05	<0,05	0,1	<0,05	0,1	<0,05	0,1	0,2	<0,05	<0,05	<0,05	0,2	0,1	<0,05	0,1	<0,05	0,17	0,08	0,09	0,14
Molibdênio	mg/kg	30	120	<1	<1	10,3	<1	<1	<1	<1	<1	1,1	1,1	<1	<1	1,9	<1	<1	<1	<1	<1	<1	7,79	1,08	1,51	4,02
Níquel	mg/kg	30	130	11,1	16,3	64,0	5,6	18,7	41,3	27,1	29,4	13,4	35,7	34,7	17,8	19,2	14,4	9,3	25,4	23,9	29,4	11,5	36,82	13,95	19,20	29,40
Nitrato	mg/kg	-	-	<0,92	3,4	<0,92	<0,92	<1	3,3	3,3	<1	<0,97	<1,1	<0,97	38,5	1,6	<1	<1,2	<0,98	<0,92	<1	<0,97	24,48	3,29	3,34	3,44
Vanádio	mg/kg	-	1000	17,4	33,1	26,7	9,6	37,9	72,4	41,1	49,7	26,9	83,0	98,2	44,8	20,8	37,5	27,3	50,8	21,6	58,1	25,5	74,52	26,16	37,50	50,25
Zinco	mg/kg	300	2000	21,5	27,1	23,4	11,9	42,9	99,7	40,9	64,8	25,9	55,1	77,0	52,5	18,6	32,1	97,7	48,7	34,0	43,9	22,5	81,14	24,79	40,90	53,80

LQ - Limite de quantificação

VP - Valores de prevenção

VI - Valores de Investigação - (a) agrícola, (r) residencial, (i) industrial

Junto aos levantamentos em percentil, foram levantados gráficos em *boxplot* (Figura 11.1-79), com a determinação do primeiro e terceiro quartil, média, máximos e mínimos do Quadro 11.1.5-9.

Quadro 11.1.5-9: Tabela de confecção dos gráficos em *boxplot*.

GRÁFICO 01											
Dados	Arsênio	Antimônio	Boro	Chumbo	Cobalto	Cobre	Molibdênio	Níquel	Nitrato	Vanádio	Zinco
Máximo	25,90	14,40	60,30	45,20	23,90	59,50	10,30	64,00	38,50	98,20	99,70
Q3	3,50	3,76	45,70	11,25	13,10	29,25	4,02	29,40	3,44	50,25	53,80
Média	4,52	4,30	36,35	10,91	9,74	24,56	3,60	23,59	10,02	41,18	44,22
Q1	1,88	1,23	24,70	4,58	6,24	13,65	1,08	13,90	3,29	26,10	24,65
Mínimo	1,18	0,55	18,40	2,96	2,07	3,65	1,08	5,62	1,55	9,57	11,90

GRÁFICO 02		
Dados	Alumínio	Ferro
Máximo	77800	58300
Q3	43800	32800
Média	34019	24987
Q1	14450	13800
Mínimo	6220	3950

GRÁFICO 03			
Dados	Bário	Cromo	Manganês
Máximo	349,00	315,00	922,00
Q3	153,00	66,50	595,00
Média	135,30	64,14	374,60
Q1	80,45	36,20	159,00
Mínimo	18,50	20,10	49,50

GRÁFICO04	
Dados	Mercúrio
Máximo	0,23
Q3	0,14
Média	0,11
Q1	0,08
Mínimo	0,05

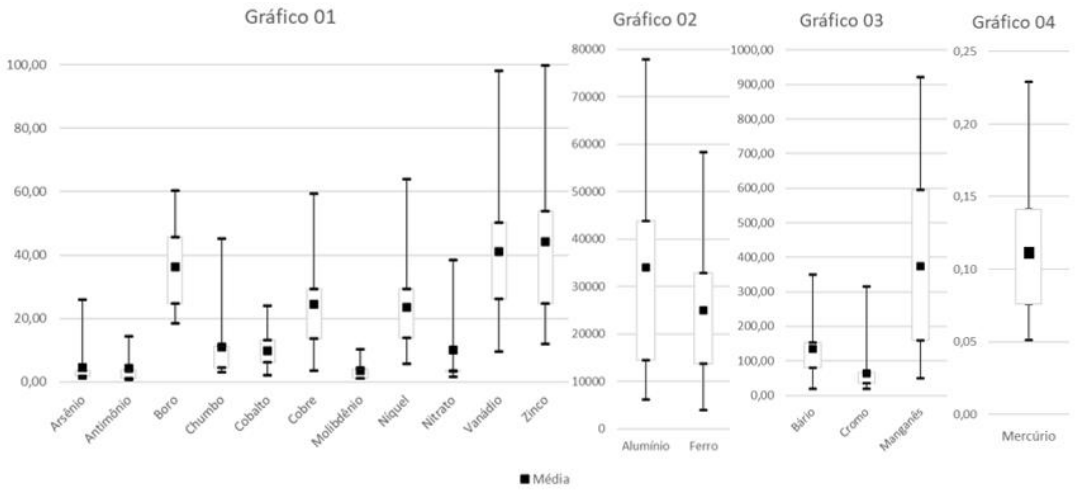


Figura 11.1-79: Gráficos *boxplot* dos elementos químicos analisados nos sedimentos de 2023.

De forma geral, os valores dos *boxplot* são simétricos a assimétricos negativos, com o intervalo entre o primeiro e terceiro quartil, e estão próximos aos limites mínimos. Em sua maioria, os resultados apresentaram concentração inferiores ao Valor de Investigação (VI), mesmo considerando os valores mais restritivos associados ao uso preponderante agrícola. Ocorrências de elementos como Ferro e Alumínio são esperados em concentrações altas, devido à grande presença desses elementos na crosta terrestre. Como a região conta com regimes de precipitação inferiores aos 800 mm anuais, metais como os descritos, tendem a se concentrar com os sedimentos e na subsuperfície.

As únicas concentrações acima dos valores de prevenção (VPs), os mais restritivos da Resolução CONAMA nº 420/2009, referem-se a Arsênio (amostra P-11C, ST09), Bário (amostras P- 11C, P-1, ST09, ST10 e ST11), e Níquel (amostra P-1 e ST02). Nas amostragens de 2023, foram diagnosticados alguns novos elementos acima da Resolução em pauta nas seguintes sondagens: Antimônio (ST05, ST07, ST09, ST10, ST13 e ST14), Bário (ST09, ST10, ST11, ST15 e ST17), Cromo (ST05) e Níquel (ST02). Além desses elementos que foram encontrados em teores acima dos valores padrões, vale destacar que foi detectado Mercúrio nas amostras ST05, ST10, ST14 e ST15, porém todos abaixo do valor de 0,5 mg/kg, variando de 0,114 mg/kg a 0,229 mg/kg no ST10.

Os compostos metálicos Alumínio, Ferro e Manganês, foram identificados em todas as amostras e representam as maiores concentrações. Por se tratarem de compostos naturalmente presentes e abundantes nos solos brasileiros, a Resolução CONAMA nº 420/2009 não estabelece valores orientadores para estas substâncias.

No caso do alumínio, estes teores podem ser justificados pelos litotipos que originaram o solo, basicamente gnaisses, caracteristicamente ricos neste elemento devido aos minerais

micáceos e feldspatos. Estes, por sua vez, quando submetidos à ação do intemperismo, podem liberar o metal, proporcionando o enriquecimento dos respectivos solos.

A alta concentração de manganês e ferro pode estar associada com óxidos e hidróxidos, também de origem supérgena, que igualmente elevam a concentração destes compostos.

Vale ressaltar que os demais metais que ultrapassaram o valor da Resolução CONAMA nº 420/2009 nas investigações, estão espalhados por toda área da AID, indicando que essas concentrações são naturais do solo. A exemplo disso, verifica-se os pontos ST09 e ST10 que possuem valores de Bário semelhantes (309 e 349 mg/kg), porém estão a uma distância superior a 5 km, sendo necessário cruzar quatro drenagens/rios em linha reta.

Os hidrocarbonetos aromáticos e policíclicos aromáticos indicativos de produtos derivados de petróleo, estão todos em concentrações abaixo dos VPs da Resolução CONAMA nº 420/2009. Os compostos organoclorados, fenóis não clorados e ésteres ftálicos indicativos de substâncias químicas industriais, também estão todos em concentrações abaixo dos VPs da Resolução CONAMA nº 420/2009.

Os pesticidas organoclorados indicativos de eventual contaminação por conta de utilização agrícola do solo, também estão todos em concentrações abaixo dos VPs da Resolução CONAMA nº 420/2009.

Os PCBs, que estão relacionados ao óleo ascarel antigamente utilizado em transformadores, não foram quantificados em nenhuma das amostras. Ressalta-se que os limites de quantificação do método analítico estão acima dos VPs, mas abaixo de todos os VIs da Resolução CONAMA nº 420/2009.

11.1.5.3.4 Fragilidade à erosão

Para análise da fragilidade à erosão foi considerado o mapa de fragilidade apresentado em ARCADIS LOGOS, 2014, além dos levantamentos primários complementares realizados em 2020, 2021 e 2023.

O modelo preditivo empírico de perda de solo utilizado em ARCADIS LOGOS, 2014, teve como base a Equação Universal da Perda de Solo (EUPS), que possibilita classificar uma região em função da quantidade de solo perdida durante um ano por unidade de área (t/ha.ano), permitindo uma avaliação qualitativa da remoção de frações do solo devido à ação de processos erosivos laminares e concentrados. A utilização deste método se justifica por se basear em aspectos que, de fato, têm influência direta na deflagração e avanço dos processos, tais como: pluviometria, relevo, tipo e uso do solo.

Essa metodologia foi utilizada visando-se realizar apenas uma análise qualitativa, uma vez que valores maiores de perda de solo indicam terrenos com maior fragilidade à erosão. Conforme apresentado nas considerações metodológicas, a aplicação da equação se fundamenta em parâmetros como erosividade, erodibilidade, uso principal do solo e aspectos geomorfológicos.

No Mapa de Fragilidade à Erosão (Mapa 11.1-13), foram delimitados setores dentro da AID, cada qual, classificado com relação a sua fragilidade entre muito baixa a muito alta.

A fragilidade à erosão da AID está condicionada, principalmente, pelo fator relevo (LS), uma vez que os valores de erodibilidade (K) dos diferentes tipos de solos presentes na AID se mostraram pouco variáveis, conforme apresentado no Quadro 11.1.5-10. Os fatores erosividade da chuva (R) e ocupação do solo (C) também se mostraram constantes.

Quadro 11.1.5-10: Erodibilidade dos solos presentes na AID.

SOLO	ERODIBILIDADE (T.HA.ANO.TM^{-1}.HA^{-1}.MM^{-1})	CLASSE GRANULOMÉTRICA	INTERPRETAÇÃO
Neossolos Litólicos e Chernossolos Rêndzicos	0,25	Franco-argilo arenosa	Erodibilidade média
Neossolos Litólicos	0,27	Franco-arenosa	Erodibilidade média
Neossolos Litólicos e Cambissolos	0,27	Franco-arenosa	Erodibilidade média
Neossolos Flúvicos	0,05	Areia	Erodibilidade fraca

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

A análise do mapa demonstra que a maior parte da AID e praticamente toda a ADA possui muito baixa a baixa fragilidade à erosão, o que coincide com as áreas mais suaves de todo o sul e centro-oeste da área onde predominam o relevo da Depressão Sertaneja.

As áreas de afloramento rochoso também apresentam muito baixa fragilidade à erosão, mesmo em áreas mais declivosas, visto que nestas áreas não predominam processos erosivos, mas sim instabilidade de blocos. As áreas de fragilidade média a alta, coincidem com as porções inferiores das encostas mais íngremes, principalmente das serras e serrotes localizados nas porções leste e nordeste da AID, onde predominam as formas de relevo do Planalto Residual Sertanejo e onde se encontra a Serra do Céu, cuja encosta corresponde ao

local de maior fragilidade à erosão na AID. Isto se deve às altas declividades, significativo comprimento de rampa e presença de Neossolos Litólicos e Cambissolos de cor vermelho-amarelos.

405.000

420.000

9.500.000

9.485.000

Canindé

Itatira

Boa Viagem

Santa Quitéria

Serra do Gavião

Serra dos Cacimbas

Serra do Céu

Serrote da Igreja

Serrote do Amargoso

Serra da Mata Fome

Serrote do Curimatã

Serra da Laranjeira

Serra Arapuá

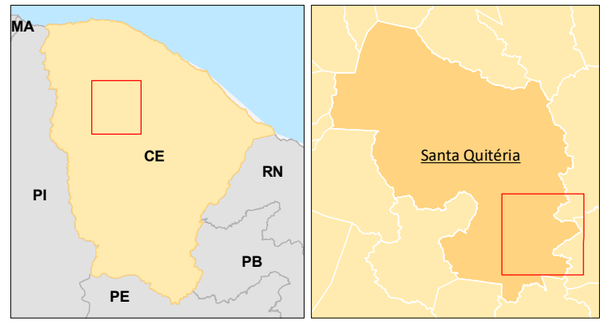
Serra do Quati

Serra de São João

Rio Groaíras

Serra da Negra

Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional

- Limite Municipal

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)

Hidrografia

- Cursos d'água
- Rio Groaíras

Elementos Fisiográficos Naturais

- Serras

Fragilidade à Erosão

- Muito Baixa
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito Alta

Fonte:
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.
ARCADIS, 2014. Fragilidade à erosão.

1:100.000

0 2 4 km

Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

CONSÓRCIO Santa Quitéria

tetra+

Projeto: **Projeto Santa Quitéria**

Título: Fragilidade à Erosão na AID e ADA

Formato	Escala	Folha
A3	1:100.000	Única

Data	Localização
30/10/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

11.1.5.4 Considerações Finais

De acordo com o mapeamento pedológico realizado pelo IBGE no âmbito do programa de Mapeamento de Recurso Naturais (MRN), na AII do empreendimento predominam cinco ordens principais de solo, a saber: Luvissolos Crômicos, Planossolos Háplicos, Neossolos Litólicos e Argissolos Vermelho e Chernossolo Rêndzico.

A classe dos Planossolos Háplicos ocorre, majoritariamente, na porção central e oeste da AII, associados ao relevo rebaixado da Depressão Sertaneja e as rochas do Complexo Tamboril- Santa Quitéria. Essa classe de solo totaliza uma área de cerca de 270 km^2 (30,1%).

Os Luvissolos Crômicos ocorrem, principalmente, na porção leste da AII, notando-se também fragmentos na porção norte e oeste, abarcando uma área total de cerca de 270,3 km^2 (cerca de 30,2%).

Os Neossolos Litólicos abarcam cerca de 197,5 km^2 (22%) e ocorrem, predominantemente, nas porções centro norte e leste da AII, a leste da Falha de Groaíras. Localmente na porção oeste também é observado a ocorrência desta classe de solo.

Os Argissolos Vermelho incidem, unicamente, na porção sul da AII, relacionados às áreas topograficamente elevadas dos Maciços Residuais Sertanejos (Planalto Sertanejo), e perfazem cerca 161,3 km^2 da AII, os quais correspondem a 17% da sua área total.

Os Chernossolos Rêndzicos ocorrem pontualmente na área de estudo, e associam-se ao relevo movimentado do Serrote da Igreja, onde se encontra a Jazida Itataia e, variam de solos pouco profundos a profundos, podendo apresentar suscetibilidade aos processos erosivos, sobretudo em áreas de relevo movimentado.

As significativas oscilações térmicas, principalmente as ocorridas ao longo do dia, contribuem para a ação de processos intempéricos físicos que provocam a fragmentação das rochas e a formação de blocos de rocha geralmente angulosos, mas pouco contribuem para a formação dos solos. Os baixos índices de pluviosidade anual não favorecem a atuação dos processos de intemperismo químico, de forma que mesmo os solos residuais de alteração de rocha são pouco expressivos na área.

Este contexto resulta em um arcabouço pedológico muito homogêneo e monótono, onde todo terreno é marcado por extensas ocorrências de Neossolos predominantemente Litólicos, e subordinadamente Flúvicos, com ocorrências conjuntas de Chernossolo Rêndzicos e Cambissolos de coloração vermelha a amarelado, além de áreas com afloramentos rochosos.

Outro aspecto de interesse diagnosticado durante os levantamentos de campo diz respeito à notável correlação entre pedologia e geologia. Nos locais onde os Neossolos Litólicos dão lugar a solos mais evoluídos, observa-se a influência da rocha aflorante sobre os horizontes desenvolvidos. Esta correlação é embasada, principalmente, nas diferenças geoquímicas marcantes entre os principais litotipos, em especial entre os gnaisses e migmatitos, e os metacarbonatos (calcissilicáticas e mármores), que por serem ricos em cálcio, condicionam a formação dos horizontes chernozêmicos.

Os resultados de condutividade hidráulica, apresentam em sua maioria, valores de 10^{-04} cm/s, estão de acordo com as condutividades médias para solos contendo silte, areia fina, e argila segundo Fetter, C. W. (1994). Porém, dois ensaios apresentaram valores destoantes, o ST-05(2023) com condutividade na casa 10^{-05} cm/s e o ST-11(2023) com valor de 10^{-03} cm/s. De forma geral, os Neossolos Litólicos predominam na área onde o estudo foi realizado (AID) em especial os associados aos Cambissolos, onde ambos os furos estão localizados. Um dos motivos para essa variação pode ser o nível de compactação do solo, sendo mais compactado e menor compactado respectivamente. Outro fator é a grande quantidade de mineral muscovita no furo ST-05, que ao intemperizar gera como subproduto argilo-minerais, que justificaria o valor menor de condutividade.

A título de comparação, solos argilosos com baixa condutividade apresentam condutividade hidráulicas (K) em torno de 10^{-7}cm/s, indicando que os valores da região correspondem a solos mais imaturos de condutividades médias semelhante a solos argilo arenosos. Isso ocorre principalmente pela grande presença de sedimentos arenosos (cerca de 30% areias finas e 20% de areias médias) e argilo siltosos (cerca de 30%).

Mas além do fator granulométrico, a correlação com as baixas espessuras do solo é imprescindível para compreender os valores de (K), onde, dificilmente as sondagens a trado ultrapassaram os 1m. O baixo desenvolvimento está ligado diretamente ao clima, onde as baixas pluviosidades impedem o desenvolvimento do manto de intemperismo e consequentemente na geração de solos mais argilosos e menos condutivos.

Os padrões de qualidade adotados para o solo, se referem aos estabelecidos na Resolução CONAMA nº 420/2009. Nenhum dos resultados analíticos laboratoriais de solo apresentou concentração maior do que o Valor de Investigação (VI) da Resolução CONAMA nº 420/2009, mesmo considerando os valores mais restritivos associados a uso preponderante agrícola. Elementos como Ferro e Alumínio são esperados registrar em concentrações altas, devido à grande presença desses elementos na crosta terrestre. Como a região conta com regimes de precipitação inferiores aos 800 mm anuais, metais como os descritos, tentem a se concentrar com os sedimentos e na subsuperfície.

As únicas concentrações acima dos valores de prevenção (VPs), os mais restritivos da Resolução CONAMA nº 420/2009, referem-se a Arsênio (amostra P-11C, ST09), Bário (amostras P- 11C, P-1, ST09, ST10 e ST11), e Níquel (amostra P-1 e ST02). Nas amostragens de 2023, foram diagnosticados alguns novos elementos acima da Resolução em pauta nas seguintes sondagens: Antimônio (ST05, ST07, ST09, ST10, ST13 e ST14), Bário (ST09, ST10, ST11, ST15 e ST17)), Cromo (ST05) e Níquel (ST02). Além desses elementos que foram encontrados em teores acima dos valores padrões, vale destacar que foi detectado Mercúrio nas amostras ST05, ST10, ST14 e ST15, porém todos abaixo do valor de 0,5 mg/kg, variando de 0,114 mg/kg a 0,229 mg/kg no ST10.

Os compostos metálicos Alumínio, Ferro e Manganês, foram identificados em todas as amostras e representam as maiores concentrações. Por se tratarem de compostos naturalmente presentes e abundantes nos solos brasileiros, a Resolução CONAMA nº 420/2009 não estabelece valores orientadores para estas substâncias. No caso do alumínio, estes teores podem ser justificados pelos litotipos que originaram o solo, basicamente gnaisses, caracteristicamente ricos neste elemento devido aos minerais micáceos e feldspatos. Estes, por sua vez, quando submetidos à ação do intemperismo podem liberar o metal proporcionando o enriquecimento dos respectivos solos. A alta concentração de manganês e ferro pode estar associada com óxidos e hidróxidos, também de origem supérgena, que igualmente elevam a concentração destes compostos.

Os hidrocarbonetos aromáticos e policíclicos aromáticos indicativos de produtos derivados de petróleo; compostos organoclorados, fenóis não clorados e ésteres ftálicos indicativos de substâncias químicas industriais; pesticidas organoclorados indicativos de eventual contaminação por conta de utilização agrícola do solo; estão todos em concentrações abaixo dos VPs da Resolução CONAMA nº 420/2009. Os resultados analíticos para análise de PCBs, que estão relacionados ao óleo ascarel antigamente utilizado em transformadores, não foi quantificado em nenhuma das amostras. Com a ressalva de que os limites de quantificação do método analítico, estão acima dos VPs, mas abaixo de todos os VIs da Resolução CONAMA nº 420/2009.

Quanto à fragilidade à erosão, maior parte da AID e praticamente toda a ADA possui de muito baixa a baixa fragilidade à erosão, o que coincide com as áreas mais suaves de todo o sul e centro-oeste da área onde predominam o relevo da Depressão Sertaneja. As áreas de fragilidade média a alta, coincidem com as porções inferiores das encostas mais íngremes, principalmente das serras e serrotes localizados nas porções leste e nordeste da AID, onde predominam as formas de relevo do Planalto Residual Sertanejo e onde se encontra a Serra do Céu, cuja encosta corresponde ao local de maior fragilidade à erosão na AID. Isto se deve

às altas declividades, significativo comprimento de rampa e presença de Neossolos Litólicos e Cambissolos de coloração vermelha a amarelado.

11.1.6 Geotecnia

11.1.6.1 Considerações Metodológicas

Os aspectos geotécnicos da AID/ADA foram caracterizados através de dados secundários por meio de pesquisa bibliográfica, dados primários de mapeamento geológico, geotécnico, geomorfológico, pedológico, coleta de amostras de solo, análises laboratoriais e ensaios executados *in loco*, analisados utilizando ferramentas de geoprocessamento. As metodologias utilizadas para cada um dos ensaios geotécnicos são as seguintes:

+ Ensaio de Compactação de Proctor Normal: baseado na compactação mecânica de cinco camadas de solo em um molde cilíndrico a partir de golpes manuais com um soquete (norma NBR-7182/1986). As curvas de compactação resultantes foram construídas em função da umidade (%) e densidade (kg/m^3) e analisadas segundo a ASTM (D-698).

+ Índice de Atividade das argilas (IA): obtido a partir da razão entre o índice de plasticidade (IP) e a porcentagem da fração argila (menor que 0,002 mm no ensaio de sedimentação da granulometria conjunta).

+ Ensaio de capacidade de suporte (ISC): utiliza a medida de resistência à penetração da amostra compactada segundo o método de Proctor Normal (NBR-7182 1986). O valor da resistência à penetração é dado em porcentagem, onde 100% correspondem ao resultado de penetração obtido para amostra de brita de graduação elevada e percentuais menores indicam resistências à penetração progressivamente menores.

+ Ensaio de granulometria: foi realizado de duas maneiras distintas para os dois grupos de amostras coletadas. Para um grupo foram determinadas sete frações granulométricas, incluindo a separação entre silte e argila e, para outro, foi realizado um ensaio simplificado com o uso apenas de peneiras, sem a separação das frações mais finas.

+ Sondagem à percussão ou *Standard Penetration Test* (SPT) e Sondagem a trado (ST): Em 2022 foram executados 126 furos SPT com profundidade média de 0,84 metros e oito sondagens a trado, nas áreas das futuras instalações da usina de beneficiamento, cava, pilha de estéril e pilha de fosfogesso. Os ensaios de SPT seguiram as normas técnicas da ABNT NBR 6484-01 e as recomendações do Manual

de Sondagens da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental - ABGE.

+ Mapas geotécnicos da AID/ADA: elaborados por ARCADIS LOGOS, 2014 e atualizados em 2021 e 2023. Gerados através da integração da análise de suscetibilidade a movimentos de massa integrada com o mapa de fragilidade a erosão, junto aos dados de sondagem a percussão e demais ensaios. Foram considerados aspectos de declividade do terreno, curvatura das encostas em planta e perfil, características da rocha aflorante e estimativa da espessura de solo (o qual foi aferido com os dados de campo).

+ Análise da estabilidade geotécnica da região onde se encontra a jazida: realizada por ARCADIS LOGOS, 2014. Foi realizada com base na análise da orientação espacial de descontinuidades mapeadas durante o levantamento de campo, e tratadas estatisticamente com o uso de projeções estereográficas para determinação das principais famílias. Para caracterização geotécnica durante a operação da mina, foi realizada a análise geométrica da cava prevista pelo projeto. Dados secundários se referem principalmente a nota técnica sobre "Setorização estrutural do pit até a cota de 480 metros" (MENDONÇA, 1986). Em 2023, os estudos relativos à estabilidade dos taludes da cava, pilha de estéril e de fosfogesso foram atualizados, com base nos parâmetros geomecânicos estimados e na geometria prevista dessas estruturas. O estudo considerou efeitos sísmicos a partir da avaliação pseudo-estática, com base em acelerações estimadas no mapeamento de risco sísmico de Assunção *et al.*, 2016 (ASSUNÇÃO, M., PIRCHINER, M., DOURADO, J. C., BARROS, L. V., 2016).

+ Os litotipos representativos de meios porosos, ou zonas de condução de água em meio poroso, tiveram suas propriedades hidrogeológicas avaliadas por ensaios de infiltração através de um infiltrômetro de anel duplo. Esse ensaio consiste em dois anéis metálicos concêntricos, que devem ser inseridos no solo e preenchidos com água. O anel externo exerce a função de forçar a verticalidade da percolação no anel interno. Durante o ensaio, podem ser medidos o rebaixamento do nível d'água ou a quantidade de água necessária para manter o seu nível constante. Os resultados são interpretados segundo a lei de Darcy e, assim, são obtidos dados de condutividade hidráulica do solo superficial avaliado.

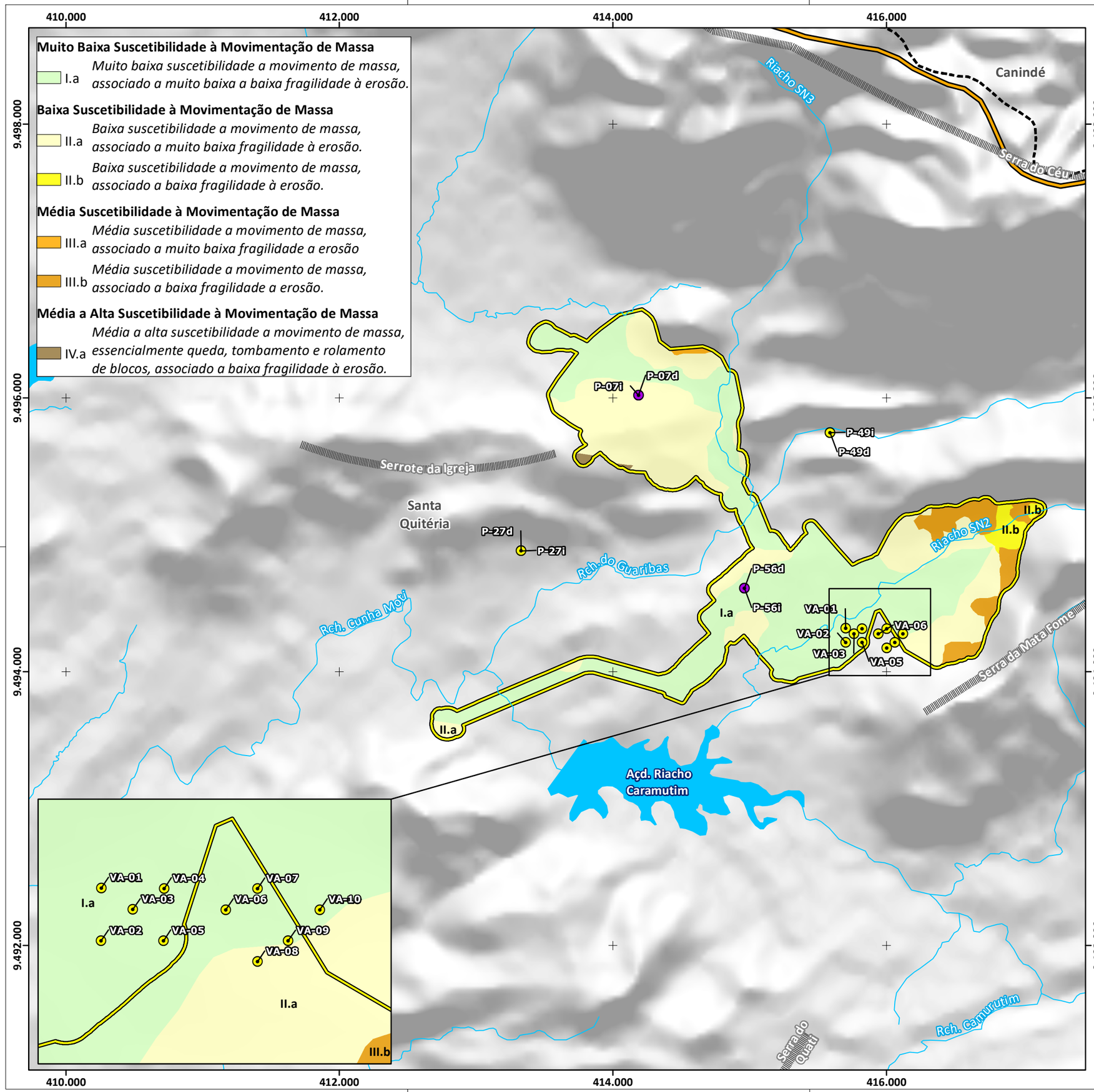
11.1.6.2 Caracterização Geotécnica dos Solos

Na extremidade leste-sudeste da ADA, foram realizados em janeiro de 2005, 10 ensaios geotécnicos visando à caracterização das coberturas existentes (VA-1 a VA-10) e sondagens à percussão (SP), objetivando, principalmente, a determinação do topo rochoso. Os resultados destas análises foram fornecidos diretamente pela INB. As amostras foram subdivididas e avaliadas em relação aos solos de alteração da Formação Alcantil e da Formação Barrigas. O Quadro 11.1.6-1 apresenta as informações das amostras e as referidas Formações, enquanto o Mapa 11.1-14 indica a localização das amostras.

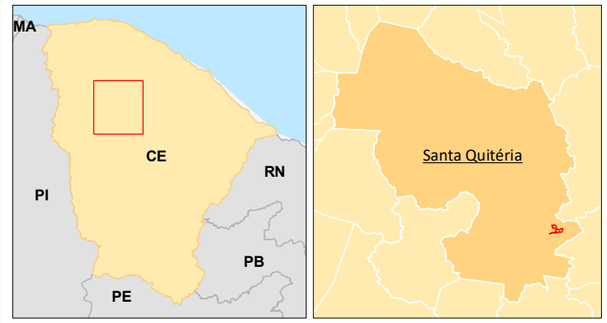
Quadro 11.1.6-1: Amostras Geotécnicas.

AMOSTRA	TIPO	FORMAÇÃO	COORDENADAS UTM (SIRGAS 2000)	
P-07d	Deformada	Barrigas	414188	9496021
P-07i	Indeformada	Barrigas		
P-27d	Deformada	Alcantil	413329	9494883
P-27i	Indeformada	Alcantil		
P-49d	Deformada	Alcantil	415589	9495747
P-49i	Indeformada	Alcantil		
P-56d	Deformada	Barrigas	414963	9494609
P-56i	Indeformada	Barrigas		
VA-01	Deformada	Barrigas	415702	9494315
VA-02	Deformada	Alcantil	415702	9494214
VA-03	Deformada	Alcantil	415763	9494274
VA-04	Deformada	Alcantil	415823	9494314
VA-05	Deformada	Barrigas	415822	9494214
VA-06	Deformada	Barrigas	415942	9494274
VA-07	Deformada	Barrigas	416003	9494314
VA-08	Deformada	Alcantil	416003	9494174
VA-09	Deformada	Barrigas	416062	9494214
VA-10	Deformada	Alcantil	416123	9494274

Elaboração: BTB Explorers, 2021. Adaptado de: ARCADIS LOGOS, 2014.



Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional
- Limite Municipal

Áreas de Influência
- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)

Hidrografia
- Cursos d'água
- Massas d'água

Elementos Fisiográficos Naturais
- Serras

Amostras Geotécnicas
- Formação Alcantil
- Formação Barrigas

Fonte:
BTB, 2023. Ensaios Geotécnicos.
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.
ARCADIS, 2013. Mapa Geotécnico.

1:28.000
0 0,5 1 km
Escala Gráfica
Norte do Mapa
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria
tetra+

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Localização das Amostras Geotécnicas

Formato	Escala	Folha
A3	1:28.000	Única

Data	Localização
30/10/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

Os ensaios de granulometria, compactação (ASTM D-698) por Proctor Normal, Índice de Atividade das Argilas (IA), capacidade de suporte (Índice de suporte Califórnia – ISC ou *California Bearing Ratio – CBR*), apresentados a seguir, foram utilizados para caracterização geotécnica dos solos de alteração.

11.1.6.3 Ensaios Granulométricos dos Solos

As análises granulométricas em amostras de solo foram coletadas em junho e julho de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), totalizando cinco amostras deformadas (P-07d, P-27d, P-49d, P-54d, P-56d) e cinco indeformadas (P-07i, P- 27i, P-49i, P-54i, P-56i). Em julho de 2022, oito novas amostras foram coletadas para análise granulométrica por peneiramento.

As análises das amostras coletadas pela ARCADIS (2014) foram complementadas com as análises realizadas pela INB (2005), em 10 amostras (VA-1 a VA-10), as quais foram analisadas por peneiramento, apresentando os percentuais de silte e argilas somados, com as curvas de distribuição iniciando em 0,01 mm.

Os resultados obtidos são apresentados na forma de curvas granulométricas, para os solos de alteração da Formação Alcantil (Figura 11.1-80), e outro para os solos de alteração da Formação Barrigas (Figura 11.1-81).

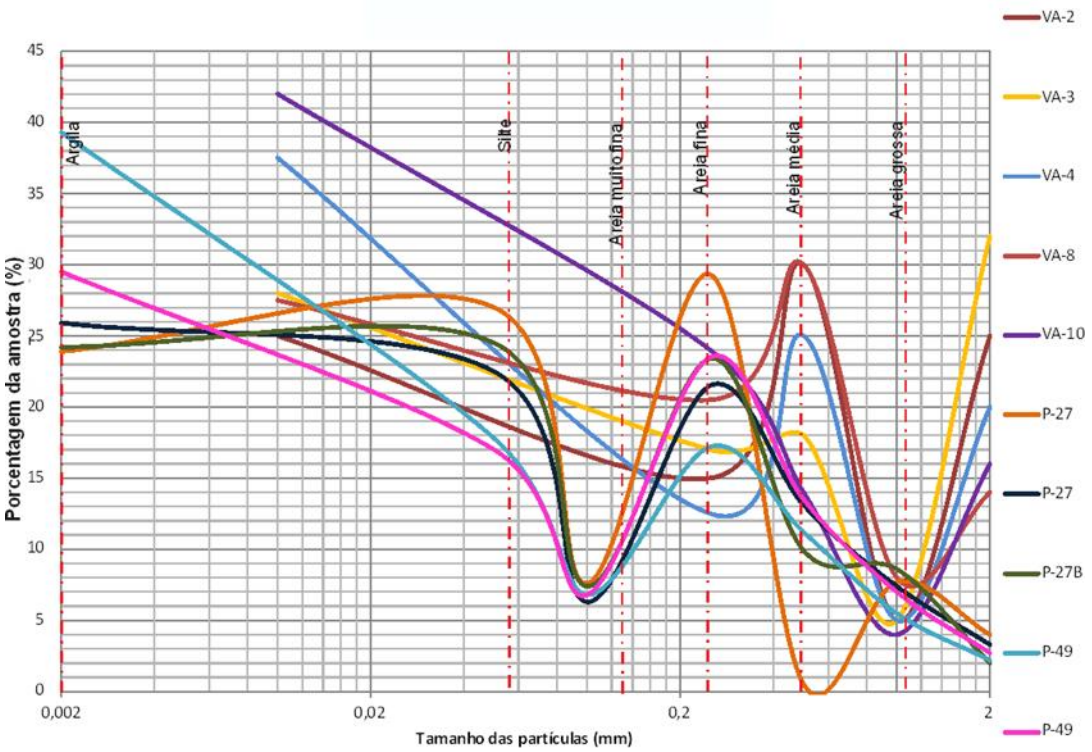


Figura 11.1-80: Curvas granulométricas dos solos de alteração da Formação Alcantil.
Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

De acordo com os resultados apresentados pela ARCADIS LOGOS, 2014, as curvas de distribuição granulométrica das amostras de solo dos terrenos da Formação Alcantil (Figura 11.1-80), composta essencialmente por mármores, apresentam nas amostras VA-2, VA-3, VA- 4, VA-8 e VA-10 (INB, 2005), percentuais elevados de frações grosseiras, uma vez que estas amostras foram coletadas incluindo seixos e calhaus. As amostras P-27-i, P-27-d, P-27B-d, P- 49-i e P-49-d, foram filtradas durante a coleta. As porcentagens de cada fração granulométrica para a Formação Alcantil são apresentadas no Quadro 11.1.6-2.

Quadro 11.1.6-2: Porcentagens de cada fração granulométrica para a Formação Alcantil.

FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA	PORCENTAGEM
Argilas	23 a 39%
Silte	15 a 33%
Areias Muito Fina a Média	10 a 30%
Areia Grossa	4 a 9 %

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Adaptado de: ARCADIS LOGOS, 2014.

As curvas de distribuição granulométrica das amostras de solo de alteração representativas da Formação Barrigas (Figura 11.1-81), composta essencialmente por gnaisses, iniciam nas frações argila e/ou silte, com proporção inicial variando entre 6% e 22%.

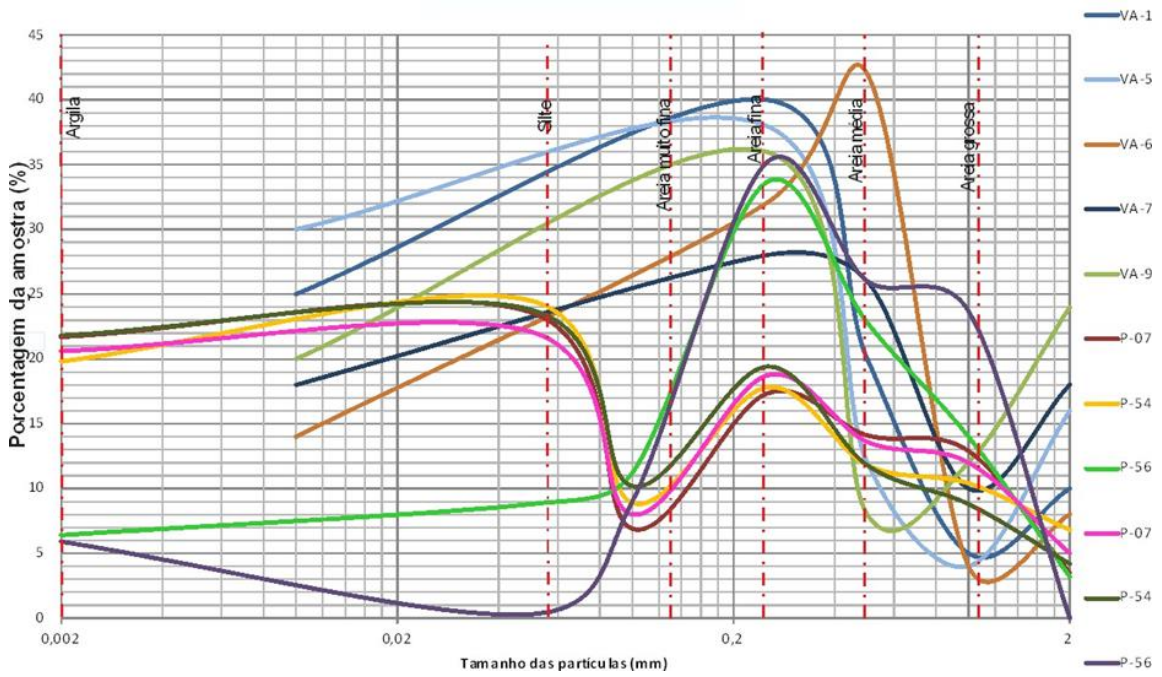


Figura 11.1-81: Curvas granulométricas dos solos de alteração da Formação Barrigas.
Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

As porcentagens de cada fração granulométrica para a Formação Barrigas são apresentadas no Quadro 11.1.6-3.

Quadro 11.1.6-3: Porcentagens de cada fração granulométrica para a Formação Barrigas.

FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA	PORCENTAGEM
Argilas	6 a 22%
Silte	1 a 36%
Areias Muito Finas a Média	7 a 43%
Areia Grossa	3 a 23 %

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Adapt *ado de: ARCADIS LOGOS, 2014.*

Para 2022, foram realizadosoito ensaios, coletados através de sondagens a trado seguindo as normas técnicas da ABNT NBR 6484-01 e as recomendações do Manual de Sondagens da ABGE. Os furos foram distribuídos pela área da Fazenda Itataia, chegando atingir medias de profundidades de 1 m, sendo realizadas cinco sondagens na Formação Barrigas e três na Formação Alcantil. Os resultados estão contidos no Quadro 11.1.6-4 e na Figura 11.1-82 a seguir.

Quadro 11.1.6-4: Porcentagens das frações granulométricas em cada formação geológica.

Granulometria	Formação Alcantil			Formação Barrigas				
	ST 03	ST 06	ST 02	ST 01	ST 04	ST 05	ST 07	ST 08
Silte e Argila	46,0%	41,0%	36,0%	29,0%	31,0%	19,0%	21,0%	23,0%
Areia Fina	31,0%	34,0%	41,0%	20,0%	23,0%	27,0%	21,0%	40,0%
Areia Média	15,0%	21,0%	20,0%	20,0%	22,0%	20,0%	15,0%	24,0%
Areia Grossa	4,0%	3,0%	2,0%	7,0%	12,0%	4,0%	7,0%	4,0%
Pedregulho	4,0%	1,0%	1,0%	24,0%	12,0%	30,0%	36,0%	9,0%

Fonte: GeoHidro, 2022.

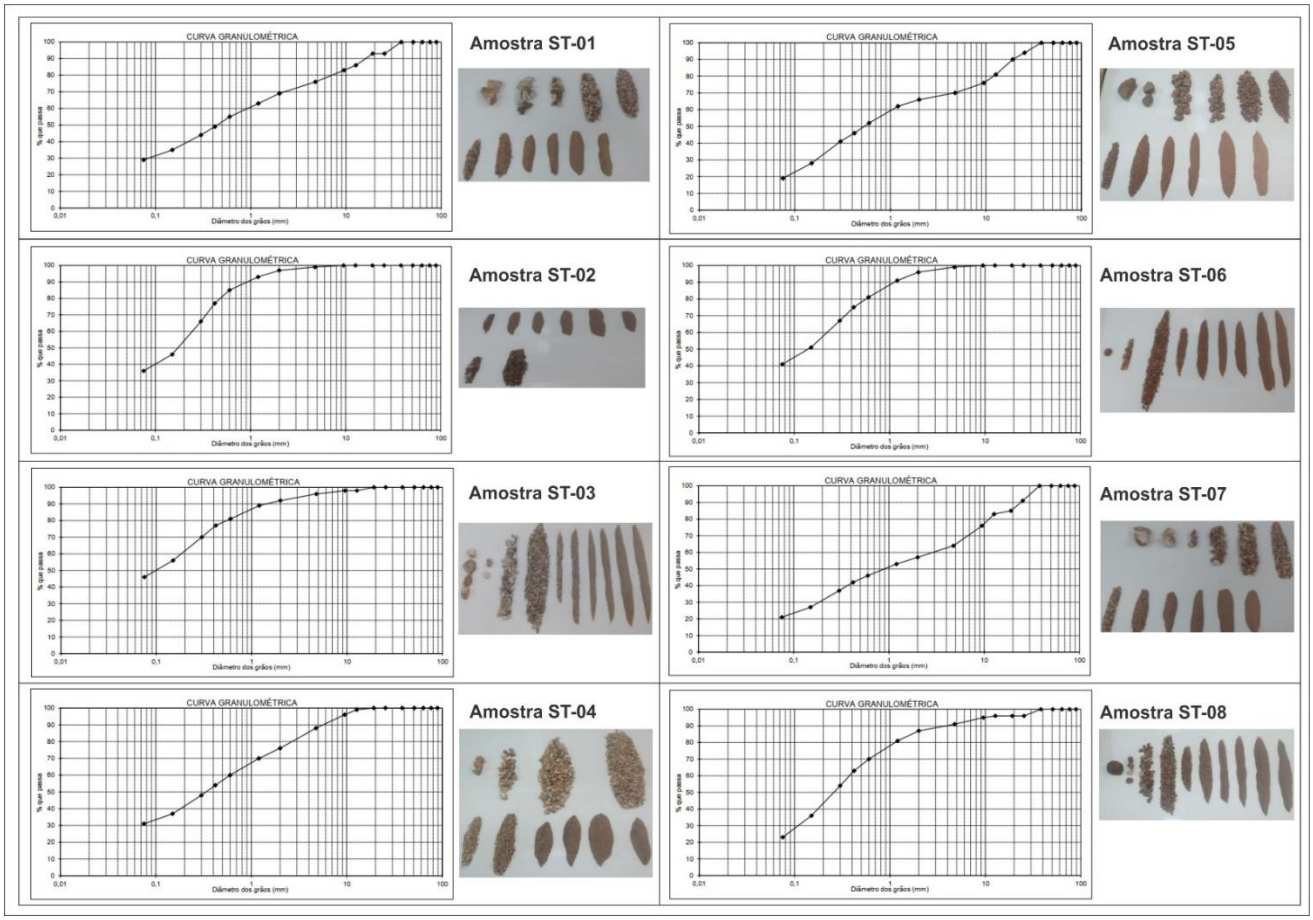


Figura 11.1-82: Curva Granulométrica e foto das amostras separadas por granulação.

11.1.6.4 Mineralogia dos Solos por Análises de Difração de Raio-X (DRX)

A análise de solos por difração de raios-x (DRX) realizada por Lopes (2018), utilizou o método do pó, onde o comprimento de onda é mantido constante e o ângulo de difração é alterado.

Através dos resultados sob a forma de uma representação gráfica do arranjamento atômico no retículo cristalino, a intensidade dos picos de difração fornece uma estimativa da concentração dos minerais presentes na amostra.

Os levantamentos realizados por Lopes (2018) foram executados com base nas técnicas de amostragem de solos por distribuição aleatória estratificada dos pontos. A coleta das amostras se deu em intervalos regulares ao longo de linhas também regularmente espaçadas. Foram coletadas 42 amostras, distanciadas aproximadamente 200 m entre elas em uma área de 1,44 km² (Figura 11.1-83).

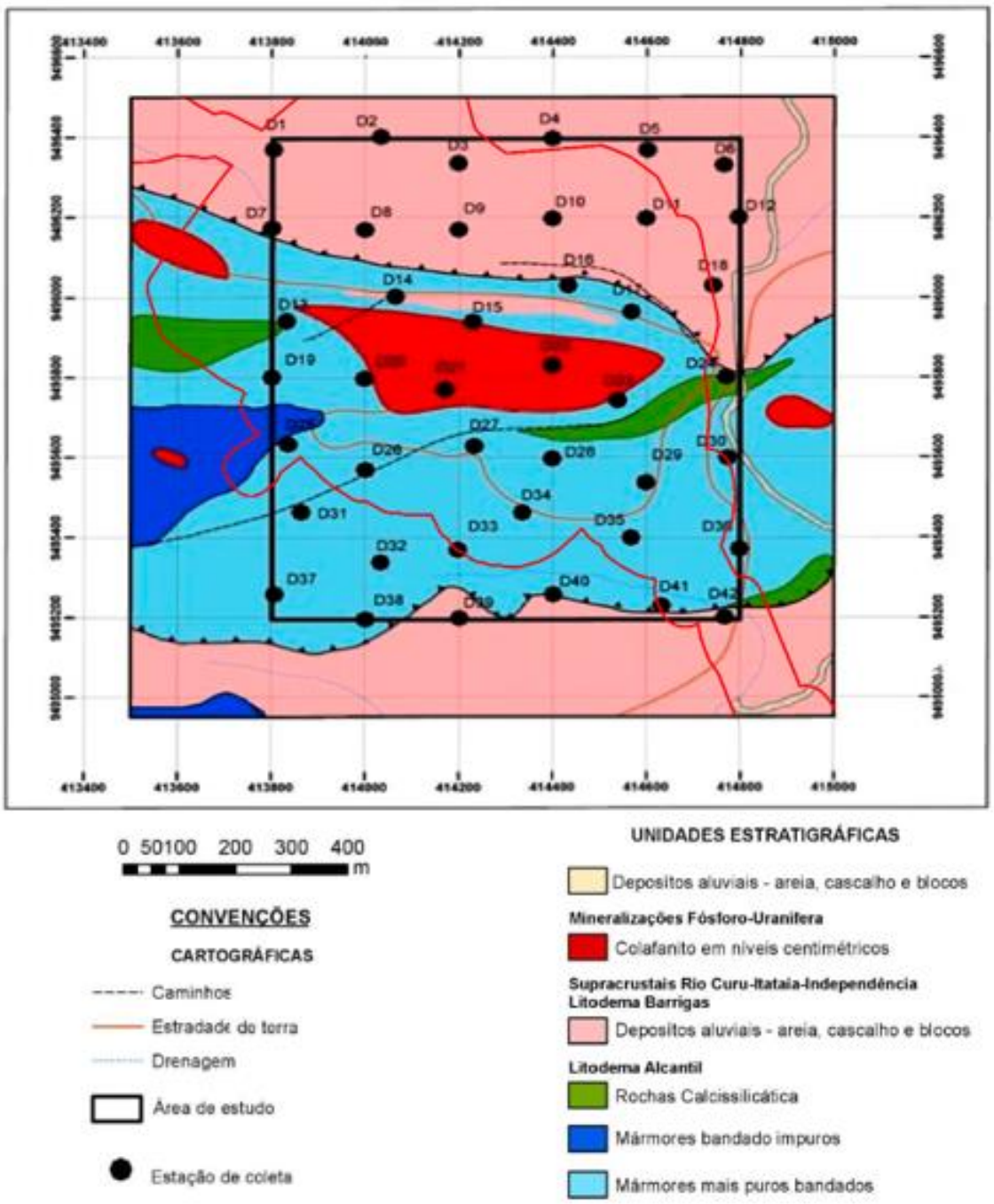


Figura 11.1-83: Pontos de amostragem do solo para análise DRX, as linhas vermelhas representam a área da ADA.

Fonte: Lopes, 2018.

Com base nos picos de difratogramas de raios-X e nos dados obtidos, observou-se que das 42 amostras coletadas, todas apresentam quartzo (SiO_2), 26,08% das amostras contêm fluorapatita ($Ca_5(PO_4)_3F$), 13,04% têm a presença de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) além de 6,52% das amostras com presença de dióxido de urânio (UO_2) (Quadro 11.1.6-5).

Quadro 11.1.6-5: Constituintes mineralógicos predominantes nos solos da Formação Alcantil.

COMPOSTO	FÓRMULA	OCORRÊNCIA
Quartzo	SiO_2	100%
Fluoropatita	$Ca_5(PO_4)_3F$	26,08%
Carbonato de Cálcio	$CaCO_3$	13,04%
Dióxido de Urânio	UO_2	6,52%

Fonte: Lopes, 2018.

Além da presença desses minerais, verificou-se a presença de argilominerais, característicos das argilas, onde quimicamente são representados por silicatos de alumínio ou magnésio hidratados, contendo outros tipos de elementos como ferro, potássio, lítio e outros (LOPES, 2018).

Os principais grupos de argilominerais são: caulinita, ilita e esmectitas ou montmorilonita. Foram registrados para a ADA, com base nos difratogramas de raios-X, apenas a caulinita (Figura 11.1-84), e montmorilonita (Figura 11.1-85) e vermiculita (Figura 11.1-86) (LOPES, 2018).

O que diferencia estes argilominerais é basicamente o tipo de estrutura e as substituições que podem ocorrer dentro da estrutura, do alumínio por magnésio ou ferro, e do silício por alumínio ou ferro, principalmente, e consequente neutralização das cargas residuais geradas pelas diferenças de cargas elétricas dos íons por alguns cátions (LOPES, 2018).

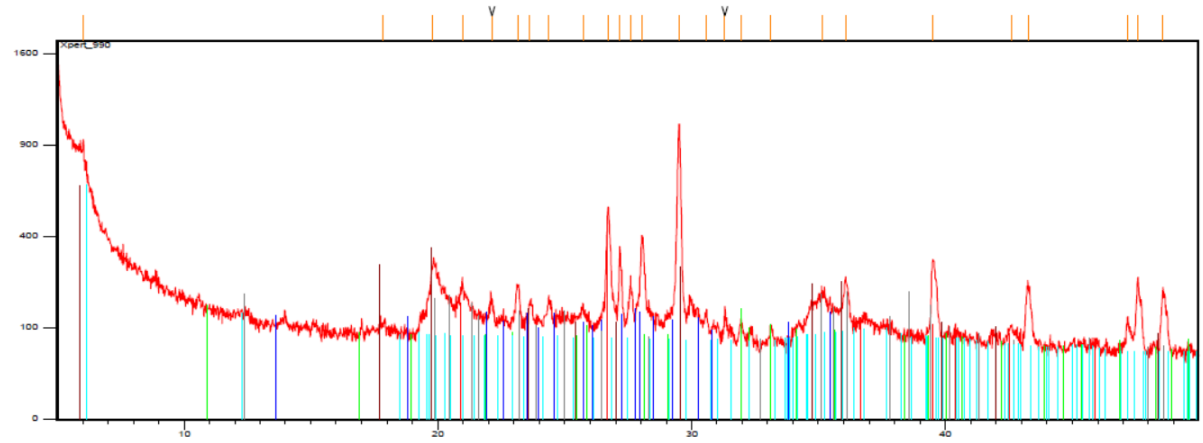


Figura 11.1-84: Difratograma de raio-x da amostra D12 contendo caulinita. Em Y número de fótons de raios Y e em X ângulo.

Fonte: Lopes, 2018.

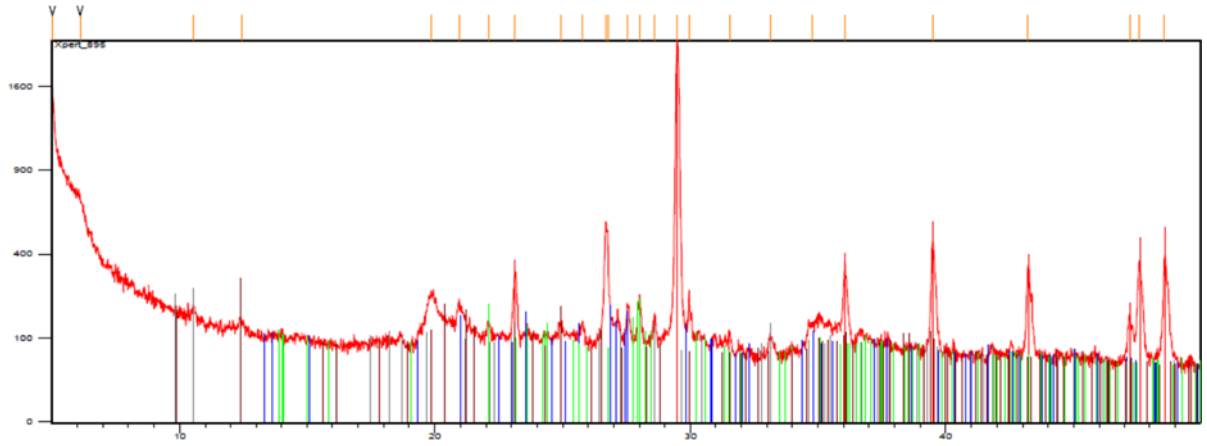


Figura 11.1-85: Difratograma de raio-x da amostra D8 contendo montmorilonita. Em Y número de fótons de raios Y e em X ângulo.

Fonte: Lopes, 2018.

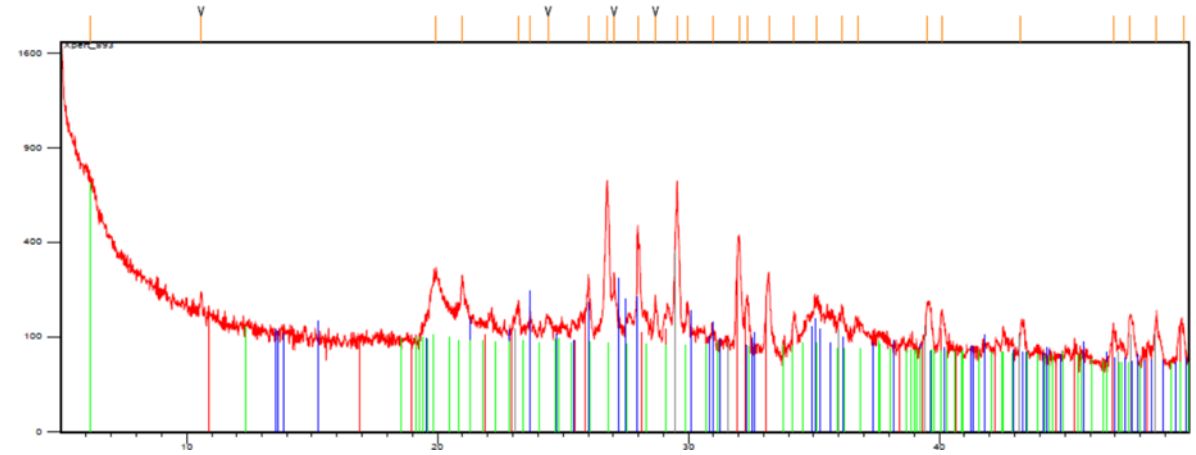


Figura 11.1-86: Difratograma de raio-x da amostra D30 contendo vermiculita. Em Y número de fótons de raios Y e em X ângulo.

Fonte: Lopes, 2018.

11.1.6.5 Densidade do Solo por Ensaio de Compactação de Proctor Normal

O Ensaio de Compactação de Proctor Normal é baseado na compactação mecânica de cinco camadas de solo em um molde cilíndrico a partir de golpes manuais com um soquete, com resultantes curvas de compactação construídas em função da umidade (%) e densidade (kg/m^3), e posteriormente analisadas segundo a ASTM (D-698). A Figura 11.1-87 sistematiza os resultados dos ensaios de compactação realizados pela ARCADIS (2014) e demonstra, claramente, a existência de três grupos distintos de solo, das amostras VA-01 a VA-10.

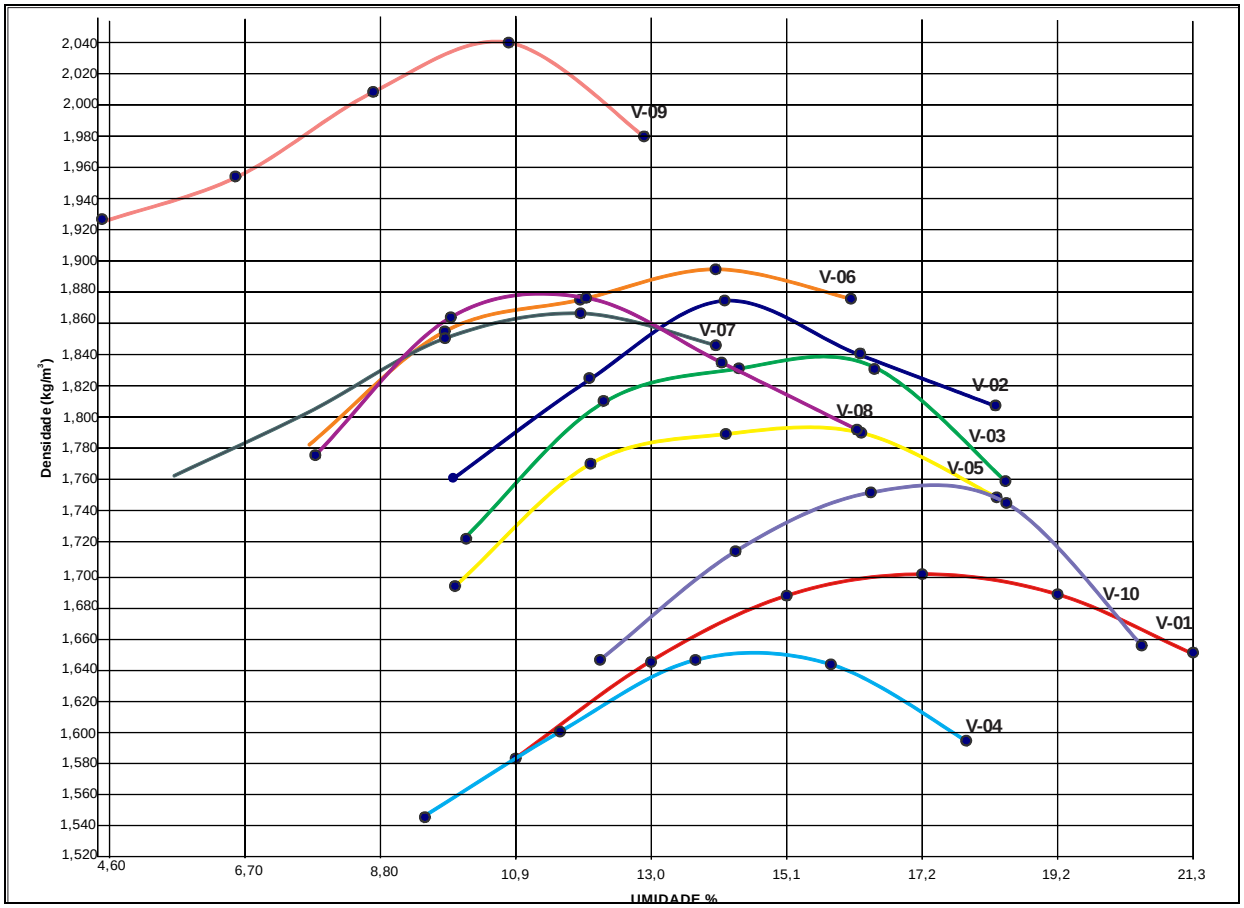


Figura 11.1-87: Curvas de compactação dos ensaios de Proctor Normal.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014. Dados fornecidos pela INB. Análises realizadas em 2005.

O primeiro grupo de curvas, representado pelas amostras VA-1 (Fm. Alcantil), VA-4 e VA-10 (Fm. Barrigas), é caracterizado por curvas de compactação apresentando densidade máxima variando entre 1,645 kg/m^3 e 1,76 kg/m^3, com umidade ótima, respectivamente, oscilando entre 13% e 18%.

O segundo grupo de curvas de compactação é representado pelas amostras VA-2, VA-3 e VA-8 (F. Alcantil) e VA-5, VA-6, VA-7 (Formação Barrigas); que constituem materiais com densidade máxima variando entre 1,79 kg/m^3 e 1,89 kg/m^3, respectivamente, com umidade ótima variando entre 12% e 21%.

O terceiro grupo observado é representado apenas pela amostra VA-09 (Formação Barrigas), a qual apresenta densidade máxima de 2,04 kg/m^3 e umidade ótima de 10,9%.

Os ensaios de compactação de solos arenosos, apresentam a tendência inicial de diminuição de densidade com o aumento da umidade. Porém, apesar do caráter predominantemente arenoso destas amostras, as curvas de compactação exibem geometrias próximas às de solos argilo-siltosos, silto-arenosos ou mesmo de argila plástica. Isto se deve,

provavelmente, à má seleção da fração areia e teor significativo de silte e argila, embora bastante inferior ao da areia.

Com as sondagens a trado realizadas em 2022, foram obtidos os seguintes resultados expostos no Quadro 11.1.6-6.

Quadro 11.1.6-6: Ensaios de compactação Proctor Normal.

	SONDAGEM	MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA MÁXIMA (g/cm³)	UMIDADE ÓTIMA (%)
Fm. Barrigas	SP-01	1,850	12,00 %
	SP-02	1,750	11,20 %
	SP-04	1,826	10,50 %
	SP-05	1,839	9,00 %
	SP-07	1,942	8,50 %
	SP-08	1,904	9,00 %
Fm. Alcantil	SP-02	1,750	11,20 %
	SP-03	1,700	13,00 %
	SP-06	1,746	12,00 %

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Fonte: GeoHidro, 2022.

Através dos dados do Quadro 11.1.6-2 ao Quadro 11.1.6-4 e Figura 11.1-82, é possível caracterizar e separar os solos conforme suas formações e informar características importantes de cada um. De forma geral, os sedimentos da Fm. Alcantil apresentam maiores concentrações de Silte e Argila, além de menor massa específica aparente que os sedimentos da Fm. Barrigas. A umidade ótima tem valores maiores na Fm. Alcantil que em relação aos sedimentos da Fm. Barrigas.

11.1.6.6 Ensaio de Limites de Atterberg - Índice de Atividade das argilas (IA)

A atividade dos solos é uma característica dos finos argilosos que os compõem e influenciam os Limites de Atterberg. Se um determinado solo tem quantidades pequenas de argila mas o solo apresenta altos índices de consistência, isto indica que a argila é muito ativa.

A atividade das argilas se deve, principalmente, ao argilo mineral que a originou, e pode ser medida através do Índice de Atividade (IA) que é calculado conforme equação a seguir:

Índice de Atividade = Índice de plasticidade / fração argila

Para Índice de Atividade entre 0,75 e 1,25 a argila é considerada normal, menor que 0,75 é considerada inativa, e acima de 1,25 a argila é ativa.

O índice de atividade das argilas (IA), obtidas através das amostras VA-01 a VA-10 se encontra entre 0,27 e 0,43 (ARCADIS LOGOS, 2014), equivalendo ao intervalo de valores característicos de argilas inativas, portanto, com pouca influência sobre os ensaios de compactação e CBR. Este resultado demonstra que os solos analisados não devem apresentar expansividade.

11.1.6.7 Ensaio CBR - Resistência dos Solos

O ensaio *CBR (California Bearing Ratio)* ou ensaio ISC (Índice de Suporte Califórnia) é utilizado para avaliar a resistência do solo a penetração de um cilindro padronizado com relação a penetração em uma brita padrão, ou seja, compara as propriedades mecânicas deste solo a uma brita padrão.

Os resultados são apresentados de maneira percentual. Sendo por exemplo um valor de CBR de 15% significa que a resistência a penetração do solo testado é de 15% do valor da brita padronizada.

O Quadro 11.1.6-7 apresenta os resultados estabelecidos por ARCADIS LOGOS, 2014. As amostras VA-2, VA-7 e VA-9 apresentaram os maiores valores de ISC. Os índices mais baixos correspondem às amostras VA-1, VA-3, VA-5 e VA-10.

Quadro 11.1.6-7: Índice de Suporte Califórnia para amostras ensaiadas.

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	FORMAÇÃO	CBR (%)
VA-1	Barrigas	3
VA-5	Barrigas	4
VA-6	Barrigas	9
VA-7	Barrigas	18
VA-9	Barrigas	29
VA-2	Alcantil	12
VA-3	Alcantil	4
VA-4	Alcantil	-
VA-8	Alcantil	8
VA-10	Alcantil	3

Fonte: adaptado de ARCADIS LOGOS, 2014.

O Quadro 11.1.6-8 apresenta os resultados estabelecidos pela GeoHidro em 2022, através de oito sondagens a trado onde foram obtidos os índices de suporte Califórnia (CBR). Os índices mais baixos correspondem às amostras ST-02, ST03 e ST06, referentes aos sedimentos da Fm. Alcantil.

Quadro 11.1.6-8: Índice de Suporte Califórnia para amostras ensaiadas e descrição litológica.

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	DESCRIÇÃO	FORMAÇÃO	CBR (%)
ST 01	Areia fina agrossa, silto-argilosa, com muito pedregulho, cor creme amarronzada	Barrigas	28
ST 02	Areia fina a média, silto-argilosa, muito pouca areia grossa e muito pouco pedregulho, cor creme amarronzada	Alcantil	9
ST 03	Areia fina a média, silto-argilosa, pouca areia grossa e pouco pedregulho, cor creme	Alcantil	11
ST 04	Areia fina a grossa, silto-argilosa, com pedregulho, cor cinza a creme	Barrigas	15
ST 05	Areia fina a média, silto-argilosa, com pedregulho, pouco areia grossa, cor creme amarronzada	Barrigas	23
ST 06	Areia fina a média, silto-argilosa, muito pouca areia grossa e muito pouco pedregulho, cor creme amarronzada	Alcantil	7
ST 07	Areia fina a média, silto-argilosa, com pedregulho, pouco areia grossa, cor creme amarronzada	Barrigas	31
ST 08	Areia fina a média, silto-argilosa, com pedregulho, pouco areia grossa, cor creme amarronzada	Barrigas	15

Elaboração: Tetra Mais, 2023. Adaptado de: GeoHidro, 2022.

11.1.6.8 Parâmetros Físico-Químicos do Solo

Para determinação dos parâmetros físico-químicos, foram realizados por ARCADIS LOGOS, 2014, ensaios dos parâmetros de densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total, porosidade efetiva, condutividade hidráulica, classe de permeabilidade, pH (H_2O), pH (KCl), pH ($CaCl_2$), classificação de pH (H_2O), fração de carbono orgânico (F.O.C), matéria orgânica, condutividade elétrica, umidade natural, conteúdo de água e água disponível.

As amostras P-27 e P-49, são referentes a solos de alteração da Formação Alcantil e as amostras P-07, P-54 e P-56, dos solos de alteração da Formação Barrigas. O Quadro 11.1.6-9 ao Quadro 11.1.6-11, apresentam os resultados dos parâmetros físicos avaliados.

Quadro 11.1.6-9: Resultados de densidade, porosidade, condutividade e permeabilidade.

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	DENSIDADE DOS GRÃOS (G/CM^3)	DENSIDADE DO SOLO (G/CM^3)	POROSIDADE TOTAL (%)	POROSIDADE EFETIVA (%)	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (CM/S)	CLASSE DE PERMEABILIDADE
P-07i	2,56	1,37	32	7	$8,61 \times 10^{-5}$	Média
P-27i	2,53	1,33	45	13	$7,77 \times 10^{-5}$	Média
P-49i	2,47	1,4	41	10	$6,38 \times 10^{-5}$	Baixa
P-54i	2,6	1,77	26	7	$9,72 \times 10^{-4}$	Média
P-56i	2,5	1,53	24	3	$3,16 \times 10^{-4}$	Alta
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	DENSIDADE DOS GRÃOS (G/CM^3)	DENSIDADE DO SOLO (G/CM^3)	POROSIDADE TOTAL (%)	POROSIDADE EFETIVA (%)	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (CM/S)	CLASSE DE PERMEABILIDADE
P-07d	2,5	NA	NA	NA	NA	NA
P-27d	2,44	NA	NA	NA	NA	NA
P-27Bd	2,38	NA	NA	NA	NA	NA
P-49d	2,5	NA	NA	NA	NA	NA
P-54d	2,47	NA	NA	NA	NA	NA
P-56d	2,44	NA	NA	NA	NA	NA

NA – Não se aplica a amostras deformadas.

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Adaptado de: ARCADIS LOGOS, 2014.

O Quadro 11.1.6-10 apresenta os resultados de pH, Fração de Carbono Orgânico (F.O.C), matéria orgânica (M.O) e condutividade elétrica (C.E) nas amostras de solo coletadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014).

Quadro 11.1.6-10: Resultados de pH, F.O.C, M.O. e C.E no solo.

AMOSTRA	pH (H_2O)	pH (KCl)	pH ($CaCl_2$)	CLASSIFICAÇÃO pH (H_2O)	F.O.C (%)	M.O. (%)	C.E. (dS/m)
P-07	5,1	4,5	4,9	Medianamente ácido	0,22	0,38	0,5605
P-27	7,8	7,6	8	Fracamente alcalino	0,32	0,55	0,4997
P-49	7,4	6,8	7,1	Fracamente alcalino	1,17	2,02	0,1493
P-54	4,9	4	4,4	Fortemente ácido	0,22	0,38	0,2162
P-56	4,9	4,2	4,4	Fortemente ácido	0,11	0,19	0,2324

Legenda: F.O.C: Fração de Carbono; Orgânico M.O.: Matéria Orgânica; C.E.: condutividade elétrica.
Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Quadro 11.1.6-11: Análise dos solos: umidade natural (%), conteúdo de água (%) e água disponível (%).

AMOSTRA	UMIDADE NATURAL (%)	CONTEÚDO DE ÁGUA (%)	ÁGUA DISPONÍVEL (%)
P-07	23	7	9
P-27	33	10	13
P-49	29	9	13
P-54	15	5	9
P-56	16	5	8

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Os valores de condutividade elétrica dos solos apresentam correlação direta com a presença de sais, devendo ser considerada um fator relevante na capacidade de corrosão de estruturas metálicas, juntamente com o pH, potencial de redução, aeração e teor de umidade dos solos.

A condutividade elétrica, significativamente maior nos solos associados à Formação Alcantil, apresentou valores máximos de 0,56 dS/m, equivalendo a uma resistividade de 188 ohms.m. Este valor classifica o solo como levemente corrosivo, sendo que os demais, incluindo todas as amostras coletadas no domínio dos gnaisses, apresentam caráter fracamente corrosivos (ARCADIS LOGOS, 2014).

11.1.6.9 Ensaios com Infiltrômetro de Parede Dupla - Condutividade Hidráulica dos Solos

Os solos superficiais na AID/ADA, representativos de eventuais aquíferos porosos, ou zonas de condução de água em meio poroso, tiveram suas propriedades hidrogeológicas avaliadas pela ARCADIS LOGOS (2014), através de ensaios de infiltração utilizando infiltrômetro de anel duplo.

O ensaio consiste na utilização de dois anéis metálicos concêntricos, que devem ser inseridos no solo e preenchidos com água. O anel externo exerce a função de forçar a verticalidade da percolação no anel interno. Durante o ensaio, podem ser medidos o rebaixamento do nível d'água ou a quantidade de água necessária para manter o seu nível constante. Os resultados são interpretados segundo a lei de Darcy e, assim, são obtidos dados

de condutividade hidráulica do solo superficial avaliado, conforme apresentado no Quadro 11.1.6-12.

Quadro 11.1.6-12: Os ensaios com infiltrômetro de parede dupla em solos.

AMOSTRA	FORMAÇÃO	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (CM/S)	COORDENADAS UTM (SIRGAS 2000)	
PM-05	Barrigas	$8,44 \times 10^{-4}$	415257	9494945
PM-06	Barrigas	$6,14 \times 10^{-4}$	415029	9494595
PM-09	Alcantil	$5,08 \times 10^{-4}$	414756	9495379
PM-10	Alcantil	$8,90 \times 10^{-6}$	413112	9494603
P-97	Alcantil	$9,88 \times 10^{-6}$	N.A.	N.A.

Elaboração: BTB Explorers, 2021. Adaptado de: ARCADIS LOGOS, 2014.

Os resultados indicam condutividade hidráulica na ordem de 10^{-4} a 10^{-6} cm/s para os solos de alteração da Formação Alcantil. Tais resultados se encontram próximos à condutividade hidráulica calculada em laboratório para as amostras indeformadas, que apresentaram média de $6,94.10^{-5}$ cm/s.

Os resultados de condutividade dos solos no domínio dos gnaisses da Formação Barrigas, estão na ordem de 10^{-4} cm/s, sendo que a condutividade para este tipo de material, obtida em análises laboratoriais, apresenta média de $9,72.10^{-5}$ cm/s.

Como descrito no capítulo de Pedologia (11.1.5), foram realizados 18 novos ensaios, com o objetivo de realizá-los em cada tipo de Elemento do Relevo Geomorfológico simultaneamente às diferentes classes pedológicas mapeadas.

A condutividade hidráulica (K) foi calculada com base na seguinte equação de Ródio (1965) descrita abaixo.

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} \times \left(\frac{r}{R}\right)^2$$

Onde:

K: Condutividade hidráulica

Δh: diferença de carga hidráulica inicial e final

Δt: diferença do tempo inicial e final

r: raio da sondagem

R: raio de influência calculado

Esta equação considera um raio de influência calculado (R) através de uma relação entre R e h, obtida supondo que o escoamento se faz segundo uma parábola, cujo vértice está no centro do furo, na altura do nível d'água inicial (t=10*).

Os resultados de condutividade hidráulica, apresentam em sua maioria, valores de 10^{-04} cm/s, estão de acordo com as condutividades médias para solos contendo silte, areia fina, e argila segundo Fetter, C. W. (1994). Porém, dois ensaios apresentaram valores destoantes, o ST-05 (2023) com condutividade na casa 10^{-05} cm/s e o ST-11(2023) com valor de 10^{-03} cm/s. De forma geral, os Neossolos Litólicos predominam na área onde o estudo foi realizado (AID) em especial os associados aos Cambissolos, onde ambos os furos estão localizados. Um dos motivos para essa variação pode ser o nível de compactação do solo, sendo mais compactado e menor compactado respectivamente. Outro fator é a grande quantidade de mineral muscovita no furo ST-05, que ao intemperizar gera como subproduto argilo-minerais, que justificaria o valor menor de condutividade.

A título de comparação, solos argilosos com baixa condutividade apresentam condutividade hidráulicas (K) em torno de 10^{-7}cm/s, indicando que os valores da região correspondem a solos mais imaturos de condutividades médias semelhante a solos argilo arenosos. Isso ocorre principalmente pela grande presença de sedimentos arenosos (cerca de 30% areias finas e 20% de areias médias) e argilo-siltosos (cerca de 30%).

Mas além do fator granulométrico, a correlação com as baixas espessuras do solo é imprescindível para compreender os valores de (K), onde, dificilmente as sondagens a trado ultrapassaram os 1m. O baixo desenvolvimento está ligado diretamente ao clima, onde as

baixas pluviosidades impedem o desenvolvimento do manto de intemperismo e consequentemente na geração de solos mais argilosos e menos condutivos.

11.1.6.10 Sondagens de Reconhecimento

Em 2022, foi perfurado um total de 126 sondagens à percussão (SPT) concentradas principalmente na área da ADA e resumidas no Quadro 11.1.6-13. O método de sondagem SPT é uma técnica de investigação de reconhecimento da resistência à penetração do material, que segue as normas da ABNT NBR 6484. O método consiste na técnica de cravação dinâmica no solo de um amostrador padrão (tipo Raymond), através do impacto de um peso de 65 kg a uma altura de 75 cm, a soma dos golpes executados é registrada, e avaliado o índice de resistência à penetração do solo.

Quadro 11.1.6-13: Sondagens SPT realizadas em 2022.

ÍNDICE	SONDAGEM SPT	PROFUNDIDADE	COORDENADAS UTM SIRGAS 2000		
		(m)	W	S	COTA (m)
1	PT01	0,45	414807,65	9495522,21	453,62
2	PT02	0,92	414842,48	9495476,13	452,34
3	PT03	0,42	414603,67	9495497,78	496,78
4	PT04	1,20	414239,69	9496119,77	477,62
5	PT05	1,60	413855,38	9496051,15	477,62
6	PT06	0,52	413369,86	9496415,77	459,49
7	PT07	0,41	415175,79	9494950,41	444,65
8	PT08	0,68	415274,65	9494822,72	460,36
9	PT09	0,80	415437,99	9494779,12	462,35
10	PT10	0,80	415617,89	9494815,68	462,77
11	PT11	0,50	415994,08	9494617,28	453,10
12	PT12	0,57	416325,26	9494758,06	462,14
13	PT13	0,38	416186,22	9494794,06	461,79
14	PT14	0,35	415318,12	9494739,97	461,15
15	PT15	0,35	415268,12	9494705,76	458,15
16	PT16	0,70	415160,17	9494716,48	454,76
17	PT17	0,58	415210,36	9494673,97	456,09
18	PT18	0,65	415086,20	9494595,46	456,71
19	PT19	0,83	414995,28	9494551,81	458,54
20	PT20	0,55	415208,12	9494588,96	454,30
21	PT21	0,56	415169,42	9494571,01	450,78
22	PT22	1,15	415239,51	9494489,72	450,78
23	PT23	1,38	415286,33	9494382,54	445,62
24	PT24	0,65	415291,20	9494286,81	443,44
25	PT25	0,71	415304,00	9494243,38	443,36
26	PT26	0,80	414649,17	9494444,54	462,38
27	PT27	0,60	414609,51	9494187,69	460,16
28	S-01	0,90	413478,34	9496502,33	458,34
29	S-02	1,25	414090,48	9496515,41	467,28
30	S-05	0,20	414793,62	9496160,33	474,08

ÍNDICE	SONDAGEM SPT	PROFUNDIDADE	COORDENADAS UTM SIRGAS 2000		
		(m)	W	S	COTA (m)
31	S-06	0,44	413643,89	9496048,07	473,92
32	S-07	0,47	414022,76	9495892,33	518,23
33	S-08	0,46	414689,29	9495478,45	477,16
34	S-11	0,64	416403,00	9495115,26	505,15
35	S-12	0,57	416917,03	9495080,85	484,75
36	S-13	0,65	415903,39	9494829,43	458,86
37	S-14	1,03	416121,12	9494845,34	464,69
38	S-15	1,00	416496,41	9494734,09	462,62
39	S-16	0,74	415938,30	9494501,33	450,48
40	S-17	0,36	415969,33	9494242,96	458,01
41	S-18	1,45	416209,21	9494215,45	477,17
42	S-19	0,69	416553,69	9494238,77	496,32
43	S-20	0,95	415372,48	9495083,67	446,82
44	S-22	0,75	415340,83	9494980,93	448,54
45	S-23	1,23	415480,00	9494951,04	448,61
46	S-24	0,62	415103,57	9494847,89	456,35
47	S-26	0,84	415370,13	9494868,47	458,05
48	S-28	0,76	415132,69	9494819,99	452,68
49	S-29	1,45	415211,31	9494789,76	453,17
50	S-30	0,57	415083,52	9494710,97	462,49
51	S-33	0,46	415316,99	9494740,15	460,01
52	S-35	0,87	415458,48	9494706,22	453,49
53	S-36	0,25	414902,08	9494668,66	466,18
54	S-37	0,77	414926,10	9494631,90	464,81
55	S-38	0,45	414948,36	9494591,52	460,32
56	S-41	0,93	415308,26	9494651,56	453,36
57	S-42	0,67	415418,92	9494628,24	452,28
58	S-43	0,80	415626,38	9494654,93	454,58
59	S-44	0,43	415785,79	9494603,17	456,53
60	S-45	0,54	414835,27	9494556,58	462,27
61	S-47	0,57	415218,57	9494582,96	451,81
62	S-48	0,65	415318,50	9494540,95	445,91
63	S-49	0,62	415438,97	9494539,23	445,35
64	S-50	0,59	414855,09	9494513,52	459,86
65	S-51	0,77	414947,19	9494500,25	457,92
66	S-52	0,57	415033,66	9494494,40	451,41
67	S-53	0,62	415113,66	9494500,52	452,18
68	S-54	0,65	415287,49	9494499,32	447,67
69	S-55	0,85	415657,36	9494487,13	453,90
70	S-56	1,07	414654,39	9494445,12	459,87
71	S-57	0,40	414677,52	9494420,47	460,80
72	S-58	1,18	414951,00	9494411,40	455,69
73	S-59	0,76	415190,76	9494412,81	445,09
74	S-61	0,60	415405,57	9494438,89	446,55
75	S-62	0,91	415484,66	9494464,83	450,32
76	S-63	0,78	415550,57	9494468,97	449,93
77	S-64	0,60	414435,50	9494368,10	459,36

ÍNDICE	SONDAGEM SPT	PROFUNDIDADE	COORDENADAS UTM SIRGAS 2000		
		(m)	W	S	COTA (m)
78	S-65	1,15	414797,58	9494380,63	459,67
79	S-67	0,94	415394,94	9494377,65	443,02
80	S-68	0,93	415544,64	9494391,03	445,77
81	S-69	1,54	415621,96	9494382,83	445,01
82	S-70	1,00	414588,58	9494335,67	458,69
83	S-71	0,93	414938,40	9494322,45	449,94
84	S-72	0,79	415097,10	9494346,39	444,46
85	S-73	1,23	415258,15	9494333,44	441,54
86	S-74	1,45	415563,34	9494330,16	439,82
87	S-75	0,63	415671,27	9494325,45	444,70
88	S-76	0,65	414802,64	9494259,50	455,06
89	S-78	0,94	415403,37	9494280,75	438,84
90	S-79	0,74	415505,45	9494253,73	444,54
91	S-80	0,78	415613,91	9494265,56	448,67
92	S-81	0,77	414398,63	9494226,21	452,19
93	S-82	1,45	414604,20	9494190,74	457,67
94	S-83	1,30	414888,86	9494196,70	444,38
95	S-85	0,61	415410,99	9494192,07	440,76
96	S-86	0,92	415007,54	9494167,48	438,69
97	S-87	0,44	414536,06	9494007,86	453,11
98	S-88	1,45	414805,63	9494039,02	443,28
99	S-89	2,43	415287,45	9494119,40	439,63
100	S-90	1,10	414683,79	9493949,28	444,87
101	SA-01	1,22	413864,20	9496326,50	470,22
102	SA-02	3,35	414061,40	9496227,80	465,74
103	SA-03	1,23	414591,10	9496930,20	488,67
104	SA-04	0,55	414326,20	9495930,00	528,90
105	SA-05	0,55	414779,70	9496008,50	463,55
106	SA-06	0,69	414896,80	9495941,20	464,78
107	SA-07	0,42	414888,80	9495363,80	448,95
108	SA-08	0,65	414951,90	9495197,20	436,62
109	SA-09	1,09	415016,60	9495023,80	441,14
110	SA-10	0,8	415243,10	9495094,20	445,07
111	SA-11	1,9	415761,60	9494388,10	444,90
112	SA-12	1,65	415878,10	9494426,80	447,42
113	SA-13	1,15	415715,20	9494241,20	451,50
114	SA-14	0,85	415615,40	9494180,80	448,28
115	SA-15	0,85	415800,70	9494167,60	456,02
116	SA-16	0,85	415477,10	9494108,40	446,45
117	SA-17	0,7	415705,70	9494084,50	452,10
118	SA-18	0,4	414893,00	9494109,30	437,58
119	SA-19	1,9	414984,90	9494020,60	432,63
120	SA-20	0,78	415121,20	9494028,30	438,12
121	SA-21	0,65	415333,10	9494043,00	438,90
122	SA-22	0,7	413963,70	9494084,00	449,35
123	SA-23	0,89	413672,40	9493996,20	434,56
124	SA-24	0,37	413110,00	9493773,10	434,56

ÍNDICE	SONDAGEM SPT	PROFUNDIDADE	COORDENADAS UTM SIRGAS 2000		
		(m)	W	S	COTA (m)
125	SA-25	1,3	412821,70	9493600,20	423,44
126	SA-26	0,87	412821,70	9493600,20	427,33

Fonte: GeoHidro, 2023, BTB Explores, 2023 – Adaptado pela BTB Explorers.

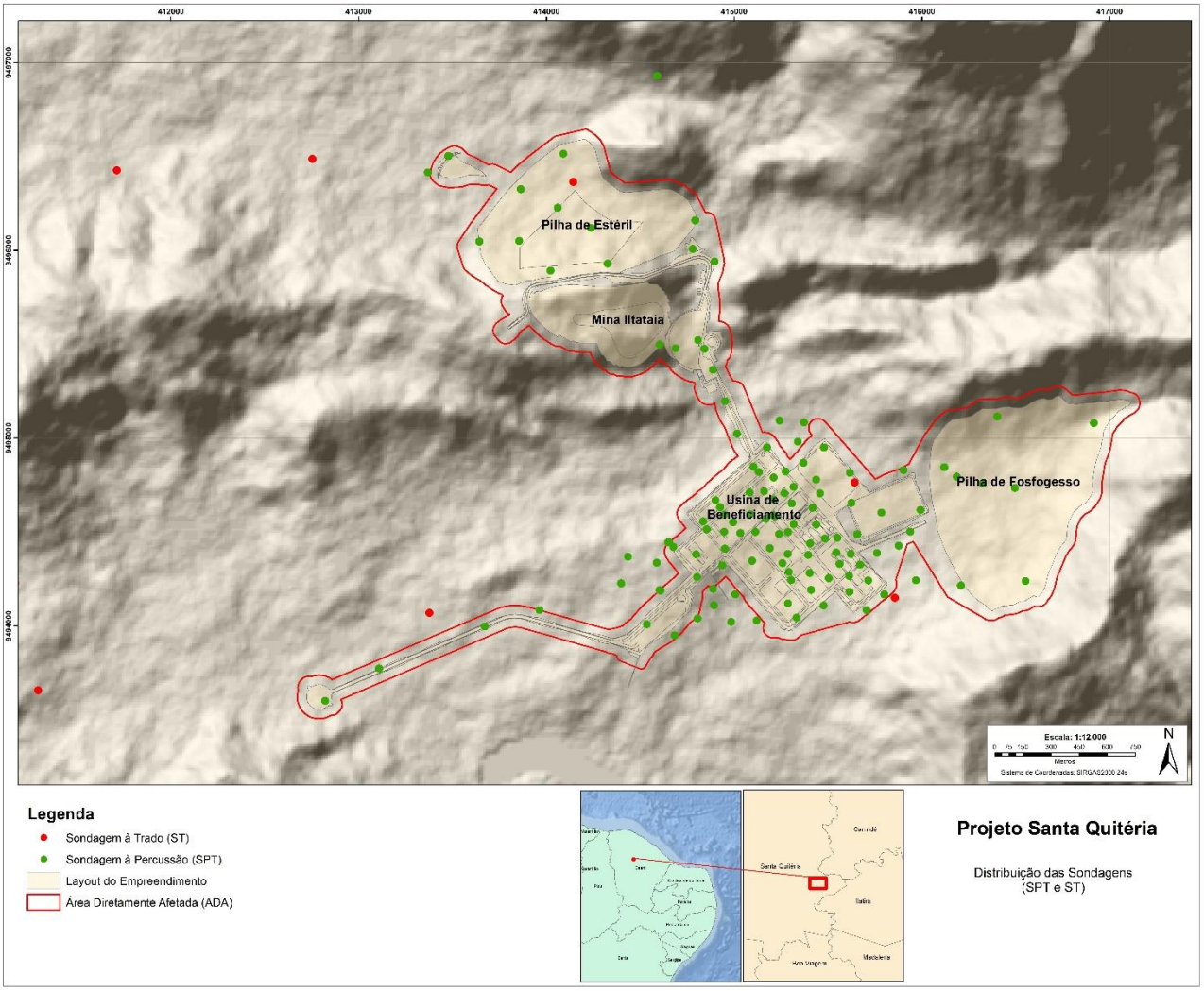


Figura 11.1-88: Localização das sondagens SPT e das sondagens a trado ST01 a 10 realizados pela GeoHidro em 2022.

Fonte: GeoHidro 2023, BTB Explores (2023) – Adaptado pela BTB Explorers.

As sondagens SPT no solo, não atingiram o nível d'água e tem como característica litológicas três horizontes geotécnicos: A) Argila com areia fina à grossa, pedregulho e seixos de quartzo, micácea, cor cinza a amarronzada, mole à rija; B) Argila pouco arenosa, cinza escuro, muito micácea, de mole à rija; C) Saprólito/Alteração de rocha cristalina, muito friável, areno-argilosa, cinza esbranquiçada a cinza escuro a cinza esverdeado, compacto a muito compacto. Para o terreno, é sugerido pelo laudo das sondagens, uma taxa de suporte genérica de 4,0 kgf/cm², sobre o substrato rochoso saprolítico ou intemperizado.

Durante a fase de implementação do empreendimento e construção das estruturas, está previsto a realização de sondagens mistas (percussivas e rotativas) para avançar nos conhecimentos geológicos-geotécnicos. Os estudos têm como objetivo principal a avaliação de presença de cavidades subsuperficiais e suas influências para o suporte de tensões do terreno.

11.1.6.11 Unidades Geotécnicas

As unidades geotécnicas apresentadas por ARCADIS LOGOS (2014) integram dados provenientes dos diagnósticos geológico, geomorfológico, estrutural e pedológico, buscando a identificação de áreas potencialmente sujeitas aos processos superficiais do meio físico, onde foram identificados setores com diferentes suscetibilidades à ocorrência de processos de movimentação de massa. Este subproduto foi integrado com o Mapa de Fragilidade dos Terrenos à Erosão, previamente elaborado e apresentado no diagnóstico da pedologia.

Foi identificado que as unidades caracterizadas por ARCADIS LOGOS (2014) se apresentaram compatíveis com as verificações em campo e, portanto, foram mantidas as quatro unidades geotécnicas na AID, classificadas de acordo com as respectivas suscetibilidades à movimentação de massa:

I. Muito Baixa Suscetibilidade à Movimentação de Massa, predominante nas áreas aplainadas da AID;

II. Baixa Suscetibilidade à Movimentação de Massa, em geral associada aos sopés das serras e feições geomorfológicas menores, como colinas e morrotes;

III. Média Suscetibilidade à Movimentação de Massa, associada a encostas mais declivosas das serras presentes na AID; e

IV. Média a Alta Suscetibilidade à Movimentação de Massa, associada, essencialmente, aos afloramentos rochosos, em geral localizados nas encostas das serras presentes na AID.

Estas quatro unidades geotécnicas foram segmentadas por ARCADIS LOGOS, 2014, em 10 subclasses com base nos índices de susceptibilidade a movimentação de massas e fragilidade a erosão, conforme ilustrado no Mapa 11.1-15 e no Quadro 11.1.6-14, que apresenta as associações das unidades geotécnicas com as unidades geológicas e pedológicas da área. No Mapa 11.1-16 são apresentadas as unidades geotécnicas da ADA e a localização dos ensaios e análises realizados.

Quadro 11.1.6-14: Associação das unidades geotécnicas, geológicas e pedológicas.

UNIDADE	SUBCLASSE GEOTÉCNICA	PRINCIPAIS ASPECTOS SUSC(1)/FRAG.(2)	FORMAÇÃO GEOLÓGICA RELACIONADA	CLASSES PEDOLÓGICAS RELACIONADAS	DECLIVIDADES
I	I.a	Muito baixa/ baixa	Barrigas e Alcantil	Neossolos Litólicos, subordinadamente Chernossolos	Muito Baixa
	I.b	Muito baixa/Baixa (induzida por ação antrópica)	Alcantil e Barrigas	Neossolos Litólicos, Cambissolos e Chernossolos	Muito Baixa
II	II.a	Baixa/ Muito baixa	Barrigas, Secundário: Alcantil, Laranjeiras, e Serra do Céu	Neossolos Litólicos e Chernossolos	Baixa a Média
	II.b	Baixa/ Baixa	Barrigas, Laranjeiras e Alcantil	Neossolos Litólicos e Cambissolos Vermelhos	Baixa a Média
III	III.a	Média/ Muito baixa	Barrigas	Neossolos Litólicos e Cambissolos	Baixa a Média
	III.b	Média/Baixa	Barrigas e Laranjeiras	Neossolos Litólicos e Cambissolos,subordinadamente, Chernossolos	Média a Alta
	III.c	Média/Média	Barrigas	Neossolos Litólicos e Cambissolos	Média a Muito Alta
	IV.a	Média a alta[3]/Baixa	Laranjeiras e Serra do Céu	Afloramentos Rochosos e Neossolos Litólicos	Média a Alta
IV	IV.b	Média a alta[4]/Baixa	Alcantil	Neossolos Litólicos	Baixa a Média

Legenda: [1] - Suscetibilidade à Movimentação de Massa. [2] - Fragilidade à Erosão. [3] - Média a Alta Suscetibilidade, essencialmente queda, tombamento e rolamento de blocos. 4 - Média a Alta Suscetibilidade, essencialmente queda, tombamento e rolamento de blocos, e problemas associados a terrenos cársticos.

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Adaptado de: ARCADIS LOGOS, 2014.

405.000

420.000

9.500.000

9.485.000

Canindé

Santa Quitéria

Rio Groaíras

Boa Viagem

Unidades Geotécnicas

Muito Baixa Suscetibilidade à Movimentação de Massa

- I.a — *Muito baixa suscetibilidade a movimento de massa, associado a muito baixa a baixa fragilidade à erosão.*
- I.b — *Muito baixa suscetibilidade a movimento de massa, associado a baixa fragilidade à erosão, induzida por ação antrópica.*

Baixa Suscetibilidade à Movimentação de Massa

- II.a — *Baixa suscetibilidade a movimento de massa, associado a muito baixa fragilidade à erosão.*
- II.b — *Baixa suscetibilidade a movimento de massa, associado a baixa fragilidade à erosão.*
- II.c — *Baixa suscetibilidade a movimento de massa, associado a média fragilidade à erosão.*

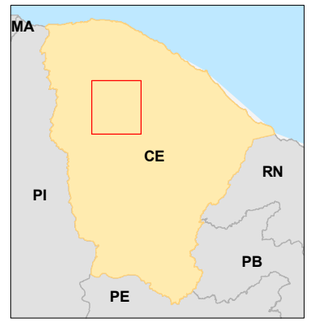
Média Suscetibilidade à Movimentação de Massa

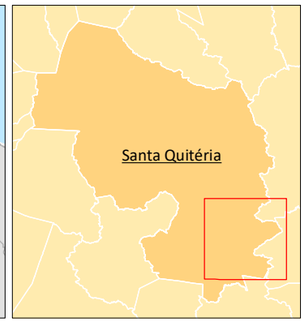
- III.a — *Média suscetibilidade a movimento de massa, associado a muito baixa fragilidade a erosão*
- III.b — *Média suscetibilidade a movimento de massa, associado a baixa fragilidade a erosão.*
- III.c — *Média suscetibilidade a movimento de massa, associado a média fragilidade à erosão.*

Média a Alta Suscetibilidade à Movimentação de Massa

- IV.a — *Média a alta suscetibilidade a movimento de massa, essencialmente queda, tombamento e rolamento de blocos, associado a baixa fragilidade à erosão.*
- IV.b — *Média a alta suscetibilidade a movimento de massa, essencialmente queda, tombamento e rolamento de blocos. Subordinadamente média a alta suscetibilidade a problemas geotécnicos associados a terrenos cársticos*

Macrolocalização





Legenda

Referência Locacional

- Limite Municipal

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)

Hidrografia

- Cursos d'água
- Rio Groaíras
- Massas d'água

Pontos de Interesse

- Feições erosivas
- Feições cársticas
- Blocos e matacões
- Lajedo com surgência de água

Fonte:
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.
ARCADIS, 2013. Mapa Geotécnico.

0 — 2 — 4 km

Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

CONSÓRCIO Santa Quitéria

tetra+

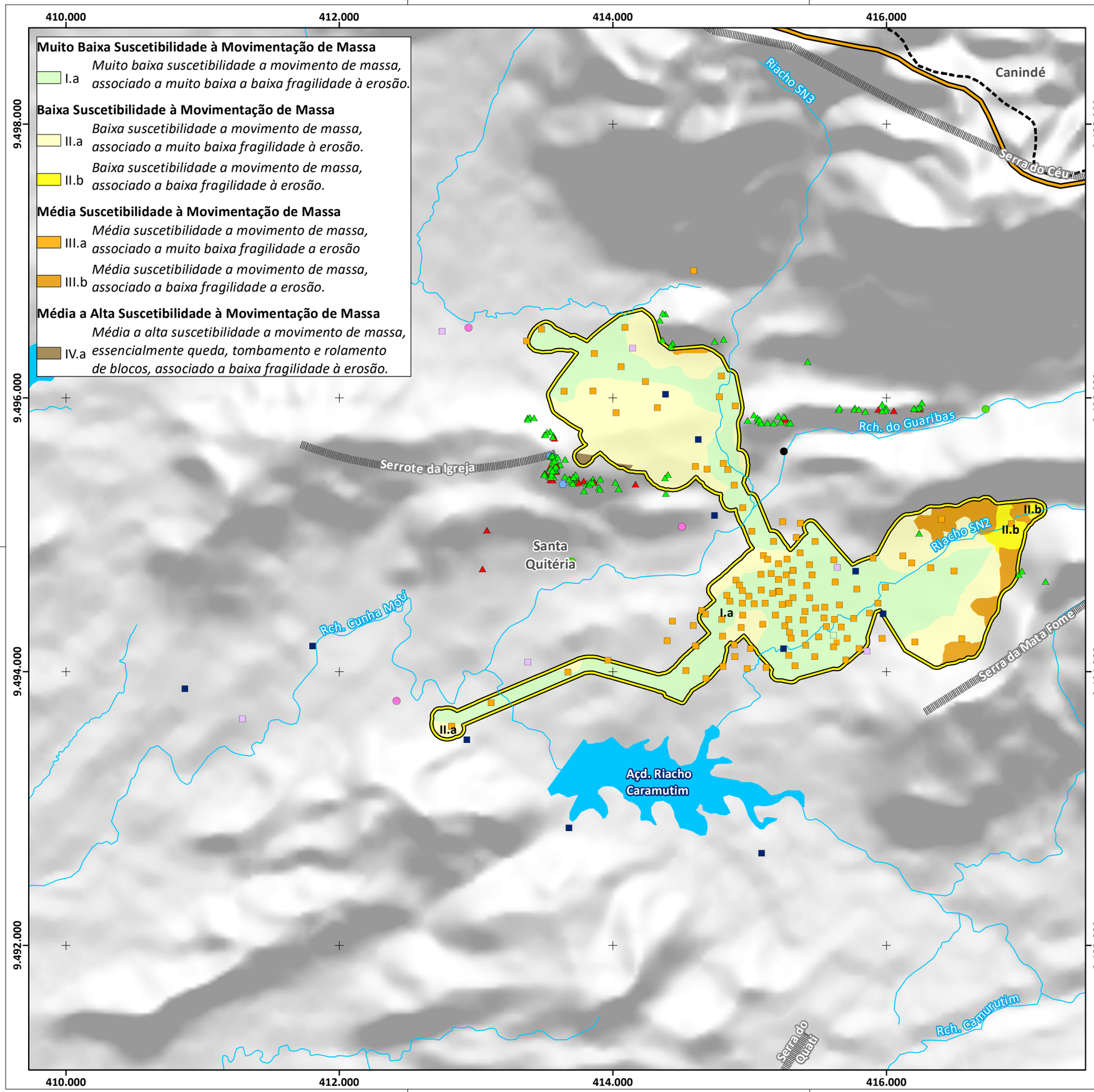
Projeto: **Projeto Santa Quitéria**

Título: Mapa Geotécnico - AID

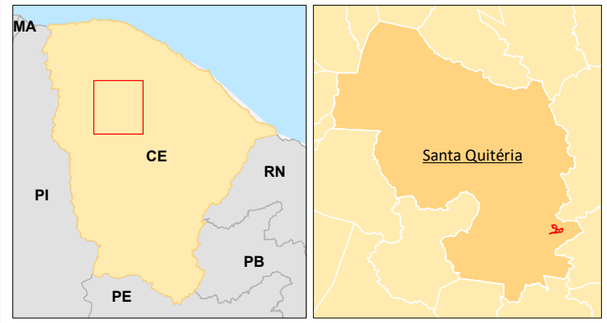
Formato	Escala	Folha
A3	1:100.000	Única

Data	Localização
30/10/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida



Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional
- Limite Municipal

Áreas de Influência
- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)

Hidrografia
- Cursos d'água
- Massas d'água

Elementos Fisiográficos Naturais
- Serras

Sondagens Geotécnicas
- Sondagem a Trado (ST-2022)
- Sondagem a percussão (SPT-2022)
- Ensaio de permeabilidade (2023)

Cavidades (Relevância)
- Relevância Máxima
- Relevância Não-Máxima

Pontos de Interesse
- Feições erosivas
- Feições cársticas
- Blocos e matacões
- Lajedo com surgência de água

Fonte:
BTB, 2023. Ensaios Geotécnicos.
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.
ARCADIS, 2013. Mapa Geotécnico.

1:28.000
0 0,5 1 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria

tetra+

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Mapa Geotécnico - ADA

Formato	Escala	Folha
A3	1:28.000	Única

Data	Localização
31/10/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

A AID apresenta, predominantemente, uma suscetibilidade à movimentação de massa muito baixa a baixa, associada a uma muito baixa fragilidade à erosão. Devido principalmente aos maciços metacarbonáticas que apresentam pouco grau de fraturamento e instabilidade e aos paragnaisses, que em sua maioria se encontram nas regiões de menor declividade.

As áreas mais críticas a instabilidades se referem às encostas da Serra do Céu, ao norte da AID, as quais são caracterizadas por média a alta suscetibilidade a movimentos de massa, associada à média fragilidade à erosão. Vale ressaltar que nenhuma estrutura do empreendimento está inserida nessa região, com predomínio das instalações nas áreas da Depressão Sertaneja, entre as Serras da Mata Fome e Serrote da Igreja (no qual o minério está inserido).

Os índices de fragilidade à erosão apresentam boa correlação com as observações de campo, onde as feições erosivas ocorrem apenas em pontos isolados, na forma de sulcos erosivos, por vezes evoluídos para ravinas de pequeno a médio porte. A baixa fragilidade a erosão, deriva da insuficiência do ambiente em intemperizar quimicamente as rochas devido à baixa pluviosidade anual (média de 800 mm). Dessa forma, os solos apresentam baixa maturidade e desenvolvimento, dificultando a formação de camadas pedológicas espessas, ficando em médias inferiores a 1 m na maior parte do AID. Além desse fator, a baixa pluviosidade não colabora com a perenidade dos corpos hídricos, dificultando a mobilidade desses sedimentos, que por muitas vezes não são carreados para áreas longe da fonte.

As encostas das serras e serrotes da AID apresentam média suscetibilidade a movimentação de massa, associada a muito baixa ou baixa fragilidade à erosão. As drenagens em porções topograficamente menos elevadas, são associadas às áreas de baixa suscetibilidade a movimento de massa e baixa fragilidade à erosão.

Em áreas de afloramentos rochosos associadas a regiões com declives, predominam média a alta suscetibilidade a movimentos de massa, essencialmente representadas por queda, tombamento e rolamento de blocos, evidenciados pelos expressivos depósitos de tálus observados na base das encostas. As diversas famílias de fraturas com alto grau de mergulho (>80°) e a presença de foliações e bandamento de baixo grau de mergulho (<40°), influenciam para a ocorrência desses fenômenos nas regiões das encostas.

Localmente, ocorrem também, pontos de média a alta suscetibilidade a problemas geotécnicos associados a terrenos cársticos. As áreas passíveis de ocorrência destes processos se encontram inseridas na ADA e os seus principais aspectos serão abordados, em detalhes, adiante.

A caracterização geotécnica dos solos na ADA teve enfoque principal em ARCADIS LOGOS (2014) e na área da Unidade de Urânio segundo Relatório de Caracterização do Empreendimento (TETRA MAIS, 2023), onde existem dados de ensaios realizados anteriormente, e se refere a Formação Barrigas, que conforme descrito no item sobre a Geologia da AID/ADA, consiste em gnaisses bandados que se encontram, geralmente, medianamente a muito alterados. Afloramentos rochosos nesta porção da ADA são escassos, devido à ocorrência de uma cobertura delgada, porém contínua, de depósitos aluvio-coluvionares.

De forma geral, a Fm. Barrigas dentro da AID apresenta as camadas mais espessas de solo e saprólitos, conforme a Figura 11.1-89. Vale ressaltar que a composição granulométrica em ambas as formações é distinta (Quadro 11.1.6-2 ao Quadro 11.1.6-4, e Figura 11.1-80 a Figura 11.1-82), onde a Fm. Alcantil apresenta maiores concentrações de finos, enquanto a Fm. Barrigas tem predomínio de sedimentos grossos. Essa diferença deriva da composição das litologias, onde a Fm. Barrigas tem predomínio de quartzo e feldspato (minerais mais resistentes ao intemperismo), Fm. Alcantil minerais de carbonato de cálcio, que durante o processo de intemperização é facilmente diluído.

A Figura 11.1-89, faz uma representação esquemática dos perfis litológicos levantados durante a perfuração dos poços de monitoramento de 2022. É possível identificar que os pacotes litológicos não são homogêneos e por muitas vezes apresentando interdigitação entre a Fm. Barrigas e Fm. Alcantil, além da grande presença de fraturas. Vale ressaltar que esses contatos litológicos por muitas vezes funcionam como canais de conexão entre as fraturas e foliação das rochas. Em alguns perfis é possível identificar rochas com alto grau de alteração em camadas profundas e sotopostas a rochas sã.

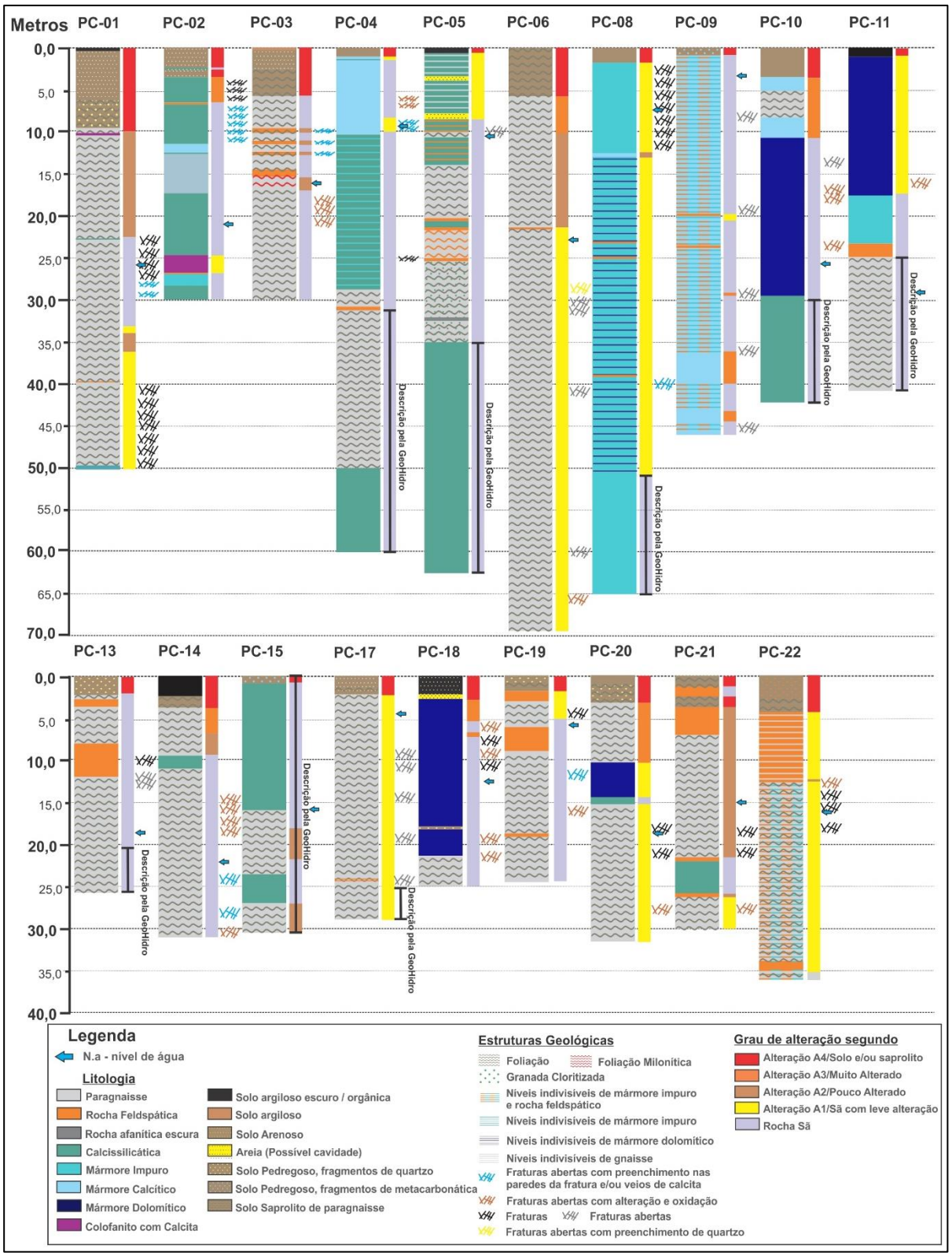


Figura 11.1-89: Perfil esquemático dos poços de monitoramento construídos em 2022. O perfil apresenta as litologias na primeira coluna e a segunda coluna apresenta o grau de alteração das rochas.

Elaboração: BTB Explorers, 2023.

11.1.6.12 Sismicidades

Na operação do PSQ, pretende-se extrair e beneficiar o minério de fosfato, de onde será extraído o urânio (U) e tório (Th), e será obtido o ácido fosfórico, utilizado na fertilização e ração animal. Assim, o empreendimento contará com uma mina, duas unidades industriais (Unidade Mínero-Industrial e Unidade de Urânio), uma pilha de estéril e pilha de fosfogesso e cal. Devido ao grande volume de material na formação das pilhas e estruturas do empreendimento, fez-se necessário os estudos de sismicidade e estabilidade geológica-geotécnica do empreendimento. O empreendimento está localizado em uma das áreas mais sismicamente ativas do Brasil, com tremores ultrapassando os 5 na escala Richter. Esses eventos estão relacionados principalmente a reativação de falhas na borda continental brasileira, durante abertura do Oceano Atlântico, gerando uma intensa atividade sísmica neotectônica que será explanado no capítulo de Geologia (11.1.7).

Em 2023, para melhor compreensão de como os eventos sísmicos poderiam afetar o empreendimento, a POTAMOS realizou um estudo para avaliação dos impactos no empreendimento. Foram levantadas as condições da sismicidade através da aceleração sísmica de projeto e o uso de análise de estabilidade pseudo-estática, na teoria de equilíbrio limite. O estudo teve como base os mapas de risco sísmico brasileiro (ASSUMPÇÃO *et al.*, 2016), que apresenta as acelerações na rocha PGA (*peak ground acceleration*) em todo o território brasileiro, para os Tempos de Retorno (TR's) de 475 e 2475 anos (Figura 11.1-90).

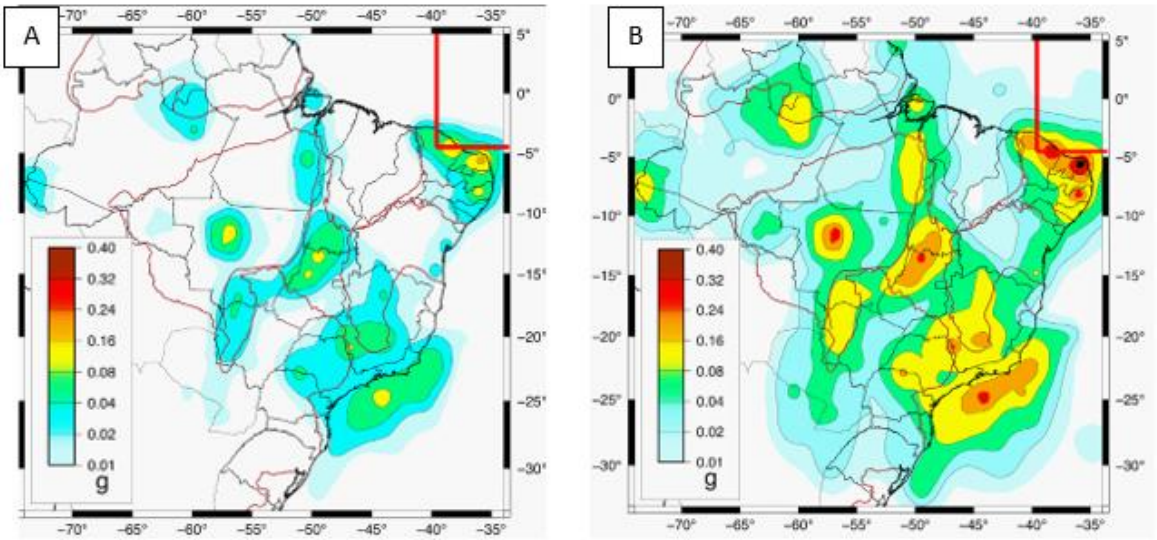


Figura 11.1-90: Mapa de Ameaça Sísmica Brasileiro contendo as acelerações de pico em rocha (PGArock). A) Probabilidade de excedência de 10% durante 50 anos, correspondendo a um tempo de retorno de 475 anos. B) Probabilidade de excedência de 2% durante 50 anos, correspondendo a um tempo de retorno de 2475 anos.

Fonte: Adaptado de ASSUMPÇÃO et al., 2016, POTAMOS 2023.

Devido à falta de normatização brasileira sobre o assunto e a norma ABNT NBR 13.029/2017 “Mineração - Elaboração e Apresentação de Projeto de Disposição de Estéril em Pilha” não faz nenhuma consideração sobre o aspecto sísmico, o estudo da POTAMOS utilizou como referência a CDA (*Canadian Dam Association*) para a realização dos estudos sísmicos (Quadro 11.1.6-15).

Quadro 11.1.6-15: Classificação da Cava, Pilha de Estéril e Pilha de Fosfogesso conforme CDA (2016) e recomendação de TR sísmico para projeto.

Estrutura	TR do sismo em anos (Conforme a CDA)	TR de Projeto em anos (Sugestão POTAMOS)
Cava	Entre 100 e 1000	1000
Pilha de estéril	Entre 100 e 1000	1000
Pilha de fosfogesso	Entre 2475 e 10.000	10.000

Fonte: POTAMOS, 2023.

Os mapas de ASSUMPÇÃO *et al*. (2016) representados na Figura 11.1-90, demonstram as probabilidade de tremores referentes aos valores de TR 475 e 2475 para todo o Brasil. Para os cálculos das acelerações máximas e seus efeitos no empreendimento, foram considerados valores de TR de 1000 e 10.000 anos e aplicado a equação de EUROCODE 8, tomando o fator K = 0,40.

$$\frac{a_{p,i}}{a_{p,j}} = \left(\frac{T_{p,i}}{T_{p,j}}\right)^{k}$$ equação EUROCODE 8

Em que:

ap,i é a aceleração de pico no tempo de retorno ao qual se deseja definir (m/s^2);

ap,j é a aceleração de pico para o tempo de retorno conhecido(m/s^2);

Tp,i é o tempo de retorno ao qual se deseja definir a aceleração de pico (anos);

Tp,j é o tempo de retorno conhecido para a aceleração de pico (anos); e

K é o fator que depende da sismicidade na região de interesse, geralmente variando entre 0,30 e 0,40.

Com as acelerações de pico de referência para a rocha (PGA), foi calculado o coeficiente sísmico (k), no qual é aplicado nas análises pseudo-estáticas para cada estrutura.

Duncan e Wright (2005) propuseram a associação entre a aceleração de pico e o coeficiente sísmico horizontal (kh) utilizada para cálculo da força sísmica dado pela equação a seguir:

$$k_h = \frac{a_{pico}}{g} \; x \; \frac{a}{a_{ref}}$$ equação do coeficiente sísmico horizontal

Em que:

a_{pico} é a aceleração de referência de pico;

g é a aceleração da gravidade; e

a/a_{ref} é o multiplicador de aceleração.

Para a definição do coeficiente de sismo vertical (k_v), foi adotado o valor de 2/3 do coeficiente horizontal. Dessa forma, as três condições foram verificadas nas análises de estabilidade, sendo selecionado o resultado do pior cenário descritas no Quadro 11.1.6-16 e com base nos cálculos de TRs calculados e na classificação sugerida do Quadro 11.1.6-15, foram obtidos os valores sísmicos do projeto as estruturas que mais iram demandar suporte a tensões do substrato rochoso (

Quadro 11.1.6-17).

Quadro 11.1.6-16: Valores de coeficiente sísmico de projeto (kh e kv) para os Tempos de Retorno (TR) de 475, 1000, 2475 e 10.000 anos na região do PSQ.

TR	PGA (rocha)	k_h DE PROJETO (50% do PGA)	k_v*	FONTE
475	0,060	0,030	0,020	Assumpção *et al* (2016)
1000	0,139	0,070	0,047	Calculado via EUROCODE 8
2475	0,200	0,100	0,067	Assumpção *et al* (2016)
10.000	0,350	0,175	0,117	Calculado via EUROCODE 8

*$k_v = 2/3 k_h$ *Fonte: POTAMOS, 2023.*

Quadro 11.1.6-17: Valores de coeficiente sísmico de projeto (kh e kv) recomendável para cada estrutura.

ESTRUTURA	TR DE PROJETO EM ANOS (SUGESTÃO POTAMOS)	k_h	k_v
Cava	1000	0,070	0,047

ESTRUTURA	TR DE PROJETO EM ANOS (SUGESTÃO POTAMOS)	k_h	k_v
Pilha de estéril	1000	0,070	0,047
Pilha de fosfogesso	10.000	0,175	0,117

Fonte: POTAMOS, 2023.

De forma a melhor compreender os valores de TR e mensurar os valores do coeficiente sísmico, foi optado por utilizar a escala de Mercalli (1956), no qual, utilizando os valores obtidos no Quadro 11.1.6-16 e

Quadro 11.1.6-17, é possível a mensuração e os graus de intensidades desses tremores (Quadro 11.1.6-18).

Quadro 11.1.6-18: Conversão dos coeficientes sísmicos em intensidade na escala Mercalli (1956), e as estimativas na Escala Richter.

TR DE PROJETO EM ANOS (SUGESTÃO POTAMOS)	k_h	k_v	INTENSIDADE	ESCALA RICHTER	DANO POTENCIAL
1000	0,07	0,047	V - Moderado (0,039 - 0,092)	entorno de 5,5	Muito Pequeno
10.000	0,175	0,117	VI – Forte (0,092 - 1,80)	entorno de 6	Pequeno
Percepção Humana					
Grau de Intensidade V	Forte		Praticamente sentido por toda a população, fazendo acordar muita gente. Há queda de alguns objetos menos estáveis e param os pêndulos dos relógios. Abrem-se pequenas fendas nos estuques das paredes.		
Grau de Intensidade VI	Bastante Forte		Provoca início de pânico nas populações. Produzem-se leves danos nas habitações, caindo algumas chaminés. O mobiliário menos pesado é deslocado.		

Elaboração: BTB Explorers, 2023.

As acelerações de pico do projeto, definidas a partir do mapa de riscos sísmicos brasileiro, possibilitará incorporar às análises de estabilidade os efeitos de eventos sísmicos. A magnitude de projeto se relaciona aos possíveis danos associados a uma eventual falha/ruptura, de acordo com as características e porte de cada estrutura, definidos e dentro do Volume I desse EIA. Quanto maior o dano potencial associado, maior o tempo de retorno e, consequentemente, maiores os carregamentos decorrentes de eventos sísmicos a serem utilizados no dimensionamento geotécnico.

11.1.6.13 Estabilidade da Área da Jazida

Especificamente na área da jazida, além dos dados coletados em campo em 2011 por ARCADIS LOGOS, 2014, principalmente, nos taludes de corte, emboques, paredes e tetos das galerias de inspeção, para análise geotécnica foram utilizados os dados secundários de cerca de 250 sondagens rotativas, já analisados em detalhes por ALCÂNTARA E SILVA (2003).

As estruturas geológicas mapeadas foram tratadas estatisticamente através de projeções estereográficas, e foi avaliada a estabilidade dos taludes da área onde será a futura cava.

As descontinuidades mais comuns nos maciços rochosos consistem em foliações que se encontram presentes em praticamente todas as rochas da região, porém mais intensamente nos paragnaisses, formando planos de fraqueza condicionados pela orientação de seus minerais, fraturas, juntas e falhas.

A determinação das principais atitudes das estruturas, através do levantamento de medidas, permitiu caracterizar feições, individualmente ou agrupadas, com base em diversos parâmetros como persistência, espaçamento, geometria, rugosidade, abertura, preenchimento e presença de água.

Regionalmente, as foliações apresentam predominância de baixos ângulos de mergulho (aproximadamente 20°) e rumo predominante para sul e sudeste, com pequenas variações para noroeste e nordeste. Localmente, podem apresentar mudanças severas nas orientações e mergulhos, devido aos diversos padrões de dobramento superimpostos às rochas.

Dentre os diversos padrões de dobras observados ou descritos na literatura, destacam-se as dobras abertas de porte regional, com eixos próximos de E-W, correspondentes à última fase de deformação. Estas megaestruturas são as principais responsáveis pela orientação preferencial das unidades geológicas e pela inversão dos mergulhos da foliação.

As fraturas se apresentam agrupadas em três famílias com direções médias N-S, E-W e NE-SW, normalmente com mergulhos subverticais apresentando pequenas dispersões. Suas características são praticamente homogêneas em toda a área, independentemente dos litotipos, apresentando superfícies geralmente planas, lisas a rugosas, seladas ou com aberturas milimétricas, algumas vezes preenchidas por argilas resultantes da alteração da própria rocha, e geralmente secas. Localmente, nas áreas de ocorrência de mármores, são observadas descontinuidades com maior abertura, derivadas da ação de processos cársticos de dissolução.

A Figura 11.1-91 ilustra a projeção estereográfica do hemisfério inferior contendo as atitudes de todas as descontinuidades medidas durante as etapas de mapeamento, demonstradas em populações de polos onde as regiões mais escuras representam maiores densidades de medidas e as concentrações indicadas em vermelho correspondem aos polos das foliações.

As densidades indicam as modas das descontinuidades em toda a região do projeto. Com base nessas medidas, foram obtidas atitudes gerais das estruturas com maiores concentrações de valores. Essas atitudes foram representadas em projeções ciclográficas (Figura 11.1-92), das principais descontinuidades mapeadas (diagrama de Schmidt-Lamber, hemisfério inferior), onde as projeções em vermelho correspondem aos planos da foliação.

A partir da análise do diagrama obtido, foi realizada uma análise da estabilidade geométrica de futuros taludes de cortes, com identificação das descontinuidades planares e cunhas biplanares e triplanares.

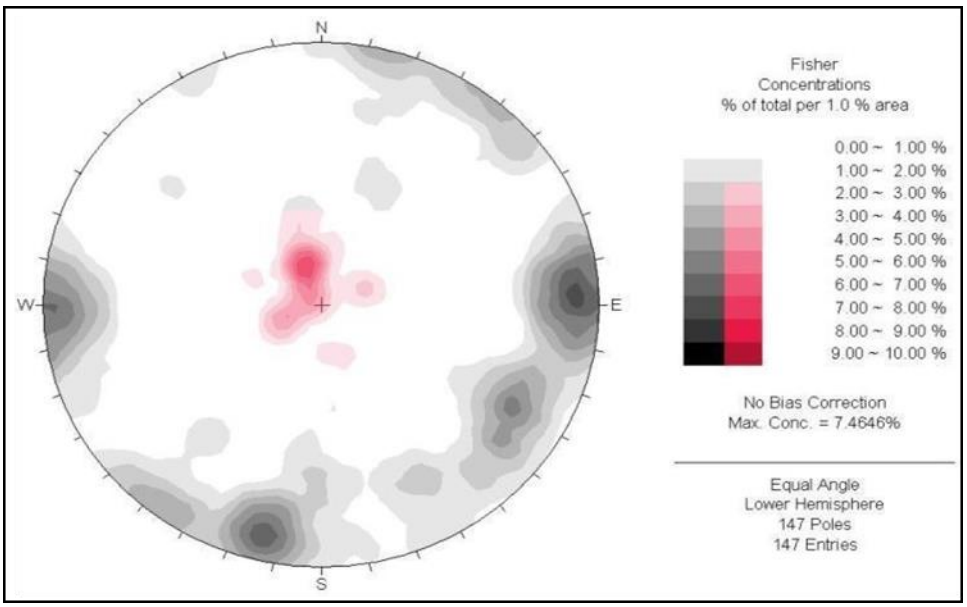


Figura 11.1-91: Projeção estereográfica (Diagrama Schimit-Lambert).

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

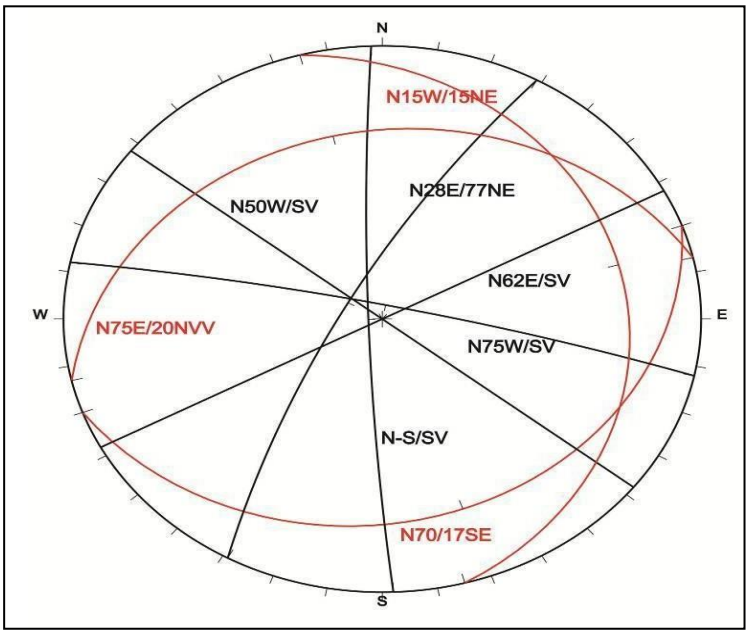


Figura 11.1-92: Projeção ciclográfica das principais descontinuidades mapeadas.
Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

As superfícies sujeitas a escorregamentos são representadas pelas descontinuidades associadas às foliações com mergulho predominante para sudeste, as quais, podem condicionar instabilizações, além da sua combinação com as fraturas subverticais, originando cunhas e blocos potencialmente instáveis.

O fato de as foliações apresentarem três rumos de mergulho distintos caracteriza uma situação de instabilidade de taludes com direções NE e com inclinação para SE ou para NW e; com direções N-S a NNW-SSE com inclinação para E a ENE.

Na região onde se pretende implantar a cava, a foliação apresenta mergulho predominante para SSE, onde na parede direita do trecho inicial da galeria G3, foram observados deslizamentos de pequeno porte ao longo do plano da foliação e queda de blocos isolados pela intersecção desta estrutura com fraturas subverticais NE e NW.

Também podem ocorrer processos de desplacamento do teto da galeria G1, com direção N-S, condicionada pela foliação que mergulha cerca de 50° em direção à entrada. Além da orientação das estruturas, as condições geomecânicas do maciço têm papel fundamental na estabilidade dos taludes de cortes. Nuclebrás (1985) compartimentou o maciço da região em três classes geotécnicas, entre I (melhor) e III (pior), com base no grau de alteração, variando entre A1 (rocha sã) a A3 (rocha muito alterada); e um RQD (*Rock Quality Designation*), classificado entre muito pobre a excelente.

A classe I, caracterizada por rochas sãs ou praticamente sãs, pouco fraturadas e RQD acima de 50%, se localiza nas porções mais profundas do maciço, eventualmente intercalada com faixas de rocha com qualidade inferior.

A classe II é caracterizada por rochas mediamente alteradas, podendo apresentar minerais medianamente alterados e a rocha com processo de descolorização avançado. Estão está distribuída na forma de lentes ou porções isoladas em meio às outras duas classes.

A classe III, correspondendo a rochas com alto grau de alteração, apresentando minerais alterados, por vezes pulverulentos e friáveis, muito fraturada e baixo RQD, se encontra, predominantemente, nas porções superficiais do maciço, porém podendo atingir mais de 100 metros de profundidade.

Através do estudo realizado pela POTAMOS (2023), foram estimados os parâmetros para os modelos de resistência de Hoek-Brown e Mohr-Columb, para as diferentes litologias e graus de alterações, conforme o Quadro 11.1.6-19.

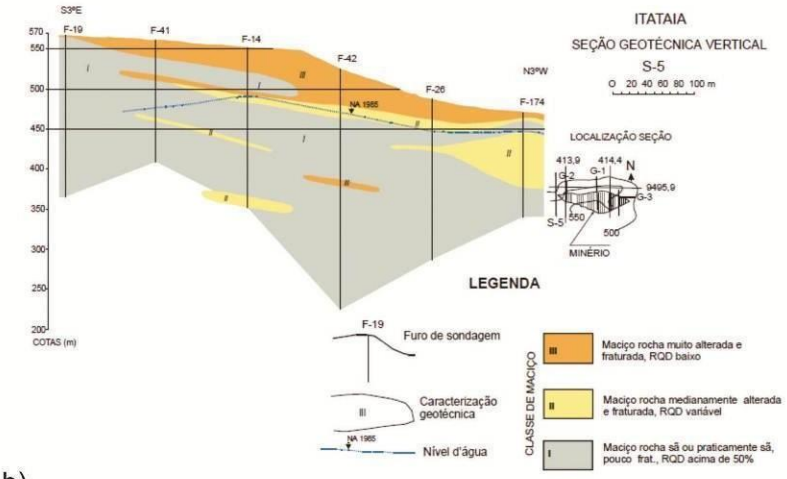
Quadro 11.1.6-19: Parâmetros sugeridos para análise de estabilidade da cava em nível conceitual.

Material	HOEK-BROWN					MOHR-COULOMB	
	mi	UCS (MPa)	D	GSI	□ (kN/m³)	c'	□' (°)
Mármore Classe III	-	-	-	-	21,1	28	25,9
Mármore Classe II	11	40	1	20	23,8	-	-
Mármore Classe I	11	100	1	30	26,4	-	-
Gnaisse	28	150	1	50	24,7	-	-

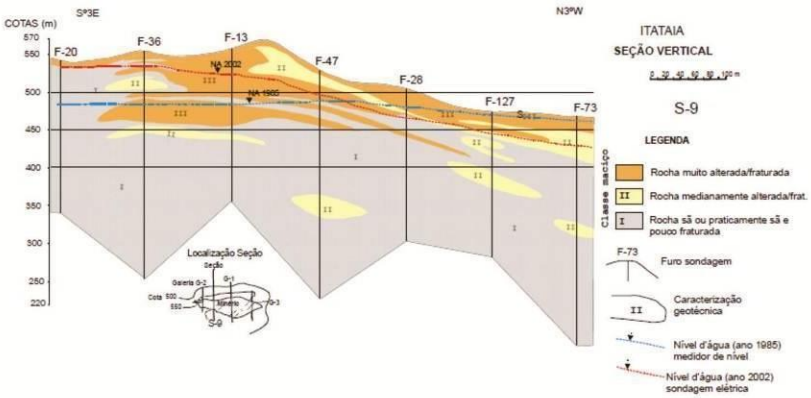
Fonte: POTAMOS, 2023.

A Figura 11.1-93 apresenta seções geotécnicas extraídas de Alcantara e Silva 2003, denominadas S-5 (Figura 11.1-93a), S-9 (Figura 11.1-93b) e S-13 (Figura 11.1-93c), nas quais é possível identificar as classes geotécnicas definidas pela Nuclebrás (1985).

a)



b)



c)

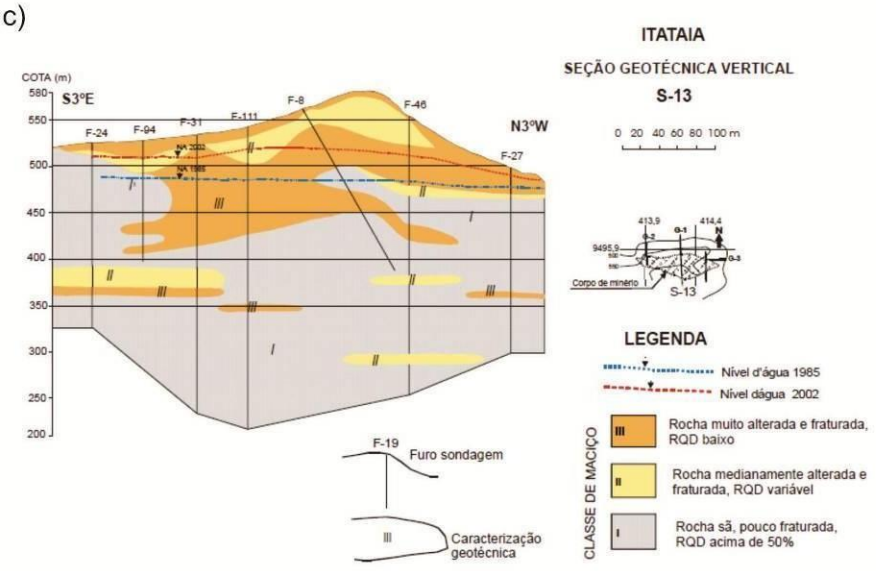


Figura 11.1-93: Seções geológicas e distribuição de classes do maciço.

Fonte: Alcantara e Silva, 2003.

Com o objetivo de subsidiar projetos de engenharia para a lavra e beneficiamento do minério e dar apoio aos estudos de viabilidade técnico-econômica da mina de Itataia, MENDONÇA (1986), com base em elementos estruturais da região, elaborou uma nota técnica intitulada “Setorização Estrutural do Pit para a cota 480 m”.

Nesta nota técnica foram avaliados possíveis mecanismos de ruptura para os taludes da cava até a cota 480 m, com base no projeto existente na época. Nesse trabalho, o traçado do pit foi dividido em 14 setores de acordo com sua direção e influência do fraturamento no segmento do talude considerado.

Com base na análise de frequências das descontinuidades, o autor analisou os possíveis mecanismos de ruptura, os quais foram classificados como planar, biplanar e em cunha. As situações de instabilidade identificadas foram compiladas e sistematizadas no Quadro 11.1.6-20 ao Quadro 11.1.6-22. De maneira geral, as superfícies de escorregamento possuem mergulhos que variam entre baixo e médio, normalmente entre 20° e 40°.

Quadro 11.1.6-20: Escorregamentos Planares Potenciais.

REGIÃO	TALUDE	DIREÇÃO	MERGULHO	TIPO DESCONTINUIDADE
Setor IV	N65°W - 48°NE	N80°W	20°	Foliação
Setor VI	N80°W - 48°NE	N88°E	32°	Fratura secundária
Setor VII	N65°E - 48°NW	N60°E	20°	Foliação
Setor VIII	N75°W - 48°SW	N80°E	20°	Foliação
Setor X	EW - 48°S	N70°E	20°	Foliação
Setor XI	N45°W - 48°SW	N80°W	30°	Foliação
Setor XIII	N85°E - 48°SE	N65°E	25°	Foliação
		N85°E	40°	Falha
Setor XIV	N45°E - 48°SE	N60°E	40°	Foliação

Fonte: Mendonça, 1986.

Quadro 11.1.6-21: Escorregamentos Biplanares Potenciais.

REGIÃO	TALUDE	1ª DESCONTINUIDADE		2ª DESCONTINUIDADE		RELAÇÃO (1)
		DIREÇÃO	MERGULHO	DIREÇÃO	MERGULHO	
Setor VI	N80°W - 48°NE	N76°E	20°	N88°E	32°	Mx, Fs
Setor VII	N65°E - 48°NW	N70°E	20°	N42°E	70°	Mx, Fs
Setor VIII	N75°W - 48°SW	N°80E	20°	N86°E	70°	Mx, Fp
Setor X	EW - 48°S	N70°E	20°	N84°W	58°	Mx, Fs
Setor XI	N45°W - 48°SW	N80°W	30°	N65°W	45°	Mx, Fs
1 – Tipos de descontinuidade que compõem diedro: Mx – Foliação; Fp – Fratura principal; Fs – Fratura secundária						

Fonte: Mendonça, 1986.

Quadro 11.1.6-22: Escorregamentos em Cunha Potenciais.

REGIÃO	TALUDE	ATITUDES DAS INTERSECÇÕES		RELAÇÃO (1)
		DIREÇÃO	MERGULHO	
Setor I	N05°E - 48°SE	N84°E	8°NE	Mx Fs
		N35°W	20°SE	Mx Fs
Setor II	N20°W - 48°NE	N76°E	8°NE	Mx Fs
		N80°W	25°SE	Mx Fp
Setor III	N85°W - 48°NE	N10°E	40°NE	Fp Fs
		N8°W	35°NW	Fp Fp
Setor V	N45°W - 48°NE	N12°E	30°NE	Fp Mx

	N65°E - 48°NW	N25°W	48°NW	Fp Mx
Setor VI	N80°W - 48°NE	N15°E	30°NE	Fs Fs
		N2°E	20°NE	Fs Pp Mx
		N2°E	30°NE	Fs Fs
Setor VII	N65°W - 48°NW	N6°W	20°NW	Fs Mx
Setor X	EW - 48°S	N8°E	20°SW	Fp Mx
Setor XI	N45°W - 48°SW	N70°E	15°SW	Mx Mx
Setor XII	N40°E - 48°SE	N62°W	12°SE	Fs Mx
		N54°W	20°SE	Fs Fs
Setor XIII	N85°E - 48°SE	N6°W	25°SE	Fp Mx
		N36°W	6°SE	Fp Fp
Setor XIV	N35°W - 48°SW	N50°E	8°SW	Fp Mx
1 – Tipos de descontinuidade que compõem diedro: Mx – Foliação; Fp – Fratura principal; Fs – Fratura secundária				

Fonte: Mendonça, 1986.

A partir dos dados levantados pela ARCADIS (2014) e Tetra Mais (2021), a POTAMOS (2023) realizou um novo estudo em relação à estabilidade da área da jazida (futura cava). A categorização foi determinada com base na metodologia RMR (*Rock Mass Rating* - Bieniawski, 1989), ao passo que as avaliações dos parâmetros foram realizadas para os modelos de resistência de Hoek-Brown e Mohr-Coulomb. Foram utilizados os parâmetros geométricos da futura cava já estabelecidos, com as seguintes características:

- *Ângulo geral de talude = 45º;*
- *Ângulo de face = 79º;*
- *Berma Mínima = 8,00 m;*

- *Altura de bancadas = 10,0 m (até 5,00 m operacionais); e*
- *Cota final de lavra = 400 m.*

Com base nas características geométricas do local de mineração planejado, foi viável realizar uma análise de estabilidade geotécnica utilizando o software Slide2 da Rocscience. Foi elaborado um modelo representativo com base na Seção C da Figura 11.1-93. Nos estudos anteriores, foi levantado os níveis d'água na área da cava, onde possivelmente encontra-se entre 436 metros (PM-07) e 459 metros (PM-08), indicando que boa parte da lavra ocorrerá sem presença de água. De acordo com as estimativas o projeto deve explotar por 10 anos sem a necessidade de rebaixamento do aquífero. Portanto, para prosseguir com a exploração da jazida após esses 10 anos, provavelmente será necessário conduzir estudos específicos visando a instalação de poços de explotação, permitindo a continuação da lavra e liberação da reserva, ao mesmo tempo em que garantirá que a zona de depleção seja mantida a uma distância segura dos taludes, assegurando a operação. A POTAMOS em seu estudo considerou a cota de 448 como valor médio das cotas levantadas no entorno da cava para a construção de seus perfis demostrados na Figura 11.1-94 a seguir.

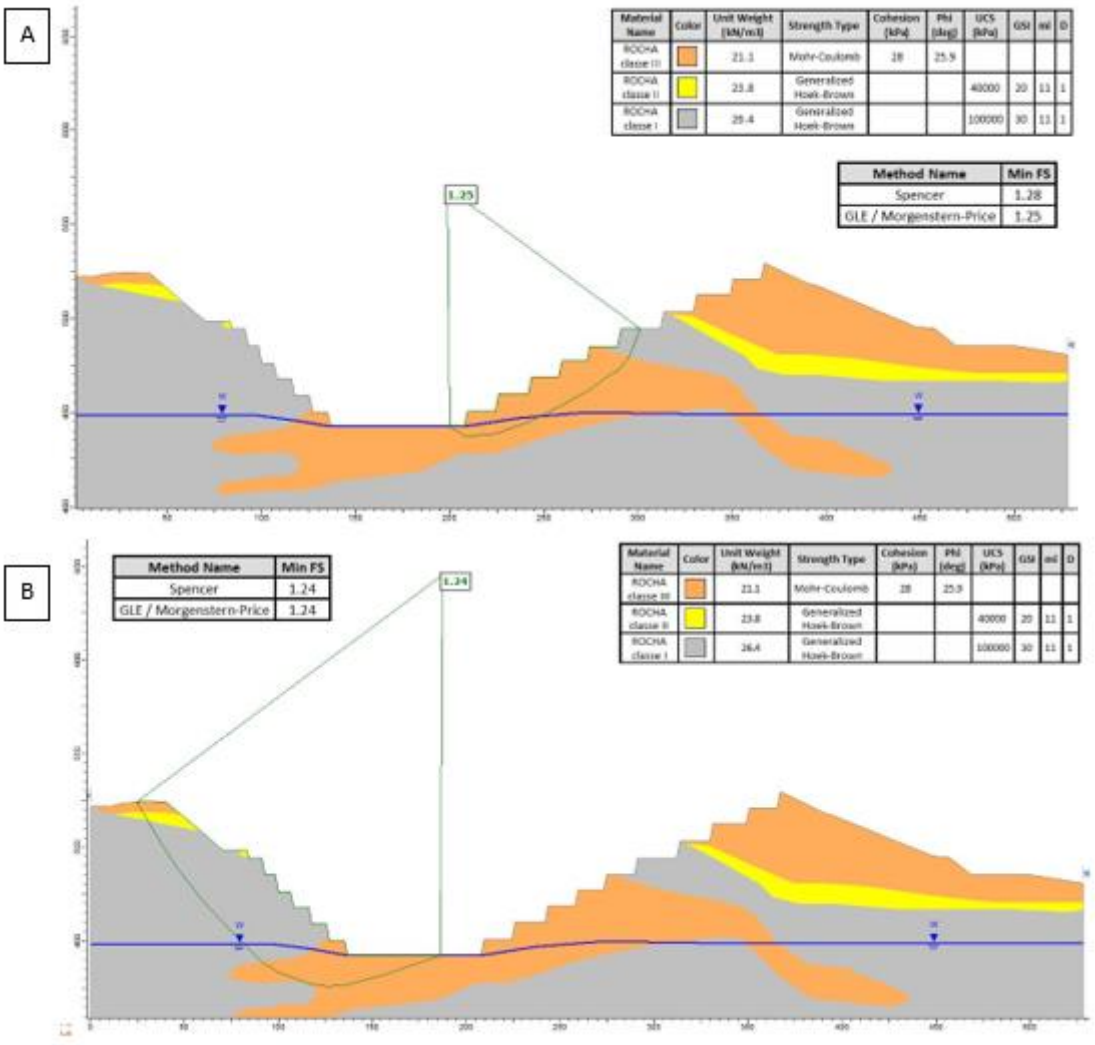


Figura 11.1-94: A) Análise de estabilidade da Cava do PSQ seção S-13, talude N2W condição estática; B) Análise de estabilidade da Cava do PSQ, seção S-13, talude S2E, condição estática.

Fonte: POTAMOS, 2023.

Os resultados desta avaliação indicam que, mesmo com dados conceituais e inferências relacionadas à geomecânica, é possível obter um Fator de Segurança (FS) que atende aos critérios estabelecidos na engenharia de minas. No que diz respeito às análises sísmicas, foi empregado um modelo pseudo-estático, detalhado no item 11.1.6.12 de Sismicidade. Nessa simulação, é aconselhável que o Fator de Segurança (FS) seja superior a 1,0 para os taludes, conforme a Figura 11.1-95. As simulações sísmicas seguiram as mesmas premissas de modelagem geométrica e resistência dos materiais utilizadas na análise estática, incorporando os efeitos dos carregamentos horizontais e verticais decorrentes dos eventos sísmicos. O carregamento vertical Kv foi simulado com vetores positivo, negativo e nulo, sendo adotado o pior resultado (Kh 0,07 e Kv 0,047 em ½ PGA (TRA 1.000 anos).

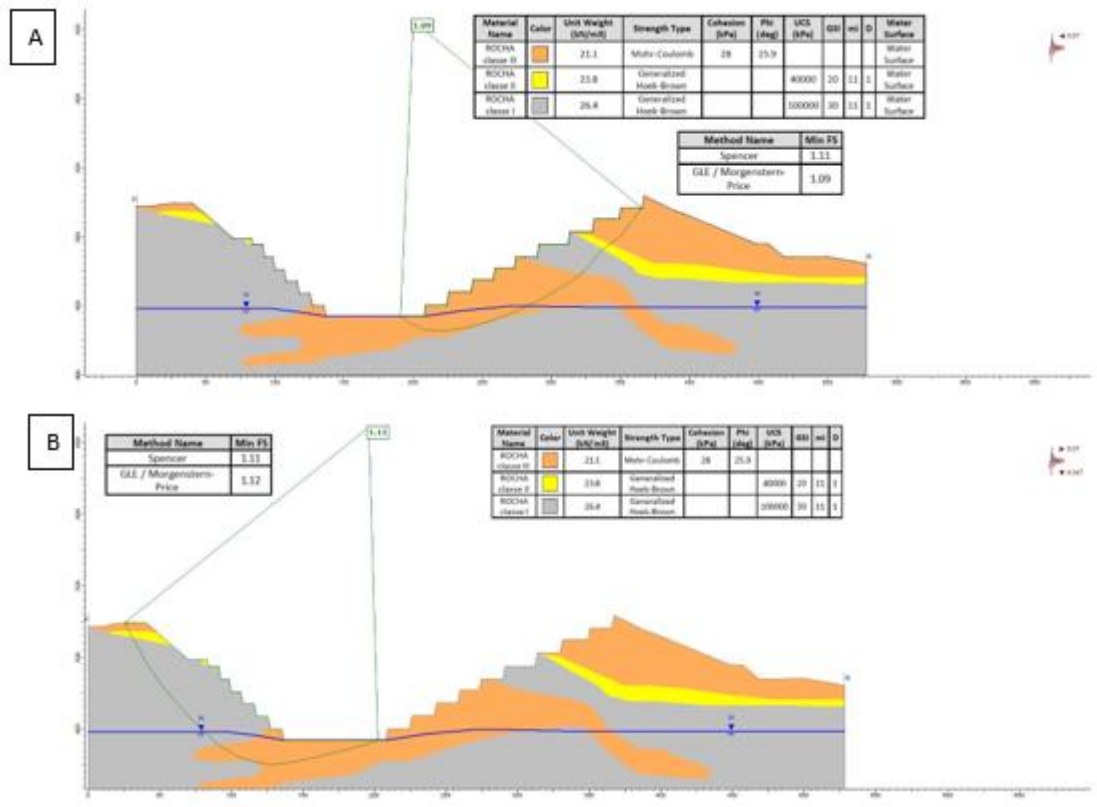


Figura 11.1-95: Análise de estabilidade da Cava do PSQ. A) seção S-13, talude N2W condição pseudo-estática; B) seção S-13, talude S2E, condição pseudo-estática.

Fonte: POTAMOS, 2023.

Por fim, através dos estudos das condições estáticas e pseudo-estáticas é possível afirmar que o avanço da lavra, com a geometria conceitual, é segura frente as práticas de engenharia vigentes, sempre visando métodos de detonações seguras a fim de evitar tremores. Vale ressaltar, que conforme o avanço ocorrer, as vibrações derivadas da detonação podem ser controladas e supervisionadas para assegurar a segurança operacional, como evidenciado no Volume I desse EIA. Para alcançar esse objetivo, o plano de detonação deve ser cuidadosamente elaborado levando em consideração as características específicas do maciço rochoso. Outro item de destaque em relação a vibração resultantes desses eventos são consideravelmente menores, ou mesmo insignificantes, quando comparadas à magnitude de um sismo de projeto com um retorno de 1000 anos, com um valor de aceleração sísmica kh=0,07 g, (aproximadamente 5 na escala Richter, intensidade equivalente a ~200 toneladas de TNT), que é o valor mínimo estabelecido como referência neste estudo. Além disso, é importante destacar que a duração de um evento de detonação é extremamente curta, ocorrendo em frações de segundos, ao passo que um terremoto natural pode persistir por vários segundos.

Vale ressaltar que o estudo da POTAMOS fez o levantamento em nível conceitual em relação as tensões referentes as pilhas geras pela explotação da cava, onde com os valores de RQD do Quadro 11.1.6-19 foi possível gerar os gráficos de acréscimo de tensões conforme a Figura 11.1-96.

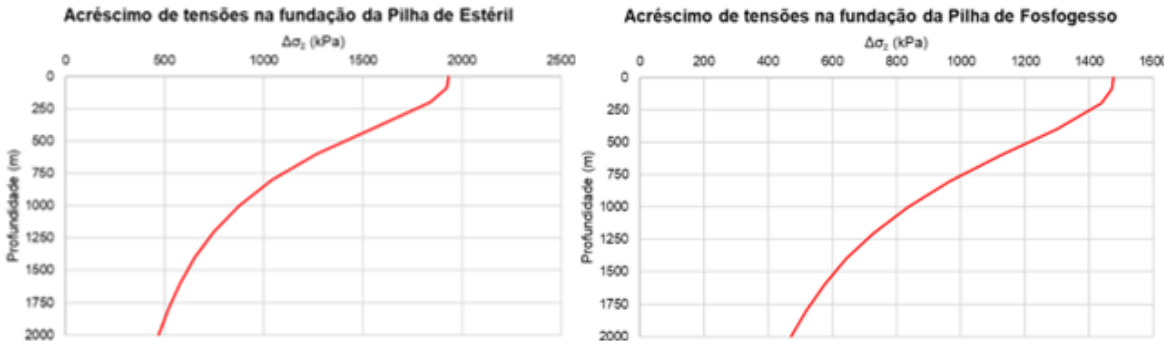


Figura 11.1-96: Padrões de acréscimo de tensões na fundação da pilha de estéril e fosfogesso.
Fonte: POTAMOS, 2023.

Dessa forma, em superfície as tensões não devem exceder os 2 Mpa, chegando a no máximo 500 kPa a 2000 metros, enquanto as rochas gnáissicas da região têm como resistência próxima a 150 Mpa, enquanto as rochas metacarbonáticas chegam a variar entre 40 e 20 Mpa, conforme seu grau de alteração.

Os gráficos apresentados na Figura 11.1-96, evidenciam a diminuição proporcional das tensões à medida que a profundidade aumenta, o que está de acordo com as expectativas. De acordo com a POTAMOS, mesmo na eventualidade da existência de feições cársticas, é seguro afirmar que o aumento de pressão causado pelo carregamento das estruturas pode ser considerado insignificante em comparação com a resistência das rochas locais.

11.1.6.14 Considerações Finais

A distribuição granulométrica, nos estudos de 2022, para os solos da Formação Alcantil se refere a 36-46% de argila e silte, 15-41% de areias finas a médias e 1-4% de areias grossas e pedregulhos, e para os solos da Formação Barrigas composta de 19 a 31% de argila e silte, 15-40% de areias finas a médias e 7-36% de areias grossas e pedregulhos.

Com base nos picos de difratogramas de raios-X em amostras provenientes da Formação Alcantil, os resultados indicam que todas as amostras possuem quartzo (SiO_2); 26,08% contêm fluorapatita ($Ca_5(PO_4)_3F$); 13,04% têm carbonato de cálcio ($CaCO_3$); e 6,52% das amostras tem presença de uranio. Além da presença desses minerais, verificou-se a presença de argilominerais, característicos das argilas, onde quimicamente são representados por

silicatos de alumínio ou magnésio hidratados, contendo outros tipos de elementos como ferro, potássio, lítio e outros.

Os ensaios de compactação indicam densidade máxima variando entre 1,75 e 1,904 g/cm, com umidade ótima oscilando entre 8,5% e 12%, nos sedimentos da Fm. Barrigas, enquanto na Fm. Alcantil, a densidade atinge valores entre 1,70 a 1,75g/cm^3 e umidades entre 11,20% a 13%. O índice de atividade das argilas (IA) se encontra entre 0,27 e 0,43, equivalendo ao intervalo de valores característicos de argilas inativas, portanto, com pouca influência sobre os ensaios de compactação e CBR. Este resultado demonstra que os solos analisados não devem apresentar expansividade.

Os valores de condutividade elétrica dos solos apresentam correlação direta com a presença de sais, devendo ser considerada um fator relevante na capacidade de corrosão de estruturas metálicas, juntamente com o pH, potencial de redução, aeração, e teor de umidade dos solos. A condutividade elétrica nos solos associados à Formação Alcantil classifica o solo como levemente corrosivo, sendo que para os demais solos, apresentam caráter fracamente corrosivos.

A condutividade hidráulica para os solos de alteração da Formação Alcantil está na ordem de 10^{-4} a 10^{-6} cm/s, e para solos no domínio dos gnaisses da Formação Barrigas, estão na ordem de 10^{-4} e10^{-5} cm/s, que são condizentes com as frações granulométricas identificadas.

Vale ressaltar, que entre 2021 e 2023, que foram realizados um total de 126 sondagens SPT, 26 sondagens a trato para caracterização físico-química dos sedimentos e ensaios para dimensionar a condutividade hidráulica do meio vadoso e 18 novas perfurações de poços de monitoramento. Sendo considerado suficiente para o desenvolvimento dos estudos, vale ressaltar que novos ensaios e sondagens estão propostas para melhor conhecimento do substrato rochoso, durante a fase de implementação do empreendimento.

A AID apresenta, predominantemente, uma suscetibilidade muito baixa a baixa para movimentação de massa, associada a uma muito baixa fragilidade à erosão. As áreas mais críticas a instabilidades se referem às encostas da Serra do Céu, ao norte da AID, as quais são caracterizadas por média a alta suscetibilidade a movimentos de massa, associada à média fragilidade à erosão.

As encostas das serras e serrotes da AID apresentam média suscetibilidade à movimentação de massa, e muito baixa a baixa fragilidade à erosão. Em áreas de afloramentos rochosos associadas a regiões com declives, predominam média a alta

suscetibilidade a movimentos de massa, representadas por queda, tombamento e rolamento de blocos. Localmente, ocorrem pontos de média a alta suscetibilidade a problemas geotécnicos associados a terrenos cársticos.

Na área da Jazida, as superfícies sujeitas a escorregamentos são representadas pelas descontinuidades associadas às foliações com mergulho predominante para sudeste, as quais, podem condicionar instabilizações, além da sua combinação com as fraturas subverticais, originando cunhas e blocos potencialmente instáveis. O fato de as foliações apresentarem três rumos de mergulho distintos caracteriza uma situação de instabilidade de taludes com direções NE e com inclinação para SE ou para NW e; com direções N-S a NNW-SSE com inclinação para E a ENE.

Na região onde se pretende implantar a cava, a foliação apresenta mergulho predominante para SSE, onde na parede direita do trecho inicial da galeria G3, foram observados deslizamentos de pequeno porte ao longo do plano da foliação e queda de blocos isolados pela intersecção desta estrutura com fraturas subverticais NE e NW.

Além da orientação das estruturas, as condições geomecânicas do maciço têm papel fundamental na estabilidade dos taludes de cortes. Nuclebrás (1985) compartimentou o maciço da região em três classes geotécnicas. A classe I, caracterizada por rochas sãs ou praticamente sãs, pouco fraturadas e RQD acima de 50%, se localiza nas porções mais profundas do maciço, eventualmente intercalada com faixas de rocha com qualidade inferior. A classe II está distribuída na forma de lentes ou porções isoladas em meio às outras duas classes. A classe III, correspondendo a rochas com alto grau de alteração, muito fraturada e baixo RQD, encontra-se, predominantemente, nas porções superficiais do maciço, porém podendo atingir mais de 100 metros de profundidade.

O Estudo POTAMOS, 2023, concluiu que, do ponto de vista de carregamentos, a fundação das estruturas do PSQ possui capacidade adequada de suporte e que, caso sejam encontradas feições cársticas subterrâneas em estágios mais avançados do projeto (básico e executivo), se necessário, poderá ser adotado o seu tratamento para eliminar qualquer possibilidade de instabilidade.

Os principais tratamentos disponíveis estão relacionados à consolidação do solo, incluindo técnicas como injeção de solo consolidado, solo-cimento, calda de cimento, cimento-bentonita e outras misturas que visam preencher a região afetada e, possivelmente, consolidá-la, tornando-a mais resistente. Esses mecanismos de engenharia estão explanados no Volume I deste EIA.

11.1.7 Geologia

11.1.7.1 Considerações Metodológicas

As informações apresentadas são compostas de dados primários obtidos em trabalhos de campo e dados secundários provenientes de trabalhos técnicos e acadêmicos.

Os produtos locais gerados para a AII foram obtidos por meio da análise integrada e interpretação de dados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os dados secundários incluíram mapas geológicos, mapas temáticos, levantamentos aerogeofísicos e sensoriamento remoto (imagens de satélite e modelo digital de terreno).

Os dados primários foram levantados em etapas de campo realizadas em 2011 para o estudo da ARCADIS LOGOS, 2014, pela AFC Geofísica (2016) e atualizada nos anos 2020, 2021, 2022 e 2023 pela Tetra Mais, por meio de informações geradas por diversas empresas, como BTB Explores, Geohidro, entre outras (Quadro 11.1.7-1). Para obtenção das coordenadas, os levantamentos em campo, tiveram como apoio o GPS (Global Position System).

Quadro 11.1.7-1: Etapas de coletas de dados primários

ANO	DESCRIÇÕES GEOLÓGICAS	SONDAGENS E POÇOS DE MONITORAMENTO	AMOSTRAGEM E ANÁLISES QUÍMICAS	ENSAIOS DE PERMEABILIDADE	LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS
2011	x	x	x	x	
2016					x
2020	x		x		
2021	x		x	x	x
2022		x	x		
2023	x			x	

OBS.: Descrições geológicas compreendem aquelas de afloramentos rochosos, de perfis de solo e das coletas de medidas estruturais com o uso de bússola de geólogo de descontinuidades como falhas, fraturas, foliações, lineações, eixos e planos de dobras. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

As sondagens rotopercussivas foram realizadas em fevereiro de 2011 em dez pontos distribuídos na ADA, e os perfis litológicos resultantes dessas sondagens estão disponíveis no Anexo 11.1.7-1, os quais foram obtidos a partir do estudo conduzido pela Arcadis Logos (2014). Tais sondagens tiveram como objetivo principal a instalação de poços de monitoramento para a coleta de água subterrânea, tendo como objetivos secundários a descrição geológica de litotipos e ensaios hidráulicos para caracterização do aquífero.

Em 2022, foram realizadas dezenove novas sondagens pela Geohidro dentro da área da Fazenda Itataia com mesmo objetivo dos estudos elaborados em 2011 pela Arcadis Logos (2014). Ressalta-se que, por se tratar de um método de perfuração destrutivo, não foram coletadas informações detalhadas sobre a estrutura dos maciços rochosos como índices de qualidade de rochas, apenas as disponíveis nas amostras de calha. No mesmo ano, foram executadas 126 sondagens à percussão (SPT) e oito sondagens a trado também pela equipe da empresa Geohidro, com o intuito do reconhecimento do subsolo na área da Fazenda Itataia.

Conforme documentos disponibilizados, as perfurações das sondagens de reconhecimento e instalação de poços de monitoramento foram realizadas de acordo com a norma ABNT/NBR 15.492/2007 – Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental. A descrição dos solos foi realizada segundo a ABNT NBR 6502/1995 - Rochas e Solos, e as sondagens pelo método SPT, de acordo com a norma ABNT/NBR 6484/2020 – sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de Ensaio.

Para a área da jazida na ADA, utilizaram-se os dados primários em formato de arquivos vetoriais do mapa geológico e seções geológicas de detalhe com dados coletados entre 1979 e 2002 fornecidas pela INB e apresentados na forma de mapa e perfis geológicos no item 11.1.7.3.5 (Geologia da área da jazida).

Foram empregados os dados dos levantamentos geofísicos obtidos em 2002 nos estudos de Alcantara e Silva (2003), elaborados especificamente para o profundo conhecimento dos corpos mineralizados. Esses levantamentos foram conduzidos com um nível de detalhamento maior que os dados primários obtidos ao longo das campanhas de campo, face ao grande número de sondagens (250), às profundidades superiores a 450 metros (abaixo da cota 100 m) e à densidade da malha de dados. Posteriormente, Veríssimo et al. (2016) também contribuíram com esses dados.

Para complementar e aprimorar essas informações, uma nova campanha de campo foi realizada em 2023 pela Geohidro, com o objetivo de aumentar a densidade e a precisão dos dados na ADA. Durante essa campanha, foram descritos e registrados 746 pontos em campo, que viabilizou a confecção de dois mapas na escala de 1:10.000.

O presente diagnóstico também considerou a caracterização mineralógica do minério da Jazida Itataia, realizada em 2019 pelo Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LCT-EPUSP). O estudo teve como objetivo determinar a composição mineralógica das amostras por fração granulométrica, a forma de ocorrência e liberação da apatita e de outros minerais de interesse presentes, bem como a

partição do fósforo e de outros elementos químicos entre os minerais portadores. Essa caracterização foi realizada por meio da homogeneização das amostras, cominuição em rolos, classificação granulométrica por peneiramento, separação mineral em líquido denso e separação magnética em separador Frantz, análises mineralógicas através da conjugação de difração de raios x, microscopia eletrônica de varredura acoplada e espectrômetro por dispersão de energia (EDS) e busca automatizada, através do software Mineral Liberation Analyser (MLA-FEI). O laudo contendo a descrição completa desta Caracterização Mineralógica, é apresentado no Volume V – Anexo 11.1.7-2.

Em 2022, novos estudos laboratoriais foram realizados pelo Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LCT-EPUSP), com amostras de rocha bruta para determinação mineralógica e química. Além disso, a GLP laboratórios, sob gestão do Consórcio Santa Quitéria, realizou estudos para a determinação da solubilidade dos radionuclídeos, coletando nove amostras, sendo essas distribuídas em três amostras para o rejeito e os resíduos (estéril, cal limpa e pilha de fosfogesso e cal). Os ensaios seguiram as normas da ABNT NBR 10.005:2004 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos e ABNT NBR 10.006:2004 - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.

11.1.7.1.1 Bases Geológicas

O levantamento geológico regional utilizou as três folhas geológicas disponibilizadas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM): Folha Quixadá (SB-24-V-B) elaborada na escala 1:250.000; Folha Itatira (SB-24-V-B-V); e Folha Taperuaba (SB.24-V-B-II) na escala 1:100.000 (Figura 11.1-97).

Para análise regional e contextualização, utilizou-se somente a Folha Quixadá (CPRM, 2007) exibida em um recorte para a região de estudo. Esta folha foi escolhida, pois, além de ter uma escala compatível com a abordagem regional, guarda uma grande correspondência com o levantamento aerogeofísico utilizado e abordado nos próximos itens.

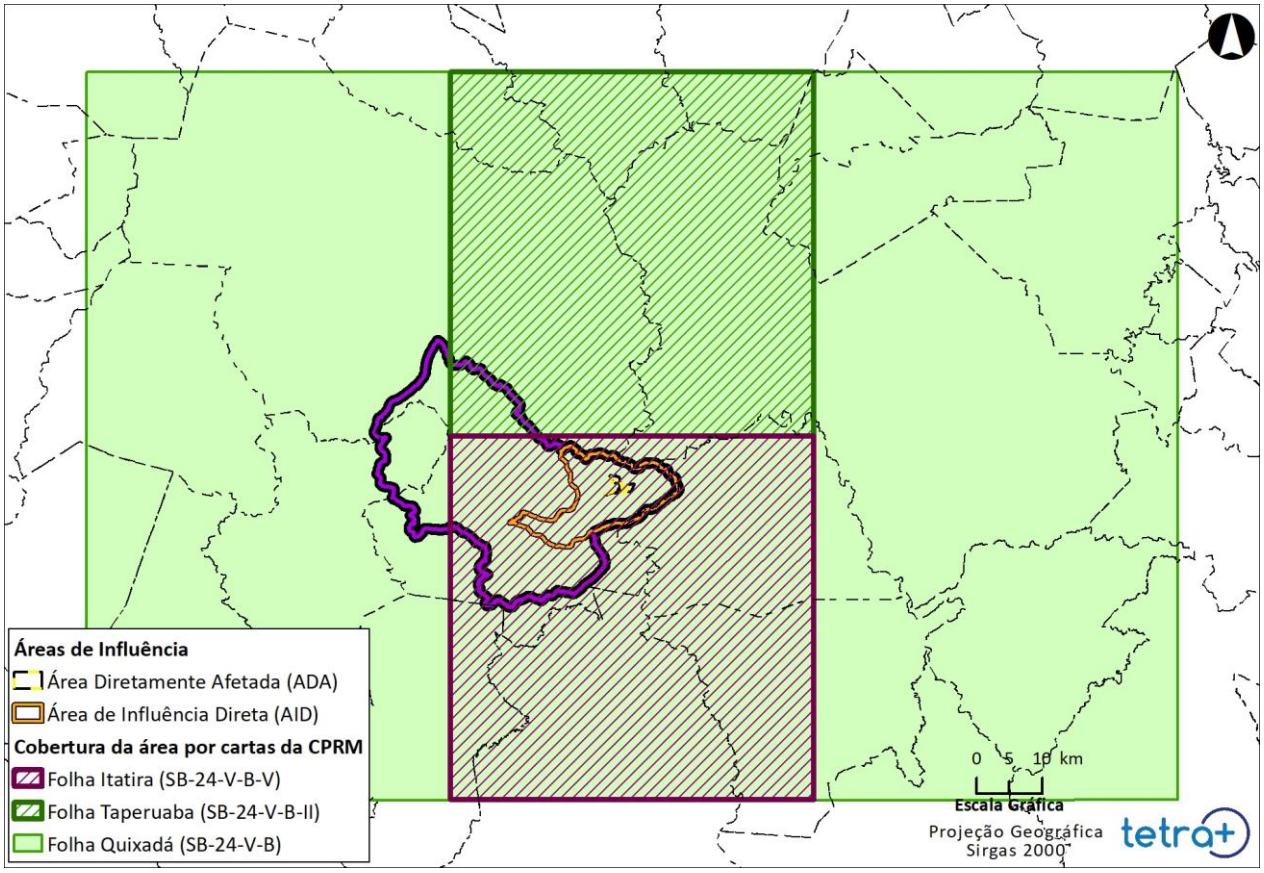


Figura 11.1-97: Cobertura da área por cartas do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM).

Elaboração: Tetra Mais, 2023, modificado de BTB Explorers, 2021.

11.1.7.1.2 Modelos Digitais de Elevação

Com o objetivo de aprimorar a visualização das feições geológicas e facilitar a interpretação dos dados, foram adquiridos Modelos Digitais de Elevação (MDE) da base de dados do projeto Topodata9, um banco de dados geomorfométricos do Brasil elaborados e refinados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, que disponibiliza o MDE e suas derivações em cobertura nacional com células de 30 metros de resolução, elaborados a partir dos dados do programa Shuttle Radar Topography Mission – SRTM, da Agência Aeroespacial dos Estados Unidos - NASA. Para atualização, e melhor entendimento das estruturas e relevo, em 2023, os dados foram adquiridos do Alaska Satellite Facility (ASF[2]), utilizando o satélite Alos Palsar, com varredura global na escala de 12,5 m por células. Os modelos foram utilizados para integrar a intepretação dos dados geológicos, e para auxiliar na interpretação estrutural com a extração de lineamentos estruturais.

9 http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php
2 https://search.asf.alaska.edu/#/

A partir do MDE foram gerados os mapas de relevo sombreado em quatro principais direções de iluminação (NE, NW, EW e NS). Os modelos digitais de elevação com as diferentes direções de sombreamento podem ser observados na Figura 11.1-98.

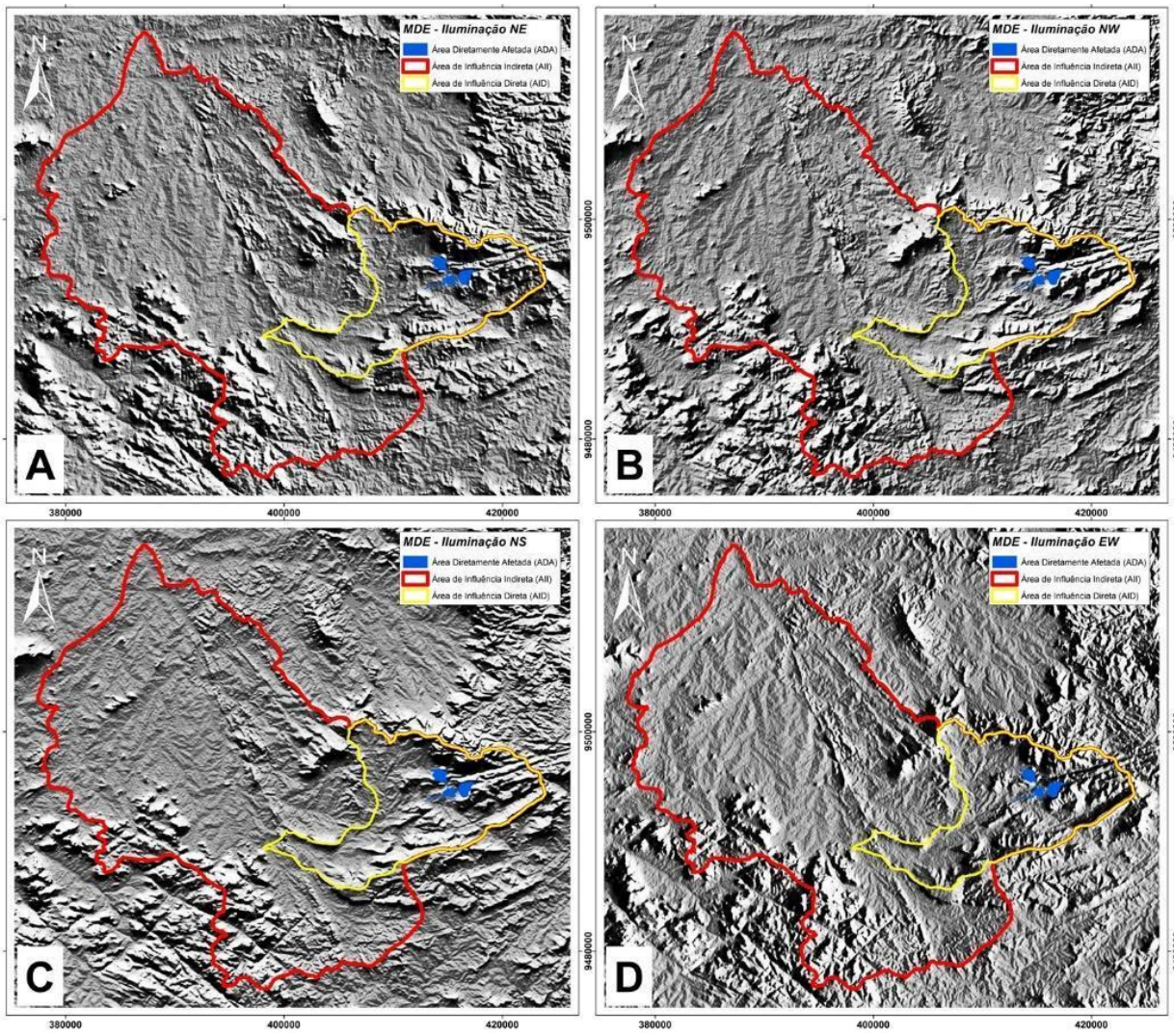


Figura 11.1-98: Imagens do Relevo Sombreado nas direções NE (A), NW (B), NS (C) e EW (D)
Elaboração: Tetra +, com fontes de Topodata e ASF, modificados de BTBExplorers (2023).

Os mapas resultantes foram submetidos a procedimentos de extração automática de lineamentos. Os lineamentos extraídos podem ser observados na Figura 11.1-99.

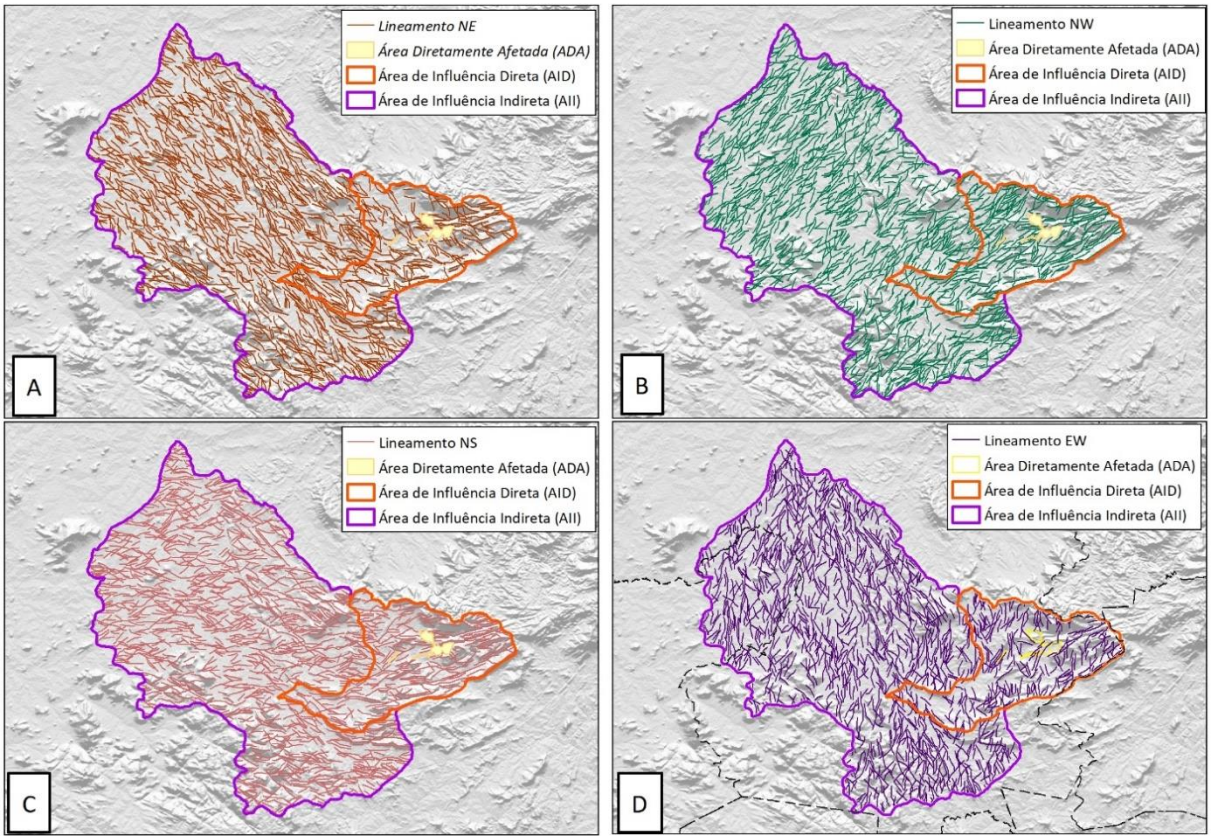


Figura 11.1-99: Lineamentos extraídos a partir das imagens de relevo sombreado.

Fonte: Topodata e ASF.

11.1.7.1.3 Dados Aerogeofísicos

Os dados geofísicos utilizados são provenientes do Projeto Aerogeofísico Norte do Ceará – 1086 (CPRM – 2009). O levantamento foi finalizado em 2009 e os parâmetros de aquisição do levantamento podem ser observados no Quadro 11.1.7-2.

Quadro 11.1.7-2: Parâmetros de aquisição do levantamento

PARÂMETROS	DADOS
Direção das linhas de voo	N-S
Espaçamento entre as linhas	500 m
Direção das linhas de controle	E-W
Intervalo das medições	0,1 s
Altura média de voo	100 m
Velocidade aproximada de voo	262 a 270 km/h

Elaboração: BTB Explorers, 2020.

Os dados do levantamento foram interpolados para um quarto do espaçamento, gerando uma cobertura com células de 125 metros de resolução. Posteriormente, os dados

foram recortados visando a cobertura da AII. A Figura 11.1-100 mostra a localização da área de recorte em relação ao levantamento e a AII.

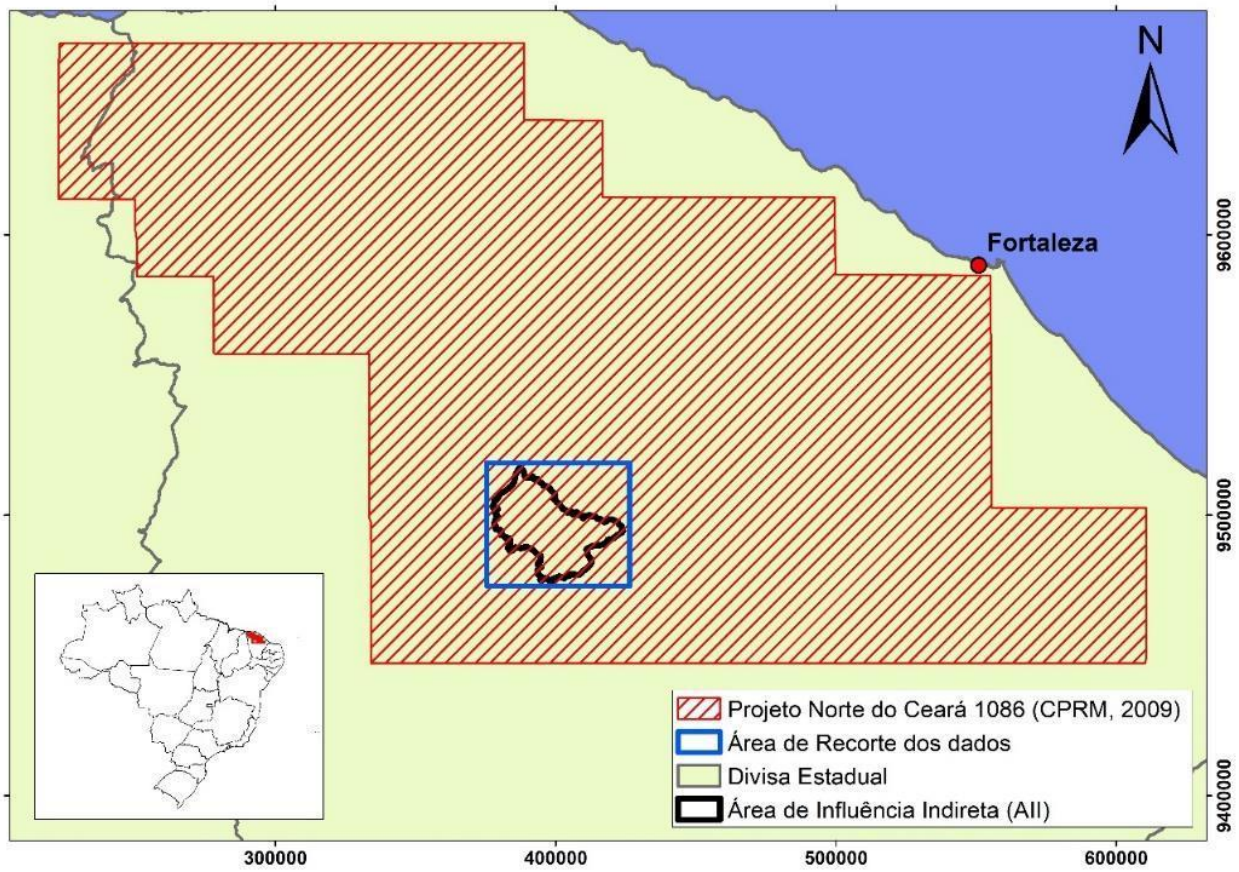


Figura 11.1-100: Localização da área de recorte dos dados em relação ao Projeto Norte do Ceará e a AII.

Elaboração: BTB Explorers, 2021.

O recorte dos dados gerou os mapas da porcentagem do Potássio (%), do equivalente em Urânio (ppm) e do equivalente do Tório (ppm). Estes três mapas foram combinados gerando o mapa de composição ternária (Figura 11.1-101) representado na paleta de cor RGB, que tradicionalmente é utilizado na confecção de mapas litogeofísicos/geológicos.

O mapa da composição ternária RGB mostra a distribuição dos radionuclídeos do Potássio (K - %), equivalente em Tório (eTh - ppm) e equivalente em Urânio (eU – ppm) nos solos e rochas e permite definir limites relacionados à concentração destes elementos, que geralmente tem relação direta com a ocorrência dos litotipos que ocorrem na área.

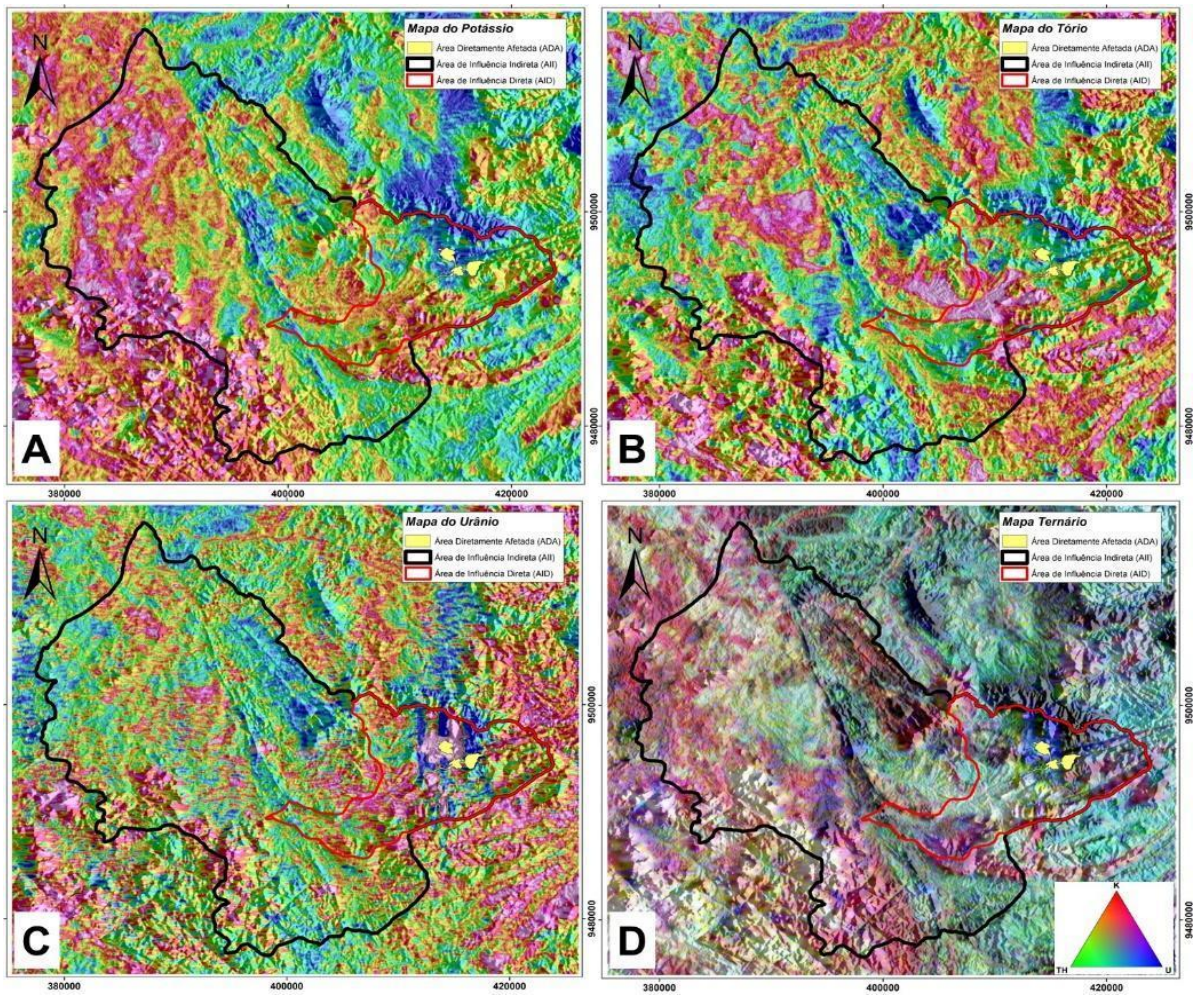


Figura 11.1-101: Mapas gamaespectrométricos: A) Mapa do potássio, B) Mapa do Tório, C) Mapa do Urânio e D) Mapa da composição ternária RGB.

Elaboração: Tetra Mais, 2023, modificado de BTB Explorers, 2020.

A Figura 11.1-102 mostra uma sobreposição dos contatos litológicos da Folha Quixadá sobre o mapa RGB e a correspondência destas feições. Os dados gamaespectrométricos foram utilizados para refinar o mapeamento geológico, principalmente na AID e ADA.

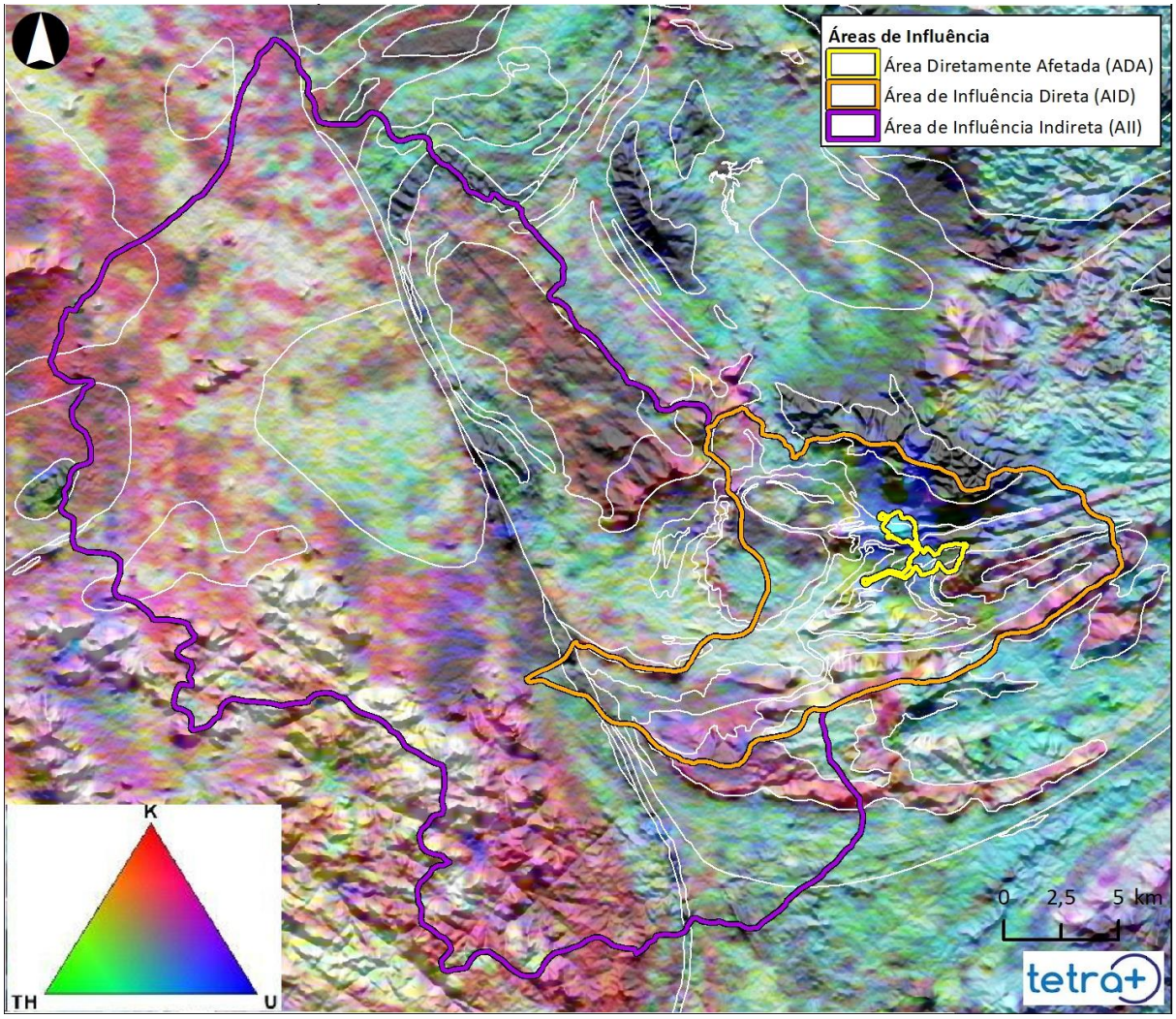


Figura 11.1-102: Composição ternária RGB sobreposto ao MDE, com os contatos geológicos da Folha Quixadá e o Limite da AII.

Elaboração: Tetra Mais 2023, modificado de BTB Explorers 2020.

Com o objetivo de complementar o arcabouço estrutural da área de estudo, foram aplicados métodos de realce de anomalias aos dados magnetométricos do levantamento Norte do Ceará. Tais métodos são amplamente utilizados na análise qualitativa de anomalias magnéticas nos mais diversos segmentos da geologia e seu propósito é facilitar a intepretação de corpos anômalos e de estruturas aflorantes ou de subsuperfície com base no contraste de propriedades magnéticas.

Dentre os métodos aplicados, o que apresentou resultados mais significativos no mapeamento das estruturas foi a Inclinação do Sinal Analítico (Nabighian, 1972; Roest et al., 1992; Miller & Singh, 1994). Este mapa foi interpretado e os lineamentos gerados foram incorporados ao limite da AII. O mapa de realce com os lineamentos interpretados sobreposto ao MDE pode ser observado na Figura 11.1-103.

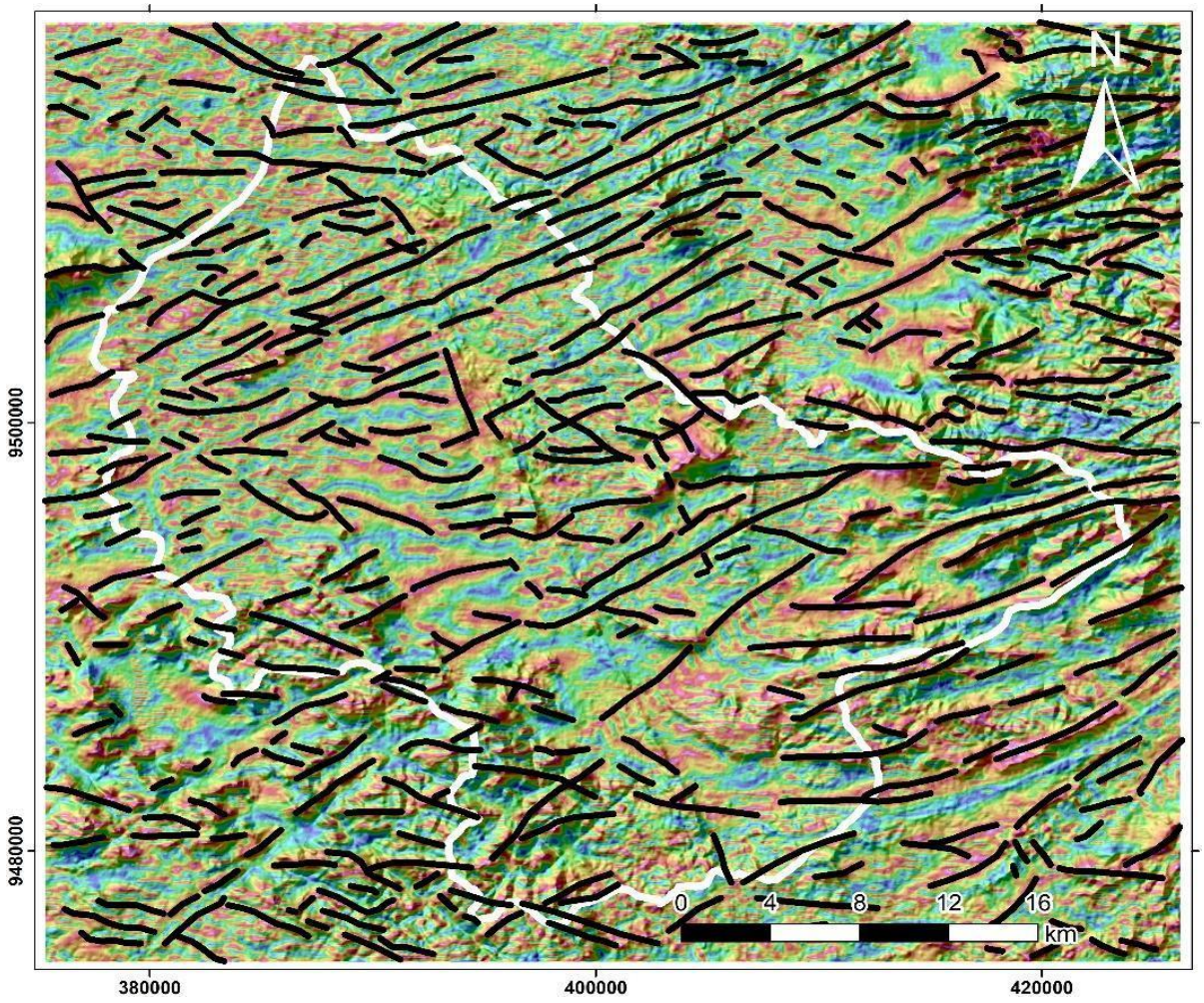


Figura 11.1-103: Mapa da Inclinação do Sinal Analítico (ISA) com os lineamentos magnético-estruturais interpretados e o Limite da All (Branco) sobreposto ao MDE.

Elaboração: Tetra Mais, modificado de BTB Explorers 2021.

11.1.7.1.4 Dados primários

Para caracterização da ADA e das áreas de influência, foram considerados como dados primários os levantamentos realizados, conforme detalhamento abaixo:

- Mapa Geológico de Detalhe e Perfis da Jazida em arquivos vetoriais – INB (com dados coletados entre 1979 e 2002) e Mapa Geológico de Detalhe elaborado pela Tetra Mais (BTB Explorers) em 2023;
- Quanto às campanhas de campo realizadas, segue detalhamento.
    - 1ª campanha - de 13 a 16/04/2011 (ARCADIS LOGOS, 2014);
    - 2ª campanha - de 22 a 26/08/2011 (ARCADIS LOGOS, 2014);

- 3ª campanha – 26 e 27 de novembro de 2020, realizada pela Tetra Mais (BTB Explores);
- 4ª campanha – 01 a 04 de junho de 2021, realizada pela Tetra Mais (BTB Explores).
- 5°campanha – janeiro a dezembro de 2022 e 18 de maio a 01 de abril de 2023, realizado pela GeoHidro.

Na primeira e segunda campanhas realizadas em 2011, foram levantados 81 pontos. Nos dias 26 e 27/10/2020 foi realizada a terceira etapa de campo visando o reconhecimento da área, o mapeamento geológico da AII e a coleta de dados para refinamento do mapa geológico (Mapa 11.1-17).

A terceira campanha consistiu também na descrição de afloramentos ao longo de uma estrada secundária que cruza a AII, com o espaçamento dos pontos variando de 500 a 2.000 metros, conforme a variação litológica ou disponibilidade de afloramentos, onde foram descritos 50 afloramentos. As fotografias dos afloramentos podem ser observadas no Anexo 11.1.7-3. Na quarta campanha de campo, foram realizados 04 ensaios de permeabilidade em diferentes unidades pedológicas.

A quinta e última etapa de campo teve como objetivo a obtenção de aprofundar os conhecimentos geológicos com sondagens e descrição de testemunhos em 2022. Posteriormente em 2023, foram realizados novos ensaios com sondagens a trado na área do empreendimento e uma campanha de mapeamento para confecção da cartografia geológica mais robusta na escala 1:10.000 em uma área do entorno da ADA e em torno da pista de pouso existente. Foram descritos um total de 746 afloramentos na primeira área e 33 afloramentos na área da pista de pouso. Além de uma nova campanha para a realização de 18 ensaios de permeabilidade para incluir as diferentes litologias e elementos de relevo.

11.1.7.2 Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII)

A área de estudo está inserida na Província Borborema (ALMEIDA et al., 1981), pertencente à Plataforma Sul-Americana, que se estende por uma superfície de cerca de 400.000 km² da Região Nordeste do país. A Província Borborema (Figura 11.1-104) configura parte de uma ampla colisão continental panafricana-brasiliana do Neoproterozico, resultante da aglutinação dos crátons São Luís-Oeste Africano e São Francisco-Congo, há aproximadamente 600 milhões de anos (Ma).

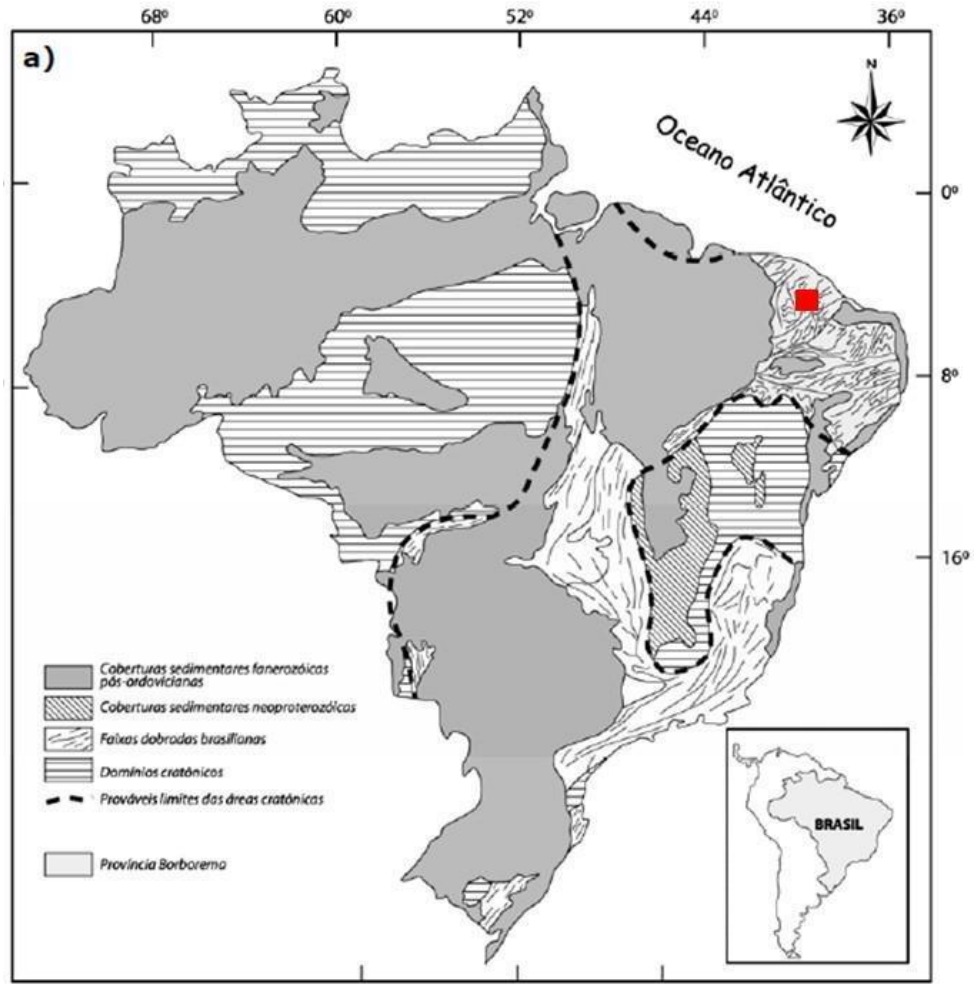


Figura 11.1-104: Localização da Província Borborema no Brasil.

Fonte: Modificado de Schobbenhaus & Campos (1984).

No contexto da província Borborema, a área de estudo está localizada na porção setentrional (Figura 11.1-105) e esta área insere-se no Domínio Ceará Central (Ceará Central - Caby & Arthaud, 1986; Domínio Ceará Central - Jardim de Sá, 1994, Monié et al, 1997; Terreno Ceará Central - Cavalcante, 1999).

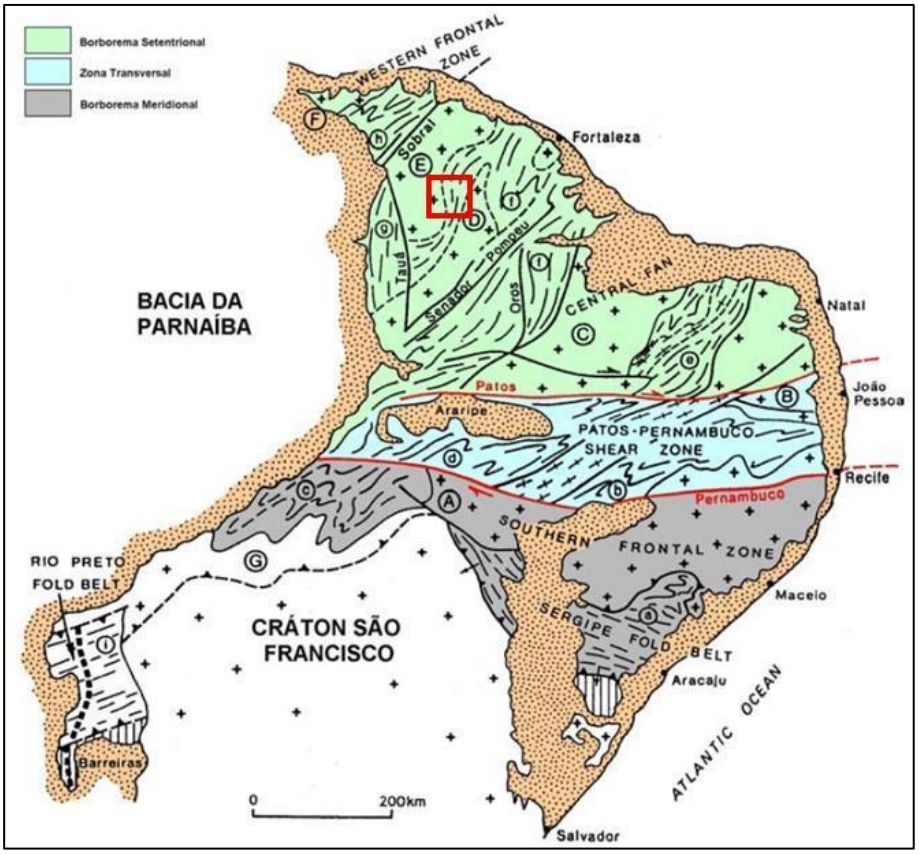


Figura 11.1-105: Subdivisão da Província Borborema.

Fonte: Trompette (1994).

O Domínio Ceará Central é limitado a Oeste pelo Lineamento Transbrasiliano, com parte encoberta pela Bacia do Parnaíba. A norte, o domínio se estende até o Oceano Atlântico. Alguns autores (Cavalcante, 1999; Fetter, 1999; Brito Neves et al., 2000) consideram que seu limite Sul é definido pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu que estabelece o limite entre o Domínio Ceará Central e o Domínio Rio Grande do Norte. Outros autores (p. ex. Arthaud et al., 1998) consideram que as Zonas de Cisalhamento de Orós e Aiuaba separam o Domínio Ceará Central do Domínio Orós-Jaguaribe (Figura 11.1-106).

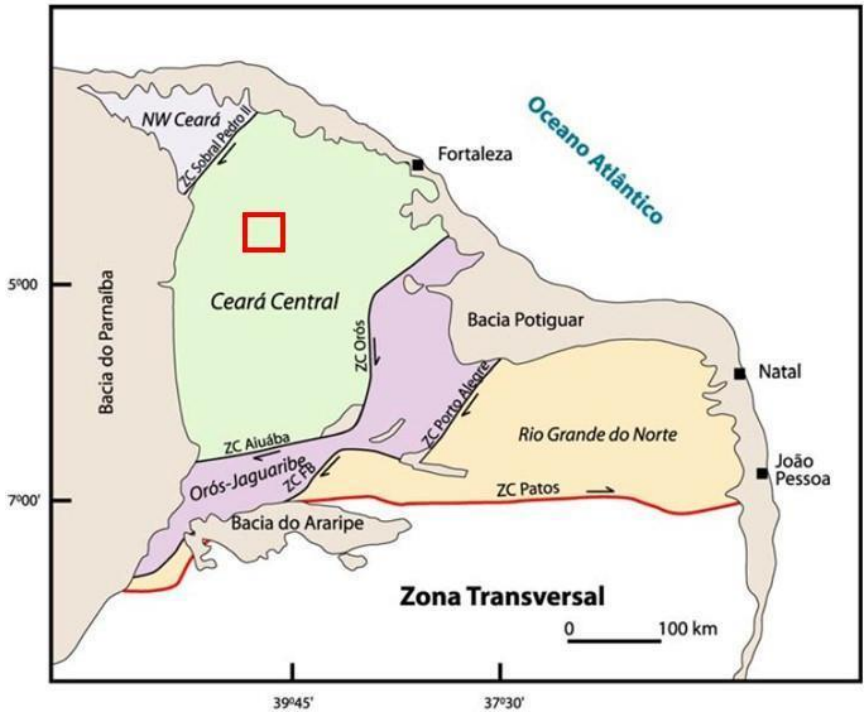


Figura 11.1-106: Domínios da Província Borborema Setentrional.

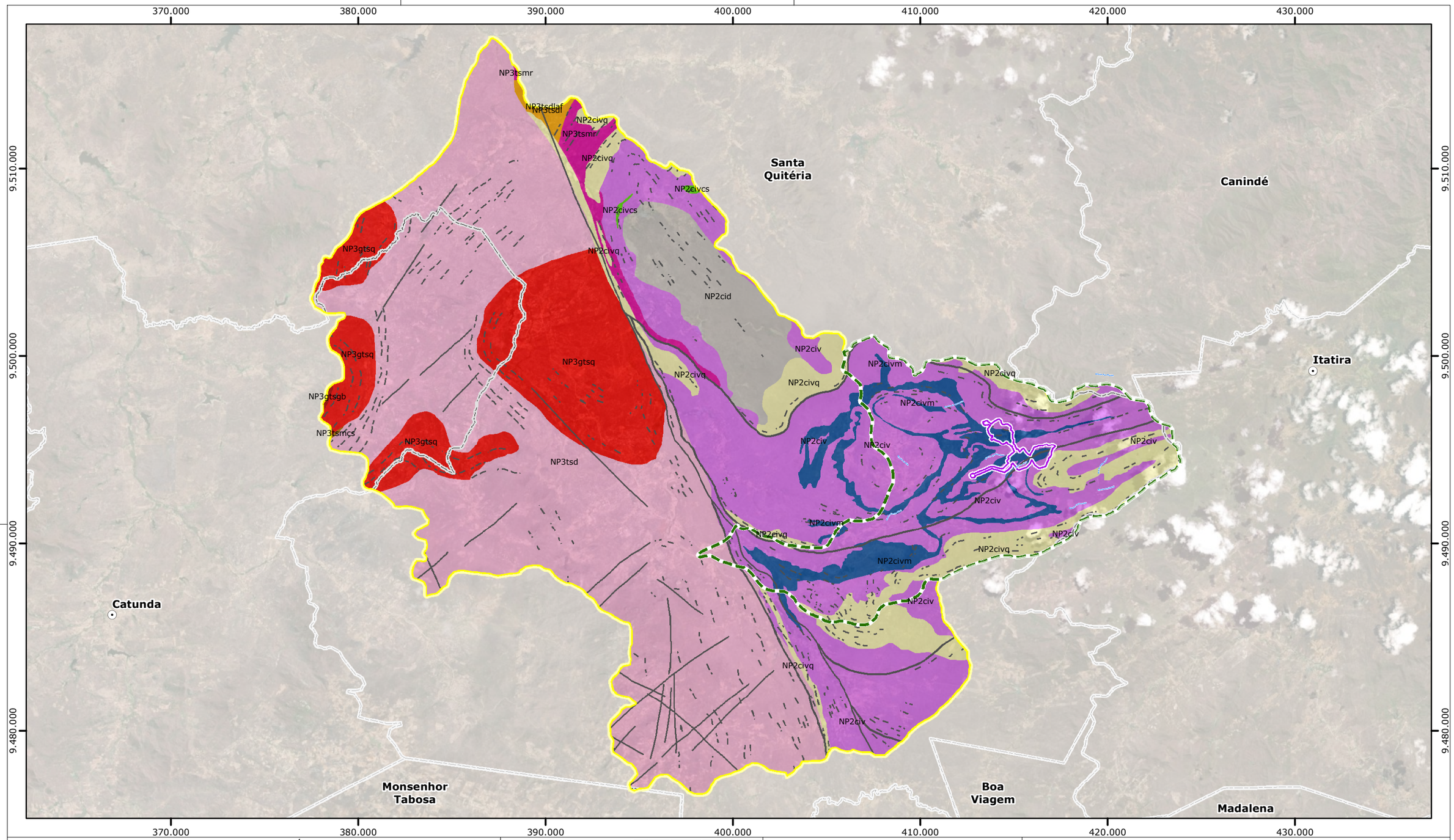
Fonte: Modificado de Cavalcante (1999).

O Domínio do Ceará Central é resultado de uma de longa e complexa história geológica, que vai desde o Arqueano até o Ciclo Brasiliano/ Pan Africano, início do Paleozoico. Envolve o "Maciço arqueano de Tróia" (BRITO NEVES, 1975), representado pelo Complexo Cruzeta; que por sua vez compreende sequências paleoproterozoicas, representadas pelo Complexo São José da Macaoca (TORRES et al., 2007), Suíte Madalena e Unidade Algodões (MARTINS, 2000; MARTINS et al., 2009; CASTRO, 2004; ARTHAUD et al., 2008).

Associadas a estas unidades são encontradas sequencias supracrustais proterozoicas dos complexos Canindé e Ceará (unidades Independência, Quixeramobim e Arneiroz), Unidade Acopiara e Grupo Novo Oriente (Cavalcante et al., 2003) além de um extenso magmatismo, representado pelo Complexo Tamboril-Santa Quitéria (620-640 Ma) (Fetter et al., 2003) e granitóides pós-colisionais (580-530 Ma), associados a zonas de cisalhamento (Nogueira, 2004; Almeida et al., 2008).

A região de estudo está inserida na porção centro norte do Domínio Ceará Central (Figura 11.1-106), onde afloram o Complexo Tamboril-Santa Quitéria e o Complexo Ceará, separados pela Falha do Rio Groaíras.

Por fim, através dos dados das três primeiras etapas de campo, junto aos dados secundários, foi elaborado o mapa geológico da AII (Mapa 11.1-17).



Legenda

- Sede Municipal
- Área Diretamente Afetada
- AID do Meio Físico e Biótico
- AII do Meio Físico e Biótico
- Limite Municipal

Estruturas

- Falha e/ou Fratura
- Falha e/ou zona de cisalhamento
- Falha sinistral
- Lineamento estrutural
- Zona de Cisalhamento Contracional

NEOPROTEROZÓICO - Complexo Tamboril Santa-Quitéria

- NP3gtsgb - Granitíde Serrote Gado Bravo
- NP3gtsq - Granitóide Santa Quitéria
- NP3tsd - Diatexito
- NP3tsmcs - Rocha Calciossilicática
- NP3tsdl - Hornblenda Biotita Migmatitos bandados
- NP3tsdlaf - Anfibolito, Diopsídio Anfibolitos e Anfibolitos Gnáissicos
- NP3tsmr - Migmatitos e Gnaisse bandados

MESOPROTEROZÓICO - Complexo Ceará

Unidade Independência

- NP2civ - Gnaisses Migmatíticos e Xisto
- NP2cid - Gnaisses, Migmatitos, Anfibolitos, Quartzitos e Calciossilicáticas
- NP2civm - Mármore e Metacarbonatos
- NP2civq - Quartzitos e Micaxistos
- NP2civcs - Rochas calciossilicáticas

Fonte:
- Malha Municipal do Estado do Ceará (IBGE, 2019).
- Mapa Geológico 1:250.000 (CPRM, 2007).
- Mapa Geológico 1:100.000 (CPRM, 2008;CPRM, 2014).
- Mapa Geológico (BTB Explorers, 2021).

0 2,5 5 km

Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria

tetra+

Projeto Santa Quitéria

Mapa Geológico das Áreas de Influência (AID/ADA)

Mapa	Escala	Localização	
8.1-17	1:200.000	Santa Quitéria/CE	
Revisão	Data	Elaborado	Aprovado
V01	08/11/2021	Letícia Trombeta	Daniela Lavignatti

11.1.7.2.1 Neotectônica

A incidência de eventos sísmicos de grandes magnitudes está, geralmente, associada a zonas de interação de placas litosféricas, onde se concentram processos magmáticos e tectônicos. Entretanto, mesmo no interior de grandes placas tectônicas, como é o caso da Placa Sul-Americana, observam-se movimentações tectônicas e ocorrências de sismos, demonstrando que esta estabilidade é relativa. A atividade sísmica do território brasileiro foi, durante muito tempo, considerada desprezível, primeiramente pela inexistência de terremotos catastróficos no país e, secundariamente, por este se inserir inteiramente na Placa Sul-Americana, por sua vez considerada uma região de grande estabilidade tectônica. Sabe-se hoje, porém, que a atividade sísmica no país é significativa e só foi mais bem diagnosticada a partir da implantação de uma rede de monitoramento minimamente capaz de registrar os eventos ocorrentes no território brasileiro.

Segundo Berrocal *et. al.* (1984), a correlação entre sismos e a existência de descontinuidades deve ser feita com cautela, embora em alguns casos esta correlação seja muito sugestiva. De toda forma, admite-se que os sismos com profundidade focal da ordem de vários quilômetros devem estar associados às feições tectônicas importantes, preferencialmente falhas preexistentes, que corresponderiam a zonas de fraqueza crustal, suscetíveis à liberação de tensões acumuladas.

Zoback & Zoback (1988) mostraram que a maior parte dos sismos intraplaca parece ocorrer em zonas de fraqueza (falhas pré-existentes) em resposta aos esforços atuantes na crosta. Neste sentido, vale lembrar a observação de Assumpção *et. al.* (1985), de que na parte mais sismicamente ativa do nordeste (ao norte da latitude de 6ºS) as estruturas pré-cambrianas tendem a se orientar na direção NE-SW, enquanto ao sul a tendência estrutural é E-W, portanto paralela à suposta compressão regional. De fato, esta relação geométrica entre a orientação das estruturas pré-cambrianas e a direção do esforço compressivo principal justificaria uma maior reativação das estruturas de direção NE-SW localizadas na porção norte do estado em detrimento às demais, consequentemente resultando em maior atividade na extremidade setentrional do Ceará. Bezerra *et al.* (2006) também afirmam que os sismos do Nordeste brasileiro tendem a se concentrar ao norte da latitude de 7ºS, relativamente próximos à costa – esta com direção WNW-ESE. Esse padrão de distribuição de sismos não mostra uma clara correlação espacial com as grandes falhas Neógenas. Em geral, a atual tensão horizontal máxima segue aproximadamente a linha de costa.

Nas bordas da Bacia Potiguar, área com diversas ocorrências de abalos sísmicos (como os “enxames” de sismos das cidades cearenses de Cascavel, Pacajus, Palhano, além de João Câmara), o campo de tensão Neógeno, conforme se observa na Figura 11.1-107, apresenta

compressão máxima com orientação E-W, e extensão máxima com orientação N-S. O campo de tensão Neógeno gerou falhas direcionais destrais com orientação NE, falhas sinistrais com orientação NW e falhas normais com orientação E-W.

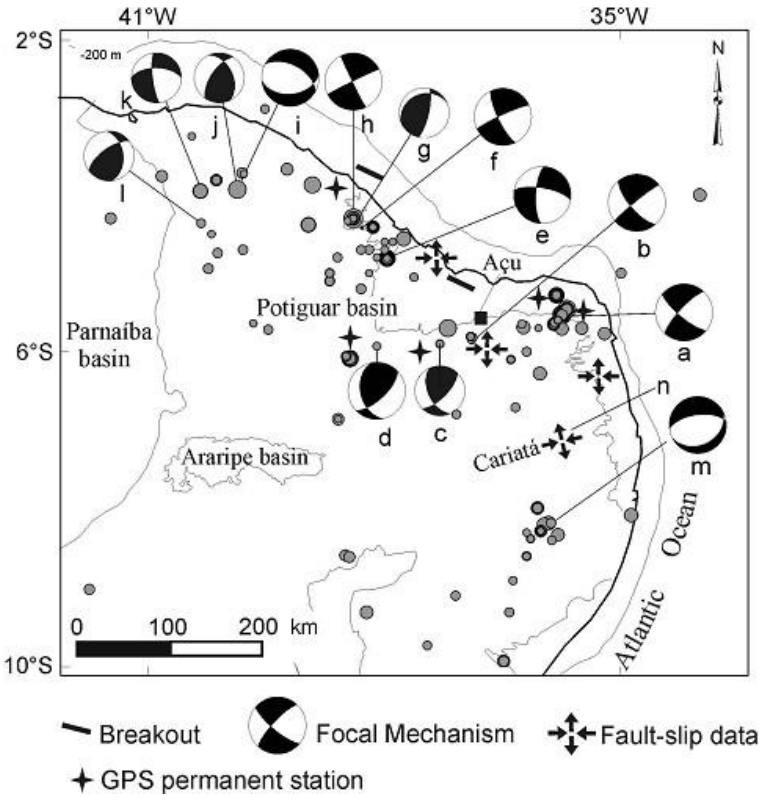


Figura 11.1-107: Mecanismos focais e locais de estações permanentes de GPS no Nordeste do Brasil Chave para a localização e idade da simicidade: a - João Câmara, RN (1986-87); b - Barragem Açu, RN (1990-91); c - Augusto Severo, RN (1990); d - Tabuleiro Grande, RN (1993); e - Palhano, CE (1989); f - Cascavel, CE (1994); g - Cascavel, CE (1989); h - Pacajus, CE (1980); i - Irauçuba, CE (1991); j - Irauçuba, CE (1991); k - Senador Sá, CE (1997), l - Groaíras, CE (1988); m - Hidrolândia, CE (1991); n - Caruaru, PE (1991); o - Graben de Cariatá.

Fonte: Extraído de Bezerra et al., 2006.

O monitoramento instrumental do Estado do Ceará iniciou-se em 1982, com a instalação da estação sismográfica de Itataia. Esta estação, que opera até hoje, foi resultado de uma cooperação que se estabeleceu entre a Universidade de Brasília (UnB) e a INB. Posteriormente, foram instaladas as estações de Sobral, Araçoiaba e Beberibe e, por último a estação sismográfica de Fortaleza. Outras estações e redes sismográficas de caráter temporário foram, também, instaladas pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e pela UnB, em períodos de maior atividade sísmica. Atualmente, o Estado do Ceará está sendo monitorado por quatro estações sismográficas permanentes, que operam de forma contínua: Sobral, Beberibe, Itataia e Fortaleza, conforme mostrado na Figura 11.1-108. A estação de Fortaleza é do tipo digital de três componentes, cujos sensores estão instalados na Serra do Juá, Município de Caucaia, e os seus dados são enviados para a sede

da Coordenadoria de Defesa Civil (CEDEC), em Fortaleza (Dados disponíveis em http://www.obsis.unb.br/media/pdf/Ceara.pdf).

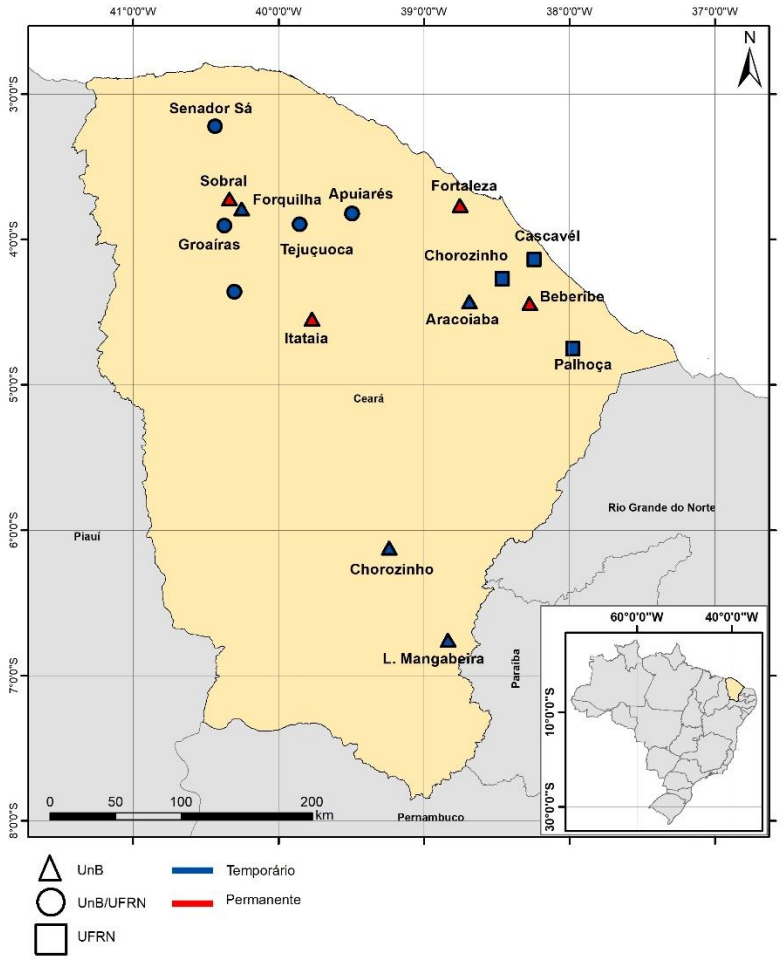


Figura 11.1-108: Localização dos sismógrafos no Estado do Ceará.

Elaborado por BTB Explorers (2023) Fonte Observatório Sismológico da Universidade de Brasília (Obsis-UNB).

Segundo Assumpção (1992), a Bacia Potiguar tem papel fundamental na sismicidade da região, e fatores como o contraste da densidade lateral e a carga sedimentar na plataforma continental são as causas que geram esforços distensionais na parte superior da crosta, próximo aos limites dessa bacia. Os mais importantes sismos ocorridos nesta unidade tectônica são o de Palhano, CE (picos de 4,2 e 4,5 m_b, distando cerca de 190 km da AII); João Câmara, RN (picos de 5,0 e 5,1m_b, distante cerca de 450 km da AII); além de inúmeros outros registrados no município de Cascavel, CE, distante cerca de 150 km da AII (Cândido Junior, 2009).

Situado em uma região cortada por um conjunto de falhas, o Estado do Ceará apresenta sismicidade contínua e expressiva em relação ao resto do país. Segundo Ferreira (1997), a

sismicidade no nordeste brasileiro é, principalmente, do tipo “enxame”, durando períodos entre meses e anos com sismos rasos (profundidades menores que 12 km). Essas caraterísticas e a predominância de rochas cristalinas (embasamento granítico/gnáissico do escudo Pré-cambriano), aparentemente refletiram em um número significativo de registros, já que estes litotipos facilitam a propagação das ondas sísmicas P (longitudinais primárias) e S (cisalhantes secundárias).

Este mesmo autor ainda determinou vários mecanismos focais, tanto singulares quanto compostos, sendo que os associados a reativações de falhamentos transcorrentes são os predominantes no nordeste brasileiro. Estudos de mecanismo focal em *breakouts* em poços de petróleo (sensores de deformação mecânica inseridos dentro de poços) mostram que a compressão máxima horizontal é paralela à linha costeira norte. Este padrão foi interpretado como produto da superposição de esforços regionais (gerados principalmente por forças de empurrão na dorsal meso-oceânica e forças de colisão nas demais bordas da Placa Sulamericana) e esforços locais gerados pela transição estrutural continente-oceano.

Berrocal *et. al.* (1984), através da correlação entre dados sísmicos históricos e instrumentais e o arcabouço tectônico brasileiro, definiram sete regiões sismotectônicas: Região Sismotectônica do Sudeste; Região Sismotectônica do Nordeste; Região Sismotectônica Paraguai-Araguaia; Região Sismotectônica Oceânica do Sudeste; Região Sismotectônica do Recôncavo Baiano; Região Sismotectônica do Norte do Maranhão e Região Sismotectônica do Amazonas. Dentre todas, apenas a Região Sismotectônica do Nordeste é significativa para a região circunscrita dentro dos limites definidos para a Área de Abrangência Sísmica (AAS).

A Região Sismotectônica do Nordeste está situada na porção de Dobramentos Brasilianos, que ocupa a região norte-oriental do nordeste brasileiro, onde estão localizados os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe. Nesta região estão localizados três pontos principais de registro de atividade sísmica, sendo eles: no norte do estado do Ceará, no nordeste do estado do Rio Grande do Norte e na região ao longo do Lineamento de Pernambuco, com destaque para o evento de Pacajus – CE (epicentro foi localizado no município de Cascavel), em 20/11/1980, com magnitude Richter de 5,2, ocorrido a uma distância de aproximadamente 145 km a leste da AII.

O sismo de Pacajus atingiu grau VII na Escala de Mercalli Modificada, sendo considerado um terremoto *muito forte*, no qual há danos em móveis e na estrutura de construções de alvenaria, muitas pessoas acordam, há possibilidade de ocorrer pequenos deslizamentos de terra etc. No caso particular desse evento, 488 casas precisaram de reformas após o terremoto, e o sismo foi sentido por até 600 km de distância do epicentro. A estação

sismográfica de Itataia, a 150 km do epicentro, continuou registrando réplicas deste sismo durante dois anos. Apesar de esse evento ser conhecido como terremoto de Pacajus, seu epicentro foi localizado no município de Cascavel – CE (Cândido Junior, 2009).

Outro trabalho de destaque nos estudos da sismicidade brasileira consiste na tese de doutoramento de Mioto (1993). Este autor subdividiu o Brasil em 26 Zonas Sismogênicas realizando, assim, um trabalho complementar ao de Berrocal *et al*. (1984), incrementando a subdivisão anterior do Brasil em sete zonas sismotectônicas. Segundo Mioto (1993), na região de interesse ocorrem duas zonas sismogênicas inseridas dentro da Região Sismotectônica do Nordeste de Berrocal *et al*. (1984): a Zona Sismogênica de Sobral e a Zona Sismogênica de Pacajus. A subdivisão destas províncias se dá pelo Lineamento Pedro-Sobral II (BR-15), que atravessa a AII.

A Zona Sismogênica de Sobral é limitada a NW pela Sutura da Granja (NW) e a SE pelo contorno do Maciço de Santa Quitéria (correspondente ao Complexo Tamboril-Santa Quitéria). A sismicidade está associada aos grandes lineamentos transcorrentes de direção NE-SW, como o Lineamento Pedro-Sobral II (BR-15). Dentro dessa zona sismogênica, há o registro de alguns tremores recentes, como o de Irauçuba, ocorrido em 19/04/1991, de magnitude 4,8 m_b, hipocentro de 7 a 11 km de profundidade, que foi seguido por réplicas menores. A Falha Rio Groaíras, que atravessa a AII em sua porção central, limita uma mobilidade diferencial dos blocos Santa Quitéria e Itapagé (Mioto, 1993).

A Zona Sismogênica de Pacajus, situada na porção oriental do Estado do Ceará, é limitada a NW pelo Maciço de Santa Quitéria e seu limite leste é a Falha do Jaguaribe, que corresponde à divisa dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte. Essa zona se encontra associada aos grandes cinturões de cisalhamento proterozóicos de Quixeramobim e Senador Pompeu (ambos com movimentos de caráter destral), além das falhas de Orós e Jaguaribe. Diversos epicentros são registrados próximos ao lineamento do Cinturão de Senador Pompeu, sugerindo movimentação neotectônica atual associada a este limite, entre os blocos tectônicos do Ceará e Rio Grande (Mioto, 1993). Dentre os maiores sismos registrados nessa zona, destacam-se os sismos de Pacajus, de 5,2 m_b, de Palhano, de 4,2m_b e mais diversos "enxames" de sismos nos municípios de Cascavel, Canindé, Redenção, Pacajus e Palhano.

No mapa a seguir é possível identificar o levantamento histórico para o estado do Ceará, possivelmente associadas às zonas de falhas, sendo que a maior concentração dos eventos ocorre a leste e, secundariamente, a nordeste da AII, a uma distância significativa do empreendimento. Os eventos relevantes mais próximos da AII consistem dos ocorridos no município de Taperuaba, sendo que o de maior magnitude (4,9 m_b) ocorreu em 19/04/1991,

nesta localidade que dista cerca de 40 km dos limites da AII, mais precisamente a norte desta.

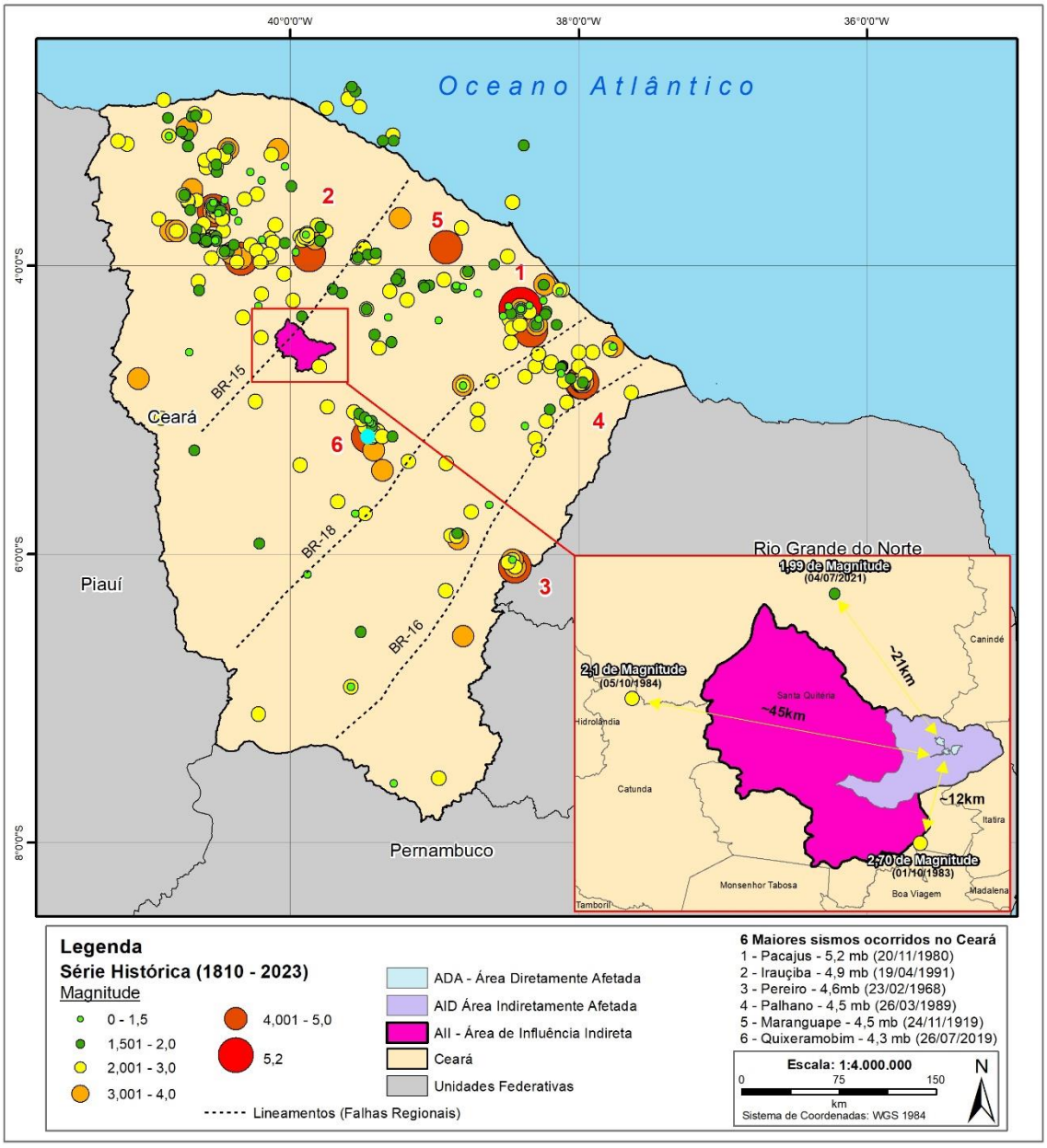


Figura 11.1-109: Distribuição dos sismos na série histórica do Estado do Ceará.
Elaborado por BTB Explorers, 2023.

O lineamento Pedro-Sobral II (BR-15), que constitui a parte nordeste do Lineamento Transbrasiliano, está localizado na parte noroeste do Estado do Ceará (parte norte da Região Nordeste). Esta zona de falha provavelmente se formou durante a primeira metade do Proterozóico e foi reativada durante a Orogênese Brasiliana com a acentuação do *Graben* Jaibaras, preenchido por sedimentos do Neoproterozóico. Esta falha possui comprimento de aproximadamente 155 km e movimentação destral, sendo que sua cinemática foi

determinada a partir de análises morfo-neotectônicas regionais e estudos de campo de tensões neotectônicas da porção norte da Região Nordeste (Saadi, 2002). Geomorfologicamente, o lineamento BR-15 está associado com escarpas de linha de falha e exerce forte controle estrutural no vale do rio Acaraú, que não se encontra dentro dos limites da AII.

O lineamento Jaguaribe (BR-16) está localizado na parte nordeste do estado do Ceará (parte norte da Região Nordeste), ao longo da Bacia do rio Jaguaribe. É uma zona de cisalhamento provavelmente formada durante o Proterozóico inferior e médio, reativada durante a Orogênese Brasiliana e novamente no Mesozoico, quando controlou a formação de várias pequenas bacias sedimentares. A falha possui, aproximadamente, 209 km de extensão, orientação NE-SW e ocorre na borda leste da AAS. O movimento da falha é, provavelmente, lateral direito (destral), com componente normal. Esta movimentação foi diagnosticada com base em critérios de análise morfo-neotectônica regionais e estudos neotectônicos de campo de tensões da parte norte da Região Nordeste. Geomorfologicamente, o lineamento Jaguaribe controla a depressão fluvial do baixo rio Jaguaribe e pequenas escarpas e cristas (Saadi *et al.*, 2002).

A falha de Arneiroz-Senador Pompeu (BR-18) está localizada na parte central do Estado do Ceará, ao longo da bacia do rio Banabuiú. É uma zona de cisalhamento provavelmente formada durante o Proterozóico médio, reativada durante a orogênese Brasiliana e novamente no Mesozoico, quando ocorreram importantes intrusões graníticas pós-tectônicas. A falha possui 386 km de extensão e apresenta movimentação destral (Saadi *et al*. 2002). O epicentro do sismo de Pacajus, considerado o de maior magnitude já registrado no Nordeste, ocorreu a cerca de 30 km a oeste da falha BR-18. No entanto, esse evento aparenta estar mais relacionado com os sismos da borda da Bacia Potiguar do que com eventos ocorridos durante reativações dessa estrutura.

A análise de dados históricos e de mapas de localização de epicentros indica que, no Estado do Ceará, existem registros de sismos que apresentam magnitude oscilando entre 1.7 m_b (município de Iraucuba) até extremos de 5.2 m_b (município de Pacajus). O Quadro 11.1.7-3 apresenta uma síntese de todos os registros históricos de eventos ocorridos, respectivamente, nos estados do Ceará e Piauí entre os anos de 1814 e 2023, baseados em uma compilação realizada por Berrocal *et al*. (1984) e a Rede Sismográfica Brasileira (RSBR).

Não há registros de sismos ocorridos dentro da AII, sendo que o tremor mais próximo já registrado foi no município de Itataia, a 7,5 km ao sul da região mais meridional da AII, no dia 01/10/1983, de magnitude 2,7 m_b. Ressalta-se que eventos desta magnitude têm

baixíssima probabilidade de causar qualquer tipo de dano material e quase nunca são sentidos por pessoas.

Quadro 11.1.7-3: Dados históricos e localização de epicentros dos sismos ocorridos no Estado do Ceará

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
1	19/04/1810	-3,100	-40,840	0,00	Granja	C	-	-
2	1824	-7,590	-39,280	0,00	Jardim	C	-	Fratura de 30 km
3	1846	-3,100	-40,840	0,00	Granja	C	-	-
4	02/12/1852	-4,560	-37,760	0,00	Aracati	C	-	-
5	1852	-3,100	-40,840	0,00	Granja	C	-	-
6	1855	-3,100	-40,840	0,00	Granja	C	-	-
7	maio/1888	-4,190	-38,700	0,00	Acarapé	C	IV	-
8	10/02/1903	-4,380	-38,970	0,00	Baturité	C	-	-
9	12/02/1903	-4,380	-38,970	0,00	Baturité	C	-	-
10	14/02/1903	-4,380	-38,970	0,00	Baturité	C	IV	-
11	15/02/1903	-4,380	-38,970	0,00	Baturité	C	IV	-
12	16/02/1903	-4,380	-38,970	0,00	Baturité	C	IV	-
13	20/07/1903	-4,360	-39,320	0,00	Canindé	C	-	-
14	1903	-	-	-	Pereiro	D	-	-
15	12/03/1905	-	-	-	Pereiro	D	-	-
16	1909	-	-	-	Pereiro	D	-	-
17	27/08/1911	-3,100	-40,840	0,00	Granja	C	-	Dois eventos
18	ago/13	-6,040	-38,460	0,00	Pereiro	C	-	-
19	29/08/1918	-3,690	-40,360	0,00	Sobral	C	-	-

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
20	1918	-	-	-	Pereiro	D	-	-
21	08/05/1919	-4,360	-39,320	0,00	Canindé	C	-	-
22	04/08/1919	-4,360	-39,320	0,00	Canindé	C	-	-
23	24/11/1919	-3,870	-38,920	4,50	Maranguape	B	IV	-
24	17/02/1920	-4,360	-39,320	0,00	Canindé	C	-	-
25	21/02/1920	-4,360	-39,320	0,00	Canindé	C	-	-
26	1927	-6,040	-38,460	3,00	Pereiro	C	IV	-
27	15/04/1928	-4,560	-37,760	4,00	Aracati	C	IV	Área aproximada
28	08/06/1928	-5,420	-39,360	3,60	Lacerda	C	III-IV	-
29	1928	-	-	-	Pereiro	D	-	-
30	05/10/1929	-5,110	-38,370	0,00	Morada nova	C	-	-
31	1929	-4,560	-37,760	0,00	Aracati	C	VI	Meados do ano
32	1942	-3,100	-40,840	3,00	Granja	C	IV	-
33	18/11/1947	-5,110	-38,370	0,00	Morada nova	C	-	-
34	1958	-	-	-	Ibaretama	D	-	-
35	1964	-4,140	-38,850	0,00	Palmácia	C	-	-
36	mar/64	-6,920	-39,580		Farias brito	C	IV	-
37	13/01/1968	-6,090	-38,440	3,90	Pereiro	-	-	(UFRN)
38	13/01/1968	-6,040	-38,460	2,80	Pereiro	-	-	-
39	19/01/1968	-6,040	-38,460	0,00	Pereiro	-	-	-

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
40	15/02/1968	-6,090	-38,440	4,10	Pereiro	-	-	(UFRN)
41	23/02/1968	-6,090	-38,440	4,60	Pereiro	-	-	(UFRN, IAG, ISC)
42	23/02/1968	-6,090	-38,440	3,00	Pereiro	-	-	(UFRN) Epicentro inferido
43	23/02/1968	-6,090	-38,440	3,00	Pereiro	-	-	(UFRN) Epicentro inferido
44	23/02/1968	-6,090	-38,440	3,80	Pereiro	-	-	(UFRN) Epicentro inferido
45	25/02/1968	-6,040	-38,460	0,00	Pereiro	-	-	-
46	25/02/1968	-6,040	-38,460	0,00	Pereiro	-	-	-
47	25/02/1968	-6,040	-38,460	0,00	Pereiro	-	-	-
48	03/03/1968	-6,040	-38,460	0,00	Pereiro	-	-	Vários até 6/03
49	18/03/1968	-6,040	-38,460	3,70	Pereiro	-	-	-
50	mar/68	-6,920	-39,580	3,00	Farias brito	-	-	-
51	24/06/1968	-6,040	-38,460	0,00	Pereiro	C	-	Vários eventos
52	ago/68	-6,040	-38,460	0,00	Pereiro	-	-	Vários eventos
53	26/04/1969	-4,150	-38,800	0,00	Palmácia	C		Dia incerto; vários até23/05, com rachaduras no solo
54	19/05/1969	-4,150	-38,800	0,00	Palmácia	-	-	-
55	20/05/1969	-4,150	-38,800	0,00	Palmácia	C	-	-
56	21/05/1969	-4,150	-38,800	0,00	Palmácia	C	-	-
57	23/05/1969	-4,150	-38,800	0,00	Palmácia	C	-	-
58	23/09/1971	-6,040	-38,460	0,00	Pereiro	C	-	-
59	16/12/1972	-6,040	-38,460	0,00	Pereiro	-	-	Vários eventos

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
60	mar/74	-4,180	-38,130	0,00	Beberibe	-	-	Vários eventos
61	15/12/1974	-3,670	-39,240	3,30	S. Luis do Curu	-	-	(UFRN)
62	27/07/1976	-4,830	-38,800	3,00	Ibaretama	C	IV	-
63	29/07/1976	-4,830	-38,800	3,50	Ibaretama		-	Outros s 17 e 18h
64	ago/76	-4,830	-38,800	0,00	Ibaretama	C	-	Vários eventos
65	nov/76	-4,830	-38,800	0,00	Coité	C	-	Oito eventos em 20 dias
66	16/12/1976	-6,040	-38,460		Pereiro	C	-	-
67	12/03/1977	-4,830	-38,800	3,90	Ibaretama	C	VI	-
68	jul/79	-4,600	-40,700	0,00	Ipueiras	C	-	Vários eventos
69	19/11/1980	-5,200	-38,300	2,80	Morada nova	I	-	(IAG)
70	20/11/1980	-4,300	-38,400	5,20	Pacajus	A	VII	(ISC MB=5,2; IAG)
71	20/11/1980	-4,300	-38,400	2,20	Pacajus	C	-	(IAG) EPI, inferido
72	21/11/1980	-4,300	-38,400	2,40	Pacajus	C	-	(IAG) EPI, inferido
73	16/12/1980	-0,400	-38,400		Pacajus	C	V	-
74	16/12/1980	-4,300	-38,400	0,00	Brito	C	-	-
75	24/12/1980	-4,300	-38,400	2,30	Pacajus	C	-	(UnB)
76	02/01/1981	-4,300	-38,400	3,60	Pacajus	C	-	(IAG, UnB) noticiado 15:20
77	12/01/1981	-4,300	-38,400	3,80	Pacajus	C	-	(IAG, UnB)
78	12/01/1981	-4,300	-38,400	2,00	Pacajus	I	-	(UnB)
79	21/04/1981	-4,800	-38,600	2,50	Pacajus	I	-	(IAG, UnB)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
80	22/04/1981	-4,300	-38,400	2,10	Pacajus	I	-	(UnB)
81	28/04/1981	-3,730	-39,790	1,70	Irauçuba	I	-	-
82	19/08/1981	-3,730	-39,790	1,90	Irauçuba	C	IV-V	-
83	09/09/1981	-4,300	-38,400	2,60	Pacajus	I	-	(IAG, UnB)
84	10/09/1981	-3,730	-39,790	2,00	Irauçuba	-	-	(UnB)
85	11/09/1981	-4,300	-38,400	2,70	Pacajus	I	-	(UnB)
86	13/03/1982	-4,300	-38,400	2,70	Pacajus	-	-	(UnB)
87	05/09/1982	-4,300	-38,400	2,20	Pacajus	-	-	(UnB)
88	05/10/1982	-4,500	-40,200	2,10	Santa Quitéria	-	-	(UnB, IAG)
89	04/05/1983	-5,100	-38,700	2,40	Morada nova	-	-	(IAG, UnB)
90	16/09/1983	-4,320	-38,410	2,50	Pacajus	-	-	(UnB, IAG, UFRN)
91	01/10/1983	-4,700	-39,800	2,70	Itataia	-	-	(UnB, IAG, UFRN)
92	18/11/1983	-5,100	-38,700	2,80	Pacajus	-	-	(IAG, UFRN)
93	18/11/1983	-5,000	-38,700	2,30	Pacajus	-	-	(UnB, UFRN, IAG)
94	18/11/1983	-5,000	-38,700	2,60	Pacajus	-	-	(UnB, UFRN, IAG)
95	25/02/1987	-3,720	-39,810	3,00	Itapajé	-	-	(UnB, IAG) Uruburetama
96	22/02/1988	-5,000	-38,200	2,00	Morada nova	-	-	(UnB, IAG)
97	14/03/1988	-4,700	-38,000	2,20	Palhano	-	-	(UnB, IAG)
98	14/03/1988	-4,600	-37,900	2,10	Palhano	-	-	(UnB, IAG)
99	14/03/1988	-4,600	-38,000	2,10	Palhano	-	-	(IAG, UFRN, UnB)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
100	01/04/1988	-3,950	-40,340	4,10	Groaíras	-	-	(UFRN) Sobral
101	01/04/1988	-3,950	-40,340	3,90	Groaíras	-	-	(IAG) Sobral
102	14/04/1988	-4,800	-38,100	2,10	Palhano	-	-	(UnB, IAG)
103	30/04/1988	-4,700	-38,300	2,50	Palhano	-	-	(UnB, IAG)
104	01/05/1988	-4,700	-38,200	2,60	Palhano	-	-	(UnB, IAG)
105	04/10/1988	-4,820	-37,970	2,80	Palhano	-	-	(IAG)
106	18/10/1988	-4,810	-37,980	3,70	Palhano	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
107	18/10/1988	-4,810	-37,980	3,90	Palhano	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
108	19/10/1988	-4,810	-37,980	4,20	Palhano	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
109	29/10/1988	-4,810	-37,970	4,10	Palhano	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
110	29/10/1988	-4,810	-37,970	3,30	Palhano	-	-	(IAG)
111	29/10/1988	-4,810	-37,970	3,00	Palhano	-	-	(IAG)
112	30/10/1988	-4,810	-37,970	3,20	Palhano	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
113	10/11/1988	-4,810	-37,980	3,30	Palhano	-	-	(IAG, UFRN)
114	10/12/1988	-4,810	-37,980	3,40	Palhano	-	-	(IAG, UFRN)
115	15/01/1989	-4,810	-37,970	3,60	Palhano	-	-	(IAG, UnB)
116	07/02/1989	-4,810	-37,970	3,10	Palhano	-	-	(IAG)
117	25/03/1989	-4,810	-37,970	3,50	Palhano	-	-	(IAG)
118	25/03/1989	-4,810	-37,970	4,10	Palhano	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
119	26/03/1989	-4,810	-37,970	4,50	Palhano	-	-	(UFRN, UnB, IAG)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
120	26/03/1989	-4,810	-37,970	3,70	Palhano	-	-	(UFRN, IAG, UnB)
121	26/03/1989	-4,810	-37,970	3,90	Palhano	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
122	13/05/1989	-4,810	-37,970	3,00	Palhano	-	-	(IAG)
123	13/05/1989	-4,810	-37,970	3,20	Palhano	-	-	(IAG)
124	26/05/1989	-4,810	-37,970	4,10	Palhano	-	-	(IAG, UnB, UFRN)
125	03/08/1989	-4,940	-40,240	2,80	Monsenhor Tab.	-	-	(UFRN, IAG, UnB)
126	26/08/1989	-4,810	-37,970	3,80	Palhano	-	-	(IAG, UnB)
127	28/08/1989	-4,810	-37,970	3,90	Palhano	-	-	(IAG, UFRN, UnB)
128	17/10/1989	-4,810	-37,970	3,60	Palhano	-	-	(IAG, UFRN, UnB)
129	17/10/1989	-4,810	-37,970	4,20	Palhano	-	-	(IAG, UFRN)
130	17/10/1989	-4,810	-37,970	3,50	Palhano	-	-	(IAG, UFRN)
131	17/10/1989	-4,810	-37,970	3,10	Palhano	-	-	(IAG)
132	18/10/1989	-4,810	-37,970	3,00	Palhano	-	-	(IAG)
133	27/12/1989	-3,760	-40,830	3,20	Frecheirinha	-	-	(UFRN, IAG)
134	10/02/1990	-4,330	-38,470	2,00	Pacajus	-	-	(IAG, UFRN, UnB)
135	15/10/1990	-5,720	-39,480	2,50	Mombaça	-	-	(IAG, UFRN)
136	01/11/1990	-5,640	-39,670	2,10	Mombaça	-	-	(UFRN, IAG)
137	08/02/1991	-6,060	-38,490	2,80	Pereiro	-	-	(IAG, UFRN, UnB)
138	17/02/1991	-6,060	-38,490	2,10	Pereiro	-	-	(IAG, UFRN, UnB)
139	19/04/1991	-3,930	-39,870	4,90	Taperuaba	-	-	(UnB, UFRN, IAG, UNESP, IPT)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
140	27/05/1991	-4,360	-40,330	2,40	Hidrolândia	-	-	(UFRN, IAG, UnB)
141	28/01/1993	-4,810	-37,970	2,00	Palhano	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
142	13/04/1993	-2,900	-39,520	2,40	Plataforma Cont.	-	-	(UFRN, IAG, UnB)
143	14/04/1993	-3,250	-40,450	2,10	Senador Sá	-	-	(UFRN, UnB)
144	15/04/1993	-3,810	-40,140	2,40	Forquilha	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
145	16/04/1993	-3,810	-40,140	2,50	Forquilha	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
146	23/10/1993	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
147	24/10/1993	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN,I AG)
148	21/11/1993	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
149	21/02/1994	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
150	22/02/1994	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
151	24/02/1994	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
152	13/06/1994	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
153	14/06/1994	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
154	14/06/1994	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
155	14/06/1994	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
156	15/06/1994	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
157	16/06/1994	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
158	18/06/1994	-4,410	-38,290	2,90	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG) vários
159	19/06/1994	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
160	19/06/1994	-4,410	-38,290	2,40	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
161	19/06/1994	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
162	20/06/1994	-4,410	-38,290	2,60	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
163	21/06/1994	-4,410	-38,290	2,60	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
164	22/06/1994	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
165	23/06/1994	-4,410	-38,290	2,50	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
166	23/06/1994	-4,410	-38,290	2,50	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
167	23/06/1994	-4,410	-38,290	2,50	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
168	23/06/1994	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
169	23/06/1994	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
170	03/07/1994	-4,410	-38,290	2,30	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
171	07/07/1994	-4,410	-38,290	2,40	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
172	15/07/1994	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
173	24/07/1994	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
174	24/07/1994	-4,410	-38,290	2,50	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
175	24/07/1994	-4,410	-38,290	2,40	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
176	24/07/1994	-4,410	-38,290	2,70	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
177	24/07/1994	-4,410	-38,290	2,90	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
178	25/07/1994	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
179	29/07/1994	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
180	30/07/1994	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
181	01/08/1994	-4,410	-38,290	2,30	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
182	03/08/1994	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
183	05/08/1994	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
184	05/08/1994	-4,410	-38,290	2,80	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
185	05/08/1994	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
186	08/08/1994	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
187	08/08/1994	-4,410	-38,290	2,40	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
188	08/08/1994	-4,410	-38,290	2,40	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
189	08/08/1994	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
190	10/08/1994	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
191	11/08/1994	-4,410	-38,290	3,50	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG, UnB)
192	11/08/1994	-4,410	-38,290	2,40	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
193	11/08/1994	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
194	15/08/1994	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
195	15/08/1994	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
196	24/08/1994	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
197	20/09/1994	-4,410	-38,290	2,80	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
198	21/09/1994	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
199	22/09/1994	-4,410	-38,290	2,30	Cascavel	-	-	(UFRN)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
200	29/09/1994	-4,410	-38,290	2,30	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
201	02/10/1994	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
202	02/10/1994	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
203	23/10/1994	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
204	27/10/1994	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
205	04/11/1994	-4,410	-38,290	2,80	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
206	15/11/1994	-4,410	-38,290	2,50	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
207	13/01/1995	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
208	13/01/1995	-4,410	-38,290	2,60	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
209	18/01/1995	-4,410	-38,290	2,50	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB)
210	18/01/1995	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB)
211	18/01/1995	-4,410	-38,290	2,60	Cascavel	-	-	(UFRN)
212	20/01/1995	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB)
213	29/03/1995	-7,110	-40,220	2,60	Aiuaba	-	-	(UFRN, IAG, UnB)
214	22/04/1995	-4,410	-38,290	3,50	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
215	23/04/1995	-4,670	-38,190	2,70	Hidrolândia	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
216	10/05/1995	-3,910	-40,410	3,40	Groaíras	-	-	(UFRN, IAG)
217	12/10/1995	-4,410	-38,290	2,50	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
218	03/02/1997	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
219	03/02/1997	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
220	07/02/1997	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
221	16/02/1997	-4,300	-39,470	2,30	Paramoti	-	-	(UFRN)
222	16/02/1997	-4,300	-39,470	2,00	Paramoti	-	-	(UFRN)
223	02/03/1997	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
224	03/03/1997	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
225	04/03/1997	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
226	31/03/1997	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN)
227	22/04/1997	-3,760	-40,790	3,20	Frecheirinha	-	-	(UFRN, IAG)
228	22/04/1997	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
229	23/04/1997	-4,410	-38,290	2,70	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
230	04/06/1997	-3,760	-40,790	2,40	Frecheirinha	-	-	(UFRN)
231	09/06/1997	-3,190	-40,430	3,20	Senador Sá	-	-	(UFRN, IAG)
232	07/07/1997	-3,190	-40,430	2,40	Senador Sá	-	-	(UFRN, IAG)
233	02/08/1997	-3,190	-40,430	2,00	Senador Sá	-	-	(UFRN, UnB)
234	07/09/1997	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
235	07/09/1997	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
236	08/09/1997	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
237	12/09/1997	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
238	14/09/1997	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG, UnB)
239	17/09/1997	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
240	18/09/1997	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
241	19/09/1997	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
242	19/09/1997	-4,410	-38,290	2,50	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
243	19/09/1997	-4,410	-38,290	3,60	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
244	19/09/1997	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN)
245	21/09/1997	-4,410	-38,290	3,30	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
246	22/09/1997	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
247	22/09/1997	-4,410	-38,290	2,80	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
248	22/09/1997	-4,410	-38,290	3,30	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
249	23/09/1997	-4,410	-38,290	2,30	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
250	23/09/1997	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
251	24/09/1997	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
252	24/09/1997	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
253	26/09/1997	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
254	26/09/1997	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN)
255	26/09/1997	-4,410	-38,290	2,70	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
256	27/09/1997	-3,190	-40,430	2,00	Senador Sá	-	-	(UFRN)
257	29/09/1997	-4,410	-38,290	2,30	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB)
258	05/10/1997	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
259	09/10/1997	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
260	09/10/1997	-4,410	-38,290	2,30	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
261	23/10/1997	-3,940	-39,530	2,90	Apuiarés	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
262	11/12/1997	-4,410	-38,290	2,40	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
263	11/12/1997	-4,410	-38,290	2,30	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
264	12/12/1997	-4,410	-38,290	2,60	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
265	12/12/1997	-3,190	-40,430	3,00	Senador Sá	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
266	12/12/1997	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
267	12/12/1997	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
268	13/12/1997	-4,410	-38,290	2,30	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
269	16/12/1997	-4,410	-38,290	3,10	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
270	20/12/1997	-4,410	-38,290	2,60	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
271	22/01/1998	-3,870	-39,490	2,10	Tejucuoca	-	-	(UFRN, IAG)
272	02/02/1998	-3,870	-39,490	2,80	Tejucuoca	-	-	(UFRN, IAG)
273	31/03/1998	-3,940	-39,420	2,10	Apuiares	-	-	(UFRN)
274	01/04/1998	-3,940	-39,420	2,10	Apuiares	-	-	(UFRN, IAG)
275	22/04/1998	-4,410	-38,290	2,80	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
276	29/04/1998	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN)
277	02/06/1998	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
278	04/06/1998	-4,410	-38,290	4,00	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG) Fortaleza II MM
279	04/06/1998	-4,410	-38,290	2,50	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
280	04/06/1998	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
281	04/06/1998	-4,410	-38,290	2,30	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
282	09/06/1998	-4,410	-38,290	2,30	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
283	11/06/1998	-4,410	-38,290	2,40	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
284	11/06/1998	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
285	11/06/1998	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
286	02/07/1998	-4,410	-38,290	2,40	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
287	03/07/1998	-4,410	-38,290	2,50	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
288	10/07/1998	-4,410	-38,290	2,30	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
289	04/08/1998	-4,410	-38,290	2,80	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
290	04/08/1998	-4,410	-38,290	2,30	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
291	06/09/1998	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
292	18/10/1998	-4,410	-38,290	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
293	20/10/1998	-4,410	-38,290	2,40	Cascavel	-	-	(UFRN, IAG)
294	07/01/1999	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN)
295	31/05/1999	-4,410	-38,150	2,00	Cascavel	-	-	(UFRN)
296	31/07/1999	-4,410	-38,290	2,30	Cascavel	-	-	(UFRN)
297	13/08/1999	-3,940	-39,530	2,00	Apuiarés	-	-	(UFRN)
298	22/12/1999	-4,410	-38,290	2,20	Cascavel	-	-	(UFRN)
299	22/12/1999	-4,410	-38,290	2,80	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
300	22/12/1999	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN)
301	23/12/1999	-4,410	-38,290	2,10	Cascavel	-	-	(UFRN)
302	22/01/2000	-4,410	-38,290	3,30	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
303	22/01/2000	-4,410	-38,290	2,60	Cascavel	-	-	(UFRN)
304	23/01/2000	-4,410	-38,290	3,10	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
305	23/01/2000	-4,410	-38,290	3,00	Cascavel	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
306	25/02/2000	-4,410	-38,290	2,70	Cascavel	-	-	(UnB, IAG, UFRN)
307	29/06/2000	-4,410	-38,290	3,50	Cascavel	-	-	(UnB)
308	04/07/2000	-4,450	-38,330	4,10	Pitombeiras	-	-	(UnB, UFRN)
309	23/09/2000	-4,300	-38,400	3,10	Pacajus	-	-	(UnB)
310	06/10/2000	-3,190	-40,430	3,20	Senador Sá	-	-	(UFRN, UnB)
311	17/10/2000	-3,190	-40,430	3,00	Senador Sá	-	-	(UFRN, UnB)
312	10/11/2000	-4,300	-38,400	3,00	Pacajus	-	-	(UnB)
313	23/01/2001	-5,280	-39,420	3,30	Quixeramobim	-	-	(IAG, UFRN)
314	26/02/2001	-4,410	-38,290	3,70	Cascavel	-	-	(IAG, UnB) (IAG 3,5,UnB 3,8)
315	20/05/2003	-4,240	-39,980	2,50	Taperuaba	-	-	(IAG)
316	12/01/2004	-6,570	-38,800	3,20	Icó	-	-	(IAG)
317	06/02/2004	-4,980	-39,740	2,80	Guia	-	-	(IAG)
318	24/08/2004	-4,370	-38,480	3,00	Chorozinho	-	-	(UFRN, UnB, IAG)
319	14/06/2006	-4,410	-38,290	2,60	Cascavel	-	-	(UFRN)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
320	28/06/2006	-4,410	-38,290	3,10	Cascavel	-	-	(UFRN)
321	15/04/2007	-3,230	-40,130	2,90	Morrinhos	-	-	(UnB)
322	25/06/2007	-5,280	-38,280	2,10	Castanhão	-	-	(UFRN)
323	10/07/2007	-5,280	-38,280	2,30	Castanhão	-	-	(UFRN)
324	28/01/2008	-3,620	-40,530	2,50	Sobral	-	-	(UFRN)
325	02/02/2008	-3,620	-40,530	2,80	Sobral	-	-	(UFRN) vários
326	15/02/2008	-6,140	-39,880		Catarina	-	-	(Diário do Nordeste)
327	17/02/2008	-3,620	-40,530	3,70	Sobral	-	-	(UFRN, UnB)
328	04/04/2008	-3,620	-40,530	3,90	Sobral	-	-	(UFRN)
329	06/04/2008	-5,660	-38,620		Jaguaribara	-	-	(UFRN)
330	01/05/2008	-3,620	-40,530	3,10	Sobral	-	-	(UFRN)
331	21/05/2008	-3,620	-40,530	4,20	Sobral	-	-	(UFRN, UnB, IPT)
332	21/05/2008	-3,620	-40,530	3,90	Sobral	-	-	(UFRN, UnB, IPT)
333	11/09/2008	-3,620	-40,530	2,40	Sobral	-	-	(UnB, UFRN)
334	15/09/2008	-3,620	-40,530	2,40	Sobral	-	-	(UnB, UFRN)
335	19/09/2008	-3,620	-40,530	2,10	Sobral	-	-	(UnB, UFRN)
336	26/10/2008	-3,620	-40,530	2,20	Sobral	-	-	(UnB, UFRN)
337	12/10/2008	-3,620	-40,530	2,40	Sobral	-	-	(UnB, UFRN)
338	19/12/2008	-3,630	-40,510	3,50	S.da Meruoca	-	-	(UFRN)
339	09/02/2009	-3,630	-40,510	3,50	S.da Meruoca	-	-	(UFRN, UnB)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
340	31/07/2009	-3,620	-40,530	3,40	Alcântaras	-	-	(UnB)
341	21/12/2009	-3,550	-40,650	2,90	Coreaú	-	-	(UFRN)
342	31/10/2010	-3,630	-40,510	3,10	S.da Meruoca	-	-	(UFRN)
343	08/08/2011	-3,630	-40,510	3,00	S.da Meruoca	-	-	(UFRN)
344	24/01/2012	-3,604	-40,508	1,62	Alcântaras	-	-	(USP)
345	17/02/2012	-3,154	-41,130	2,35	Barroquinha	-	-	(USP)
346	26/04/2012	-4,167	-38,110	2,08	Beberibe	-	-	(USP)
347	02/05/2012	-4,101	-39,248	1,95	Paramoti	-	-	(USP)
348	02/08/2012	-3,630	-40,510	2,90	S.da Meruoca	-	-	(UFRN, UnB)
349	17/03/2013	-3,672	-40,467	2,57	Alcântaras	-	-	(USP)
350	25/11/2013	-3,758	-40,462	2,28	Coreaú	-	-	(USP)
351	20/04/2014	-2,967	-40,597	2,25	Jijoca de Jericoacoara	-	-	(USP)
352	16/11/2014	-3,524	-40,681	3,61	Coreaú	-	-	(USP)
353	07/02/2015	-3,576	-40,542	2,02	Alcântaras	-	-	(USP)
354	18/03/2015	-3,992	-38,583	1,73	Pacatuba	-	-	(USP)
355	26/03/2015	-4,167	-38,131	2,46	Beberibe	-	-	(USP)
356	15/04/2015	-5,357	-39,182	2,18	Quixeramobim	-	-	(USP)
357	18/04/2015	-4,879	-37,633	2,13	Jaguaruana	-	-	(USP)
358	13/05/2015	-3,588	-40,541	2,97	Alcântaras	-	-	(USP)
359	05/06/2015	-4,612	-38,280	2,67	Ocara	-	-	(USP)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
360	20/07/2015	-3,048	-40,717	3,27	Granja	-	-	(USP)
361	26/07/2015	-2,968	-40,682	1,80	Camocim	-	-	(USP)
362	29/07/2015	-3,350	-40,510	1,74	Senador Sá	-	-	(USP)
363	10/09/2015	-3,817	-39,905	2,27	Iraucuba	-	-	(USP)
364	10/09/2015	-3,787	-39,892	1,33	Iraucuba	-	-	(USP)
365	14/09/2015	-3,825	-39,793	1,67	Iraucuba	-	-	(USP)
366	15/09/2015	-3,798	-39,931	2,51	Iraucuba	-	-	(USP)
367	08/10/2015	-3,812	-39,909	2,52	Iraucuba	-	-	(USP)
368	08/10/2015	-7,555	-38,972	2,40	Brejo Santo	-	-	(USP)
369	09/10/2015	-5,369	-38,920	2,32	Banabuiú	-	-	(USP)
370	16/10/2015	-3,823	-40,522	1,29	Cariré	-	-	(USP)
371	20/10/2015	-3,820	-40,194	1,47	Forquilha	-	-	(USP)
372	25/10/2015	-3,274	-40,578	2,04	Uruoca	-	-	(USP)
373	25/10/2015	-3,287	-40,587	2,82	Uruoca	-	-	(USP)
374	25/10/2015	-3,319	-40,581	2,27	Uruoca	-	-	(USP)
375	25/10/2015	-3,269	-40,592	2,53	Uruoca	-	-	(USP)
376	13/12/2015	-3,737	-38,811	2,39	Caucaia	-	-	(USP)
377	25/12/2015	-3,817	-39,827	3,53	Iraucuba	-	-	(USP)
378	06/01/2016	-3,776	-39,886	2,60	Iraucuba	-	-	(USP)
379	06/01/2016	-3,826	-39,916	2,40	Iraucuba	-	-	(USP)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
380	11/01/2016	-3,809	-39,877	2,35	Iraucuba	-	-	(USP)
381	18/01/2016	-3,800	-39,899	2,13	Iraucuba	-	-	(USP)
382	06/03/2016	-5,859	-38,839	1,70	Solonópole	-	-	(USP)
383	06/03/2016	-5,874	-38,885	2,63	Solonópole	-	-	(USP)
384	06/03/2016	-5,877	-38,846	2,79	Solonópole	-	-	(USP)
385	14/03/2016	-5,897	-38,837	3,43	Solonópole	-	-	(USP)
386	05/03/2017	-3,503	-40,230	2,61	Santana do Acarau	-	-	(USP)
387	10/04/2017	-3,193	-40,085	3,12	Morrinhos	-	-	(USP)
388	25/07/2017	-4,129	-38,236	3,26	Cascavel	-	-	(USP)
389	14/04/2018	-3,628	-40,390	1,27	Meruoca	-	-	(USP)
390	11/05/2018	-4,948	-38,082	2,33	Palhano	-	-	(USP)
391	24/05/2018	-3,785	-39,880	2,53	Iraucuba	-	-	(USP)
392	13/06/2018	-4,783	-38,053	1,81	Palhano	-	-	(USP)
393	10/07/2018	-5,720	-39,550	1,22	Mombaca	-	-	(USP)
394	25/07/2018	-4,151	-38,846	1,90	Palmácia	-	-	(USP)
395	18/09/2018	-3,468	-40,680	3,06	Moraujo	-	-	(USP)
396	08/10/2018	-3,546	-40,455	1,55	Meruoca	-	-	(USP)
397	18/03/2019	-5,096	-39,430	1,51	Quixeramobim	-	-	(USP)
398	18/03/2019	-5,147	-39,395	2,28	Quixeramobim	-	-	(USP)
399	18/03/2019	-5,157	-39,422	2,42	Quixeramobim	-	-	(USP)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
400	19/03/2019	-5,191	-39,432	2,32	Quixeramobim	-	-	(USP)
401	20/03/2019	-5,177	-39,422	2,91	Quixeramobim	-	-	(USP)
402	23/03/2019	-5,077	-39,435	2,00	Quixeramobim	-	-	(USP)
403	23/03/2019	-5,090	-39,450	2,08	Quixeramobim	-	-	(USP)
404	23/03/2019	-5,123	-39,478	2,48	Quixeramobim	-	-	(USP)
405	30/03/2019	-5,185	-39,362	2,93	Quixeramobim	-	-	(USP)
406	19/04/2019	-5,154	-39,427	3,44	Quixeramobim	-	-	(USP)
407	15/07/2019	-5,086	-39,447	1,43	Quixeramobim	-	-	(USP)
408	24/07/2019	-5,013	-39,559	2,77	Quixeramobim	-	-	(USP)
409	24/07/2019	-5,070	-39,508	2,67	Quixeramobim	-	-	(USP)
410	26/07/2019	-5,185	-39,462	4,37	Quixeramobim	-	-	(USP)
411	09/08/2019	-4,370	-38,275	1,47	Chorozinho	-	-	(USP)
412	14/10/2019	-4,781	-41,053	3,03	Poranga	-	-	(USP)
413	03/11/2019	-4,815	-37,985	2,62	Palhano	-	-	(USP)
414	03/11/2019	-4,762	-37,950	2,37	Palhano	-	-	(USP)
415	16/11/2019	-4,239	-38,245	0,98	Cascavel	-	-	(USP)
416	16/02/2020	-3,090	-40,706	2,00	Granja	-	-	(USP)
417	07/04/2020	-4,105	-39,239	1,65	Paramoti	-	-	(USP)
418	14/04/2020	-3,172	-40,710	1,97	Granja	-	-	(USP)
419	26/04/2020	-4,698	-38,109	1,56	Palhano	-	-	(USP)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
420	26/04/2020	-4,747	-38,119	1,29	Palhano	-	-	(USP)
421	26/04/2020	-4,320	-38,224	1,79	Beberibe	-	-	(USP)
422	27/04/2020	-4,703	-38,115	2,00	Palhano	-	-	(USP)
423	03/05/2020	-5,027	-39,523	1,77	Quixeramobim	-	-	(USP)
424	06/05/2020	-3,588	-40,518	1,81	Alcântaras	-	-	(USP)
425	06/05/2020	-3,589	-40,519	1,56	Alcântaras	-	-	(USP)
426	07/05/2020	-3,594	-40,524	1,78	Alcântaras	-	-	(USP)
427	08/05/2020	-4,705	-38,122	1,70	Palhano	-	-	(USP)
428	10/05/2020	-4,339	-38,229	1,64	Beberibe	-	-	(USP)
429	11/05/2020	-5,281	-40,664	1,63	Crateús	-	-	(USP)
430	26/05/2020	-3,904	-39,962	1,18	Iraucuba	-	-	(USP)
431	31/05/2020	-3,299	-40,511	1,63	Uruoca	-	-	(USP)
432	28/06/2020	-3,311	-40,515	2,18	Uruoca	-	-	(USP)
433	29/06/2020	-3,350	-40,278	1,34	Santana do Acaraú	-	-	(USP)
434	29/06/2020	-3,409	-40,199	1,41	Santana do Acaraú	-	-	(USP)
435	29/06/2020	-3,896	-40,434	1,92	Groaíras	-	-	(USP)
436	04/07/2020	-3,069	-40,754	1,68	Granja	-	-	(USP)
437	07/07/2020	-4,320	-38,340	2,47	Chorozinho	-	-	(USP)
438	17/07/2020	-3,510	-40,734	1,92	Coreaú	-	-	(USP)
439	20/07/2020	-3,855	-40,275	2,46	Forquilha	-	-	(USP)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
440	17/08/2020	-3,762	-39,749	2,10	Iraucuba	-	-	(USP)
441	19/08/2020	-4,197	-40,199	2,01	Santa Quitéria	-	-	(USP)
442	24/08/2020	-3,897	-40,423	2,00	Groaíras	-	-	(USP)
443	26/08/2020	-3,653	-40,469	2,02	Alcântaras	-	-	(USP)
444	26/08/2020	-3,923	-39,462	1,88	Apuiarés	-	-	(USP)
445	31/08/2020	-3,561	-40,708	2,67	Coreaú	-	-	(USP)
446	31/08/2020	-3,449	-39,991	1,97	Santana de Acaraú	-	-	(USP)
447	19/09/2020	-3,134	-41,196	2,69	Chaval	-	-	(USP)
448	21/09/2020	-3,974	-40,368	2,41	Groaíras	-	-	(USP)
449	29/09/2020	-2,946	-40,662	2,37	Camocim	-	-	(USP)
450	29/09/2020	-2,956	-40,655	1,76	Camocim	-	-	(USP)
451	29/09/2020	-3,612	-40,693	1,90	Coreaú	-	-	(USP)
452	15/10/2020	-3,545	-40,713	2,06	Coreaú	-	-	(USP)
453	29/10/2020	-3,899	-40,455	1,98	Carire	-	-	(USP)
454	07/01/2021	-3,540	-40,318	2,19	Massape	-	-	(USP)
455	07/01/2021	-3,715	-40,104	2,14	Sobral	-	-	(USP)
456	15/01/2021	-5,114	-39,435	1,91	Quixeramobim	-	-	(USP)
457	26/01/2021	-3,843	-40,038	1,92	Forquilha	-	-	(USP)
458	27/01/2021	-4,350	-38,522	1,52	Chorozinho	-	-	(USP)
459	27/01/2021	-4,284	-38,485	1,49	Chorozinho	-	-	(USP)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
460	27/01/2021	-4,060	-39,242	1,95	Paramoti	-	-	(USP)
461	27/01/2021	-4,093	-39,262	1,65	Paramoti	-	-	(USP)
462	07/02/2021	-4,134	-38,242	1,85	Cascavel	-	-	(USP)
463	09/02/2021	-4,276	-38,341	1,47	Pacajus	-	-	(USP)
464	20/02/2021	-3,934	-38,492	2,05	Itaitinga	-	-	(USP)
465	27/02/2021	-5,053	-39,482	1,84	Madalena	-	-	(USP)
466	15/03/2021	-3,239	-40,460	2,12	Senador Sá	-	-	(USP)
467	22/04/2021	-4,533	-38,471	2,37	Ocara	-	-	(USP)
468	24/04/2021	-6,541	-39,509	1,86	Cariús	-	-	(USP)
469	26/05/2021	-2,791	-39,549	1,93	Margem Continental	-	-	(USP)
470	28/05/2021	-3,817	-40,600	1,73	Mucambo	-	-	(USP)
471	07/06/2021	-4,477	-39,415	1,74	Canindé	-	-	(USP)
472	07/06/2021	-4,058	-40,042	2,41	Tejuçuoca	-	-	(USP)
473	14/06/2021	-5,067	-39,457	1,52	Quixeramobim	-	-	(USP)
474	15/06/2021	-3,802	-40,552	2,31	Carire	-	-	(USP)
475	02/07/2021	-3,855	-40,390	1,79	Groaíras	-	-	(USP)
476	02/07/2021	-3,749	-40,650	1,92	Coreaú	-	-	(USP)
477	04/07/2021	-4,354	-39,919	1,99	Santa Quitéria	-	-	(USP)
478	06/07/2021	-3,638	-40,501	1,41	Alcântaras	-	-	(USP)
479	06/07/2021	-3,709	-40,601	2,35	Alcântaras	-	-	(USP)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
480	03/08/2021	-3,838	-40,119	2,72	Forquilha	-	-	(USP)
481	11/08/2021	-2,758	-39,573	1,87	Margem Cont.Itarema	-	-	(USP)
482	26/08/2021	-3,094	-39,286	2,61	Trairi	-	-	(USP)
483	02/09/2021	-3,133	-39,357	1,98	Trairi	-	-	(USP)
484	18/09/2021	-3,936	-40,133	2,03	Forquilha	-	-	(USP)
485	23/09/2021	-3,947	-40,546	2,54	Cariré	-	-	(USP)
486	25/11/2021	-3,805	-40,529	2,50	Cariré	-	-	(USP)
487	07/12/2021	-3,799	-40,516	1,56	Cariré	-	-	(USP)
488	07/12/2021	-3,676	-40,911	2,68	Tianguá	-	-	(USP)
489	10/12/2021	-3,821	-40,581	2,48	Cariré	-	-	(USP)
490	22/12/2021	-5,927	-40,215	1,71	Tauá	-	-	(USP)
491	22/01/2022	-3,974	-40,198	2,39	Forquilha	-	-	(USP)
492	22/01/2022	-3,562	-38,459	2,51	Plataforma Continental	-	-	(USP)
493	27/01/2022	-4,189	-39,643	1,79	Tejucuoca	-	-	(USP)
494	27/01/2022	-4,160	-39,706	1,58	Tejucuoca	-	-	(USP)
495	08/02/2022	-4,528	-39,298	1,96	Canindé	-	-	(USP)
496	20/02/2022	-4,571	-39,384	2,34	Canindé	-	-	(USP)
497	16/03/2022	-5,186	-39,291	1,99	Quixeramobim	-	-	(USP)
498	17/03/2022	-4,038	-38,767	1,98	Guaiuba	-	-	(USP)
499	17/03/2022	-4,047	-38,770	2,16	Palmácia	-	-	(USP)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
500	20/03/2022	-4,177	-39,310	2,34	Paramoti	-	-	(USP)
501	29/03/2022	-3,509	-40,741	2,02	Moraújo	-	-	(USP)
502	04/04/2022	-3,312	-40,037	0,28	Morrinhos	-	-	(USP)
503	08/04/2022	-2,788	-39,575	2,27	Margem Continental	-	-	(USP)
504	08/04/2022	-2,843	-39,599	2,39	Margem Continental	-	-	(USP)
505	19/04/2022	-3,825	-40,587	2,34	Cariré	-	-	(USP)
506	05/05/2022	-2,908	-39,746	2,31	Margem Continental	-	-	(USP)
507	09/05/2022	-3,133	-39,281	1,68	Margem Continental	-	-	(USP)
508	15/05/2022	-3,164	-38,380	1,61	Plataforma Continental	-	-	(USP)
509	08/07/2022	-3,896	-40,233	2,15	Forquilha	-	-	(USP)
510	03/08/2022	-3,906	-40,457	2,86	Cariré	-	-	(USP)
511	12/09/2022	-3,772	-40,635	2,15	Mucambo	-	-	(USP)
512	12/10/2022	-5,059	-40,892	2,12	Ipaporanga	-	-	(USP)
513	24/10/2022	-5,710	-38,744	2,67	Jaguaretama	-	-	(USP)
514	30/10/2022	-4,576	-37,783	2,05	Reg. de Aracati	-	-	(USP)
515	12/01/2023	-3,920	-40,148	2,07	Forquilha	-	-	(USP)
516	01/02/2023	-3,974	-40,207	2,24	Forquilha	-	-	(USP)
517	27/02/2023	-3,589	-40,544	1,78	Alcântaras	-	-	(USP)
518	27/02/2023	-3,808	-40,662	1,88	Mucambo	-	-	(USP)
519	01/03/2023	-3,677	-40,469	2,41	Alcântaras	-	-	(USP)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
520	11/03/2023	-3,918	-39,521	2,61	Tejuçuoca	-	-	(USP)
521	17/03/2023	-3,236	-40,530	2,32	Uruoca	-	-	(USP)
522	17/03/2023	-3,565	-40,532	1,42	Alcântaras	-	-	(USP)
523	24/03/2023	-3,827	-40,516	1,57	Cariré	-	-	(USP)
524	06/04/2023	-3,827	-40,581	1,87	Cariré	-	-	(USP)
525	09/04/2023	-3,618	-40,486	1,62	Alcântaras	-	-	(USP)
526	23/04/2023	-4,135	-39,075	1,70	Caridade	-	-	(USP)
527	24/04/2023	-4,135	-39,034	1,83	Pacoti	-	-	(USP)
528	24/04/2023	-4,236	-39,190	2,21	Caridade	-	-	(USP)
529	25/04/2023	-3,882	-39,484	2,25	Apuiares	-	-	(USP)
530	30/04/2023	-2,851	-40,877	2,14	Camocim	-	-	(USP)
531	01/05/2023	-4,098	-38,933	2,16	Palmácia	-	-	(USP)
532	02/05/2023	-4,152	-39,067	1,93	Caridade	-	-	(USP)
533	23/05/2023	-4,109	-40,636	2,26	Reriutaba	-	-	(USP)
534	25/05/2023	-2,975	-40,846	1,93	Camocim	-	-	(USP)
535	09/06/2023	-4,281	-40,221	1,51	Santa Quitéria	-	-	(USP)
536	27/06/2023	-4,169	-40,631	1,75	Reriutaba	-	-	(USP)
537	04/07/2023	-4,770	-38,370	2,12	Ibicuitinga	-	-	(USP)
538	12/07/2023	-6,255	-38,922	2,03	Orós	-	-	(USP)
539	27/07/2023	-4,433	-38,462	2,64	Chorozinho	-	-	(USP)

N°	Data	Latitude	Longitude	Magnitude	Localização	Categoria	Int_mm²	Observações
540	13/08/2023	-4,410	-38,408	2,47	Chorozinho	-	-	(USP)
541	24/08/2023	-5,384	-39,931	2,14	Pedra Branca	-	-	(USP)
542	25/08/2023	-3,913	-39,406	1,94	Apuiares	-	-	(USP)
543	28/08/2023	-5,079	-38,225	2,10	Limoeiro do Norte	-	-	(USP)

Fonte: Compilado de Berrocal et al., 1984 e http://rsbr.on.br/seiscomp_arclink.html.

A partir da análise dos dados apresentados no Quadro 11.1.7-4, nota-se que, a partir da década de 1970, ocorreu um aumento crescente e significativo de registros de sismos. Esse incremento está associado ao aumento no número de medições e se deve, em grande parte, à instalação das quatro estações sismográficas permanentes no estado do Ceará, a partir de 1982 (municípios de Itataia, Fortaleza, Sobral e Beberibe). Outro fator que contribuiu para o aumento de dados está relacionado ao início de diversas pesquisas centradas na aquisição e à compreensão da sismicidade no território brasileiro.

Além dos sismos com fontes naturais, também há os sismos induzidos, de fontes artificiais, como: minerações, reservatórios de água, ruído cultural, fontes controladas e explosões. Desses, os sismos mais estudados são os induzidos por reservatórios de água – barragens e açudes, que podem causar terremotos através do mecanismo explicado por Camarão Júnior (Simpson, 1986 *apud* Camarão Júnior, 2001).

Embora haja registro de sismos induzidos com magnitudes superiores a 7 m_b em outros lugares do mundo, próximo à região do estudo, o maior sismo aferido ocorreu na região da barragem de Açu, RN, com magnitude (m_b) igual a 3,0 e distante mais de 300 km da AII.

Figura 11.1-110: Estação sismográfica de Itataia.
Fonte: ARCADIS logos, 2014.

Tendo em vista o anteriormente exposto, a região de estudo pode ser considerada uma área com baixa incidência de sismos. Ressalta-se, porém que, dependendo da magnitude dos eventos ocorridos fora da AII, os tremores podem ser sentidos na ADA, mesmo os ocorridos a distâncias relativamente grandes. De fato, durante entrevistas informais com moradores da região, realizadas nos meses de maio e junho de 2011, foram relatados tremores de terra

com intensidade suficiente para acordar pessoas, vibrar levemente as edificações e balançar objetos suspensos.

O estado do Ceará está situado em uma região cortada por um conjunto de falhas localizado em uma área conhecida como Região Sismotectônica do Nordeste. Esta apresenta sismicidade contínua e expressiva em relação ao resto do país, apresentando enxames de sismos rasos (profundidades menores que 12 Km) com recorrência de meses e anos, em que os eventos mais importantes ocorridos são o de Palhano, CE (picos de 4,2 e 4,5 m_b, distando cerca de 190 km da AII), João Câmara, RN (picos de 5,0 e 5,1m_b, distante cerca de 450 km da AII), Pacajus, considerado o eventos mais expressivo já registrado no Nordeste (picos de 5,2 m_b, distante entre 140 e 150 km), além de inúmeros outros registrados no município de Cascavel, CE, distante cerca de 150 km da AII.

A estação sismográfica de Itataia, localizada no interior da ADA, registrou durante um período aproximado de 10 anos um total de 927 tremores, em que um pouco mais de 12% atingiram magnitudes acima de 2,5, sendo que o epicentro mais próximo está localizado a 69 km de distância da estação, portanto fora da AII do meio físico. Os efeitos dos tremores mais relevantes podem ser sentidos levemente pelos moradores locais nas AID e ADA, que relatam eventuais movimentos de objetos.

Vale ressaltar, o estudo realizado em 2023 pela CPRM, com atualizações sobre a sismicidade do estado do Ceará, onde foram utilizados aerolevantamentos geofísicos e dados de sismicidades da RSBR, concluindo que 80% dos abalos da região apresentaram magnitudes abaixo dos 2,5mb, chegando a registrar abalos de 6,6mb na dorsal oceânica a 1.277 km ao norte de Fortaleza. O estado foi subdivido em três Zonas sísmicas, denominadas de Médio Coreaú (A), Cascavel-Belberibe (B) e Quixaramobim (C) (Figura 11.1-111), devido a densidade e presença de sismos. O estudo conclui que a sismicidade intraplaca está relacionada ao evento extensional rúptil de abertura do oceano Atlântico e evolução do rift da Bacia Potiguar, que ainda produzem stress. Porém ele ressalta que os eventos deformacionais da formação do arcabouço estrutural cearense são os principais agentes controladores desse evento.

- D1: Dobramentos NW e foliações NE-SW;
- D2: Transcorrências neoproterozóicas dextrais de direção NE-SW;
- D3: Deformação rúptil-dúctil NW-SE de cinemática sinistral;
- D4: Deformação rúptil extensional relacionado à abertura das bacias cretáceas.

Por fim, mesmo que os eventos D4 não sejam os principais responsáveis pela criação de estruturas geológicas da região, ela é responsável pela movimentação/reativação das estruturas pré-existentes do arcabouço estrutural.

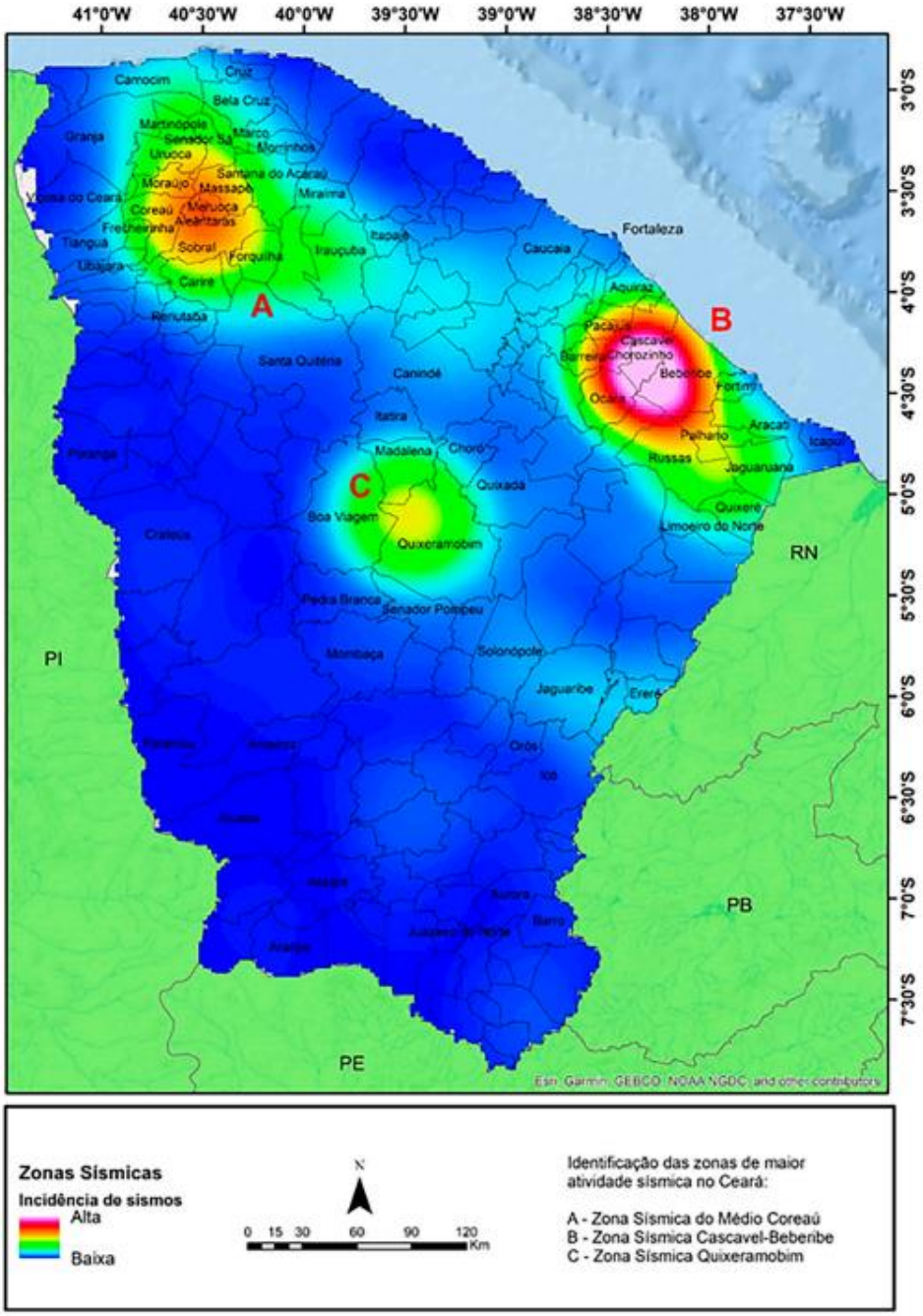


Figura 11.1-111: Mapa de densidade de pontos para os epicentros dos sismos elaborado pela CPRM(2023): A) Zona Sísmica Médio Coreaú; B) Zona Sísmica Cascavel-Beberibe; C) Zona Sísmica Quixeramobim.

Fonte: CPRM 2023.

11.1.7.2.2 Complexo Ceará

De idade paleo-mesoproterozoica (CPRM, 2007), o Complexo Ceará recobre toda a porção oeste da região de estudo. É composto por rochas metassedimentares e dividido em duas Unidades principais: Quixeramobim e Independência. Tais Unidades são essencialmente metapelíticas com variações subordinadas de quartzitos e carbonatos (mármores e rochas Calcissilicáticas), com a presença limitadas de rochas metavulcânicas ácidas ou básicas.

Na região de estudo ocorre apenas a Unidade Independência onde predominam paragnaisses e micaxistos (biotita, ± granada, ± sillimanita e ± cianita) parcialmente migmatíticos (estrutura bandada ou bandada-dobrada), além de fácies facoidais e miloníticas. Estas litologias envolvem corpos de biotita gnaisses graníticos de cor cinza, provavelmente ortoderivados, rochas carbonáticas, quartzíticas, Calcissilicáticas e até anfibolíticas (com ou sem granada).

Conforme apresentado no Mapa 11.1-17 os principais litotipos mapeados na área de estudo são: os quartzitos associados a micaxistos e paragnaisses migmatíticos ou não (NP2ci); micaxilaneostos (PRciqx); quartzitos (NP2ciq) e os metacarbonatos, mármores calcíticos e dolomíticos associados a rochas Calcissilicáticas (NP2cic).

11.1.7.2.3 Complexo Tamboril-Santa Quitéria

De idade neoproterozóica (Criogeniano), o Complexo Tamboril Santa Quitéria recobre a porção oeste da região de estudo. Esta unidade é reconhecida desde os mapeamentos efetuados pela CPRM nos anos setenta (Campos et al., 1976; Braga et al., 1977). É caracterizada pela intensa migmatização associada à presença de grande volume de granitos de anatexia, com paleossomas constituídos essencialmente por anfibolitos e rochas Calcissilicáticas.

Fetter et al. (2003) atribui sua origem a um ambiente de arco magmático continental, acima de zona de sutura (possivelmente no Lineamento Transbrasiliano) com reativação posterior em transcorrência destral.

Na área de estudo, o Complexo Tamboril-Santa Quitéria, envolve quatro unidades principais: os Metatexitos (NP3tsm), os Diatexitos (NP3tsd) com uma subunidade de Anfibolitos e Calcissilicáticas (NP3tsmcs), e os granitóides Santa Quitéria (NP3gtsq) e Serrote Gado Bravo (NP3gtsgb).

A unidade Metatexitos (NP3tsm) é composta por migmatitos estromáticos, por vezes dobrados ou boudinados, com porções diatexíticas. Podem ser encontrados mesossomas de protólitos tanto sedimentares quanto ígneos, podendo ser encontradas lentes de quartzitos,

rochas carbonáticas/mármores e anfibolíticas. É possível encontrar sheets e diques granitóides deformados ou não.

A unidade de Diatexitos (NP3tsd) é formada por rochas quartzo-feldspáticas, de coloração rosada, com a composição variando de graníticas a granodioríticas. Nestas rochas predominam estruturas do tipo nebulítica, podendo ocorrer estruturas tipo schlieren, schöllen e estromática. São observados numerosos enclaves de biotita e anfibólio gnaisses, estes podendo ser migmatíticos ou não, além de anfibolitos e rochas Calcissilicáticas (NP3tsmcs) de dimensões e formas variadas, algumas vezes mapeáveis na escala 1:250.000 (CPRM, 2007).

A unidade de granitóides Santa Quitéria (NP3gtsq) é composta por sienogranitos, monzogranitos, quartzo sienitos e quartzo monzonitos, de coloração rosada, apresentando pórfiros de 5 a 10 cm. São observados localmente enclaves e diques sin-plutônicos de rochas dioríticas. A composição dos granitóides é calcio-alcalina de alto K, meta a peraluminoso.

A unidade Granitóides Serrote Gado Bravo (NP3gtsgb) apresenta na sua fácies porfirítica granitos de coloração cinza e rosada, isotrópicos, com a composição variando de sienogranítica a monzogranítica. Apresentam-se predominantemente porfiríticos, subalcalinos e perametaluminosos. A fácies equigranular é composta por monzogranitos, quartzo monzogranitos e sienogranitos de granulação fina a média, localmente porfiríticos, com a coloração variando de cinza a esbranquiçada. Podem ser isotrópicos a levemente foliados, com a composição variando entre cálcio-alcalinos de alto K a levemente shoshoníticos, meta a peraluminosos.

11.1.7.3 Contexto Local – Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA)

11.1.7.3.1 Dados Geofísicos

Para aquisição de dados indiretos foram realizados três levantamentos geofísicos na região da ADA (futura área industrial, Figura 11.1-112). O primeiro (Alcântara e Silva, 2003) consistiu em oito perfis eletromagnéticos Very Low Frequency (VLF) e 39 sondagens elétricas de resistividade realizados em 2002. Os dois levantamentos primários seguintes, coletaram perfis de eletrorresistividade e são apresentados no Anexo 11.1.7-4. Os detalhes dos levantamentos são apresentados no Quadro 11.1.7-4.

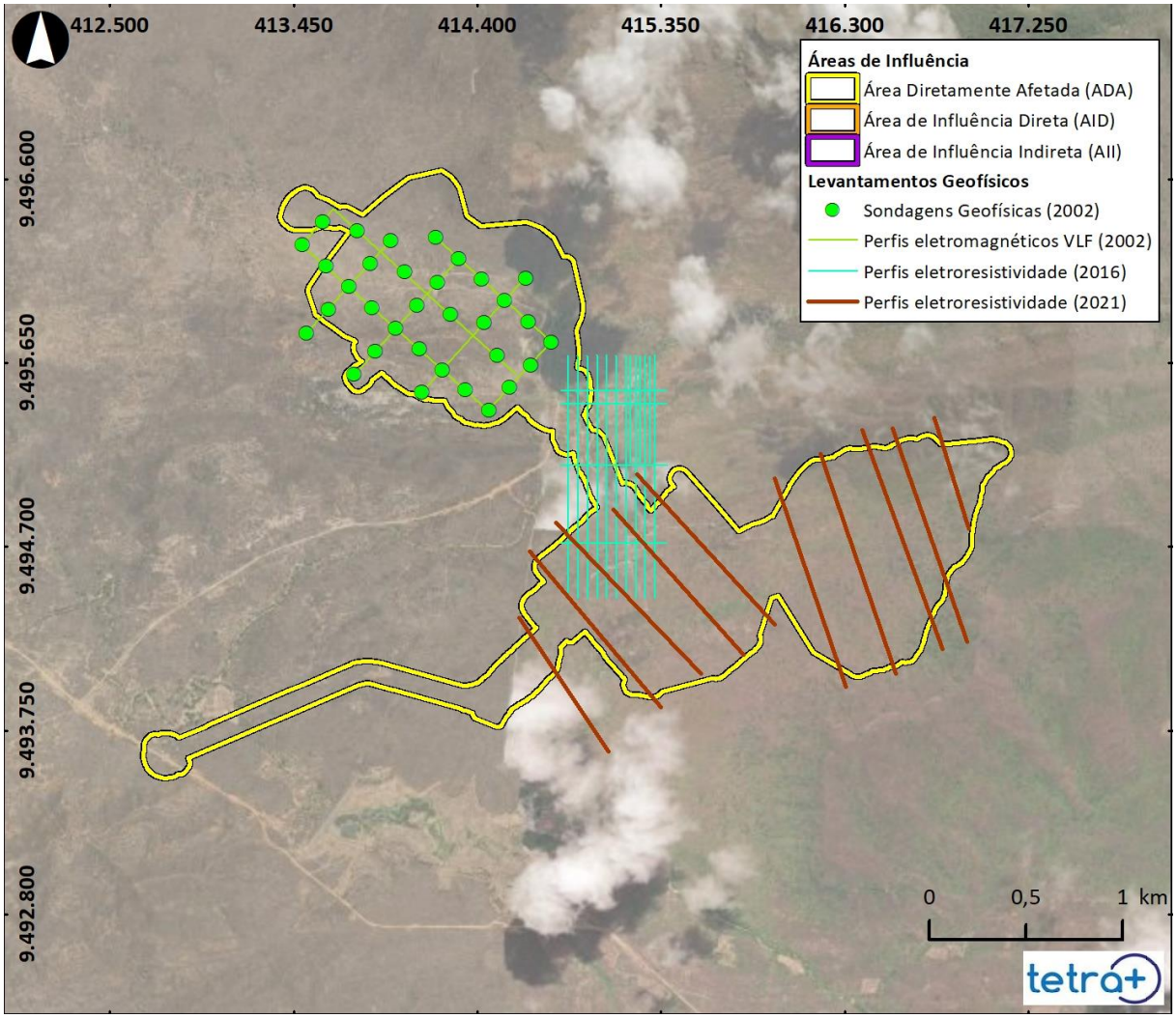


Figura 11.1-112: Localização dos levantamentos geofísicos realizados na área da futura área industrial.

Elaboração: BTB Explorers, 2023.

Quadro 11.1.7-4: Ano de realização, empresa executora, materiais e métodos aplicados na coleta de dados geofísicos primários

ANO	EMPRESA	TIPO DE AQUISIÇÃO	EQUIPAMENTO	METODOLOGIA / TÉCNICA	ESPAÇAMENTO DA MALHA	EXTENSÃO
2002	Engerad - Consultoria, Geociências e Radioproteção Ltda.	Perfis eletromagnéticos Very Low Frequency (VLF)	Receptor VLF ABEM WADI, transmissor Geonics TX-27 16.5 kHz	Estações de medidas espaçadas em 10 m	Perfis SE-NW (3):240 m; Perfis SW-NE (5): 320 m	7.460 m
		Sondagens geofísicas (eletrorresistividade)	Resistivímetro digital Megabrás MT -20 40W	Arranjo com dispositivo Schlumberger (eletrodos dispostos simetricamente em linha reta, e eletrodos de potencial MN fixos)	Profundidades entre 50 e 100 m nos furos e entre os perfis VLF, em malha de 320x160 m	39 sondagens elétricas
2016	AFC Geofísica	Perfis de eletrorresistividade	Advanced Geosciences Inc. SuperSting R8 IP	Imageamento Elétrico 2D (IE2D), com eletrodos espaçados em 10m	-Perfis E-W (4): 320 m -Perfis N-S (13): 50 m *malha irregular	16.350 m
2021	Signal Geofísica Ltda.	Perfis de eletrorresistividade	Advanced Geosciences Inc. SuperSting R8 IP	Arranjo dipolo- dipolo, com eletrodos espaçados em 20m	-Perfis NW-SE (5):230 m -Perfis NE-SW (5): 260 m *malha irregular	10.330 m
TOTAL (perfis)					**Eletromagnético**	**7.460 m**
					Eletroresistividade	**26.680 m**

Elaboração: BTB Explorers, 2021.

Conforme destacado anteriormente, foram empregados dois métodos geofísicos terrestres diferentes. O método de eletrorresistividade permite prever a geologia em subsuperfície, uma vez que a resistividade elétrica em subsuperfície depende de parâmetros como porosidade, grau de saturação, resistividade da água subterrânea e fração argilosa. O método eletromagnético VLF é utilizado para localizar estruturas geológicas como diques, falhas, veios e zonas cisalhadas, realçando suas direções, mergulhos e espessuras.

Em 2002, os levantamentos concentraram-se na área da cava (Figura 11.1-113), da pilha de estéril e do dique de contenção de finos, localizados na porção noroeste da ADA. Os principais objetivos dos levantamentos foram definir o arcabouço estratigráfico e estrutural, elaborar o mapa piezométrico, investigar o comportamento geoelétrico das unidades litoestratigráficas em subsuperfície e estabelecer a configuração da superfície hidrostática.

Nestes levantamentos foram concluídos os principais eixos condutores, controlados por fraturamentos e falhamentos normais (típicos do modelo graben e horst) orientados nas direções N70E e N80W - secundariamente N10E e N30W - com mergulhos de alto ângulo (70° e 85° para o quadrante norte). Esses eixos mais condutores E-W apresentam alguns intervalos específicos com elevada condutibilidade e uma boa condutibilidade eletromagnética, caracterizando a existência de fraturas hidráulicas que orientam grande parte do fluxo da área.

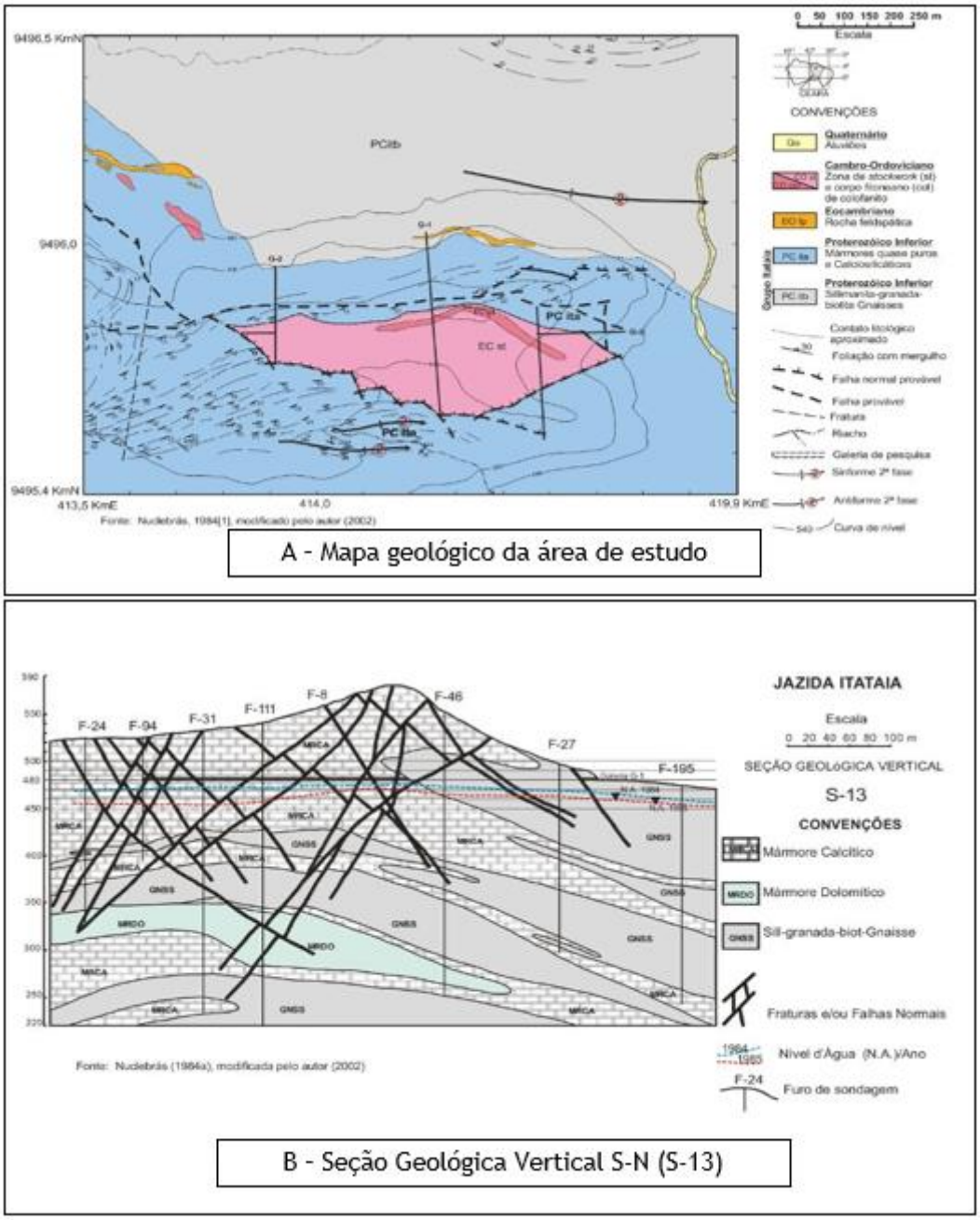


Figura 11.1-113: Resultados da pesquisa de Alcantara e Silva (2003).

***Fonte**: Alcântara e Silva (2003).*

No período entre 18 de agosto e 08 de setembro de 2016, os levantamentos geofísicos concentraram-se na porção central da ADA, abrangendo parte da área prevista para a instalação industrial. O principal objetivo dos levantamentos foi a detecção e delimitação de anomalias geofísicas possivelmente relacionadas com a presença de cavidades subterrâneas (Figura 11.1-114).

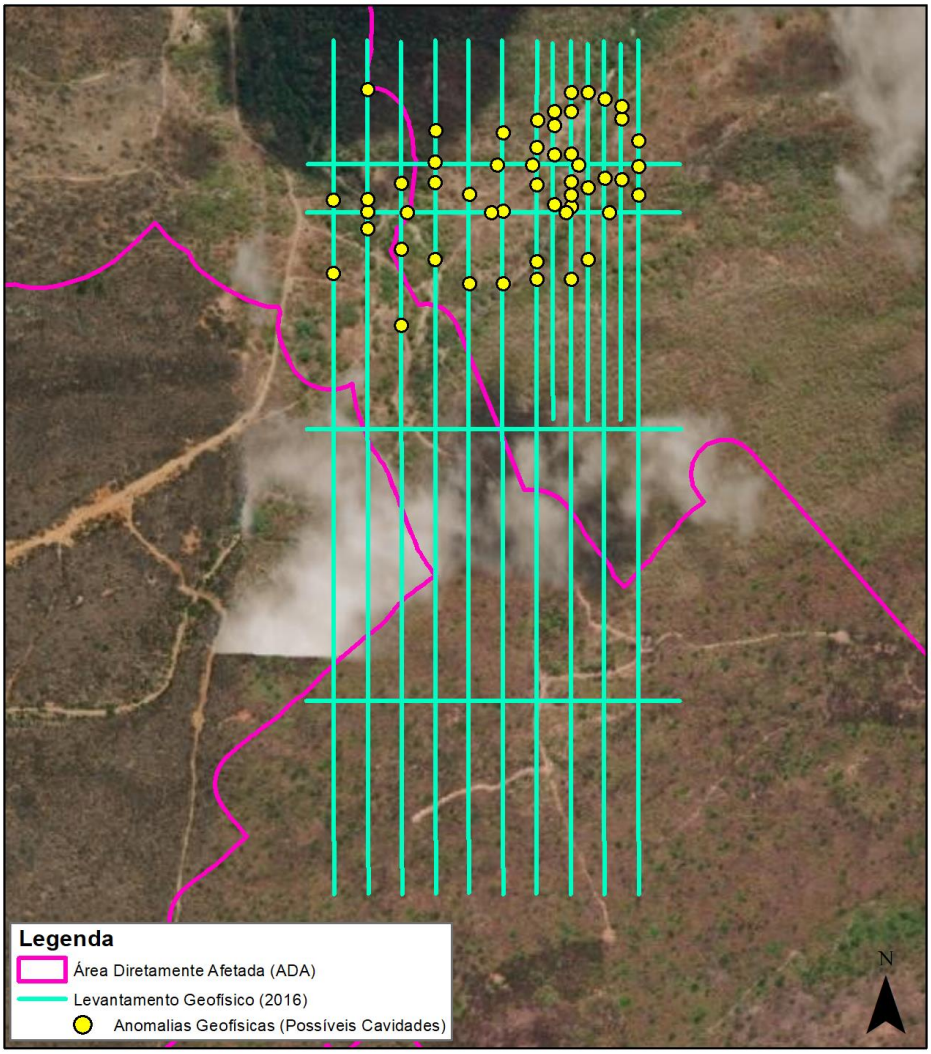
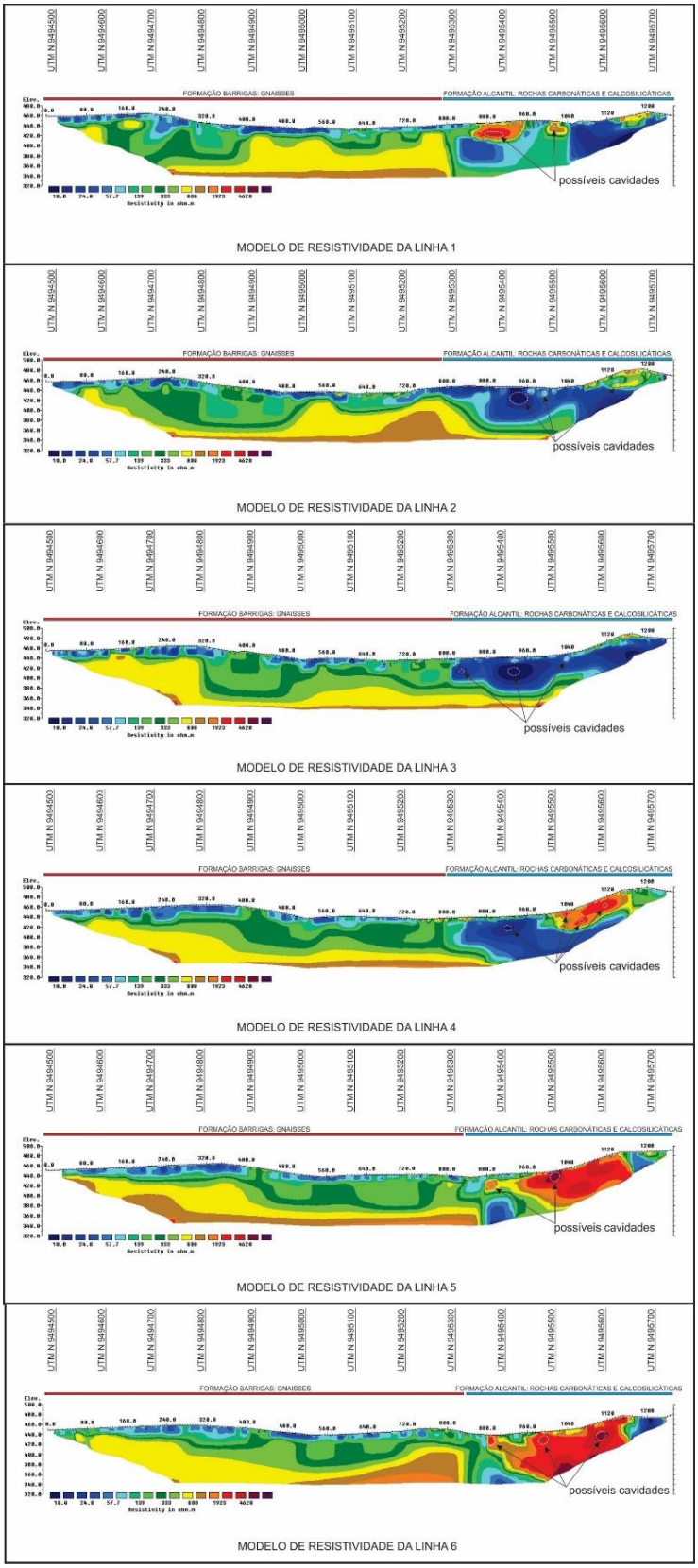


Figura 11.1-114: Localização das linhas do levantamento geofísico de 2016, com as pontuais áreas de possíveis cavidades. Vale-ressaltar que em sua maioria estão localizadas fora da ADA.

Fonte: AFC Geofísico (2016)

Em relação aos contatos litológicos, os padrões distintos de resistividade indicam existência de diferentes litologias, com ocorrência de mármores na porção norte, próximo à área de acesso a mina e gnaisses ou mármores alterados na porção sul da área, na porção noroeste da futura unidade industrial. Com relação à detecção de cavidades, foram apontadas zonas anômalas que podem estar ressaltando cavidades ou mudanças nas características da rocha (alta resistividade pode estar relacionada às zonas mais compactas e sãs, e resistividade baixa pode coincidir com zonas de grande alteração ou ocorrência de camadas condutivas), indicadas em amarelo sobre as linhas de geofísica traçadas na Figura 11.1-114. A seguir são apresentados os resultados do levantamento de 2016, da Figura 11.1-115 a Figura 11.1-117.



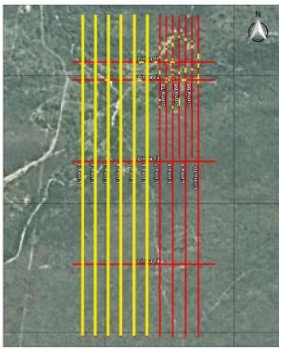


Figura 11.1-115: Modelagem 2D das Linhas 1 a 6, com anomalias que podem estar associadas a cavidades.

Fonte: AFC Geofísica (2016).

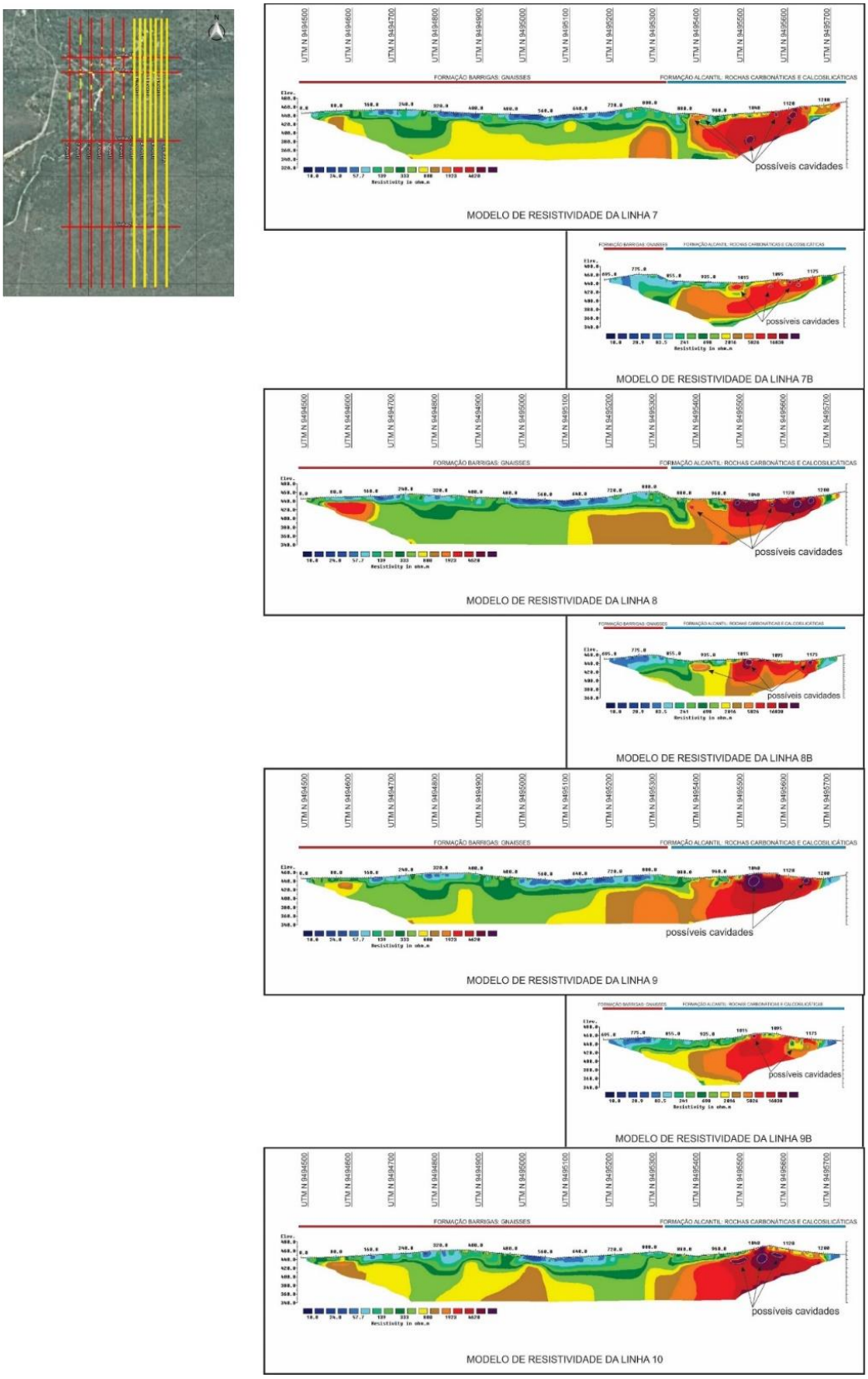


Figura 11.1-116: Modelagem 2D das Linhas 7 a 10, com anomalias que podem estar associadas a cavidades.

Fonte: AFC Geofísica (2016).

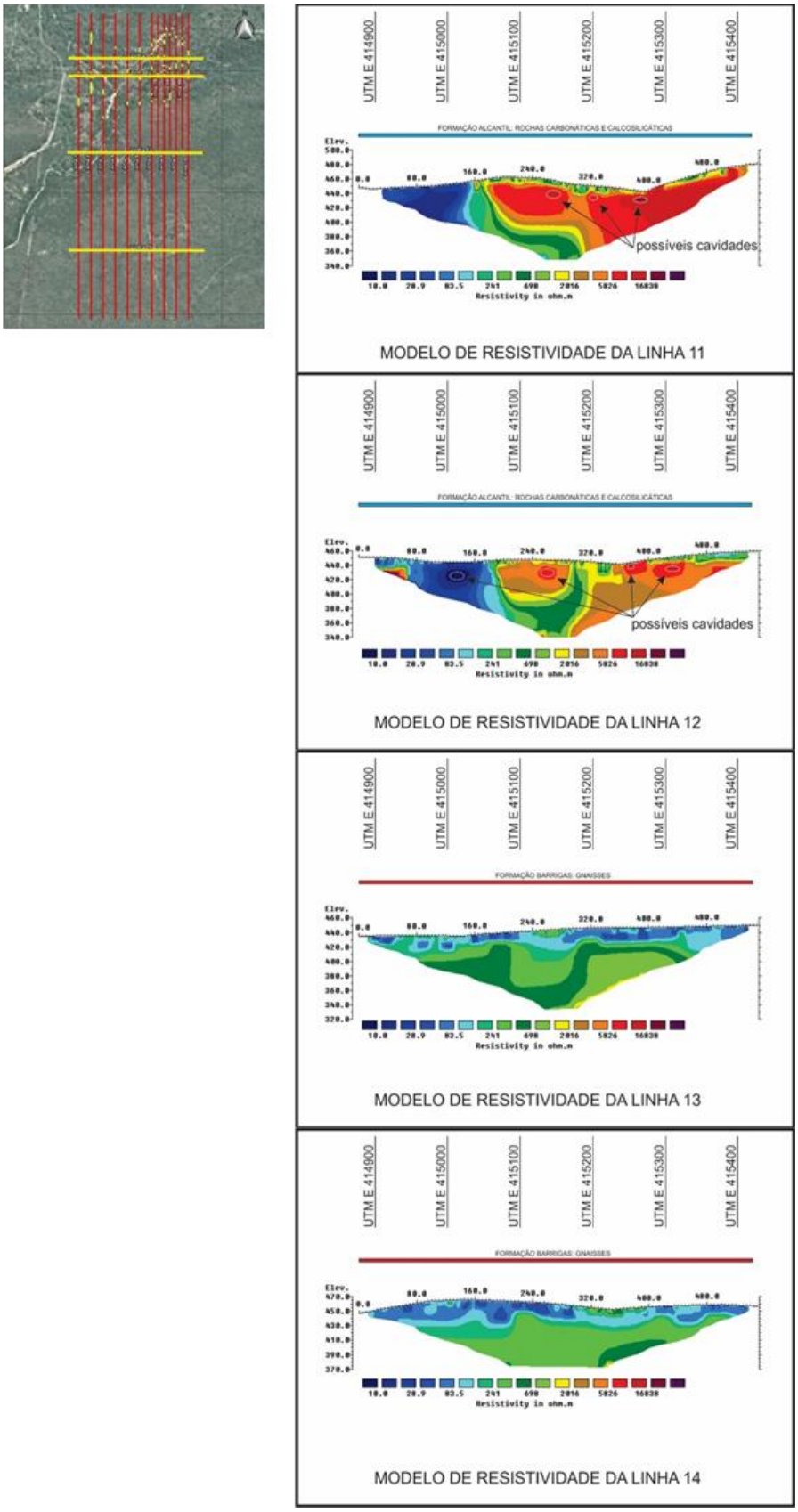


Figura 11.1-117: Modelagem 2D das Linhas 11 a 14, com anomalias que podem estar associadas a cavidades.

Fonte: AFC Geofísica (2016).

Junto às linhas de resistividade, foi gerado um modelo 3D para diferentes profundidades, a fim de investigar os contatos litológicos (Figura 11.1-118).

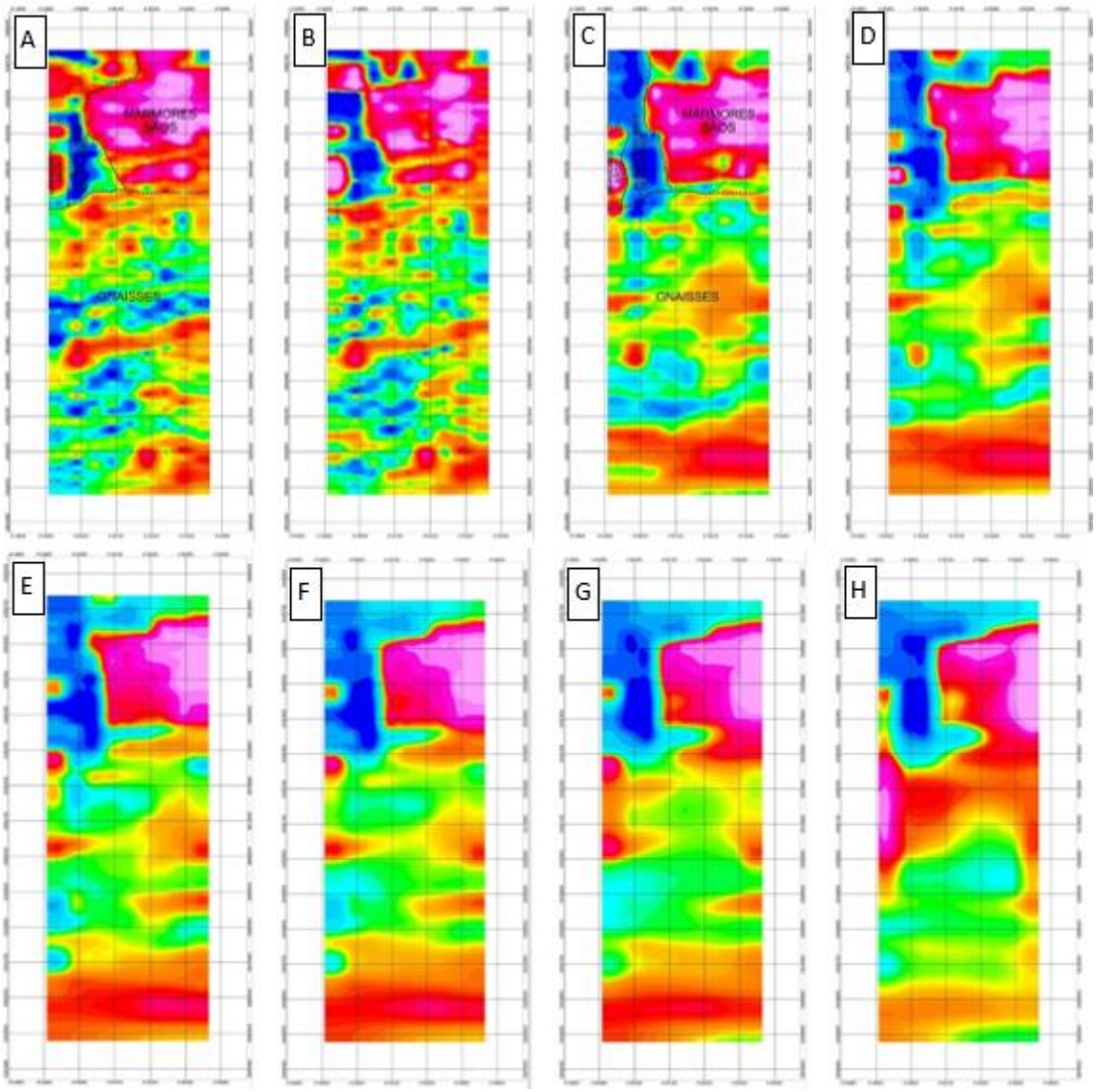


Figura 11.1-118: Valores de resistividade verdadeiras obtidas na modelagem 3D, para diferentes profundidades (A-8 m, B-14 m, C-21 m, D-29 m, E-38 m, F-49 m, G-62 m e H-76 m).

Fonte: AFC Geofísica (2016).

Os resultados completos das pesquisas realizadas em 2016 e 2021, são apresentados no Anexo 11.1.7-4. Conforme pode ser observado na Figura 11.1-114 apresentada anteriormente, ocorre uma área de sobreposição entre estes levantamentos de 2016 e 2021. A correlação precisa entre os perfis de resistividade dos dois levantamentos só é possível no ponto formado pela intersecção das linhas geofísicas de cada ensaio, uma vez que a sobreposição espacial dos dados é dificultada devido às linhas de caminhamento apresentarem direções distintas. A análise comparativa nos pontos onde ocorre intersecção

das linhas, mostra uma boa correlação entre os levantamentos, com perfis de resistividade com valores em torno de 0-800 ohms.m.

O primeiro (interpretado e correlacionado com os gnaisses da Fm. Barrigas) ocorre na porção sul da área e apresenta um padrão de resistividade mais suave, com zonas de menores valores de resistividade próximos à superfície (solo ou rocha alterada) e em profundidade as resistividades aumentam (rocha sã).

O segundo padrão ocorre na porção norte e tem valores de resistividades mais bruscos, com anomalias de alta resistividade que podem estar associadas aos mármores sãos e uma zona anômala de baixa resistividade que pode estar relacionada com uma zona de falha, rochas alteradas ou presença de grafita nas rochas.

Os resultados de Alcantara e Silva (2003) realizados em 2002, estão disponíveis na íntegra através da publicação descrita no capítulo de Referências Bibliográfica (Volume IV).

Os levantamentos geofísicos realizados entre 19 de abril e 13 de maio de 2021 concentraram-se na área onde estão previstas a implantação da Pilha de Fosfogesso e Cal e da Usina de Beneficiamento, localizadas na porção leste e central da ADA, respetivamente. Os levantamentos tiveram por objetivo fornecer informações relevantes de subsuperfície para subsídio principalmente a estudos hidrogeológicos.

Os dados de resistividade elétrica coletados identificaram três zonas geoelétricas principais: (1) zonas úmidas e rochas alteradas; (2) rochas pouco fraturadas; e (3) rochas do embasamento sãs. Com isso foi possível identificar descontinuidades litológicas e estruturas verticalizadas associadas a falhamentos (Figura 11.1-119 e Figura 11.1-120).

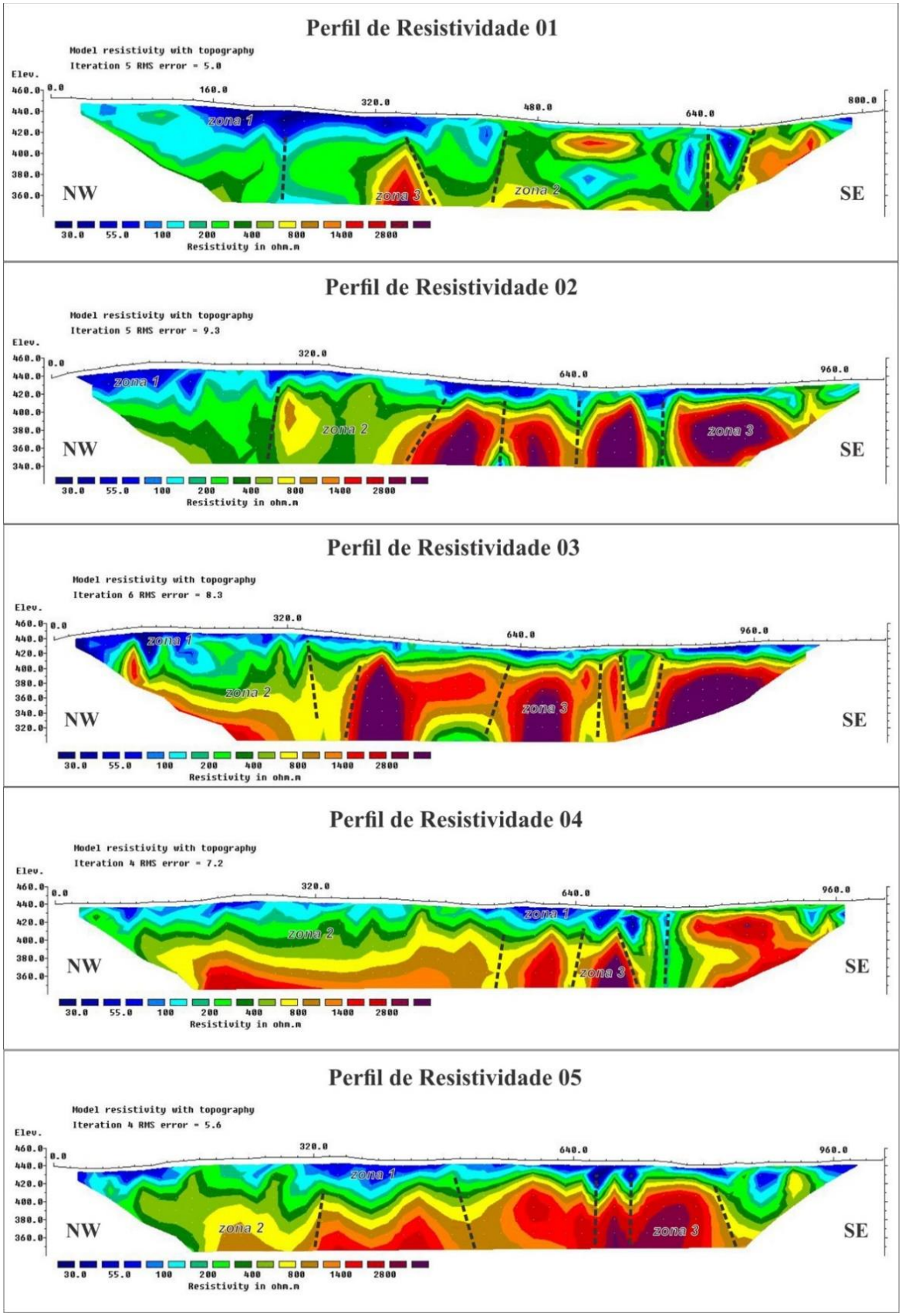


Figura 11.1-119: Resultados da pesquisa geofísica de 2021, linhas 01 a 05.

Fonte: Signal Geofísica (2021).

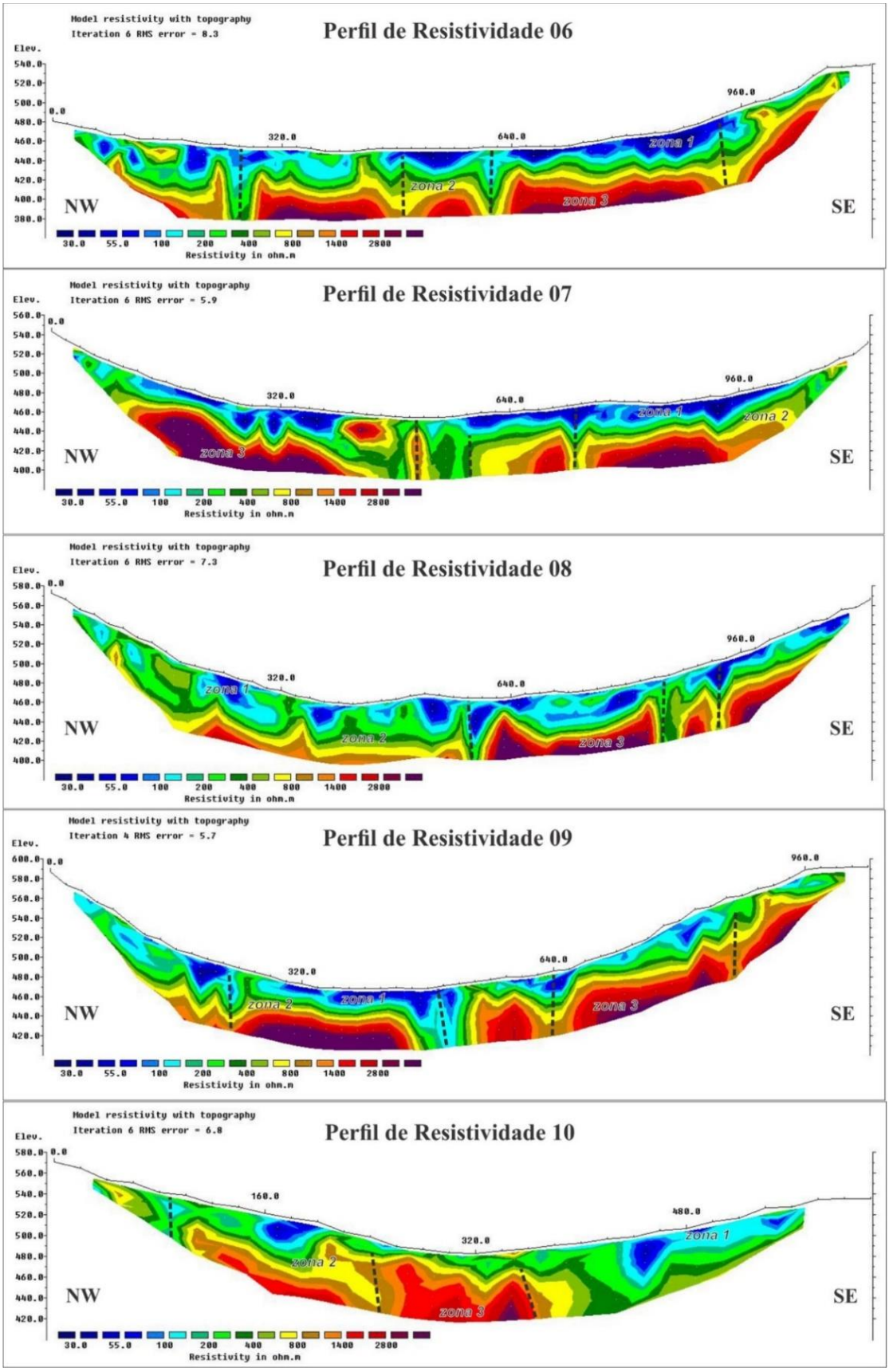


Figura 11.1-120: Resultados da pesquisa geofísica de 2021.

Fonte: Signal Geofísica (2021).

Foram identificadas possíveis zonas de cisalhamento subverticais, identificadas em mapa (Figura 11.1-121). A correção de pontos de campo com resultados das linhas permitiu a separação das zonas (detalhadas em Hidrogeologia) e dos litotipos em subsuperfície.

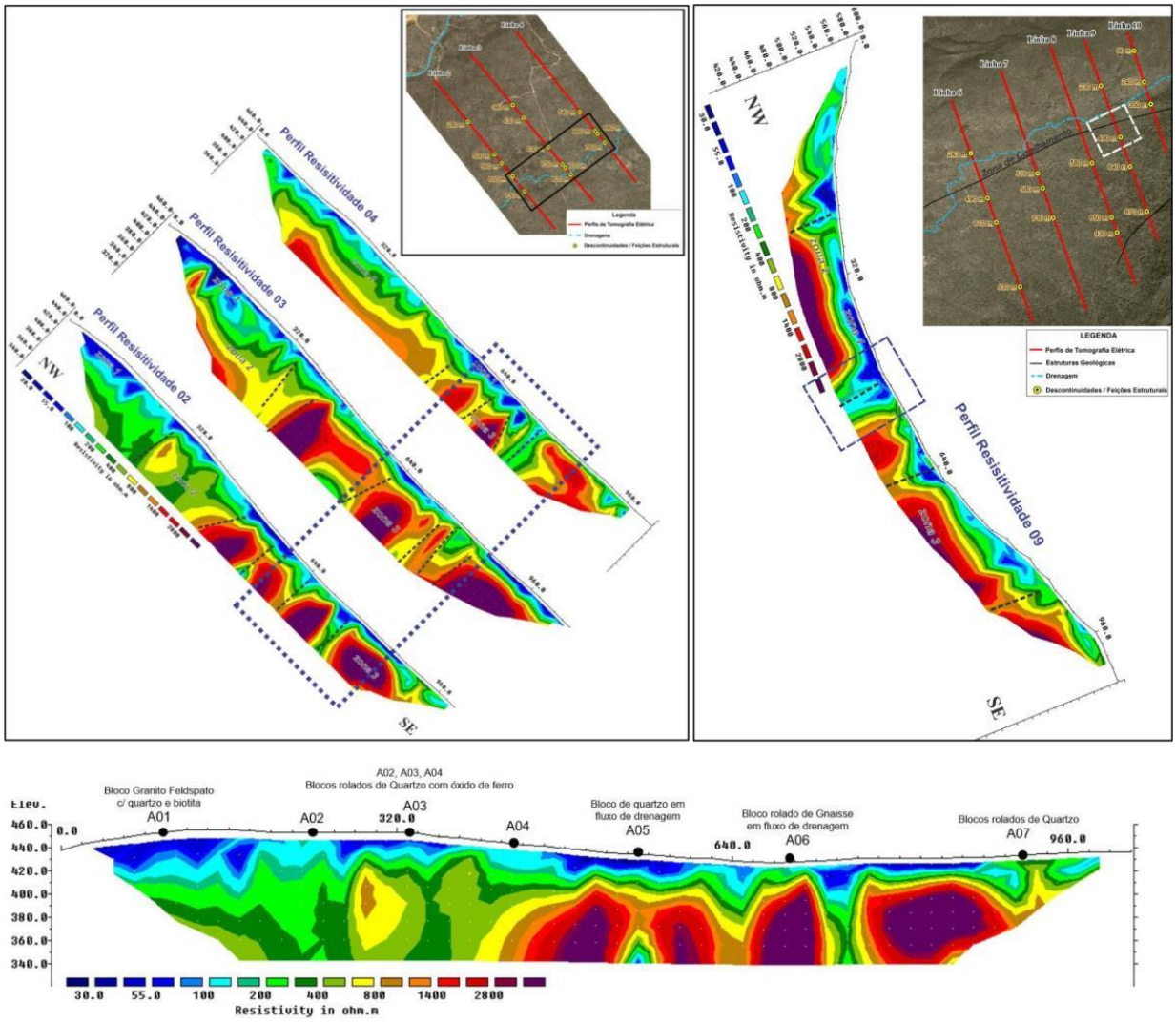


Figura 11.1-121: Linhas geofísicas onde é possível visualizar as zonas de cisalhamento (traçado em preto).

Fonte: Signal Geofísica (2021).

Os levantamentos geofísicos identificaram na área prevista para instalação da Usina de Beneficiamento de 4 a 6 feições estruturais por linha de levantamento, e na área prevista para implantação da Pilha de Fosfogesso e Cal, entre 3 e 4 feições estruturais por linha.

As feições estruturais subverticais apresentadas nos perfis geofísicos do levantamento geofísico de 2021 apresentado no Volume V – Anexo 11.1.7-4, assim como as identificadas nos levantamentos geológicos de detalhe fornecidos pela INB na área da jazida, representam caminhos referenciais para migração de água subterrânea e contaminantes, conforme detalhado no Modelo Hidrogeológico Conceitual através dos perfis hidrogeológicos.

11.1.7.3.2 Sondagens de Reconhecimento

As sondagens de reconhecimento foram realizadas em duas etapas sendo a primeira em fevereiro de 2011 com dados compilados dos estudos disponibilizados (ARCADIS LOGOS, 2014) e a segunda, realizada pela Geohidro no ano de 2022.

O objetivo principal das sondagens foi a instalação de poços de monitoramento para a coleta de água subterrânea e identificação do substrato geológico, totalizando 21 pontos distribuídos dentro dos limites da Fazenda Itataia. Ressalta-se que, destes, 19 foram executados pela Geohidro, e outros dois já estavam instalados na área. A localização das sondagens pode ser observada na Figura 11.1-122.

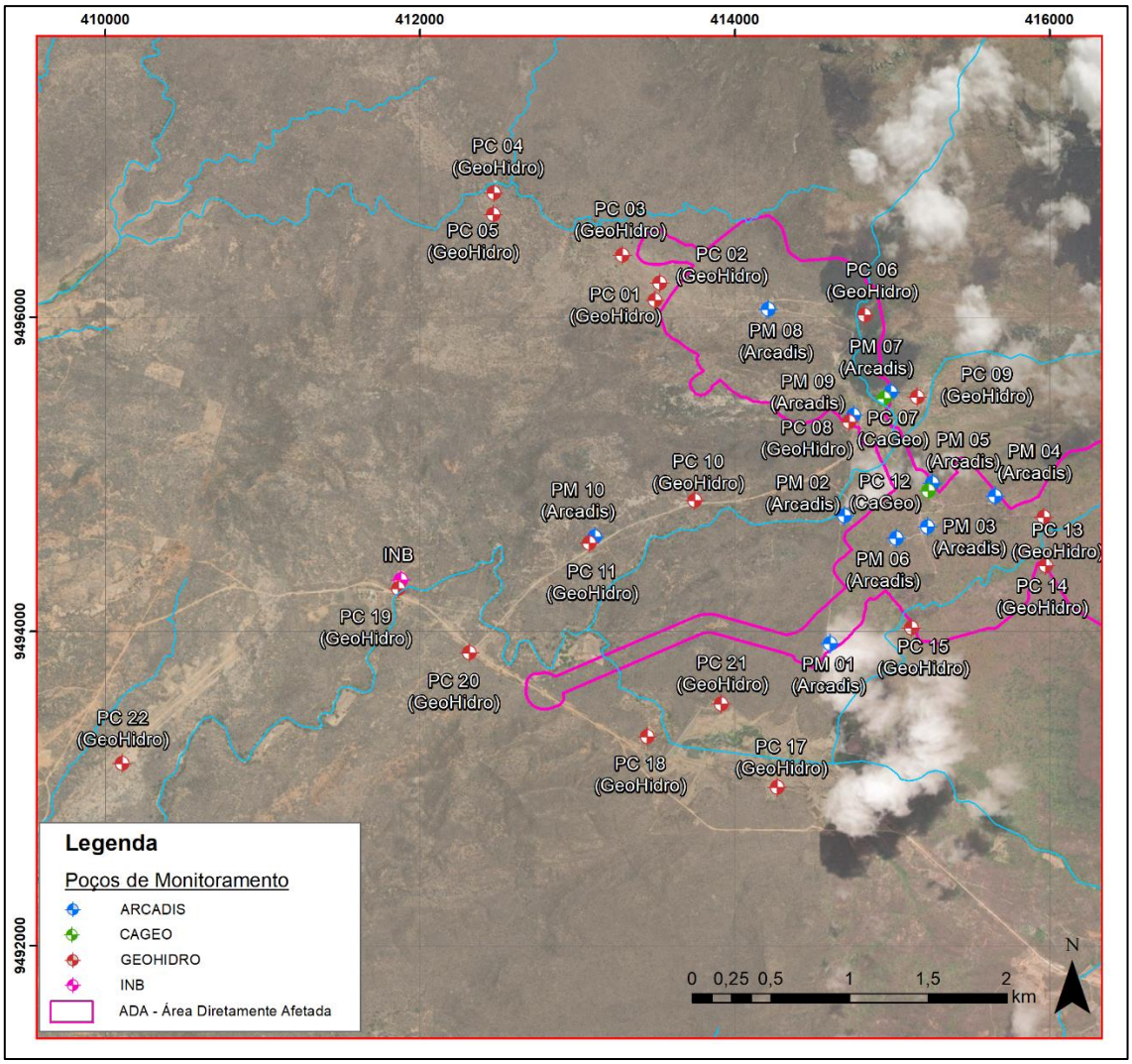


Figura 11.1-122: Localização das sondagens realizadas de 2011 até 2022 pelo projeto.
Fonte: BTB Explorers 2023.

O método de perfuração adotado foi o rotopercussivo. Por se tratar de um método de perfuração destrutivo, não foram coletadas informações em testemunhos indeformados. A

análise do material granular oriundo da perfuração permitiu a interpretação do litotipo rochoso e seu graus de alterações.

Conforme documentos disponibilizados, as perfurações das sondagens de reconhecimento foram realizadas de acordo com a norma ABNT/NBR 15.492/2007 – Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental. A descrição dos solos foi realizada segundo a ABNT NBR 6502/1995 - Rochas e Solos.

Dezoito das vinte e nove sondagens e o poço de abastecimento INB foram perfuradas na unidade hidrogeológica MS1, de rochas representadas por Gnaisses da Formação Barrigas.

As demais sondagens foram perfuradas na unidade hidrogeológica MC1, formada de rochas metacarbonáticas e Calcissilicáticas (NP2civm) da Formação Alcantil do Grupo Itataia. As principais características observadas durante as perfurações são apresentadas no Quadro 11.1.7-5.

Quadro 11.1.7-5: Principais características observadas durante as sondagens

PONTO	COORDENADAS UTM (FUSO 24 S) *		COTA (M)	PROF. (M)	N.A.	MANTO ALTERAÇÃO (M)	SOLO	ROCHA FORMAÇÃO
PM-01	414606	9493925	469	20,89	n.i	4,0	Argilo arenoso	Gnaisse Fm. Barrigas
PM-02	414700	9494739	450	20,88	n.i	6,0	Argilo arenoso	Gnaisse Fm. Barrigas
PM-03	415227	9494667	452	20,71	19,5	8,0	Argilo arenoso	Gnaisse Fm. Barrigas
PM-04	415654	9494864	464	20,82	n.i	18,0	Argilo arenoso	Gnaisse Fm. Barrigas
PM-05	415257	9494945	452	20,60	16,29	9,0	Argilo arenoso	Gnaisse Fm. Barrigas
PM-06	415029	9494595	451	24,91	22,88	14,0	Areno Argiloso	Gnaisse Fm. Barrigas
PM-07	414991	9495523	451	15,57	8,41	0,00	ausente	Carbonática Fm. Alcantil
PM-08	414213	9496052	484	20,67	n.i	3,0	Areno Siltoso	Gnaisse Fm. Barrigas
PM-09	414756	9495379	454	21,02	8,53	< 1,0	Argiloso c/pouca areia	Carbonática Fm. Alcantil
PM-10	413112	9494603	442	21,00	17,94	< 1,0	Argiloso c/pouca areia	Carbonática Fm. Alcantil
PC-01	414807	9495522	453	50,00	24,00	9	Areno argiloso	Gnaisse Fm. Barrigas

PONTO	COORDENADAS UTM (FUSO 24 S) *		COTA (M)	PROF. (M)	N.A.	MANTO ALTERAÇÃO (M)	SOLO	ROCHA FORMAÇÃO
PC-02	414842	9495476	452	30,00	20,80	2	Areno argiloso	Calcissilicatica Fm. Alcantil
PC-03	413369	9496395	496	30,00	16,00	6,5	Arenoso	Gnaisse Fm. Barrigas
PC-04	414239	9496119	477	30,00	11,40	1,00	Argilo arenoso	Mármore Fm. Alcantil
PC-05	413855	9496051	476	35,00	13,40	0,70	Solo orgânico	Calcissilicatica Fm. Alcantil
PC-06	413369	9496415	459	69,50	21,40	6,00	Argilo arenoso	Gnaisse Fm. Barrigas
PC-08	415274	9494822	460	51,50	6,80	2	Argiloso	Mármore Fm. Alcantil
PC-09	415437	9494779	462	46,30	4,30	1,00	Areno argiloso	Mármore Fm. Alcantil
PC-10	415617	9494815	462	29,50	23,00	0,1	Argiloso	Mármore Fm. Alcantil
PC-11	415994	9494617	453	24,00	22,70	1,00	Areno argiloso	Mármore Fm. Alcantil
PC-13	416186	9494794	461	20,50	8,50	2,50	Argilo silte arenoso	Gnaisse Fm. Barrigas
PC-14	415318	9494739	461	31,00	21,55	3,50	Argilo arenoso	Gnaisse Fm. Barrigas
PC-15	415125	9494026	438	26,00	19,00	4,00	Argiloso	Gnaisse Fm. Barrigas
PC-17	415210	9494673	456	25,00	8,50	4,00	Argilo arenoso	Gnaisse Fm. Barrigas
PC-18	415086	9494595	456	25,00	13,10	2,00	Argilo arenoso	Mármore Fm. Alcantil
PC-19	414995	9494551	458	24,50	7,35	2,00	Argilo arenoso	Gnaisse Fm. Barrigas
PC-20	415208	9494588	454	32,00	16,40	3,50	Argilo arenoso	Gnaisse Fm. Barrigas
PC-21	415239	9494571	454	30,00	16,00	1,5	Argilo arenoso/areno argiloso	Gnaisse Fm. Barrigas
PC-22	415342	9494981	454	41,00	26,00	4,50	Arenoso	Gnaisse Fm. Barrigas

*Fonte ARCADIS LOGOS (2014) e Geohidro (2022). Elaboração: BTB Explores, 2023. *SIRGAS 2000.*

Para melhor compreender a disposição das camadas litológicas e seu comportamento geotécnico/grau de alteração, foram confeccionados os *perfis* esquemáticos dos furos de 2022 com a descrição realizada pela INB (Figura 11.1-123). Através desses dados é possível junto aos dados geofísicos (item 11.1.7.3.1) compreender a disposição das litologias em subsuperfície. Com o cruzamento desses dados, é *possível* visualizar, por exemplo, as áreas das anomalias geofísicas (possíveis cavidades) e investigar através dos furos como as rochas estão dispostas na Figura 11.1-124 e Quadro 11.1.7-6.

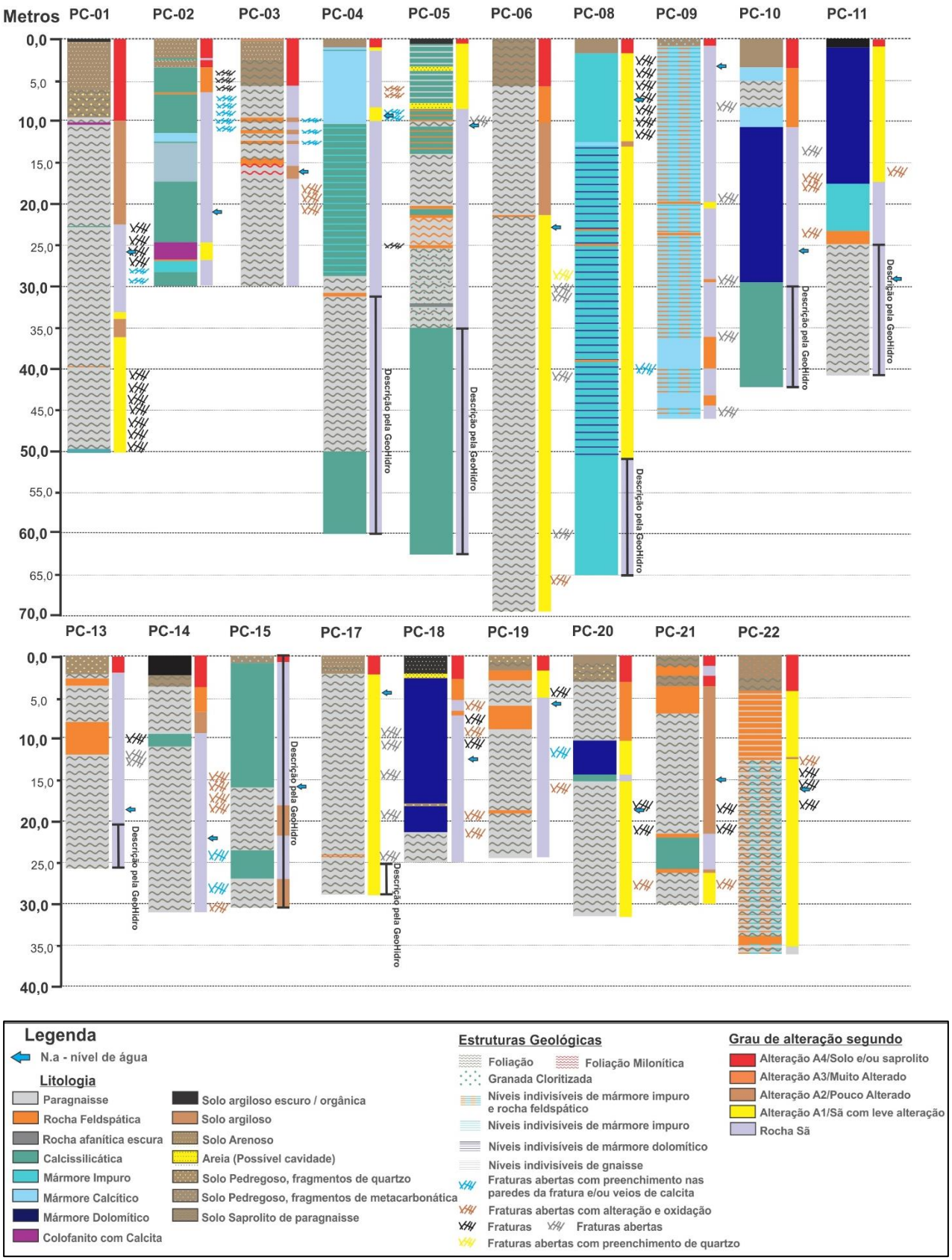


Figura 11.1-123: Perfis de sondagens dos poços de monitoramento construídos pela GeoHidro em 2023.

Fonte: INB e Geohidro (2022), elaborado por BTBExplorers (2023).

Quadro 11.1.7-6: Descrição dos perfils de sondagens realizados pela INB das sondagens de investigação da GeoHidro (2022)

Sondagens de Reconhecimento descritos pela INB				
	PROF. INICIAL	PROF. FINAL	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	DADOS ESTRUTURAIS
FURO PC-01	0,00	0,20	SOLO ARGILOSO PRETO (ORGÂNICO)	
	0,20	2,00	SOLO ARENOSO ARGILOSO AMARRONZADO	
	2,00	9,00	SOLO ARENO ARGILOSO (COMPACTADO) PROVÁVEL ALTERAÇÃO DO GNAISSE. EM 6,10 metros TEM FRAGMENTOS DE QUARTZO	
	9,00	22,50	GRANADA BIOTITA GNAISSE APRESENTANDO GRANADA CLORITIZADA, GRAU DE ALTERAÇÃO A2, MAS APARTIR 18,22 m OCOREEM NIVÉIS INDIVISOS A1. INTERVALO DE 11,10 A 11,25 m LEVEVENTE MINERALIZADO(COLOFANITO)	
	22,50	22,50	ROCHA CALCISSILICÁTICA MUITO FRATURADA E NTEPERIZADA	
	22,50	34,30	GRANADA BIOTITA GNAISSE MAIS MACIÇO E FRATURAS SEGUNDO O PLANO DE FOLIAÇÃO (SUBHORIZONTAl)	FRATURA ABERTA SUBVERTICAL COM PREECHIMENTO DE CALCITA EM 25,15 METROS
	34,30	36,50	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM GRAU DE ALTERAÇÃO A2	FRATURA ABERTA DE 20° EM 28,20 m C/CALCITA NA PAREDE (REAGIU C/HCL 10%)
	36,50	38,55	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM GRAU DE ALTERAÇÃO A1	
	38,55	38,75	ROCHA FELDSPÁTICA PEGMATÓIDE COM GRAU DE ALTERAÇÃO A1, LEVEMENTE MINERALIZADA E LEVEMETE VACUOLAR COM DISSOLUÇÃO DO QUARTZO	
	38,75	40,50	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM GRAU DE ALTERAÇÃO A1	
	40,50	40,85	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM ASPECTO FRAGMENTADO	
	40,85	49,50	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM GRAU DE ALTERAÇÃO A1 E COM MUITAS FRATURAS SEGUNDO O PLANO DE FOLIAÇÃO	FRATURAS SEGUNDO O PLANO DE FOLIAÇÃO
	49,50	50,00	FRAGMENTAÇÃO NO FINAL DA MANOBRA, NIVEL DE ROCHA CALCISSILICÁTICA COM GRAU DE ALTERAÇÃO A1	
FURO PC-02	0,00	1,50	SOLO ARGILOSO CINZA AMARRONZADO	
	1,50	2,00	SOLO ARENOSO ARGILOSO CINZA AMARRONZADO	
	2,00	2,10	NÍVEL INDIVISO DE ROCHA CALCISSILICÁTICA	
	2,10	3,50	SOLO ARENOSO ARGILOSO	
	3,50	6,50	ROCHA CALCISSILICÁTICA MUITO FRATURADO E INTEPERIZADA	
	6,50	6,70	NÍVEL DE PEGMATITO	
	6,70	11,35	ROCHA CALCISSILICÁTICA, FRATURADA COM VEIOS CARBONATICOS COM CALCITA	FRATURA 17° C/RELAÇÃO A DIREÇÃO DO FURO QUE É VERTICAL FRATURA ABERTA COM PAREDE ALTERADA
	11,35	12,50	MÁRMORE CALCÍTICO	
	12,50	24,30	CALCISSILICÁTICA COM NIVEIS INDIVISOS DE MÁRMORE	
	24,30	26,00	COLOFANITO MACIÇO COM CALCITA RECRISTALIZADA COM GRAU DE ALTERAÇÃO A1. COLOFANITO FRAGMENTADO DE 25,15 A 25,35 METROS.	NÃO VERIFICAMOS FRATURA REPRESENTATIVA NESSE INTERVALO, QUEBRA SEGUNDO A FOLIAÇÃO PRATICAMENTE HORIZONTAL
	26,00	26,90	ROCHA FELDISPATO COM COLOFANITO, ASPECTO DE BRECHA BEM MINERALIZADO	
	26,90	28,10	MÁRMORE IMPURO COM ASPECTO FOLHEADO	
	28,10	30,00	ROCHA CALCISSILICÁTICA	
FURO PC-03	0,00	0,30	SOLO ARGILOSO MARROM AVERMELHADO	
	0,30	2,00	SOLO ARENO ARGILOSO	
	2,00	6,50	SOLO ARENO, SOLO DA ALTREAÇÃO DO GNAISSE	
	6,50	9,70	GRANADA BIOTITA GNAISSE	
	9,70	11,00	NIVEL DE ROCHA FELDSPÁTICA E CALCITA EM FISSURAS. GRAU DE ALTERAÇÃO A2	
	11,00	12,60	GRANADA BIOTITA GNAISSE	
	12,60	12,72	NIVEL DE ROCHA FELDSPATICA E CALCITA EM FISSURAS. GRAU DE ALTERAÇÃO A2	
	12,72	12,83	GRANADA BIOTITA GNAISSE	
	12,83	14, O5	NIVEL DE ROCHA FELDSPATICA E CALCITA EM FISSURAS. GRAU DE ALTERAÇÃO A2	
	14,05	14,73	GRANADA BIOTITA GNAISSE	

Sondagens de Reconhecimento descritos pela INB				
	PROF. INICIAL	PROF. FINAL	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	DADOS ESTRUTURAIS
	14,73	15,50	NIVEL DE ROCHA QUARTZO FELDSPATICA DENTRO DO DOMINIO DO GRANADA BIOTITA GNAISSE	
	15,50	17,55	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM NIVEL DE QUARTZO FELTSPATICO (MILONITIZADO) MAIS ALTERADO E POROSO DENTRO DO GNAISSE COM MATERIAL DE OXIDAÇÃO	
	17,55	30,00	GRANADA BIOTITA GNAISSE	EM 18,34 A 18,47 m FRATURA SUBVERTICAL COM MATERIAL OXIDADO NA PAREDE DO GNAISSE
				EM 19,45 m FRATURA ABERTA COM 10° ALTERADA E OXIDADA
				EM 24,50 m FRATURA ABERTA COM 10° ALTERADA E OXIDADA
FURO PC-04	0,00	1,00	SOLO ARGILO ARENOSO AMARRONZADO COM MATÉRIA ORGÂNICA, OBS: EM 1 METRO RECUPEROU APENAS 9 CENTIMETROS.	
	1,00	1,40	MÁRMORE CALCÍTICO COM GRAU DE ALTERAÇÃO A1	
	1,40	1,50	ROCHA CALCISSILICÁTICA UM POUCO ALTERADO	
	1,50	11,40	MÁRMORE CALCÍTICO COM FRATURA EM 6 METROS COM PERDA DE ÁGUA E OXIDADO	EM 10,90 METROS FRATURA ABERTA DE 10° COM CALCITA NA PAREDE
	11,40	27,50	ROCHA CALCISSILICÁTICA C/ NÍVEIS CENTIMPETRICOS (INTERCALADOS) DE MÁRMORE IMPURO INICIANDO APARTIR DE 11,50 m	FRATURA SUBVERTICAL EM 25,77 METROS
	27,50	29,33	GNAISSE MAIS LEOCOCRÁTICO, CONSTITUÍDOS MAIS POR MINERAIS FÉLSICOS	
	29,33	30,00	ROCHA QUARTZO FELDSPÁTICA	
FURO PC-05	0,00	0,70	SOLO CINZA ESCURO, POSSIVEL SOLO ORGÂNICO	
	0,70	3,50	ROCHA CALCISSILICÁTICA MAIS QUARTZOZA COM NIVEL DE GNAISSE MAIS LEOCOCRÁTICO COM GRAU DE ALETRAÇÃO A1	
	3,50	3,95	MATERIAL ARENOSO, POSSÍVEL CAVIDADE	
	3,95	7,05	ROCHA CALCISSILICÁTICA MAIS QUARTZOZA COM NIVEL DE GNAISSE MAIS LEOCOCRATICO COM GRAU DE ALETRAÇÃO A1	
	7,05	8,12	MATERIAL ARENOSO, POSSÍVEL CAVIDADE COM FRAGMENTOS DA ROCHA ANTERIOR	
	8,12	10,33	ROCHA CALCISSILICÁTICA MAIS QUATZOZA COM NIVEIS INDIVISOS DE ROCHA QUARTZO FELDSPÁTICA (PEGMATITÍCA)	
	10,33	11,00	GNAISSE FOLEADO COM LEITOS QUARTZO FELDSPÁTICOS DESENVOLVIDOS	
	11,00	14,12	ROCHA CALCISSILICÁTICA MAIS QUATZOZA COM NIVEIS INDIVISO DE ROCHA QUARTZO FELDSPATICA (PEGMATITÍCA)	FRATURA ABERTA ALTERADA COM 10° EM 12,25 METROS
	14,12	20,15	GNAISSE FOLEADO COM LEITOS QUARTZO FELDSPÁTICA DESENVOLVIDO	
	20,15	20,72	ROCHA QUARTZO FELDSPÁTICA PEGMATITÍCA	
	20,72	21,23	ROCHA CALCISSILICÁTICA	
	21,23	22,00	ROCHA QUARTZO FELDSPÁTICA PEGMATITÍCA	
	22,00	25,00	BIOTITA GNAISSE COM NIVEIS QUARTZO FELDSPATICA	
	25,00	25,78	ROCHA QUARTZO FELDSPÁTICA PEGMATITÍCA	
	25,78	32,70	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM PRESENÇA DE GRANADA CLORITIZADA	
	32,70	32,94	INTERCALAÇÃO (NÍVEL) DE ROCHA AFANÍTICA E ESCURA (DIABÁSIO?)	
	32,94	35,00	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM PRESENÇA DE GRANADA CLORITIZADA	
FURO PC-06	0,00	6,00	SOLO DE ALTERAÇÃO DO GNAISSE	
	6,00	10,50	ROCHA ALTERADA (GRANADA BIOTITA GNAISSE) COM GRAU DE ALTERAÇÃO A3	
	10,5	18	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM GRAU DE ALTERAÇÃO A1/A2 COM NIVEIS DE ROCHAS QUARTZO FELDSPATICA, TRECHOS COM FOLHIAÇAO NÃO DEFINIDADES POSSIVEL CATACLASE.	
	18	23,24	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM GRAU DE ALTERAÇÃO A1	
	23,24	23,72	NIVEL DE QUARTZO FELDSPATICO (PEGMATITO)	
	23,72	69,50	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM GRAU DE ALTERAÇÃO A1	DE 27,83 A 27,93 TRECHO FRATURADO COM FRATURA 10°ABERTA E QUARTZO RECRISTALIADO
				EM 30,1 m FRATURA ABERTA NO GANISSE
				EM 31,65 m FRATURA ABERTA NO GANISSE 5° GRAUS
				EM 42,05 m FRATURA ABERTA 5° GRAUS
				DE 59,85 A 60,10 TRECHO FRAGMENTADO DO GRANADA BIOTITA GNAISSE
				EM 60,10 m TRECHO FRAGMENTADO DO GRANADA BIOTITA GNAISSE
				EM 60,3 m FRATURA SUBVERTICAL ABERTA

Sondagens de Reconhecimento descritos pela INB				
	PROF. INICIAL	PROF. FINAL	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	DADOS ESTRUTURAIS
				EM 66,0 m FRATURA ABERTA ALTERADA
				EM 66,8 m FRATURA SUBVERTICAL ABERTA
FURO PC-08	0,00	2,00	SOLO ARGILOSO AMARRONZADO COM FRAGMENTOS DE ROCHA ALETRADA DO MÁRMORE	
	2,00	12,61	MÁRMORE IMPURO COM NIVEIS INDIVISOS DE MÁRMORE DOLIMITICO ALETRAÇÃO A1	PREDOMINA FRATURAS COM PLANOS SEGUNDO A FLOLIAÇÃO INCIPIENTE
	12,61	12,95	MÁRMORE COM LEVE ALTERAÇÃO E OXIDAÇÃO COM GRAU DE ALETRAÇÃO A1/A2	
	12,95	23,44	MÁRMORE IMPURO COM NIVEIS INDIVISOS DE MÁRMORE DOLIMITICO ALETRAÇÃO A1	
	23,44	23,66	QUARTZO FELSPATICO(PEGMATITO)	
	23,66	25,36	MÁRMORE IMPURO COM NIVEIS INDIVISOS DE MÁRMORE DOLIMITICO ALETRAÇÃO A1	
	25,36	25,80	QUARTZO FELSPATICO(PEGMATITO)	
	25,80	38,00	MÁRMORE IMPURO COM NIVEIS INDIVISOS DE MÁRMORE DOLIMITICO ALETRAÇÃO A1	
	38,00	38,50	QUARTZO FELSPÁTICO(PEGMATITO)	
	38,50	51,50	MÁRMORE IMPURO COM NIVEIS INDIVISOS DE MÁRMORE DOLIMITICO ALETRAÇÃO A1	DE 39,61 A 40 m FRATURA ABERTA COM RECRISTALIÇÃO DA CALCIATA NA PAREDE _ OBS NO PERFIL DO POÇO DE MONITORAMENTO ESSA FRATURA NÃO É PRODUTIVA EM 41 METROS
FURO PC-09	0,00	0,30	SOLO ARENO ARGILOSO COM PEQUENOS FRAGMENTOS DE MÁRMORE	
	0,30	1,00	SOLO ARENOSO COM FRAGMENTOS DE MÁRMORE	
	1,00	1,16	NIVEL PEGMATITÍCO FRAGMENTADO	
	1,16	19,80	MÁRMORE CALCÍTICO COM NIVEIS INDIVISOS DE MÁRMORE IMPURO E DE ROCHAS QUARTZO FELDSPÁTICA	EM 8,55 METROS FRATURA ABERTA NO MÁRMORE CALCÍTICO
	19,80	21,00	ROCHA QUARTZO FELDSPATICA(PEGMATITO) BASTANTE FRATURADO E ALTERADO NAS FRATURAS COM ARGILAS NA PAREDE, FRATURAS VARIAM COM ANGULOS DE 5 A 15 GRAUS	
	21,00	23,60	MÁRMORE CALCÍTICO COM NIVEIS INDIVISOS DE MÁRMORE IMPURO E DE ROCHAS QUARTZO FELDSPÁTICA	
	23,60	24,20	ROCHA QUARTZO FELDSPÁTICA (PEGMATITO)	
	24,20	28,32	MÁRMORE CALCÍTICO COM NIVEIS INDIVISOS DE MÁRMORE IMPURO E DE ROCHAS QUARTZO FELDSPÁTICA	
	28,32	28,34	MÁRMORE CALCITIO COM FRATURA SUBVERTICA E ROCHA ALTERADA FORMANDO ASPECTO DE SOLO	
	28,34	36,88	MÁRMORE CALCÍTICO COM NIVEIS INDIVISOS DE MÁRMORE IMPURO E DE ROCHAS QUARTZO FELDSPÁTICA	
	36,88	37,06	MÁRMORE CALCITIO COM FRATURA SUBVERTICA E ROCHA ALTERADA FORMANDO ASPECTO DE SOLO (SE DECOMPONDO) PAREDE PUVEROL	
	37,06	39,90	MÁRMORE CALCITIO COM FRATURA SUBVERTICA E ROCHA ALTERADA FORMANDO ASPECTO DE SOLO (SE DECOMPONDO)	
	39,90	44,86	MÁRMORE CALCÍTICO COM NIVEIS INDIVISOS DE MÁRMORE IMPURO E DE ROCHAS QUARTZO FELDSPÁTICA. GRÁFITA COM TEXTTURA SACAROÍDE EM 39 METROS.	
	44,86	44,93	MÁRMORE CALCITIO COM FRATURA SUBVERTICA E ROCHA ALTERADA FORMANDO ASPECTO DE SOLO (SE DECOMPONDO) PAREDE PUVEROLENTA	
	44,93	45,37	MÁRMORE CALCÍTICO COM NIVEIS INDIVISOS DE MÁRMORE IMPURO E DE ROCHAS QUARTZO FELDSPÁTICA	
	45,37	45,73	MÁRMORE CALCITIO COM FRATURA COM 50 GRAUS SUBVERTICA E ROCHA ALTERADA FORMANDO ASPECTO DE SOLO (SE DECOMPONDO) PAREDE PUVEROLENTA	
	45,73	46,00	MÁRMORE CALCÍTICO COM NIVEIS INDIVISOS DE MÁRMORE IMPURO E DE ROCHAS QUARTZO FELDSPÁTICA	

Sondagens de Reconhecimento descritos pela INB				
	PROF. INICIAL	PROF. FINAL	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	DADOS ESTRUTURAIS
FURO PC-10	0,00	0,10	SOLO ARGILOSO ORGANICO, SOMENTE NO TOPO? DEVIDO A BAIXA RECUPERAÇÃO NÃO CONSEGUIMOS DEFINIR CONTATOS EXATOS	
	0,10	3,50	SOLO DE ALTERAÇÃO DE MÁRMORE COM FRAGMENTOS DE MÁRMORES E GNAISSE NA BASE DESSE INTERVALO	
	3,50	5,00	FRAGMENTOS DE MÁRMORE COM ALTERNANCIA DE BIOTITA GNAISSE - OXIDADO	
	5,00	8,00	FRAGMENTOS DE BIOTITA GNAISSE ALTERAÇÃO COM GRAU DE ALTERAÇÃO A2 - OXIDADO	
	8,00	11,00	FRAGMENTOS DE MÁRMORE E GNAISSE COM GRAU DE ALTERAÇÃO A2 -OXIDADO	
	11,00	29,50	MÁRMORE DOLOMITICO PREDOMINANTE	EM 14,05 m FRATURAS NO MÁRMORE DOLOMITICO ABERTA 50°
				EM 14,46 m FRATURAS NO MÁRMORE DOLOMITICO ABERTA 50°
				EM 17,43 m FRATURAS NO MÁRMORE DOLOMITICO ABERTA COM ALTERAÇAO NA PAREDE 30°
				EM 18,15 m FRATURAS NO MÁRMORE DOLOMITICO ABERTA COM ALTERAÇAO NA PAREDE 35°
				EM 24,15 m FRATURAS NO MÁRMORE DOLOMITICO ABERTA COM ALTERAÇAO NA PAREDE 15°
				EM 24,25 m FRATURAS NO MÁRMORE DOLOMITICO ABERTA COM ALTERAÇAO NA PAREDE 20°
				EM 24,50 m FRATURAS NO MÁRMORE DOLOMITICO ABERTA COM ALTERAÇAO NA PAREDE 20°
FURO PC-11	0,00	1,00	SOLO ORGÂNICO	
	1,00	17,87	MÁRMORE DOLOMÍTICO, COM FRATURAS E PAREDES ALTERADAS NA BASE (17,80 - 17,87)	
	17,87	23,64	MÁRMORE IMPURO, COM FOLIAÇÃO INCIPIENTE (DEVIDO A FLOGOPITA).	
	23,64	24,97	NÍVEL DE ROCHA QUARTZO-FELDSPÁTICA.	
FURO PC-13	0,00	2,50	SOLO ARGILO SILTE ARENOSO MARROM COM FRAGMENTOS DE ROCHA	
	2,50	2,65	GRANADA BIOTITA GNAISSE	
	2,65	3,65	QUARTZO FELDSPATICO	
	3,65	7,60	GRANADA BIOTITA GNAISSE	DE 3,50 ATÉ 9,00 ROCHA MAIS FRATURA
	7,6	12,05	ROCHA PEGMATITICA FRATURADA	EM 8,87 m FRATURA SUBVERTICAL NO PEGMATITO. DE 9 A 18 m MUITAS FRATURAS E FRATURAS SEGUNDO PLANO DE FOLIAÇÃO
	12,05	20,5	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM NIVEIS DE QUARTZO FELDSPÁTICO	EM 10.10 m FRATURA ABERTA 40 GRAUS NO PEGMATITO
				EM 10,97 m 30 GRAUS NO PEGMATITO FRATURA ABERTA
				EM 11,30 m GRAUS NO PGMATITO FRATURA ABERTA
				EM 13,10 m SUBVERTICAL NO GNAISSE ABERTA
				EM 13,70 m SUBVERTICAL NO GNAISSE ABERTA
				EM 14,05 FRATURA COM 15° ABERTA E PAREDE ALETERADA COM OXIDAÇÃO _PEGMATITO
FURO PC-14	0,00	1,00	SOLO ORGANICO ARGILO ARENOSO	
	1,00	3,50	SOLO DE ALTERAÇÃO DO GNAISSE	
	3,50	6,50	GRANADA BIOTITA GNASSE COM GRAU DE ALTERACAO A2/A3	
	6,50	9,54	GRANADA BIOTITA GNASSE COM GRAU DE ALTERACAO A2	
	9,54	11,00	ROCHA CALCISSILICÁTICA	
	11,00	31,00	GRANADA BIOTITA GNAISSE _GRANADA BEM DESENVOLVIDAS	EM 15,05 m FRATURA C/ 5° NO GANISSE ALETRADA E OXIDADAS NAS PAREDES
				EM 18,25 m FRATURA COM 20° ALETRADA E OXIDADAS NAS PAREDES DO GANISSE

Sondagens de Reconhecimento descritos pela INB				
	PROF. INICIAL	PROF. FINAL	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	DADOS ESTRUTURAIS
				EM 24,1 FRATURA NO GNAISSE C/15° ALETRADA E OXIDADAS NAS PAREDE COM CALCITA
				DE 27,94 A 27,77 m FRAURA C/5° COM PAREDE PREENCHIDA COM CALCITA
				29,40 A 31,00 m GNAISSE FRAGMENTADO C/ FRATURA DE 20° ALTERADA E OXIDADAS NA PAREDE
FURO PC-17	0,00	4,00	MANOBRAS CONFUSAS, PRINCIPLAMENTE ENTRE 0,00 A 0,50 E DE 3,00 A 4,00 METROS	
	4,00	7,00	NIVEIS DE GNAISSE FRAGMENTADO	
	7,00	25,00	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM PEQUNOS NIVEIS INDIVISOS DE ROCHA QUARTZO FELSPATICA	EM 9,90 m FRATURA ABERTA COM 20 GRAUS LEVEMENTE ALTERADO
				EM 11,40 m FRATURA ABERTA COM 20 GRAUS LEVEMENTE ALTERADO
				EM 11,42 m FRATURA ABERTA COM 20 GRAUS LEVEMENTE ALTERADO
				EM 12,80 m FRATURA ABERTA COM 20 GRAUS LEVEMENTE ALTERADO QUARTZO FELSPATICA
				EM 13,35 m FRATURA ABERTA COM 30 GRAUS LEVEMENTE ALTERADO QUARTZO FELDSPATICA
				EM 13,40 m FRATURA ABERTA COM 30° LEVEMENTE ALTERADO NO NIVEL DE QUARTZO FELDSPATICA
				EM 15,40 m FRATURA DE 5 ° LEVEMENTE ALTERADA NO GNAISSE
				EM 19,90 m FRATURA DE 40° FELDSPATICA ALTERADA NA PAREDE
				DE 23,30 A 23,50 m NIVEIS FRAGMENTATADOS - FRATURA COM 5° GRAUS NA PAREDE
				EM 24,65 FRATURA DE 15° NO GNAISSE ALTERADO NAS PAREDES
FURO PC-18	0,00	2,00	SOLO ARGILO ARENO, MATERIA ORGANICA CINZA AMARRONZADA	
	2,00	3,00	MATERIAL ARENOSO DA ALTERAÇÃO DO MÁRMORE	
	3,00	21,12	MÁRMORE DOLOMITICO	
	21,12	25,00	GRANADA BIOTITA GNAISSE	DE 3,50 A 5,10 m TRECHO FRAGMENTADO A2
				DE 6,17 A 6,50 m TRECHO FRAGMENTADO A2
				EM 6,84 m FRATURA COM 25° COM PAREDE LEVENTE ALTERADA
				DE 6,72 A 8,00 m TRECHO FRAGMENTADO
				EM 8,16 m FRATURA 25 GRAUS COM PAREDES ALTERADAS E COM OXIDAÇÃO
				EM 8,30 m FRATURA 25 GRAUS COM PAREDES ALTERADAS E COM OXIDAÇÃO
				EM 9,12 m FRATURA COM 20° E PAREDES ALTERADAS
				EM 10,10 m FRATURA COM 5° E PAREDES ALTERADAS
				EM 11,54 FRATURA COM 30°
				DE 11,61 A 11,79 m INTERVALO FRAGMENTADO COM FRATURAS SUBVERTICAIS
				A 18,42 MATERIAL ARENO ARGILOSO DECOMPOSTO NO TRECJHO DA FRATUA

Sondagens de Reconhecimento descritos pela INB				
	PROF. INICIAL	PROF. FINAL	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	DADOS ESTRUTURAIS
				EM 19,85 m 35 GRAUS PAREDES ALETRADAS MATERIAL CLORITIZADO
				EM 21,25 FRATURA COM 40° E PAREDES ALETRADAS E OXIDADAS
FURO PC-19	0,00	2,00	SOLO ARGILO ARENOSO, PROVÁVEL ALTERAÇÃO DO GNAISSE	
	2,00	3,50	ROCHA QUATZO FELDSPÁTICA	
	3,50	5,00	GRANADA BIOTITA GNAISSE FRAGMENTADO	
	5,00	6,50	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM NIVEIS DE ROCHA QUATZO FELDSPÁTICA	
	6,50	9,15	ROCHA QUATZO FELDSPÁTICA	
	9,15	17,37	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM NIVEIS DE ROCHA QUATZO FELDSPÁTICA	EM 12,30 m FRATURA COM 5 ° PREECHIDA COM CALCITA NO GNAISSE
				EM 16,75 FRATURA DE 10° COM PAREDE OXIDADA NO GNAISSE, OS 16,75 m FORAM MEDIDO NO CENTRO DESSA FRATURA
	17,37	18,10	NIVEL DE ROCHA QUARTZO FELDSPÁTICA	
	18,10	24,50	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM NIVEIS INDIVISOS DE ROCHA QUATZO FELDSPÁTICA	
FURO PC-20	0,00	1,00	SOLO ARGILOSO MARROM	
	1,00	3,50	SOLO ARGILO ARENOSO - ALETRAÇÃO DO GNAISSE	
	3,50	6,20	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM GRAU DE ALTEARAÇÃO A1/A2 _ INTERVALOS DE 4,72 A 5,10 FRAGMENTADO DO GNAISSE COM GRAU DE ALETRAÇÃO A2/A3	
	6,20	6,50	ROCHA QUATZO FELDSPÁTICA. DE 6,50 A 6,62 TRECHO FRAGMENTADO DO GNAISSE COM GRAU DE ALTERAÇÃO A2/A3	
	6,50	10,37	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM GRAU DE ALTEARAÇÃO A1/A2 _ INTERVALOS DE 6,95 A 57,10 FRAGMENTADO DO GNAISSE COM GRAU DE ALETRAÇÃO A2/A3	EM 8,10 m FRATURA NO GNAISSE COM 20° FECHADA OXIDADA
	10,37	14,85	MÁRMORE DOLOMITICO COM GRAU DE ALTERAÇÃO A1	12,43 A 12,50 m NIVEL FRAGMENTADO DE CALCILICATICA DENTRO DO MÁRMORE DOLOMITO
	14,85	15,18	ROCHA CALCISSILICÁTICA	DE 14,38 A 14,43 m FRATURA HORIZONTAL SEGUNDO A FOLIAÇÃO REGIONAL
	15,18	32,00	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM GRAU DE ALTERAÇÃO A1	
FURO PC-21	0,00	1,00	SOLO DE ALTERAÇÃO D GNAISSE	
	1,00	2,00	NIVEL DE ROCHA QUARTZO FELDSPÁTICA	
	2,00	3,50	SOLO DE ALTERAÇÃO DO GNAISSE	
	3,50	6,50	ROCHA QUARTZO FELDSPATICA FRAGEMETATA GRAU DE ALETRAÇÃO A1/A2	
	6,50	21,50	GRANADA BIOTITA GNAISSE	DE 6,50 A 12,50 m APRESENTA GRAU DE ALTERAÇÃO A1/A2
				EM 18,80 m FRATURA NO GNAISSE COM 40°
	21,50	22,52	NIVEL DE ROCHA QUARTZO FELDSPÁTICA	EM 21,40 m FRATURA NO GNAISSE COM 30°
	22,52	26,00	CALCISSILICÁTICO	
	26,00	26,50	NIVEL DE ROCHA QUARTZO FELDSPÁTICA COM GRAU DE ALTERAÇÃO A1/A2	
	26,50	30,00	GRANADA BIOTITA GNAISSE COM GRAU DE ALTERAÇÃO A1	EM 27,67 M FRATURA NO GNAISSE COM 20° COM PAREDE ALTERADA
FURO PC-22	0,00	3,00	SOLO DE ALTERAÇÃO DE ROCHA QUARTZO FELDSPÁTICA	
	3,00	4,50	SOLO DE ALTERAÇÃO DO GNAISSE	
	4,50	12,50	ROCHA QUARTZO FELDSPÁTICA FRAGMENTADA COM NIVEL INDIVISO DE BIOTITA GNAISSE	
	12,5	38,82	BIOTITA GNAISSE COM NIVEIS INDIVIOS DE ROCHAS CALCILICATILACA E QUARTZO FELDSPATICA	PREDOMINA AS FRATURAS NO GNAISSE, ORIENTADAS SEGUNDO O PLANO DE FOLIAÇÃO DE 60° COM GRAU DE ALTERAÇÃO A1 E LOCALMENTE A2 COM PEQUENOS TRECHOS FRAGMENTADOS

Sondagens de Reconhecimento descritos pela INB				
	PROF. INICIAL	PROF. FINAL	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	DADOS ESTRUTURAIS
				12,50 A 12,65 m TRECHO FRAGMENTADO A1/A2 COM FRATURA ABERTA ALTERADA E OXIADADA
				EM 20,97 m FOLICAOA DE 60 GRAUS NO GNAISSE
				DE 22,22 A 22,36 m TRECHO FRAGMENTADO DE GNASSE A1
				EM 22,32 m FOLICAOA DE 60 GRAUS NO GNAISSE
				DE 26,95 A 27,30 m TRECHO FRAGMENTADO DE GNAISSE A1
	38,82	39,00	ROCHA QUARTZO FELDSPÁTICA FRAGMETADO E COM OXIDAÇÃO	
	39,00	41,00	BIOTITA GNAISSE COM NIVEIS INDIVIOS DE ROCHAS CALCILICATILACA E QUARTZO FELDSPATICA	

Fonte: INB, 2022.

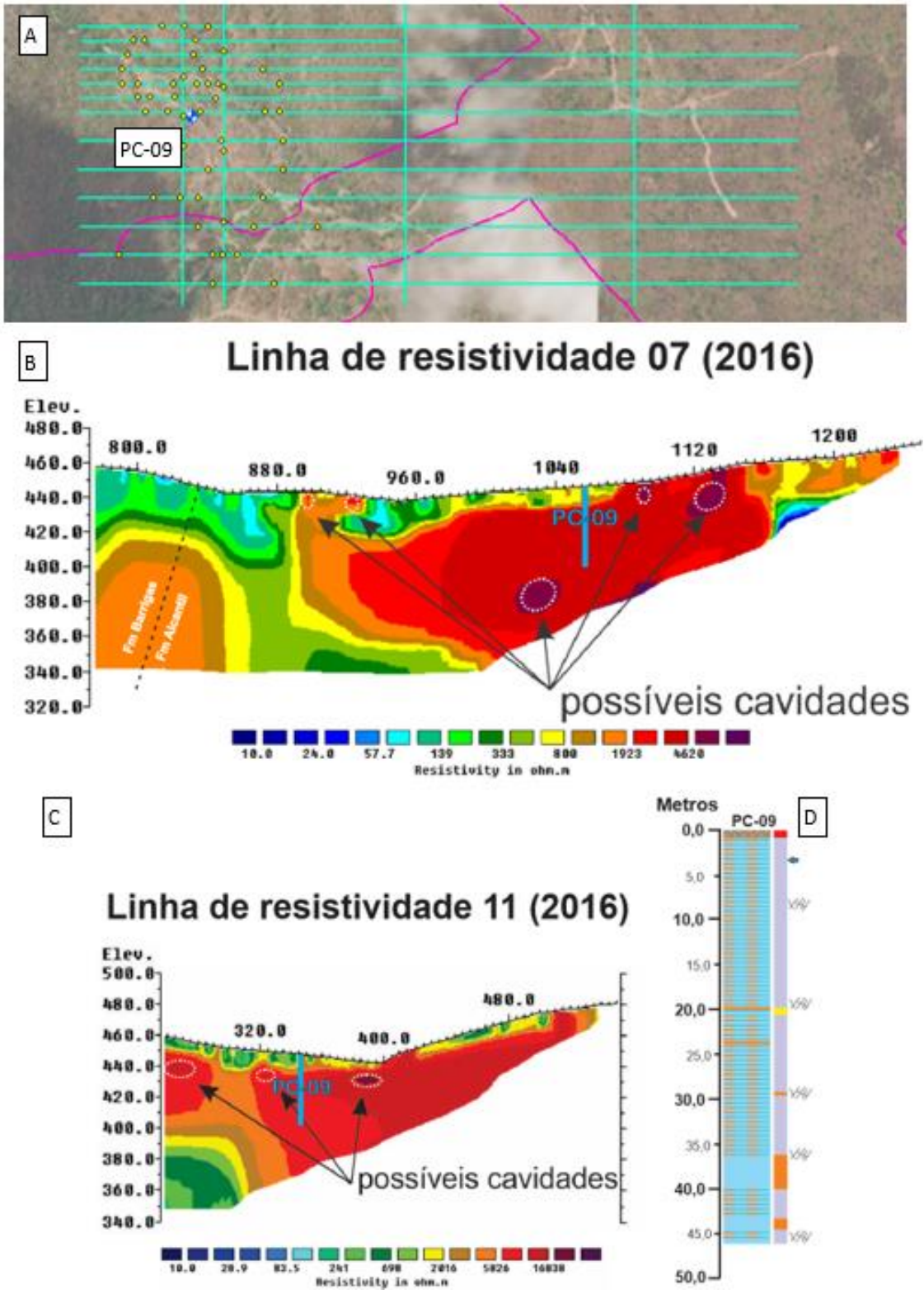


Figura 11.1-124: A - Cruzamento de dados geofísicos e sondagens de reconhecimento de 2022. B e C – Linhas de resistividade com a localização da sondagem de reconhecimento. D – Sondagem de reconhecimento D.

Fonte: Signal (2016), GeoHidro e INB (2022), elaborado por BTBExplorers (2023).

Através da integração dos dados de sondagens e geofísicos, é possivel compreender de forma mais concreta o comportamento das litologias em profundidades subsuperficiais (algumas sondagens ultrapassam os 60 metros). Vale ressaltar, que nos perfis retirados das sondagens de reconhecimento, é identificado diversas camadas com alteração A2/A3 (descritos no item 11.1.6 Geotecnia) logo após espessos estratos de camadas de rocha sã, indicando que fraturas e outras descontinuidades (como foliação ou contatos litológicos) auxiliam na percolação de água, essencial para a alteração química das rochas, em camadas mais profundas.

As rochas de forma geral apresentam fraturas abertas e preenchidas em diferentes cotas, que junto as camadas de rocha alterada podem indicar perfis de resistividades divergente do padrão litológico sã, podendo gerar anomalias geofísicas durante os levantamentos.

Novas sondagens serão realizadas durante a etapa de instalação do empreendimento com o intuído específico de identificar essas áreas e pesquisar sobre essas possíveis cavidades, mas até o atual momento o estudo considera satisfatório os dados para a interpretação geológica.

11.1.7.3.3 Geologia Local

Com base nos materiais disponibilizados até o início da elaboração deste capítulo (novembro de 2023), foi realizado um trabalho de integração das folhas geológicas para o recorte da área de estudo. As folhas apresentam diferentes agrupamentos de unidades e sequências litoestratigráficas. Esta diferença entre as unidades está relacionada a diferentes subdivisões do Complexo Ceará apresentadas nas três cartas. Soma-se a isto o fato de que tanto a Folha Taperuaba como a Folha Itatira, não detalham as unidades do Complexo Tamboril – Santa Quitéria a Oeste da Falha do Rio Groaíras.

Desta forma, para as unidades do Complexo Ceará, situadas a Leste da Falha do Rio Groaíras, foi adotada a divisão das unidades apresentada no trabalho mais recente, no caso a Folha Taperuaba (CPRM, 2014), enquanto para as unidades do Complexo Tamboril-Santa Quitéria, foi adotada a divisão das unidades apresenta pela Folha Quixadá (CPRM, 2007).

A integração foi realizada em ambiente SIG, onde os limites das unidades foram editados segundo o Modelo Digital de Elevação (MDE) e o mapa geofísico da composição ternária RGB (Figura 11.1-125).

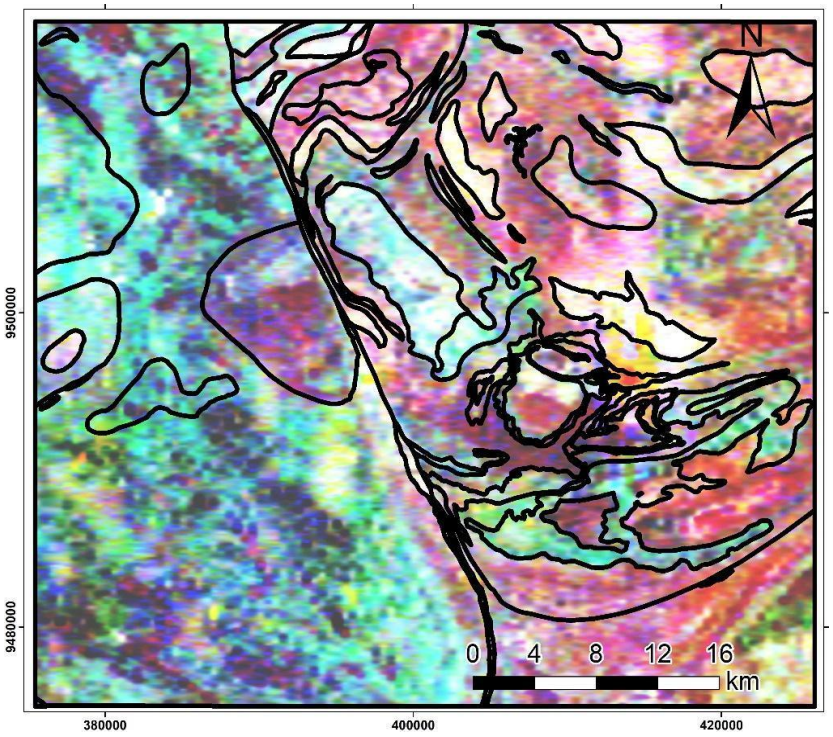


Figura 11.1-125: Contatos resultantes da integração das Folhas Geológicas Quixadá, Taperuaba e Itatira sobrepostos ao mapa da composição ternária RGB.

Elaboração: BTB Explorers, 2020.

Como parâmetro de verificação, foram utilizados os pontos levantados em campo, adicionados os pontos de afloramentos da Folha Quixadá. Desta forma, foi verificada a correspondência dos dados geológicos (Folhas geológicas e pontos de afloramento) com os dados de Sensoriamento remoto (Aerogeofísica e MDE) e a partir disso foram definidos os limites entre as unidades que compuseram o mapa geológico final.

Com relação às estruturas, foram utilizadas para esta abordagem inicial as estruturas da Folha Quixadá, complementadas dos lineamentos magnéticos obtidos por meio da análise qualitativa, mais especificamente o mapa ISA.

A principal estrutura presente é a Falha do Groaíras, circunscrita aos limites do rio homônimo e com cerca de 150 km de extensão. Esta falha transcorrente, de direção NW-SE (~N30°W) de caráter sinistral, corresponde, regionalmente, ao limite do Bloco Tectônico do Itataia (Mendonça et al., 1982) e localmente secciona a AII em duas porções representadas por duas grandes unidades litoestratigráficas distintas, o Complexo Tamboril Santa-Quitéria, a oeste, e o Complexo Ceará, a leste.

Para confecção do mapa geológico para a AID e ADA e detalhamento das unidades aflorantes, também foi realizada a compilação de dados primários e dados secundários,

resumidos na Figura 11.1-126. A junção desses dados permitiu a confecção do mapa geológico da AID/ADA (Mapa 11.1-18).

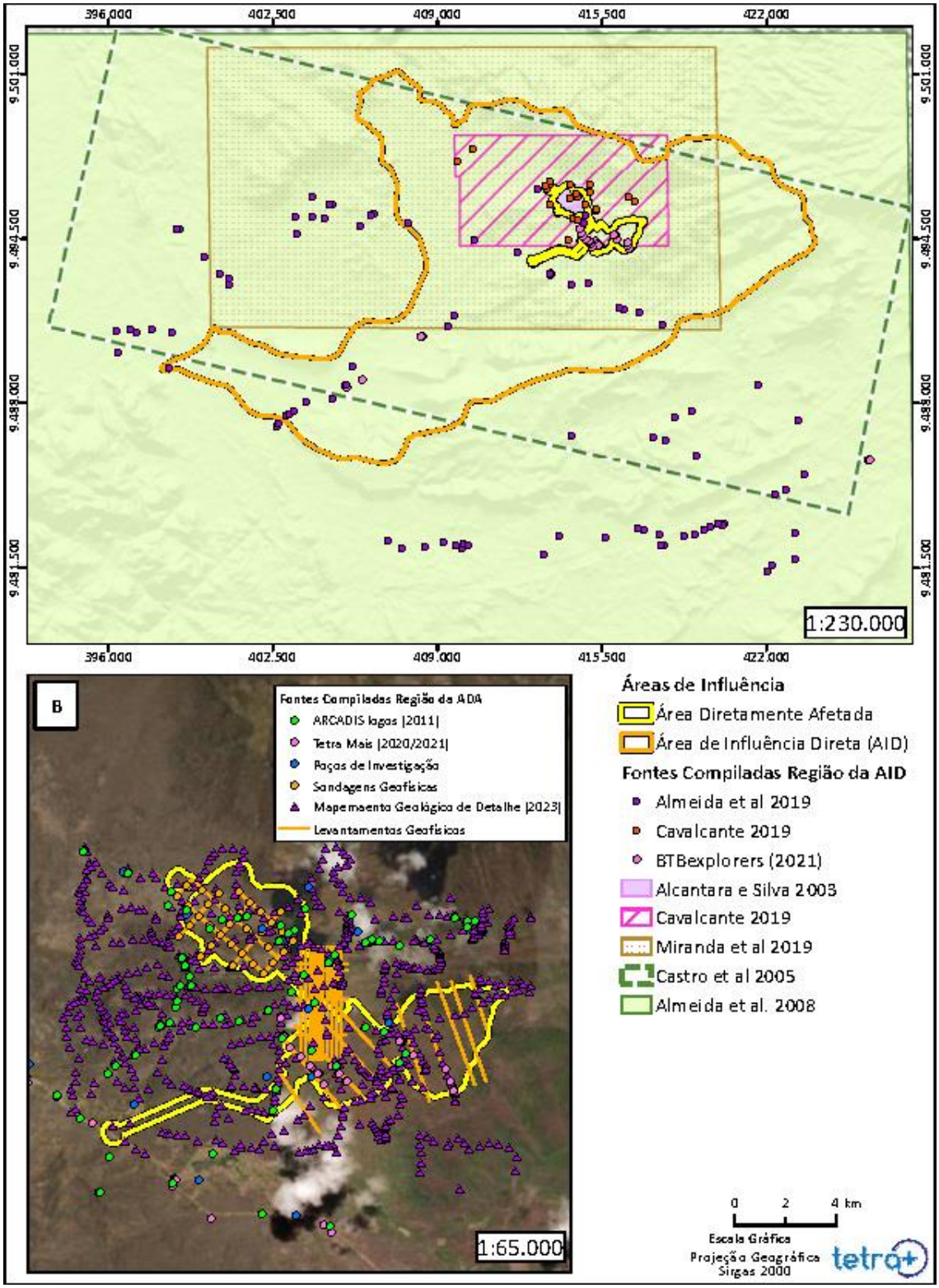


Figura 11.1-126: Fontes de dados compiladas confecção do mapa geológico - (A) Principais fontes na região da AID. (B) Principais fontes na região da ADA.

Elaboração: Tetra Mais, 2023, adaptado de BTB Explorers (2021).

Assim como apontado por Martins (2000), as coberturas meso-neoproterozóicas do Domínio Ceará Central já receberam as denominações de Grupo Ceará, Grupo Itataia e Grupo/Complexo Independência. Algumas dessas divisões tem conotações apenas cartográficas, mesmo que de forma geral, caracterizassem sequências metapsamíticas-pelíticas-carbonáticas (Castro et al., 2005; Almeida et al., 2008).

Dentro da classificação proposta por Almeida et al. (2008), a Unidade Independência, que aflora na maior parte da AID e ADA, foi subdividida nas Subunidades São José dos Guerras (base), Lázaro, Guia e Itatira (topo), baseado em critérios estruturais, metamórficos, litológicos e de descontinuidade espacial.

Entretanto, também é usada uma classificação litoestratigráfica proposta para a região, a denominação de Grupo Itataia (Mendonça et al., 1982), dividido nas Formações Serra do Céu (base), Laranjeiras, Barrigas e Alcantil (topo). Vale ressaltar que essa é uma divisão local, que leva em conta apenas a área de estudo e separa as Formações de forma litoestratigráfica, levando em conta um dobramento polifásico transamazônico dessa cobertura proterozóica. Geograficamente, ambas as classificações podem ser correlacionadas da seguinte forma (Quadro 11.1.7-7).

Quadro 11.1.7-7: Correlações entre as diferentes classificações geológicas

<table>
<tr><th colspan="2">MENDONÇA ET AL. (1982)</th><th>ALMEIDA ET AL. (2008)</th><th>CPRM (2007)</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Grupo Itataia</td><td>Fm. Alcantil</td><td>Subunidade Guia</td><td rowspan="4">Complexo Ceará</td></tr>
<tr><td>Fm. Barrigas</td><td rowspan="3">Subunidade Itatira</td></tr>
<tr><td>Fm. Laranjeiras</td></tr>
<tr><td>Fm. Serra do Céu</td></tr>
</table>

Elaboração: BTB Explores, 2021.

No presente estudo foi adotada a divisão litoestratigráfica proposta por Mendonça et al (1982), a qual apesar de não levar em conta eventos estruturais existentes na região (pois correlaciona as Formações estratigraficamente), permite uma maior subdivisão da área.

405.000

420.000

9.500.000

9.485.000

Unidades Geológicas

Quaternário — *Aluviões e terraços aluviais e fluviais essencialmente arenosos*

Jurássico — Diques Básicos

Paleozóico — *Colofanito do tipo maciço (m), em níveis contínuos, preenchendo fraturas e cavidades; e do tipo disseminado formando zonas de "stockwork" (stw), onde indicados*

Diques Pegmatíticos

Proterozóico inferior - Grupo Itataia

- Formação Alcantil — *Calcários cristalinos (mármores) puros e impuros, rochas calcossilicáticas e tactitos*
- Formação Barrigas — *Predominância de biotita-sillimanita gnaisse, localmente cloritizado e migmatizados*
- Formação Laranjeiras — *Quartzitos puros e micáceos, localmente ferríferos, com algum feldspato e sillimanita*
- Formação Serra do Céu — *Migmatitos dominantes: gnaisses feldspatizados, biotita-sillimanita granada gnaisses migmatizados, anfibólio gnaisses, e metarcóseos*

Proterozóico Médio - Complexo Tamboril

- Migmatitos heterogêneos — *Metatexitos dominantes com estruturas flebíticas, estromáticas e dobradas*

Canindé

Santa Quitéria

Itatira

A

A'

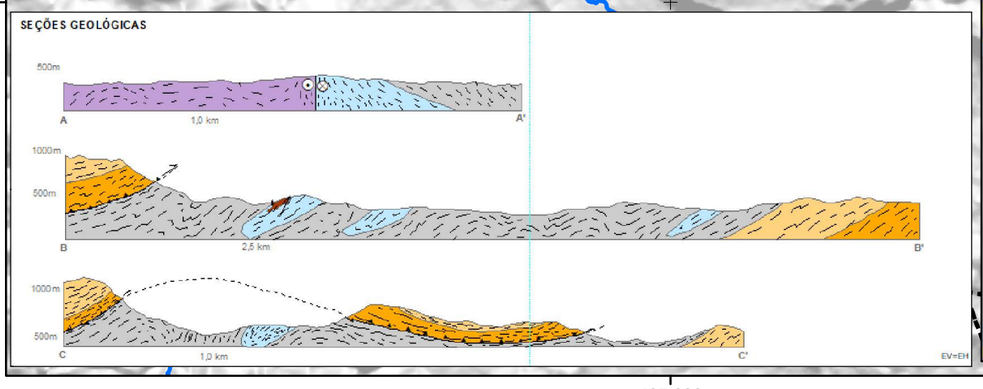
B

B'

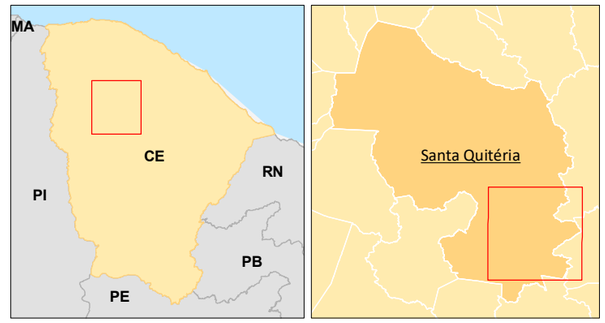
C

C'

SEÇÕES GEOLÓGICAS



Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional

- Limite Municipal

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)

Hidrografia

- Cursos d'água
- Rio Groaíras

Estruturas_Geológicas

- Dobra antiformal
- Dobra sinformal
- Falha de empurrão
- Falha normal
- Falha transcorrente destral
- Falha transcorrente sinistral
- Falhas Indiscriminadas
- Falha e/ou zona de cisalhamento
- Lineamento estrutural
- Zona de Cisalhamento Contracional
- Foliações

Fonte:
BTB Explorers, 2021. Mapa Geológico.
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:115.000
0 2 4 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

CONSÓRCIO Santa Quitéria

tetra+

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Geologia da AID/ADA

Formato	Escala	Folha
A3	1:115.000	Única

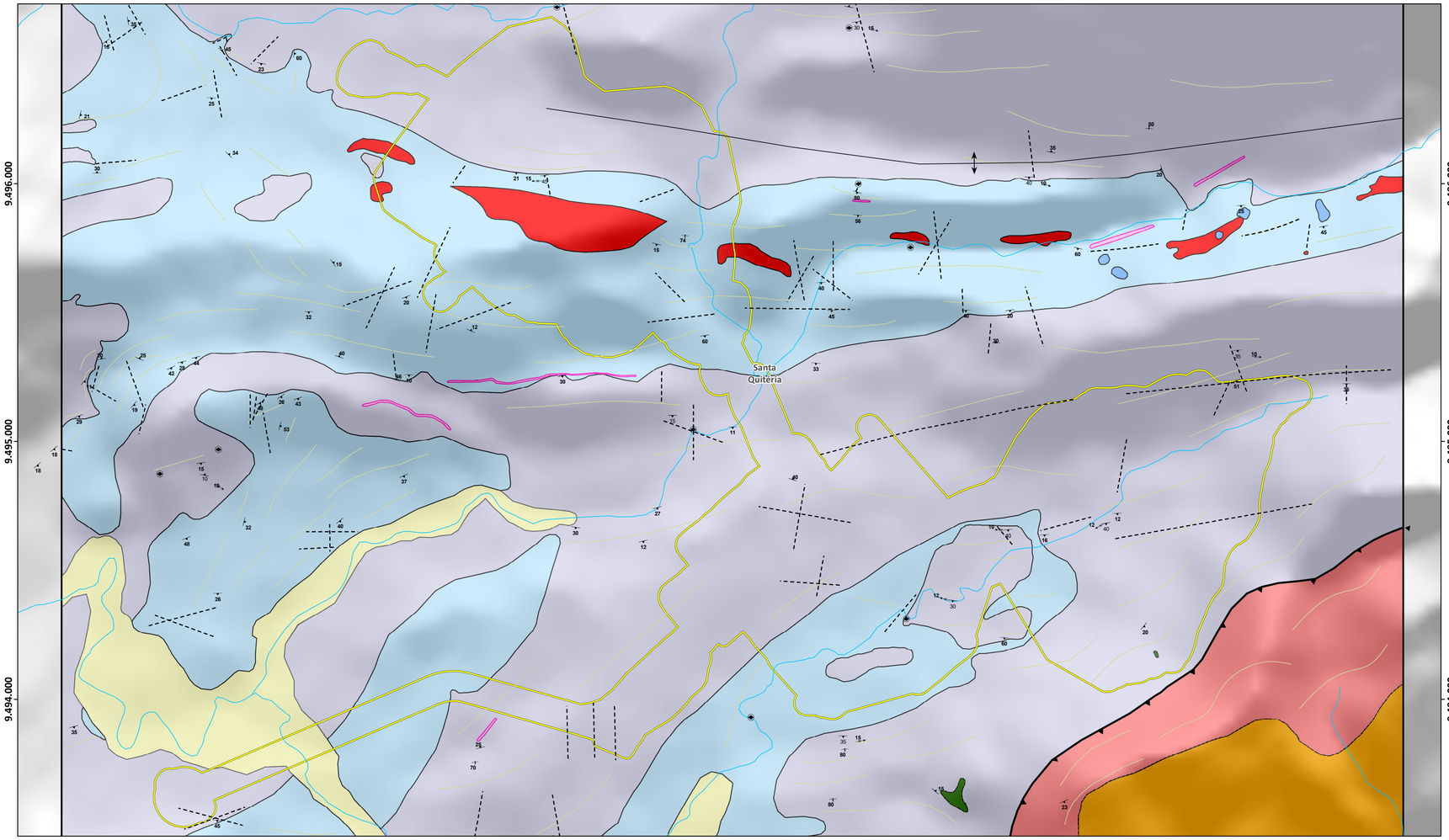
Data	Localização
30/10/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

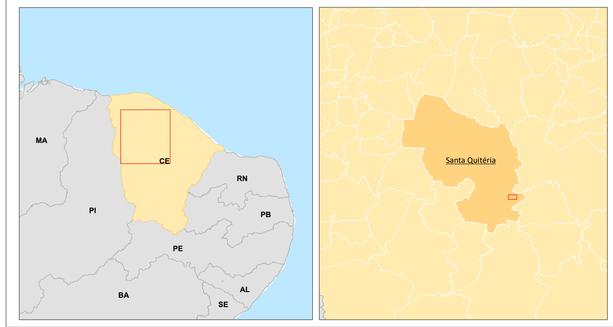
11.1.7.3.4 Mapeamento Geológico de Detalhe

Com o objetivo de obter um melhor detalhamento acerca da geologia local do PSQ, após a 5ª campanha de campo, foi realizada pela Geohidro em 2022 entre os dias 18 de maio a 01 de abril de 2023, um mapeamento geológico de detalhe e então gerado o mapa geológico (Mapa 11.1-19), em escala de 1:10:000.

O mapa da área do futuro complexo industrial, engloba as litologias pertencentes às Formações Barrigas, Alcantil, Serra do Céu e Laranjeiras, e o mapa da área da pista de pouso e seu entorno, apenas a Formação Barrigas.



Macrolocalização



Legenda

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)

Hidrografia

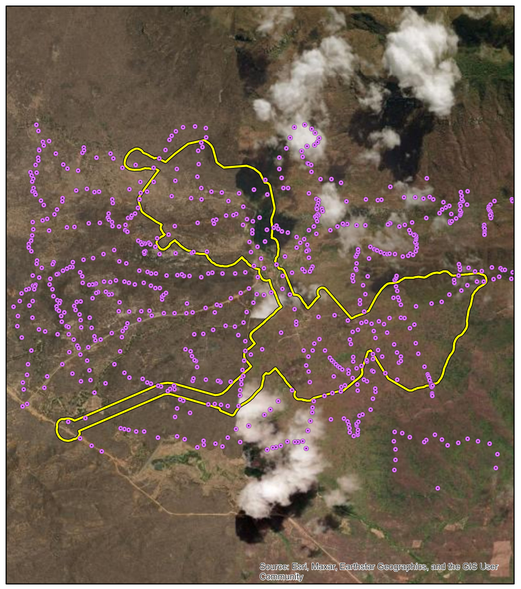
- Cursos d'água

Estruturas Geológicas

- Foliação
- Foliação Horizontal
- Lineação Mineral
- Traços da Foliação
- Fraturas
- Antiforme
- Cavalgamento
- Contato Definido
- Contato Aproximado

Eons	Formação /Litologia	Unidades Mapeadas	Litologias	Descrição Composicional em Campo	Descrição Estrutura em campo
Cenozoico	Sedimentos	Cobertura Cenozoicas	Sedimentos inconsolidados e aluviões	**Argila + Silte + Areia ± Cascalhos**	Maciça
	Carstificação	Tufas Calcárias	Tufas Calcárias/calcretes	Calcita	Crostiforme
Cambro - Ordoviciano	Colofanito	Colofanito	Minerio de fosfato e urânio	Calcita + Colofana ± Biotita ± Grafita	Stockwork e Sacaroidal
Neoproterozóico Clico Brasiliano	Pegmatitos /Veios	Pegmatoides	Veios de Quartzo	Quartzo	Maciça
			Pegmatito	Feldspatos + Quartzo	Maciça
	Alcantil	Metacarbonáticas	Mármore Impuro	Calcita ± Biotita ± Grafita	Maciça e Bandada
			Mármore Dolomitico	Dolomita + Calcita	Maciça
			Mármore	Dolomita + Calcita + Anfibólio ± Piroxênio	Fibro-radial
			Calcissilicática	Calcita	Maciça e Bandada
		Anfibolito	Anfibolito e Granada Anfibolito	Anfibólio + Plagioclásio + Granada ± Piroxênio	Bandada
Paleoproterozóico Ciclo Transamazônico	Barrigas	Gnaisse Aluminossos	Granda-Biotita Gnaisse	Feldspatos + Biotita + Quartzo + Granada	Gnáissica
			Silimanita-Granada-Biotita Gnaisse	Feldspatos + Biotita + Quartzo + Granada + Silimanita ± Muscovita	Gnáissica
			Gnaisse Migmatizado	Feldspatos + Biotita + Quartzo ± Muscovita	Gnáissica
			Xisto	Micas + Feldspatos + Quartzo	Xistosa
			Biotita-Muscovita Xisto	Muscovita + Biotita + Feldspatos + Quartzo	Xistosa
			Muscovita Xisto	Muscovita + Feldspatos + Quartzo	Xistosa
	Laranjeiras	Quartzitos	Muscovita Quartzito	Quartzo + Muscovita	Maciça
			Quartizito	Quartzo ± Feldspato	Maciça
	Serra do Céu	Migmatitos	Migmatito, Metatexitos e Gnaisses Migmatizados	Feldspatos + Biotita + Quartzo + Anfibólio	Estromática

Pontos Mapeados



Fonte:
BTB Explorers, 2023. Mapeamento Geológico.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:32.000
0 0,5 1 km

Escala Gráfica **Norte do Mapa**

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria — tetra+

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Mapa Geólogico de Detalhe - Itataia

Formato	Escala	Folha
A1	1:10.000	Única

Data	Localização
21/11/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

O mapeamento da área onde está prevista a implantação do complexo industrial, foi divido em três etapas distintas:

a) **Primeira Etapa:** Iniciou no dia 18 de maio de 2023 e se estendeu até o dia 20 de maio de 2023 e teve por objetivo principal o reconhecimento das condições de acesso, topografia, tipo e densidade de vegetação nas diversas partes e associá-las aos aspectos geomorfológicos diferentes que se encontram na área. Durante esta campanha foram descritos 66 afloramentos

b) **Segunda Etapa:** Iniciou no dia 26 de maio de 2023 e finalizou em 03 de junho de 2023. Teve como objetivo dar continuidade às descrições dos afloramentos rochosos iniciadas na primeira campanha. Durante esta campanha foram descritos 480 afloramentos.

c) **Terceira Etapa:** Iniciou no dia 29 de junho e foi até primeiro de julho de 2023. Teve como objetivo principal a realização de perfis para descrição de afloramentos rochosos nas partes onde a densidade de pontos descritos estava abaixo do requerido. Durante esta campanha foram descritos 177 afloramentos.

Ao longo das três etapas dessa 5ª campanha de campo, foram descritos 746 afloramentos ao todo.

Da área mapeada, a Formação Barrigas representa 56,33 % do total, enquanto na ADA esse valor chega a 66,91%, formado principalmente por Paragnaisses aluminosos (Feldspatos + Biotita + Quartzo + Granada + Silimanita ± Muscovita), Anfibolitos (Anfibólio + Plagioclásio + Granada ± Piroxênio) e Pegmatoides (Feldspatos + Quartzo). Já a Formação Alcantil tem 31,37%, enquanto na ADA seu valor é de 31,72%, com os principais representantes litológicos sendo os Mármores, Mármores Dolomíticos, Mármores Impuros e Calcissilicática (Calcita + Dolomita + Anfibólio ± Piroxênio ± Biotita ± Grafita).

As Formações Serra do Céu e Laranjeiras representam 3,79% e 3,22% respectivamente, ambas as unidades não estão inseridas na ADA. Suas litologias são representadas principalmente por Quartzitos (Quartzo ± Feldspato) e Muscovita Quartzitos (Quartzo + Muscovita) na Fm. Laranjeiras, e Migmatito, Metatexitos e Gnaisses Migmatizados (Feldspatos + Biotita + Quartzo + Anfibólio) na Fm. Serra do Céu. Por fim, os sedimentos cenozoicos estão concentrados na região sudoeste, próximo aos rios e vales, sua área representa 3,94% e na ADA apenas 0,99%. Cada litologia mapeada e composta por uma série de características descritas a seguir:

- Paragnaisse: Formados pelo metamorfismo de rochas sedimentares, ricos em quartzo e com volume superior a 20% de feldspatos. Por sua origem sedimentar é comumente associado à granada, cordierita, cianita ou silimanita, devido à grande concentração de argilo-minerais, quartzo e arcóseos em sua composição original. Comumente, ocorrem com bandas mineralógicas claras e escuras paralelas ou dobradas. Na área mapeada ocorrem principalmente como Granada-Biotita Gnaisse e Granada-Silimanita-Biotita Gnaisse, podendo ocorrer migmatização e veios de feldspatos e/ou quartzo.

- Metacarbonática: Formado pelo metamorfismo de rochas sedimentares marinhas químicas e/ou bioquímicas (Calcários). Ocorrem na área mapeada, principalmente como mármore bandados com veios de quartzo-feldspaticos. Há ocorrência de colofana disseminada em vênulas e intercalada com outras rochas metamórficas (Paragnaisse/Calcissilicática principalmente). Por ser uma rocha dúctil, é comumente visto com dobras centimétricas a métricas, além de apresentar carstificação em algumas áreas.

- Tufo Calcário: Rochas calcárias esbranquiçadas originadas a partir da precipitação de calcários pela percolação de água subterrânea, principalmente em maciços carbonáticos e/ou ambiente fluvial. São rochas muito porosas que podem ocorrer junto a fosseis, conchas, plantas etc.

- Migmatito: Semelhante aos paragnaisses, os migmatitos apresentam duas partes petrográficas distintas visíveis, semelhantes as bandas claras e escuras. Porém, uma das bandas é de origem metamórfica (Paleossoma) e a outra da fusão parcial da rocha (Neossoma). O Neossoma pode ser dividido em Leucossoma (parte clara onde os minerais félsicos ficam concentrados) e Melanossoma (parte escura onde predominam os minerais máficos). Essa litologia é formada em ambientes de alta temperatura e pressão, como o caso da formação Serra do Céu.

- Quartzito: Rocha metamórfica de origem sedimentar clástica composto quase exclusivamente por quartzo, como o caso dos arenitos. Ocorrem na área mapeada exclusivamente na formação laranjeiras, como quartzitos impuros com feldspatos.

- Colofanito: Um tipo de fluoroapatita rico em Urânio, encontrado na área mapeada, principalmente disseminado, em stockwork ou em vênulas nas metacarbonáticas da Formação Alcantil.

- Pegmatitos: Rocha intrusiva, de composição similar ao granito, composto principalmente por quartzo e feldspatos de textura grossa. Sua origem pode normalmente é associado a líquidos em altas temperaturas, enriquecidos em elementos químicos que precipitam preenchendo fraturas abertas. Esse fenômeno ocorre comumente na fase final da cristalização de corpos ígneos.

- Anfibolito: Formado pelo metamorfismo de rochas ígneas máficas rica em anfibólio, normalmente de cor verde escuro podendo ocorrer bandado ou maciço. Na área mapeada, possivelmente sua origem é do metamorfismo de rocha piroclástica (paraderivada) ou rocha ortoderivada fundida (melassoma).

As litologias e formações da área mapeada estão resumidas no Quadro 11.1.7-8, e os afloramentos característicos apresentados no Quadro 11.1.7-9.

Quadro 11.1.7-8: Unidades litoestratigráficas mapeadas com seus respectivos litotipos, composição mineralógica, sedimentar e descrição das estruturas

Eons	Formação /Litologia	Unidades Mapeadas	Litologias	Descrição Composicional em Campo	Descrição Estrutura em campo
Cenozoico	Sedimentos	Cobertura Cenozoicas	Sedimentos inconsolidados e aluviões	**Argila + Silte + Areia ± Cascalhos**	Maciça
	Carstificação	Tufas Calcárias	Tufas Calcárias/calcretes	Calcita	Crostiforme
Cambro - Ordoviciano	Colofanito	Colofanito	Minerio de fosfato e urânio	Calcita + Colofana ± Biotita ± Grafita	Stockwork e Sacaroidal
Neoproterozoico Clico Brasiliano	Pegmatitos /Veios	Pegmatoides	Veios de Quartzo	Quartzo	Maciça
			Pegmatito	Feldspatos + Quartzo	Maciça
Paleoproterozoico Ciclo Transamazônico	Alcantil	Metacarbonáticas	Mármore Impuro	Calcita ± Biotita ± Grafita	Maciça e Bandada
			Mármore Dolomitico	Dolomita + Calcita	Maciça
			Mármore	Dolomita + Calcita + Anfibólio ± Piroxênio	Fibro-radial
			Calcissilicática	Calcita	Maciça e Bandada
	Barrigas	Anfibolito	Anfibolito e Granada Anfibolito	Anfibólio + Plagioclásio + Granada ± Piroxênio	Bandada
		Gnaisse Aluminossos	Granda-Biotita Gnaisse	Feldspatos + Biotita + Quartzo + Granada	Gnáissica
			Silimanita-Granada-Biotita Gnaisse	Feldspatos + Biotita + Quartzo + Granada + Silimanita ± Muscovita	Gnáissica
			Gnaisse Migmatizado	Feldspatos + Biotita + Quartzo ± Muscovita	Gnáissica
			Xisto	Micas + Feldspatos + Quartzo	Xistosa

Eons	Formação /Litologia	Unidades Mapeadas	Litologias	Descrição Composicional em Campo	Descrição Estrutura em campo
			Biotita-Muscovita Xisto	Muscovita + Biotita + Feldspatos + Quartzo	Xistosa
			Muscovita Xisto	Muscovita + Feldspatos + Quartzo	Xistosa
	Laranjeiras	Quartzitos	Muscovita Quartzito	Quartzo + Muscovita	Maciça
			Quartizito	Quartzo ± Feldspato	Maciça
	Serra do Céu	Migmatitos	Migmatito, Metatexitos e Gnaisses Migmatizados	Feldspatos + Biotita + Quartzo + Anfibólio	Estromática

Fonte: GeoHidro 2022.

Quadro 11.1.7-9: Principais litologias de cada unidade mapeada

Unidades Mapeada	Afloramento	Foto em campo
Paragnaisse	IM-18	Granada Silimanita Biotita Gnaisse
	IM-198	Granada Biotita Silimanta Gnaisse Fraturado

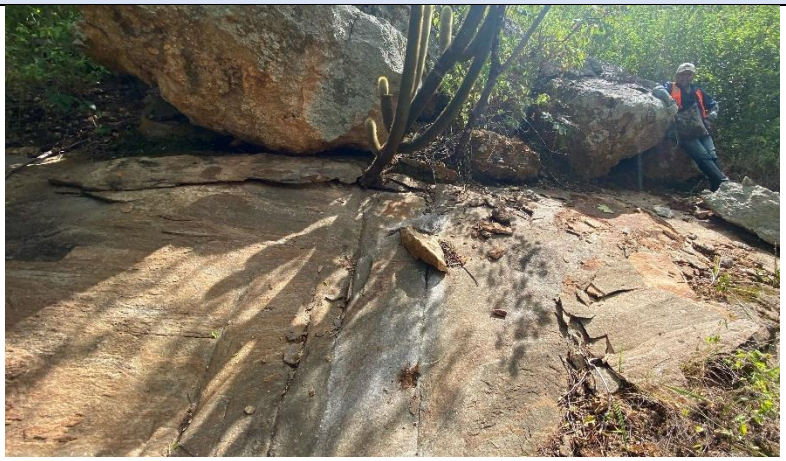
<table>
<tr><td rowspan="2"></td><td>IM-104</td><td>Formação Barrigas - Gnaisse Migmátitico
 </td></tr>
<tr><td rowspan="3">metacarbonáticas</td><td colspan="2">Formação Alcantil - Metacarbonato bandado e dobrado</td></tr>
<tr><td>IM-50</td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">Formação Alcaltil - Mármore com veios de quartzo e feldspatos, intenso processo de carstificação por dissolução do carbonato de calcio, zona intensamente fraturada</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2"></td><td>IM-116</td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">Formação Serra do Céu - Migmatitos</td></tr>
<tr><td>Migmatitos</td><td>IM-233</td><td> </td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2">Quartzitos</td><td colspan="2">Formação Laranjeiras - Quartzito, quartzito impuro contendo feldspato</td></tr>
<tr><td>IM-225</td><td> </td></tr>
<tr><td rowspan="3">Colofanito</td><td colspan="2">Colofanito</td></tr>
<tr><td>IM-108</td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">Formação Alcantil - Afloramento de mármore de cor branca-cinza. Nessa serra ocorre colofanito maciço e venulado (stockwork).</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2"></td><td>DC-110</td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">Formação Alcantil - Afloramento de Tufas Calcárias, material com alta porosidade e intenso processo de dissolução associado resultando na geração de cavernas.</td></tr>
<tr><td>Tufos Calcárias</td><td>DC-314</td><td> </td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="4">Anfibolito</td><td colspan="2">Formação Barrigas - Granada Anfibolito bandado</td></tr>
<tr><td>IM-256</td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">Formação Barrigas - Bloco centimétrico composta dominantemente por anfibólio fibro-radial (actinolita-tremolita).</td></tr>
<tr><td>DC-90</td><td> </td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2">Pegmatoides</td><td colspan="2">Blocos métricos, aproximadamente 15 m de extensão, de pegmatitos de quartzo feldspato, associado a afloramento de mármore</td></tr>
<tr><td>DC-214</td><td>  </td></tr>
</table>

Fonte: GeoHidro (2023) – Adaptado BTBExplorers (2023).

11.1.7.3.5 Geologia da Área da Jazida

Em relação à geologia da área da Jazida, os dados primários em formato de arquivos vetoriais do mapa geológico e seções geológicas de detalhe fornecidas pela INB e apresentados na Figura 11.1-127 e perfis geológicos (Figura 11.1-128 a Figura 11.1-132), elaborados com dados coletados entre 1979 e 2002, e com base nos dados de 250 sondagens de reconhecimento, atingindo profundidades superiores a 450 me, abaixo da cota 100m e complementados com dados do levantamento geofísico de 2002.

A Figura 11.1-127 apresenta o arcabouço geológico e a localização dos perfis geológicos em planta, que foram complementados pela Tetra Mais neste estudo, com as informações das cargas hidráulicas (Quadro 11.1.7-10) obtidas através de dados disponíveis no trabalho de Alcantara e Silva (2003), que utilizou esta mesma base de dados.

As ilustrações apresentadas da Figura 11.1-128 à Figura 11.1-132, mostram cinco perfis na área da jazida e da ADA, com a configuração do corpo de colofanito e demais litotipos, bem como os compartimentos e feições estruturais, os quais serão descritos nos capítulos seguintes de Litotipos e Estruturas.

As sondagens utilizadas para confecção dos perfis geológicos, que apresentaram medidas de nível d'água reportadas em Alcantara e Silva (2003), são apresentadas no Quadro 11.1.7-10 com as devidas cargas hidráulicas calculadas. A partir das cargas hidráulicas, foram traçados os níveis d'água com dados de 1979 a 2002, e inferidos com base em dados empíricos, estabelecidos através de critérios técnicos baseados na forma de relevo, conforme detalhadamente descrito no item 11.1.11.2.8 Mapa Potenciométrico, e no item

11.1.11 Hidrogeologia, onde se identifica que a superfície potenciométrico tende a acompanhar a superfície do relevo.

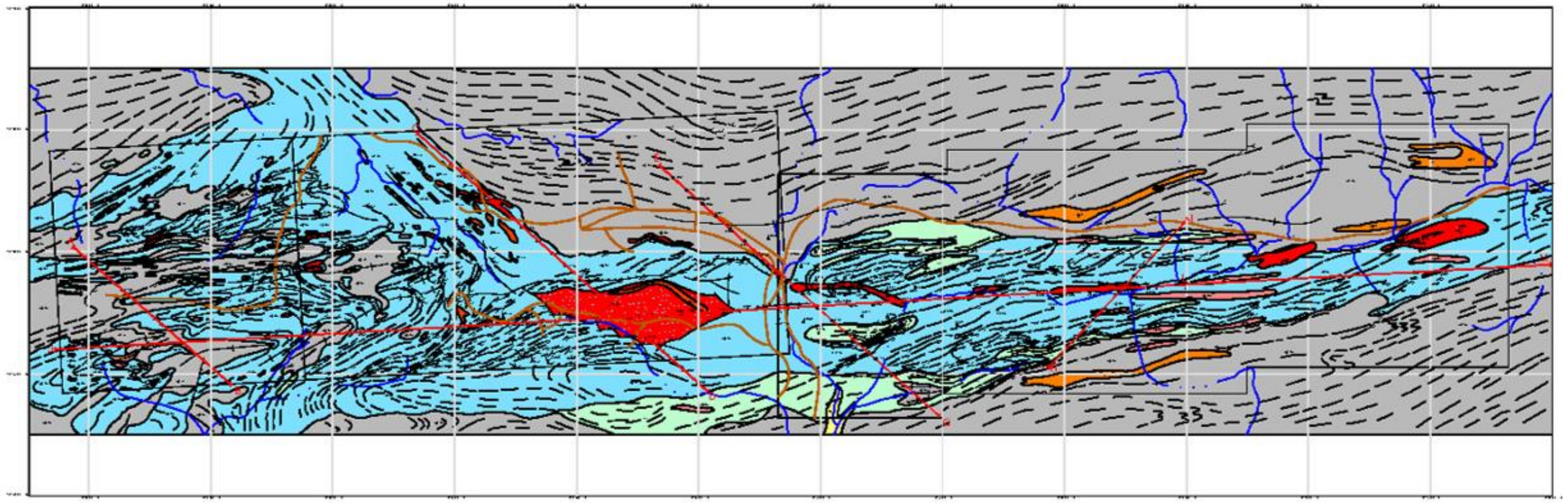


Figura 11.1-127: Arcabouço geológico e a localização dos perfis geológicos em planta.

Fonte INB, 2022.

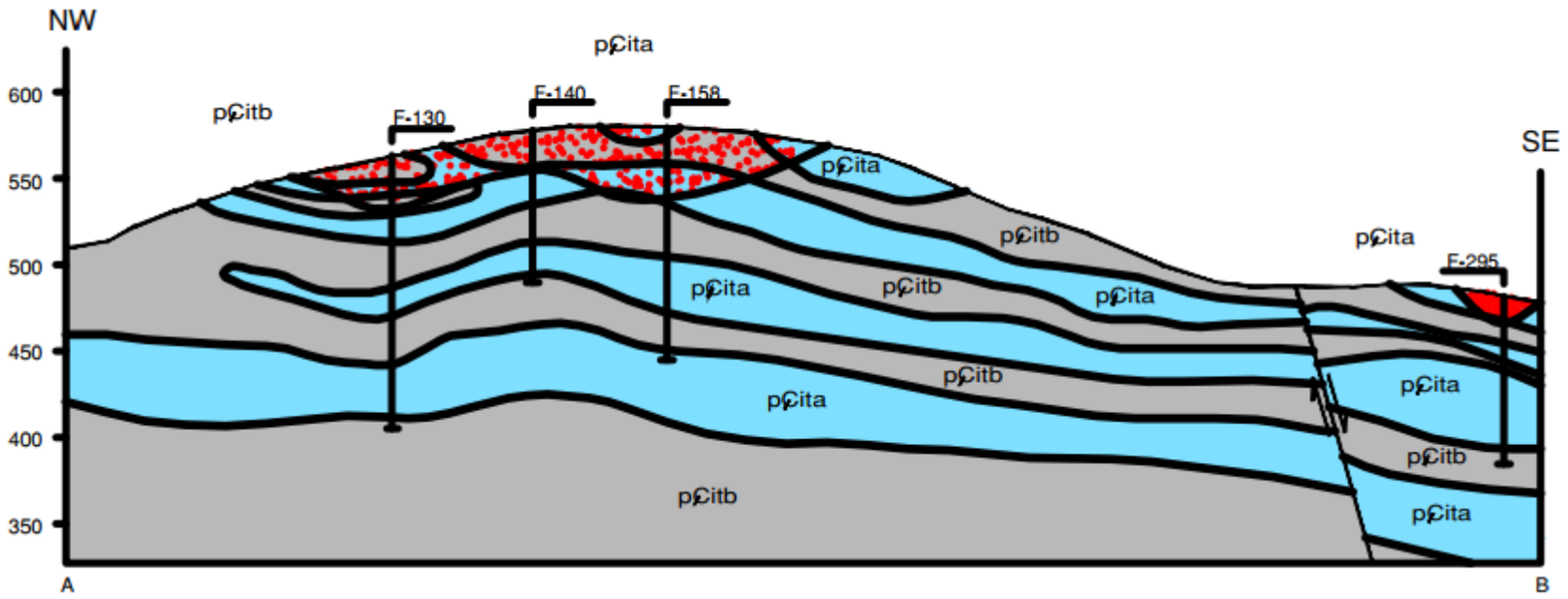


Figura 11.1-128: Perfil Geológico A – B: intercalações de Rochas da Formação Barrigas.

Elaboração: Tetra Mais 2021, adaptado de INB (2002).

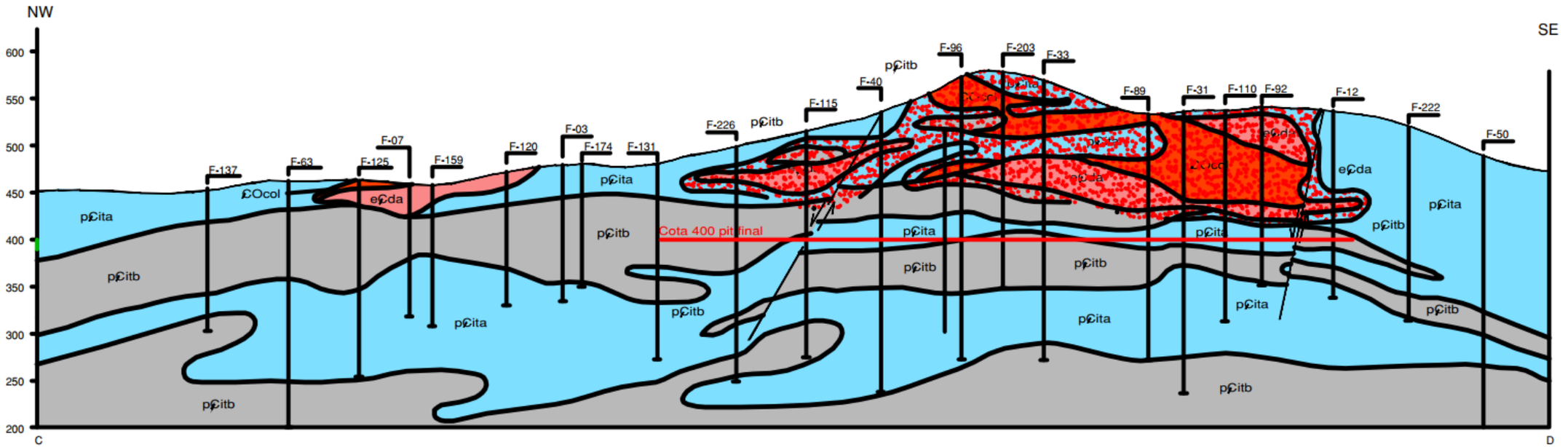


Figura 11.1-129: Perfil Geológico A – B: intercalações de Rochas da Formação Barrigas Perfil Geológico CD.

Elaboração Tetra Mais 2021, adaptado de INB.

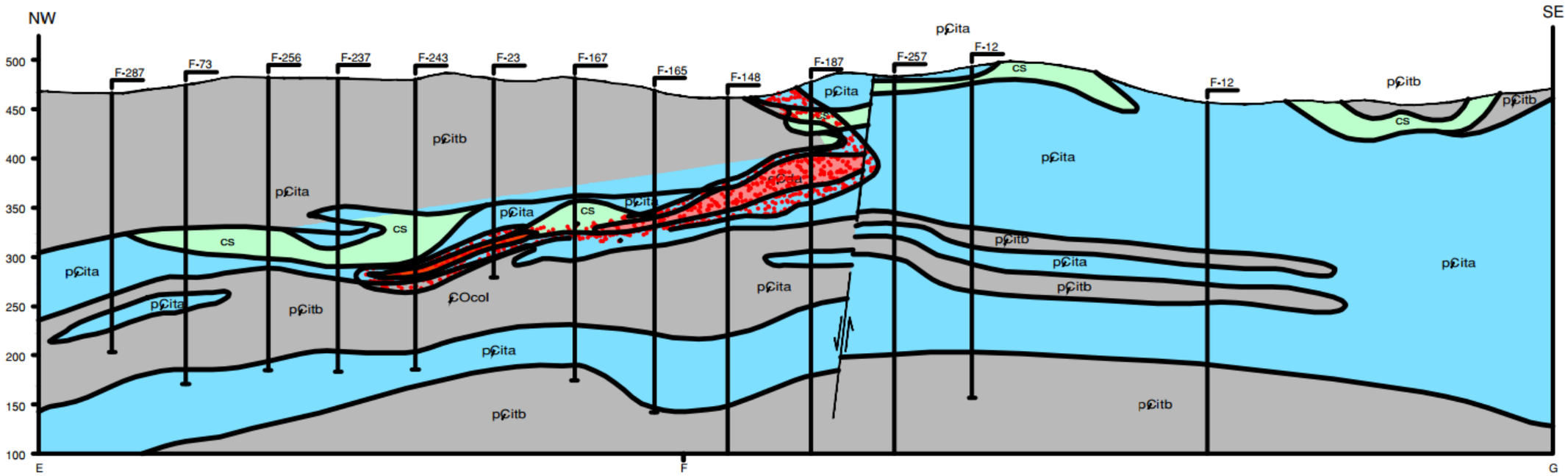


Figura 11.1-130: Perfil Geológico EFG.

Elaboração Tetra Mais 2021, adaptado de INB.

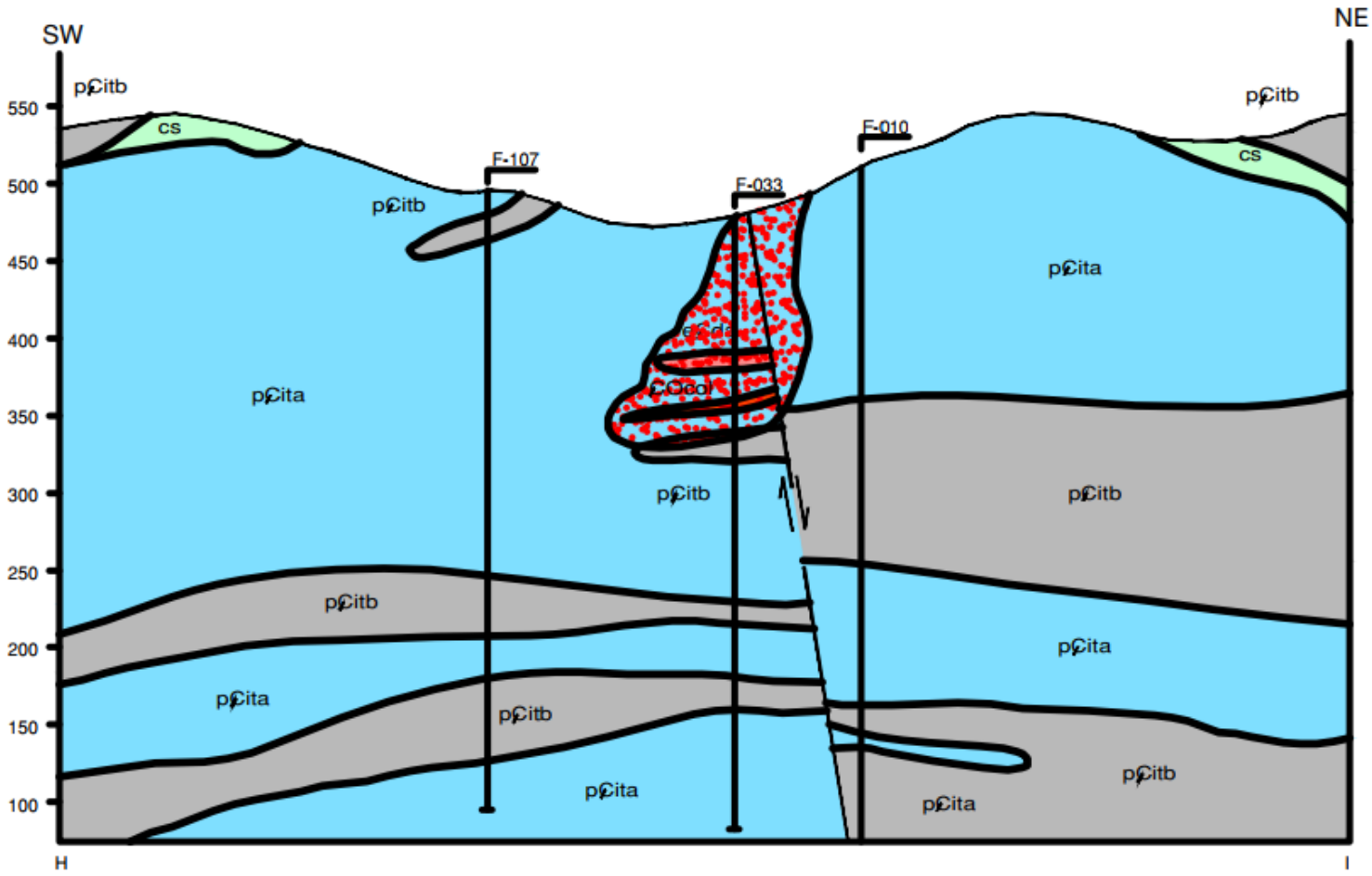


Figura 11.1-131: Perfil Geológico HI.

Elaboração Tetra Mais 2021, adaptado de INB.

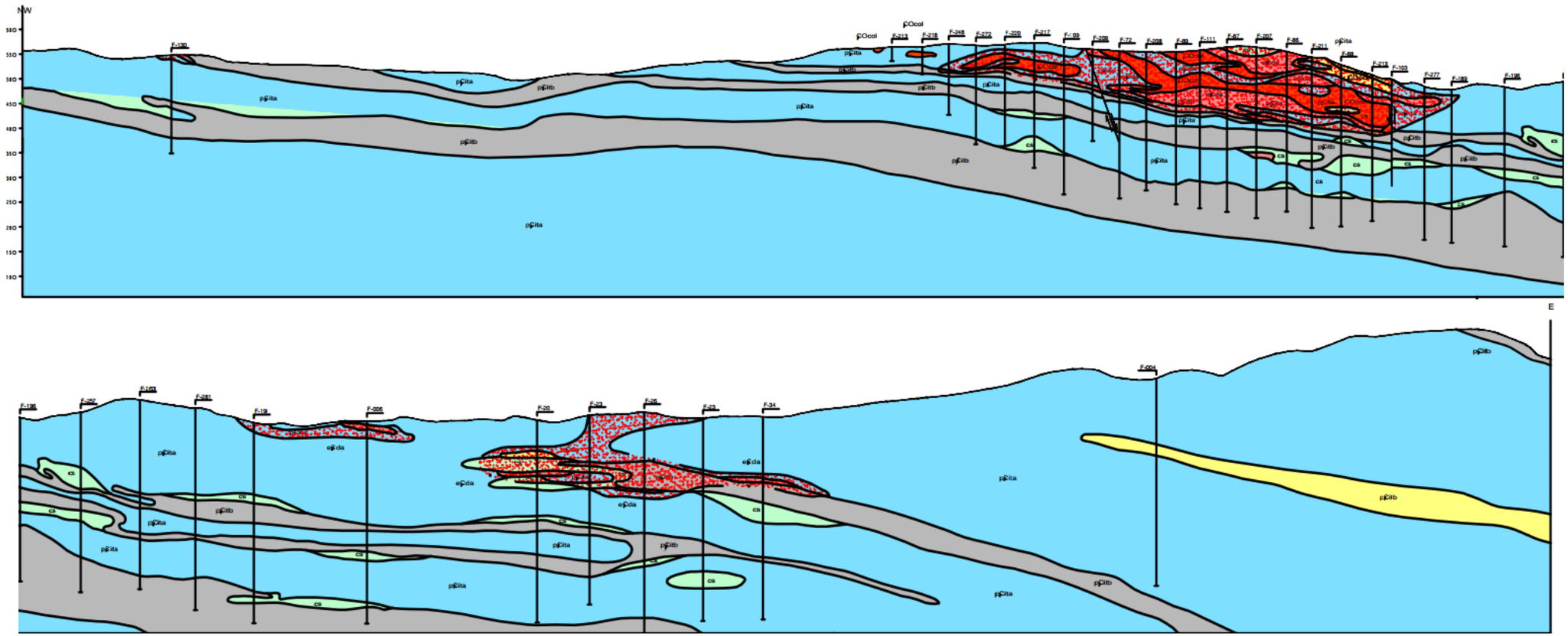


Figura 11.1-132: Perfil Geológico JKLM, devido ao tamanho o perfil foi divido em duas partes a partir do furo 196.

Elaboração Tetra Mais 2021, adaptado de INB.

Quadro 11.1.7-10: Sondagens e cargas hidráulicas calculadas na área da jazida por Alcantara e Silva (2003)

Perfil	Sondagem	Cota Sondagem	Cota N.A.	N.A.	Ano
A-B	130				
	140				
	158				
	295				
C-D	137				
	63			20	2002
	125				
	7				
	159			12	2002
	120				
	3				
	174			60	2002
	131				
	226			12	2002
	115				
	40				
	96				
	203	572,67	494,26	78,41	1987
	33			60	2002
	89				
	31			30	2002
	110	531,67	482,8	48,87	1987
	92				
	12				
	222	514,461	470,98	43,481	
	50			50	2002
E-F-G	287				
	73				
	256	475,085	454,2	20,885	1986
	237				
	243				
	23				
	167				
	165	465,7	456,66	9,04	1987
	148				
	187				
	257				
	12				
H-I	10				
	1				
	2				

Perfil	Sondagem	Cota Sondagem	Cota N.A.	N.A.	Ano
	3				
J-K-L-M	130				
	213				
	218				
	248				
	272				
	220				
	217				
	109				
	209				
	72				
	208				
	89				
	111				
	87				
	207				
	86				
	211				
	88			28	2002
	213				
	103			8	2002
	277				
	189				
	196				
	257				
	263				
	281				
	19				
	6			40	2002
	20				
	23				
	26				
	34				
	4				

Fonte: Alcantara e Silva (2003).

Com base nas informações disponíveis e as correlações das sondagens realizadas pela INB, apresentadas nos perfis geológicos (Figura 11.1-128 a Figura 11.1-132), com dados coletados entre 1979 e 2002, é observada uma heterogeneidade das Formações Alcantil e Barrigas, que se apresentam nos perfis de forma interdigitadas, com mergulhos de até 30 graus no perfil geológico AB (Figura 11.1-128) e espessuras que variam de cerca de 20 m até

maiores que 100 m. As espessuras e geometrias de ambas as unidades variam, mas foram apresentadas com mergulhos geralmente para Leste no perfil JKLM (Figura 11.1-132).

O minério de colofanito ocorre predominantemente associado à Formação Alcantil, sendo que quando esta ocorre de forma maciça, está principalmente associado a zonas de falhas normais e tem geometrias lenticulares e direções semelhantes às das rochas hospedeiras (Figura 11.1-132); e quando ocorre de forma dissipada está, ou próximo da superfície (Figura 11.1-131 e Figura 11.1-132) ou do minério maciço (Figura 11.1-129) e não possui geometria e rocha hospedeira bem definidas.

A caracterização mineralógica do minério da Jazida Itataia, realizada pelo Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LCTEPUSP, 2019), foi realizada com o objetivo de determinar a composição mineralógica das amostras por fração granulométrica, a forma de ocorrência e liberação da apatita e de outros minerais de interesse presentes, bem como a partição do fósforo e de outros elementos químicos entre os minerais portadores, de modo à obtenção dos parâmetros necessários para o desenvolvimento de processo. O laudo contendo a descrição completa desta Caracterização Mineralógica, é apresentado no Volume V – Anexo 11.1.7-5.

Esta caracterização foi realizada em uma amostra composta de minério de fosfato, com massa de 5,0 kg, com amostragem realizada pela equipe técnica da FOSNOR, utilizando seus próprios critérios para obtenção da amostra, e analisada através da homogeneização das amostras, cominuição em rolos, classificação granulométrica por peneiramento, separação mineral em líquido denso e separação magnética em separador Frantz, análises mineralógicas através da conjugação de difração de raios x, microscopia eletrônica de varredura acoplada e espectrômetro por dispersão de energia (EDS) e busca automatizada, por meio do software Mineral Liberation Analyser (MLA-FEI).

Os resultados da caracterização mineralógica realizada pelo LCT-EPUSP, indicam que a amostra proveniente do colofanito é composta principalmente por CaO (44,1%), P2O5 (11,2%) e SiO2 (11,1%). Secundariamente, apresenta Al2O3 (3,33%), Fe2O3 (2,49%), MgO (0,96%), e teores inferiores a 0,1% de CeO2, La2O3, Nd2O3, Pr2O3, Nb2O5, ZrO2, ThO2 e U3O8.

A composição mineralógica identificada por LCT-EPUSP em 2019, se refere a apatita (28%), calcita (53%), dolomita (0,3%), plagioclásio (7,1%), quartzo (3,2%), mica (3,3%), argilominerais (2,3%), piroxênio e anfibólio (1,1%), goethita (0,8%), e outros minerais como titanita, óxido de titânio, zircão, gibsita, óxido ne MnBa, barita e fase com urânio (0,9%).

A Figura 11.1-133, apresenta as características da associação mineral identificada por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

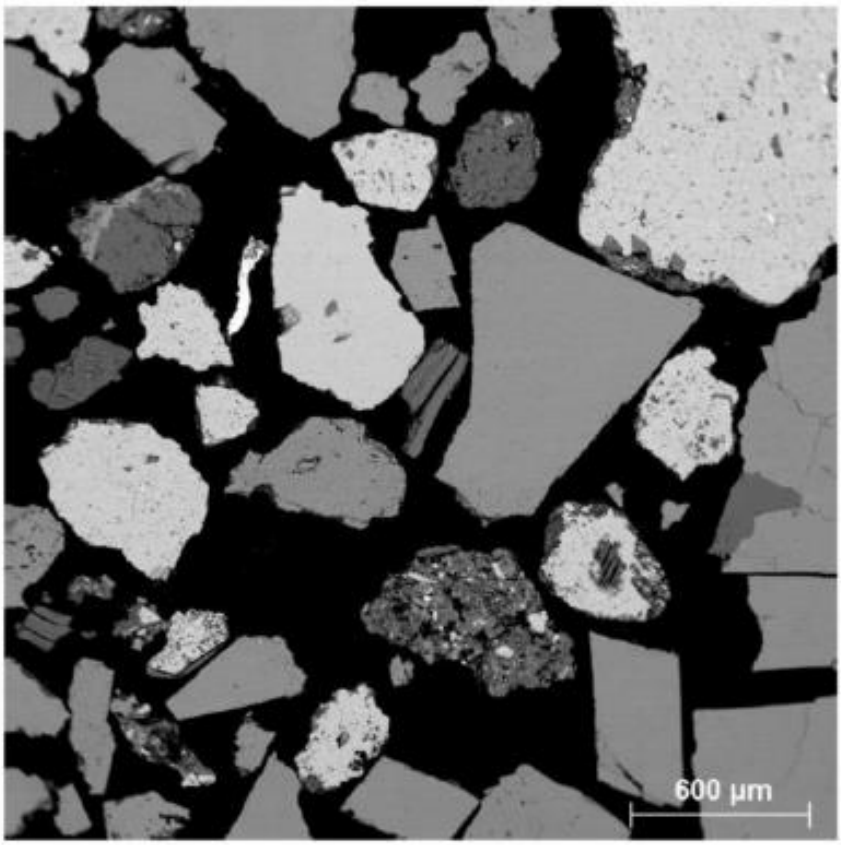


Figura 11.1-133: Amostra Santa Quitéria, tal qual. Características da associação mineral. Apatita (cinza claro), calcita (cinza médio) e plagioclásio (cinza escuro).

Fonte: LCT-EPUSP (2019).

A Figura 11.1-134 apresenta a imagem do processamento pelo sistema MEV/MLA, fração -0,6+0,3 mm, evidenciando a composição mineralógica e as características de associação dos minerais presentes na amostra de colofanito avaliada. A Figura 11.1-135 apresenta o difratograma da amostra tal qual, com a presença de apatita, calcita, quartzo, argilo mineral 12-15ª, mica e plagioclásio.

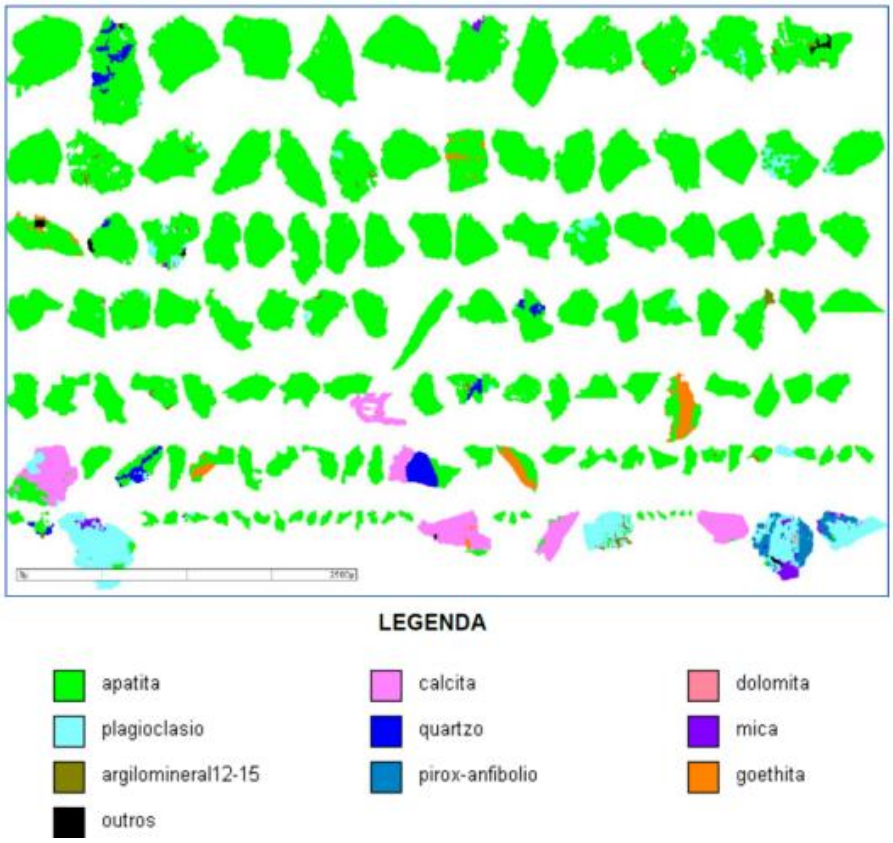


Figura 11.1-134: Imagem do processamento pelo sistema MEV/MLA, evidenciando a composição mineralógica e as características de associação dos minerais presentes.

Fonte: LCT-EPUSP (2019).

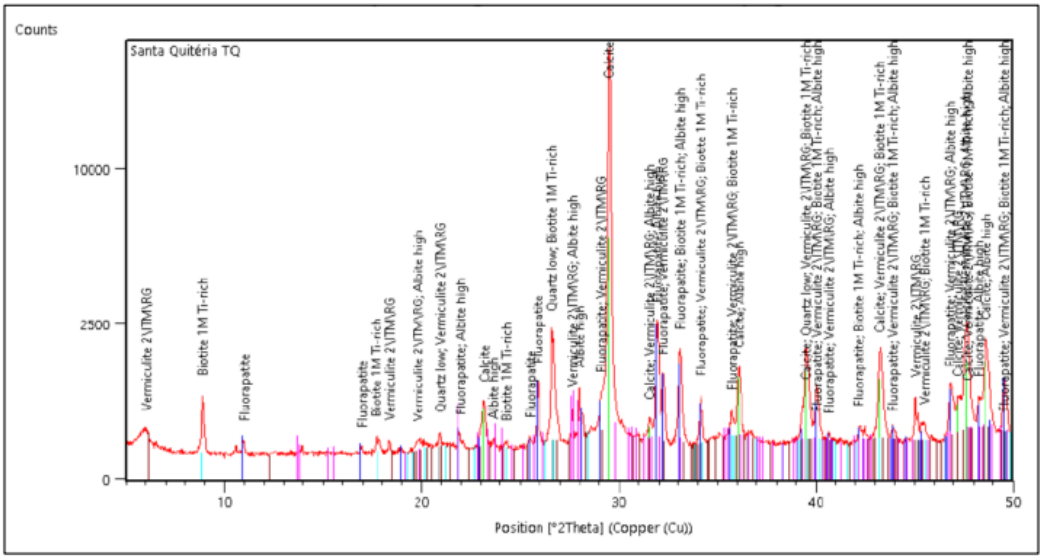


Figura 11.1-135: Imagem do processamento pelo sistema MEV/MLA, evidenciando a composição mineralógica e as características de associação dos minerais presentes. Difratograma da amostra tal qual, com a presença de apatita, calcita, quartzo, argilo mineral 12-15ª, mica e plagioclásio.

Fonte: LCT-EPUSP (2019).

Em 2022 foram realizados novos ensaios laboratoriais para a complementação e investigação da composição química das rochas, para sanar possíveis questionamentos sobre a presença de sulfetos nos minerais presentes nas litologias que irão compor a pilha de estéril da mina de Santa Quitéria e o potencial de provocar a lixiviação ácida a partir da exposição do estéril da mina durante a fase de operação. O Consórcio Santa Quitéria realizou as seguintes ensaios analíticos:

- Difratometria de Raios-X (DRX);
- Espectrofotometria por Fluorescência de Raios X (FRX); e
- Plasma por Acoplamento Indutivo (ICP).

As amostras analisadas de rochas estéreis (rocha calciossilicática, gnaisse, mármore calcítico e dolomítico) foram coletadas de afloramentos na área entorno da Jazida (corpo principal de minério). Desta forma, a partir dos resultados da DRX foi possível identificar os minerais presentes nessas amostras de rochas, sendo este um método qualitativo. Já a FRX é um método quantitativo que possibilita a determinação da composição química de uma amostra. Em relação ao ICP as análises tiveram o objetivo de promover o alcance de examinar simultaneamente os vários elementos para quando os níveis destes forem tão baixos quanto 1-10 partes por bilhão (ppb).

O DRX analisou através da amostra em pó, com o equipamento Empyrean com detector sensível à posição. A quantificação das estruturas cristalinas utilizou o método de Rietveld, com o uso de banco de dados PDF2 do ICDD – International Centre for Diffraction Data e ICSD – Inorganic Crystal Structure Database, obtendo os gráficos da Figura 11.1-136 onde cada cor corresponde as fases identificadas.

O FRX foi realizado com amostra prensada, na calibração STD-1 (Standardless), com o equipamento da marca Malverns Panalytical, modelo Zetium, relativa à análise sem padrões dos elementos químicos compreendidos entre o flúor e o urânio. Os valores foram atualizados a 100%, com a realização de perda ao fogo (PF) a 1.020°C por 2h, com o intuito de remover elementos voláteis.

Por fim, o foram analisados em ICP OES com preparo por digestão multiácida e dentro do equipamento da marca Thermo Sientific, modelo iCap 6300 Duo.

Os resultados obtidos através das análises de DRX, FRX e ICP serão apresentados no Quadro 11.1.7-11 ao Quadro 11.1.7-13 a seguir.

Quadro 11.1.7-11: Análise química das amostras da área da jazida em DRX

Difratometria de Raios X (DRX)				
Amostras:		**Amostra 01 (DRX 136/23)** *ID:PWTV-ZXRV-TOEH-MCDB	**Amostra 02 (DRX 276-23)** *ID:QRTX-SPWW-UUGJ-SZEB	**Amostra 03 (DRX 282-23)** *ID:RSTY-DEWX-HUGJ-YGEB
Data:		08/02/2023	02/05/2023	27/04/2023
Mineral	**Fórmula Química**	**(%) Estimada**	**(%) Estimada**	**(%) Estimada**
Dolomita	$CaMg(CO_3)_2$	35	33	32
Calcita	$CaCO_3$	29	31	32
Diopsídio	$CaMgSi_2O_6$	12	12	13
Anorthita	$Ca(Al_2Si2O_{8)}$	9	9	9
Quartzo	SiO_2	8	8	8
Muscovita	$KAl_{2,20}(Si_3Al)_{0,875}O_{10}((OH)_{1,72}O_{0,28})$	7	7	6
Anfibólio	$Al_{3,2}Ca_{3,4}Fe_{4,02}K_{0,6}Mg_6NaSi_{12,8}O_{44}(OH)_4$	pp	pp	pp
pp = possível presença (teor inferior a 1%) *autentificado em: www.lct.poli.usp.br				

Fonte: Fonte: LCT-EPUSP (2023).

Quadro 11.1.7-12: Análise química das amostras da área da jazida em FRX

Elementos Químicos	**Fluorescência de raios X (FRX)**		
	Amostra 01 (REQ:0034-23) *ID:PVTY-MKRK-ATFH-AYHB	**Amostra 02 (REQ:0230-23)** *ID:NBTQ-XVVP-KEYJ-QPHB	**Amostra 03 (REQ:0231-23)** *ID:SETS-IFVP-XIYJ-GGHB
	07/02/2023	27/04/2023	27/04/2023
Na_2O (%)	0,37	0,20	0,20
MgO (%)	9,57	9,69	9,72
Al_2O_3 (%)	4,30	4,36	4,37
SiO_2 (%)	32,20	31,50	32,40
P_2O_2 (%)	0,05	0,06	0,06
SO_3 (%)	<0,01	<0,01	<0,01
Cl (%)	0,03	0,03	0,03
K_2O (%)	0,65	0,71	0,68
CaO (%)	27,40	27,69	27,20
TiO_2 (%)	0,23	0,28	0,26
Cr_2O_3 (%)	0,02	0,01	<0,01
MnO (%)	0,06	0,04	0,05
Fe_2O_3 (%)	3,04	3,01	3,06
NiO (%)	<0,01	<0,01	<0,01
CuO (%)	<0,01	<0,01	<0,01
ZnO (%)	<0,01	<0,01	<0,01
Rb_2O (%)	<0,01	<0,01	<0,01
SrO (%)	0,07	0,07	0,06
BaO (%)	0,02	0,01	0,02
PF (%)	22,00	22,50	21,90
0,01% - Limite de quantificação FRX *autentificado em: www.lct.poli.usp.br			

Fonte: LCT-EPUSP (2023).

Quadro 11.1.7-13: Análise química das amostras da área da jazida em ICP OES

Espectrômetro de emissão óptica (ICP OES)			
	N°LCT	Amostra	S (mg/kg)8
Amostra 01 (REQ: 0025-23)	540	Rocha Bruta	52
Amostra 02 (REQ:0091-23)	540	Rocha Bruta	52
Amostra 03 (REQ: 0092-23)	540	Rocha Bruta	50

Fonte: Fonte: LCT-EPUSP (2023).

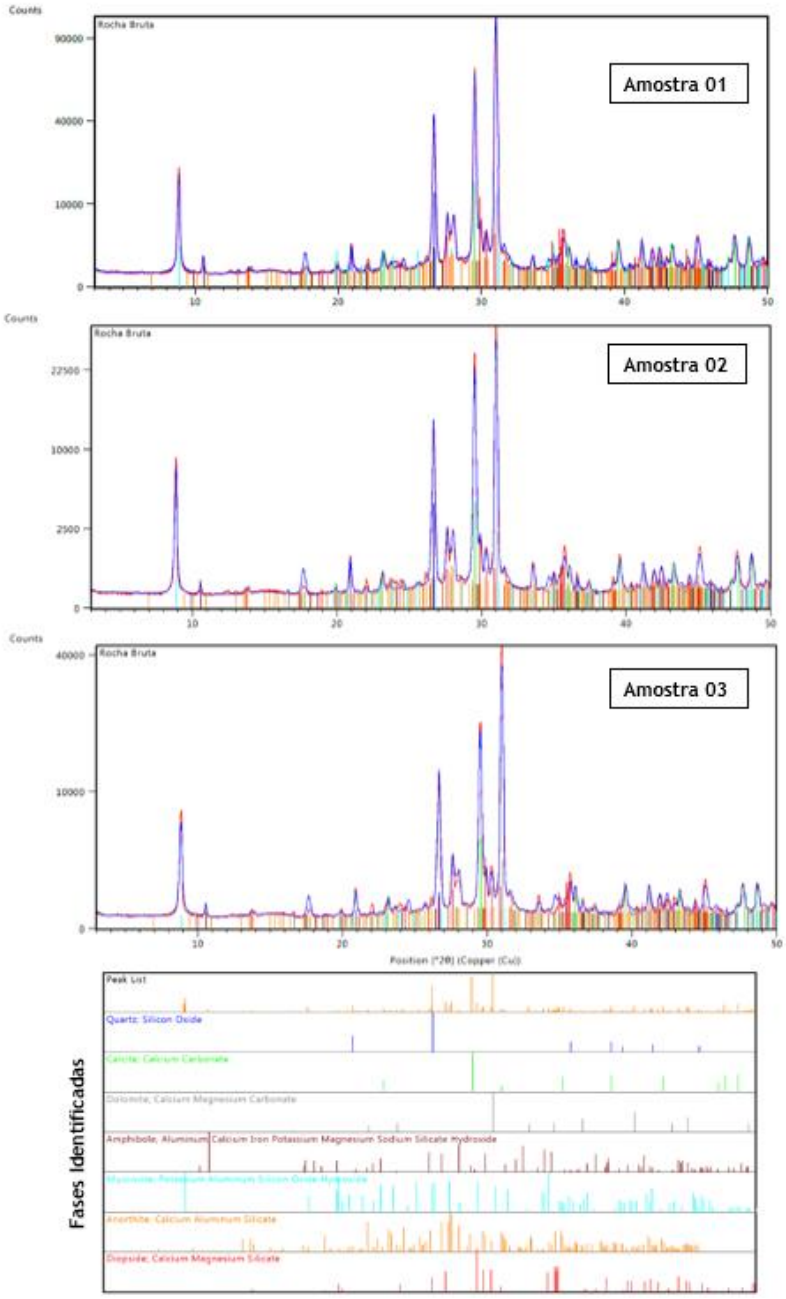


Figura 11.1-136: Difatograma obtido pelas análises do DRX (cada cor representa um elemento químico).

Fonte: Fonte: LCT-EPUSP (2023).

De forma geral, as rochas da área da jazida são compostas principalmente por minerais carbonáticos, em especial a Dolomita (CaMg(CO3)2) com média de 35% e Calcita (CaCO3) com média de 30%.

Em relação aos elementos químicos os principais são óxido de sílica (SiO2) com média de 32% e o óxido de cálcio (CaO) com média de 27,5%. Em menor quantidade o óxido de magnésio (MgO) próximo aos 10%, que aparece principalmente nos minerais de Dolomita e Diopsídio (CaMgSi2O6cerca de 12% das rochas analisadas). Os demais minerais compõem em torno de 9 a 7% da rocha, que são a Anorthita(Ca(Al2Si2O8)), Quartzo(SiO2)e Muscovita (KAl2,20(Si3Al)0,875O10 ((OH)1,72O0,28)). Por fim, traços de Anfibolio (Al3,2Ca3,4Fe4,02K0,6Mg6 NaSi12,8O44(OH)4) foram registrados nas três amostras.

Não foi registrado pelos métodos a presença de minerais de enxofre ou elementos químicos relacionados, assim como as etapas de campo não foram descritos nenhum afloramento com a presença de sulfatos como pirita, calcopirita etc.

Adicionalmente, durante os meses de setembro e novembro de 2022 foram coletadas pelo Consórcio Santa Quitéria novas amostras para ensaios e análises para a determinação da solubilidade dos radionuclídeos em amostras de estéril e resíduos sólidos que serão gerados da extração do minério da jazida. Assim foram definidos os locais alvos para esse estudo:

- Rejeitos: Coletado quatro fragmentos de rochas das litologias identificadas na área da mina (Mármore calcítico, mármore dolomitico, paragnaisse e Calcissilicática), para assim realizar uma análise representativa da pilha de estéril da operação.

- Resíduos: Coletado amostras de cal limpa e da pilha de fosfogesso e cal (fosfogesso, cal, rejeito de britagem e precipitado de impurezas).

No total foram coletadas três amostras compostas de cada tipo de resíduos, analisadas em triplicata, totalizando nove análises, três de cada uma das amostras representativas (estéril, cal limpa e pilha de fosfogesso e cal). Para o preparo de cada amostra foram utilizadas as normas da ABNT NBR 10.007:2004, com a trituração, homogeneização e quarteamento para obter uma amostra representativa. Os ensaios foram realizados de acordo com as normas ABNT NBR 10.005:2004 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, e ABNT NBR10.006:2004 - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. As amostras brutas, bem como os extratos obtidos, foram analisadas para determinação dos radionuclídeos presente nos resíduos sólidos a

serem gerados do PSQ e seu comportamento quando em contato com a água (processos de lixiviação e solubilização) e, assim, estimar o seu alcance no meio ambiente. Todas as amostras foram submetidas ao mesmo método que obteve resultados na mesma ordem de grandeza para todos os elementos, indicando boa reprodutividade dos resultados. As maiores variações foram obtidas no urânio total devido à instabilidade do elemento.

Os resultados obtidos utilizaram os métodos e normas do Quadro 11.1.7-14, e sugerem que não há uma liberação substancial de radionuclídeos a partir dos resíduos sólidos durante a lixiviação. Portanto, não se espera a liberação significativa de radionuclídeos para o meio ambiente a partir das pilhas de estéril e fosfogesso e cal, conforme exposto no relatório "Resultados dos ensaios de determinação da solubilidade e lixiviação dos radionuclídeos em resíduos sólidos do Projeto Santa Quitéria (PSQ)", datado em 12 de dezembro de 2022, e elaborado por ERM Brasil Ltda.

Quadro 11.1.7-14: Métodos adotados pelo laboratório para análise dos radionuclídeos e respectivos limites de quantificação

Métodos adotados e limites de quantificação para resíduo sólido				
Parâmetro	**Método**	**Norma/ Procedimento**	**LQ (Bq/Kg)**	**LQ (µg/Kg)**
Urânio Total (U)	Espectrofotometria UV/VIS	PT-5.40-00	12,2	0,5
Rádio-226 (226Ra)	Separação Radioquímica	EPA Method 903.0, 1980	5,9	-
Rádio-228 (228Ra)	Separação Radioquímica	EPA Method 904.0, 1980	5,14	-
Chumbo-210 (210Pb)	Separação Radioquímica	EPA Method 909.0, 1982	10	-
Tório-230 (230Th)	Separação Radioquímica	EPA Method 910.0, 1982	10	-
Tório-232 (232Th)	Separação Radioquímica	EPA Method 910.0, 1982	10	-
Normas e limites para Água Residual – Extratos Lixiviado e Solubilizado				
Parâmetro	**Método**	**Norma/ Procedimento**	**LQ (Bq/Kg)**	**LQ (µg/Kg)**
Urânio Total (U)	Espectrofotometria UV/VIS	PT-5.40-00	0,70	-

Rádio-226 (226Ra)	Separação Radioquímica	EPA Method 903.0, 1980	0,44	-
Rádio-228 (228Ra)	Separação Radioquímica	EPA Method 904.0, 1980	0,32	-
Chumbo-210 (210Pb)	Separação Radioquímica	EPA Method 909.0, 1982	0,16	-
Tório-230 (230Th)	Separação Radioquímica	EPA Method 910.0, 1982	1,0	-
Tório-232 (232Th)	Separação Radioquímica	EPA Method 910.0, 1982	1,0	-

*Fonte: Galvani (2022). *LQ – Limite de Quantificação.*

A seguir serão apresentados os resultados das análises no Quadro 11.1.7-15 ao Quadro 11.1.7-17.

Quadro 11.1.7-15: Dados analisados para as amostras de cal (bruta, lixiviada e solubilizada)

Parâmetro	Unidade	*LQ	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Resultados das análises nas amostras de cal (bruta)					
Urânio total	Bq/kg	12,2	109	134,3	106,59
226Ra	Bq/kg	5,9	768	924	781
228Ra	Bq/kg	5,14	254	249	244
210Pb	Bq/kg	10	625	630	603
230Th	Bq/kg	10	<10	<10	<10
232Th	Bq/kg	10	<10	<10	<10
Resultados das análises nas amostras de cal – extrato lixiviado					
Urânio total	Bq/L	0,7	1,51	< 0,7	1,09
226Ra	Bq/L	0,44	< 0,44	< 0,44	< 0,44
228Ra	Bq/L	0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32
210Pb	Bq/L	0,16	< 0,16	< 0,16	< 0,16
230Th	Bq/L	1	< 1,0	< 1,0	< 1,0
232Th	Bq/L	1	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Resultados das análises nas amostras de cal – extrato solubilizado					
Urânio total	Bq/L	0,7	< 0,7	< 0,7	< 0,7

226Ra	Bq/L	0,44	< 0,44	0,69	0,93
228Ra	Bq/L	0,32	< 0,32	< 0.32	0,5
210Pb	Bq/L	0,16	< 0,16	< 0,16	< 0,16
230Th	Bq/L	1	< 1,0	< 1,0	< 1,0
232Th	Bq/L	1	< 1,0	< 1,0	< 1,0

*Fonte: Galvani (2022). *LQ – Limite de Quantificação.*

Quadro 11.1.7-16: Dados analisados para as amostras do fosfogesso (bruta, lixiviada e solubilizada)

Parâmetro	Unidade	*LQ	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Resultados das análises nas amostras de fosfogesso (bruta)					
Urânio total	Bq/kg	12,2	812,98	805,73	921,36
226Ra	Bq/kg	5,9	111.030	130.830	112.750
228Ra	Bq/kg	5,14	25.651	19.649	20.648
210Pb	Bq/kg	10	11.987	11.815	11.725
230Th	Bq/kg	10	< 10	11,41	< 10
232Th	Bq/kg	10	16,93	17,3	17,22
Resultados das análises nas amostras de fosfogesso – extrato lixiviado					
Urânio total	Bq/L	0,7	1,5	1,55	< 0,7
226Ra	Bq/L	0,44	1,41	1,49	1,73
228Ra	Bq/L	0,32	0,86	0,71	0,9
210Pb	Bq/L	0,16	< 0,16	< 0,16	< 0,16
230Th	Bq/L	1	< 1,0	< 1,0	< 1,0
232Th	Bq/L	1	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Resultados das análises nas amostras de fosfogesso – extrato solubilizado					
Urânio total	Bq/L	0,7	< 0,7	< 0,7	< 0,7
226Ra	Bq/L	0,44	< 0,44	2,78	2,6
228Ra	Bq/L	0,32	< 0,32	1,09	1,09
210Pb	Bq/L	0,16	< 0,16	< 0,16	< 0,16
230Th	Bq/L	1	< 1,0	< 1,0	< 1,0
232Th	Bq/L	1	< 1,0	< 1,0	< 1,0

*Fonte: Galvani (2022). *LQ – Limite de Quantificação.*

Quadro 11.1.7-17: Dados analisados para as amostras do estéril (bruta, lixiviada e solubilizada)

Parâmetro	Unidade	*LQ	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Resultados das análises nas amostras de estéril (rocha bruta)					
Urânio total	Bq/kg	12,2	50,20	53,17	34,60
226Ra	Bq/kg	5,9	81,07	80,43	80,30
228Ra	Bq/kg	5,14	365,15	354,12	322,18
210Pb	Bq/kg	10	13,75	< 10,0	15,19
230Th	Bq/kg	10	< 10,0	< 10,0	< 10
232Th	Bq/kg	10	34,09	38,55	32,05
Resultados das análises nas amostras de estéril – extrato lixiviado					
Urânio total	Bq/L	0,7	< 0,70	< 0,70	< 0,70
226Ra	Bq/L	0,44	< 0,44	< 0,44	< 0,44
228Ra	Bq/L	0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32
210Pb	Bq/L	0,16	< 0,16	< 0,16	< 0,16
230Th	Bq/L	1	< 1,0	< 1,0	< 1,0
232Th	Bq/L	1	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Resultados das análises nas amostras de estéril – extrato solubilizado					
Urânio total	Bq/L	0,7	< 0,70	< 0,70	< 0,70
226Ra	Bq/L	0,44	< 0,44	< 0,44	< 0,44
228Ra	Bq/L	0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32
210Pb	Bq/L	0,16	< 0,16	< 0,16	< 0,16
230Th	Bq/L	1	< 1,0	< 1,0	< 1,0
232Th	Bq/L	1	< 1,0	< 1,0	< 1,0

*Fonte: Galvani (2022). *LQ – Limite de Quantificação.*

Em 2023, o Consórcio Santa Quitéria realizou novos ensaios de lixiviação conforme apresentado no Relatório Técnico de Teste de Lixiviação nos Resíduos Sólidos do Minério de Santa Quitéria, por Pallú (2023) – Anexo 9.3-4.

O principal objetivo desses novos ensaios foi a identificação dos constituintes do minério lavrado, do material estéril da lavra e do gesso hemidrato proveniente da produção do ácido

fosfórico, misturado com cal, finos de britagem e precipitado de impurezas, utilizando o minério concentrado originários na região da jazida de Itataia.

Na realização desses estudos, foi aplicada a metodologia EPA-1314 (Constituintes em Materiais Sólidos Utilizando uma Coluna de Percolação Ascendente) também no minério, estéril e material da pilha de fosfogesso e cal.

Os resultados apresentados através das curvas de liberação de massa cumulativa entre as amostras analisadas estiveram restritos as seguintes COPCs:

- Minério (SQ-01): cromo, fluoreto, tório, urânio e vanádio;
- Material estéril (SQ-02): cromo, fluoreto, urânio e vanádio; e
- Fosfogesso e cal (SQ-03): cromo e fluoreto.

É importante ressaltar que não foram apresentadas curvas de liberação para as COPCs em que os valores estiveram abaixo dos limites de detecção do método;

Em comparação com a norma ABNT NBR 10.004:2004, as concentrações em mg/L obtidas para os elementos arsênio, cádmo, chumbo, cromo, fluoreto nas amostras analisadas estiveram abaixo dos limites máximos no lixiviado conforme o Anexo F da ABNT NBR 10.004:2004;

Quando comparado às concentrações obtidas entre as amostras analisadas para o urânio e tório, as maiores concentrações foram encontradas para as amostras de minério, que possuem a assinatura geoquímica desses elementos em sua composição. As concentrações máximas encontradas foram de 0,32 mg/L (urânio) e 0,011 mg/L (tório). O relatório das análises e apresentação dos respectivos resultados encontra-se disponível no Anexo 9.3-1 e 9.3-2.

Desta forma, a partir dos resultados obtidos, observa-se que apenas a amostra de lixiviado do minério tal qual encontra-se hoje na natureza apresentou resultados para concentração de urânio superior aos limites permitidos na água para os usos preponderantes conforme previstos na Resolução CONAMA 396/08.

Vale ressaltar que, as amostras foram todas moídas, conforme recomendado pelos procedimentos aplicados, e desta forma há um aumento de exposição em potencial da área superficial específica do material a ser lixiviado, diferente de sua ocorrência natural.Assim, os ensaios apresentam em seu contexto um cenário conservador em relação ao operacional previsto para o PSQ.

11.1.7.3.6 Litotipos

Conforme apresentado no Mapa 11.1-18, a AID e a ADA se encontram, praticamente, inseridas dentro da unidade litoestratigráfica denominada Grupo Itataia. Esta unidade é constituída, da base para o topo, pelas formações Serra do Céu, Laranjeiras, Barrigas e Alcantil (Mendonça et al., 1982). Em termos gerais, estas unidades correspondem a sucessões de rochas metassedimentares paleoproterozoicas deformadas e metamorfizadas em médio e alto grau, originalmente depositadas em bacias de margem continental passiva em ciclo regressivo-transgressivo (Castro, 2002).

A Formação Serra do Céu é, predominantemente, constituída por migmatitos, biotita-silimanita-granada-gnaisses, localmente migmatizados, com inserções subordinadas de anfibólio-gnaisses e metarcóseos (Nuclebrás, 1984). Corresponde à unidade basal e mais espessa do Grupo Itataia. Essa formação representa 3,36% da área mapeada com seis afloramentos descritos no mapeamento, de 18 de maio a 01 de julho de 2023.

Essa unidade ocorre, principalmente, nas escarpas das Serras da Mata Fome, do Céu e topo da Serra das Laranjeiras. O contato superior entre o topo da Formação Serra do Céu e a base da Formação Laranjeiras é facilmente reconhecido devido a diferenças reológicas, sendo que esta última compõe faixas aflorantes contínuas na porção superior das serras, cujo mergulho aparente apresenta suave caimento para leste (Mapa 11.1-18).

Durante os levantamentos realizados em campo foram encontrados poucos afloramentos de rochas migmatíticas pertencentes à Formação Serra do Céu, sendo que as principais ocorrências se restringem à presença de blocos observados no leito seco de riachos e pequenas drenagens presentes na AID. Dentre os blocos descritos, destaca-se a presença de fragmentos de veios pegmatíticos e anfibolitos.

A Formação Laranjeiras juntamente com a Formação Serra do Céu perfaz o limite leste e norte da AID. Esta unidade Formação Laranjeiras é majoritariamente composta por quartzitos e perfaz as cristas e cimeiras das Serras da Cacimba, Mata Fome, do Céu e Laranjeiras. Apresenta cerca de 40 m de espessura e é constituída por quartzitos puros e micáceos, localmente ferríferos. Subordinadamente, ocorrem intercalados metarcóseos apresentando, ou não, silimanita.

Durante os levantamentos de campo do dia 18 de maio a 01 de julho de 2023, foram descritas 13 ocorrências das rochas desta unidade, porém fora dos limites da ADA na estrada que liga a área prevista para implantação do empreendimento ao distrito de Lagoa do Mato.

Litologicamente, compõe-se de um pacote pouco espesso de quartzitos com espessura de aproximadamente 40 m em corte de estrada que segue em direção ao distrito de Lagoa do Mato (Figura 11.1-137 D). Constituem horizontes quase puros e eventualmente micáceos, localmente ferríferos, ricos em hematita e se encontram intercalados com pacotes mais ricos em micas, adquirindo estrutura xistosa.

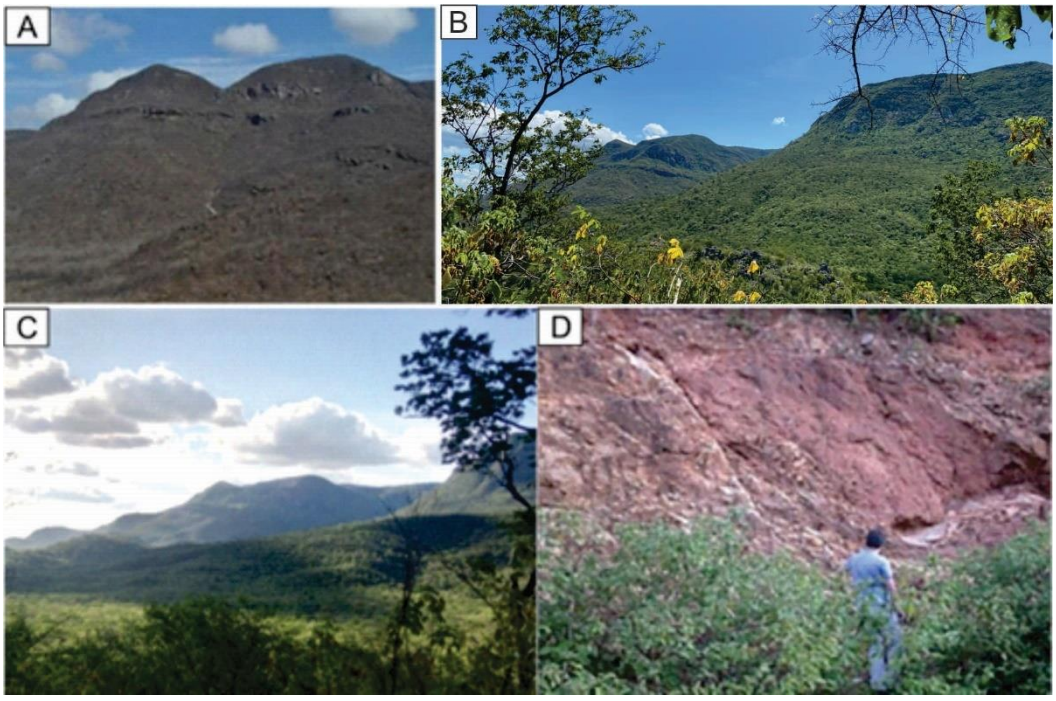


Figura 11.1-137: (A, B e C) Vista para norte da Serra do Céu, evidenciando afloramentos naturais de rochas quartzíticas da Formação Laranjeiras no topo e Formação Serra do Céu na base. (D) Afloramento de quartzitos e micaxistos da Formação Laranjeiras na estrada que liga a área do futuro empreendimento a Lagoa do Mato.

Fonte: ARCADIS LOGOS (2014), BTB Explorers (2021), Geohidro(2023). Adaptado por: Tetra Mais, 2023.

A Formação Barrigas é representada por gnaisses pelíticos aluminosos. Apresenta cerca de 100 m de espessura e é constituída por biotita-silimanita-gnaisses e biotita-plagioclásio-gnaisses com porfiroblastos de granada, localmente apresentando migmatização em diferentes graus, comumente cloritizadas, processo este resultado de retrometamorfismo de fácies anfibolito para xisto verde (SILVA, 2003); Figura 11.1-138

Constitui a unidade litoestratigráfica de maior expressão em área, cerca 56,33%, enquanto na ADA esse valor chega a 66,91%, com um total de 189 afloramentos descritos. É predominantemente constituída por biotita-silimanita-gnaisses (Figura 11.1-137 B) e biotitaplagioclásio-gnaisses com porfiroblastos de granada (Figura 11.1-137 C), ocasionalmente apresentando bolsões e níveis migmatizados. Sua constituição mineralógica indica um último evento metamórfico compatível com fácies anfibolito, embora estudos de

detalhe voltados para este aspecto descrevem evidências de um retrometamorfismo para fácies xisto verde.

As rochas pertencentes à Formação Barrigas identificadas em afloramento, constituem rochas gnáissicas geralmente com elevado grau de fraturamento. Estas, geralmente, ocorrem na forma de lajedos, ocasionalmente no leito de algumas drenagens intermitentes e na porção topograficamente rebaixada da encosta da vertente sul da Serra do Céu. Afloramentos nas porções mais íngremes das encostas são raros devido ao recobrimento dos solos coluviais e residuais que, apesar de delgados, tendem a ser contínuos ao longo destes locais.

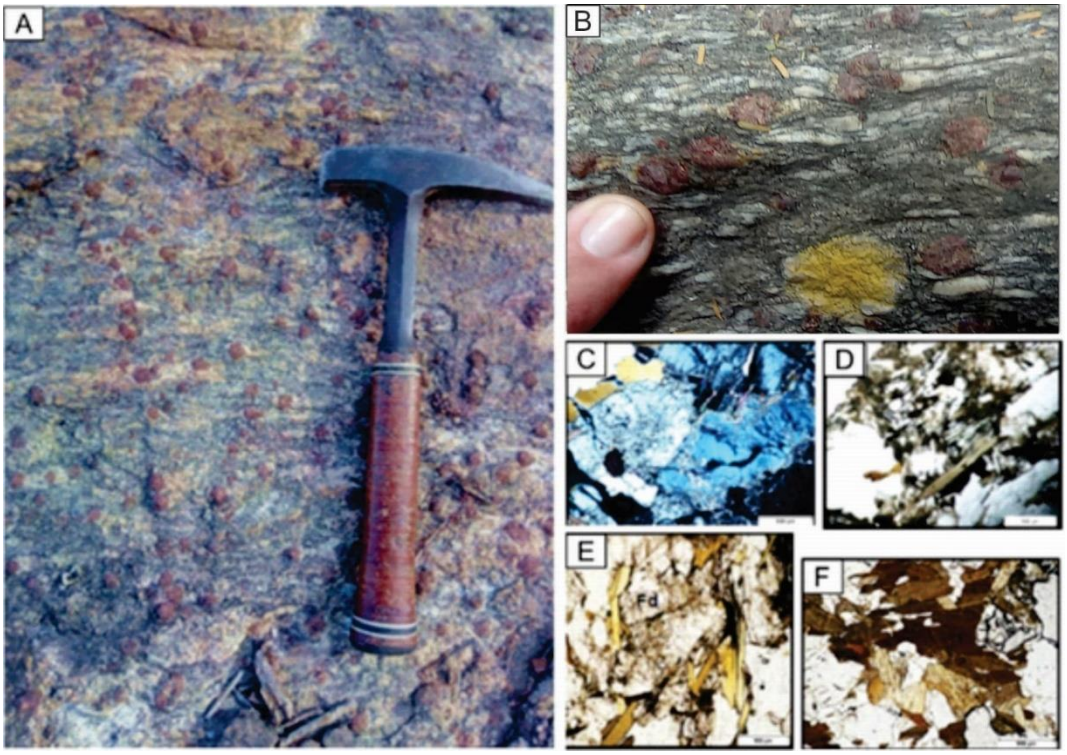


Figura 11.1-139: (A) Quartzo-biotita-granada-gnaisse; (B) Detalhe de gnaisse apresentando granadas milimétricas a centimétricas em afloramento localizado nas proximidades da galeria G2; (C) Fotomicrografia de paragnaisse destacando as alteração (saussuritização) dos plagioclásios; (D) Fotomicrografia de paragnaisse mostrando zona de concentração de cristais de silimanita (fibrolita) e de micas (muscovita e biotita); (E) Fotomicrografia de paragnaisse destacando cristal de plagioclásio fraturado e alterado (sericitização) e circundado por finas lamelas de biotita; (F) Fotomicrografia de paragnaisse em porção dominada por biotitas variando de tons castanho-claro para tons mais escuros, parcialmente envolvendo cristal de granada fraturado.

Fonte: ARCADIS LOGOS (2014), Cavalcante (2019), BTB Explorers (2021), Geohidro (2023). Adaptado por: Tetra Mais, 2023.

Localmente, na Formação Barrigas, incidem biotita-gnaisse de granulação fina e coloração cinza escura, comumente apresentando alteração pronunciada. Nestes litotipos é recorrente a presença de veios e bolsões pegmatíticos de composição quartzo-feldspática (Figura 11.1-140).

Isoladamente, nos locais onde os gnaisses se encontram medianamente a muito alterados, foram observadas lentes de limonita concordantes com o bandamento e a foliação (Figura 11.1-140).

Em alguns pontos, também foram identificados afloramentos de biotita-silimanita gnaisses de granulação fina-média com porfiroblastos centimétricos de granada (Figura 11.1-140), apresentando auréola circundante constituída por micas orientadas perpendicularmente ao bandamento do gnaisse. Em geral, nota-se uma orientação preferencial dos eixos de elongação dos cristais paralela ao bandamento preferencial da rocha.

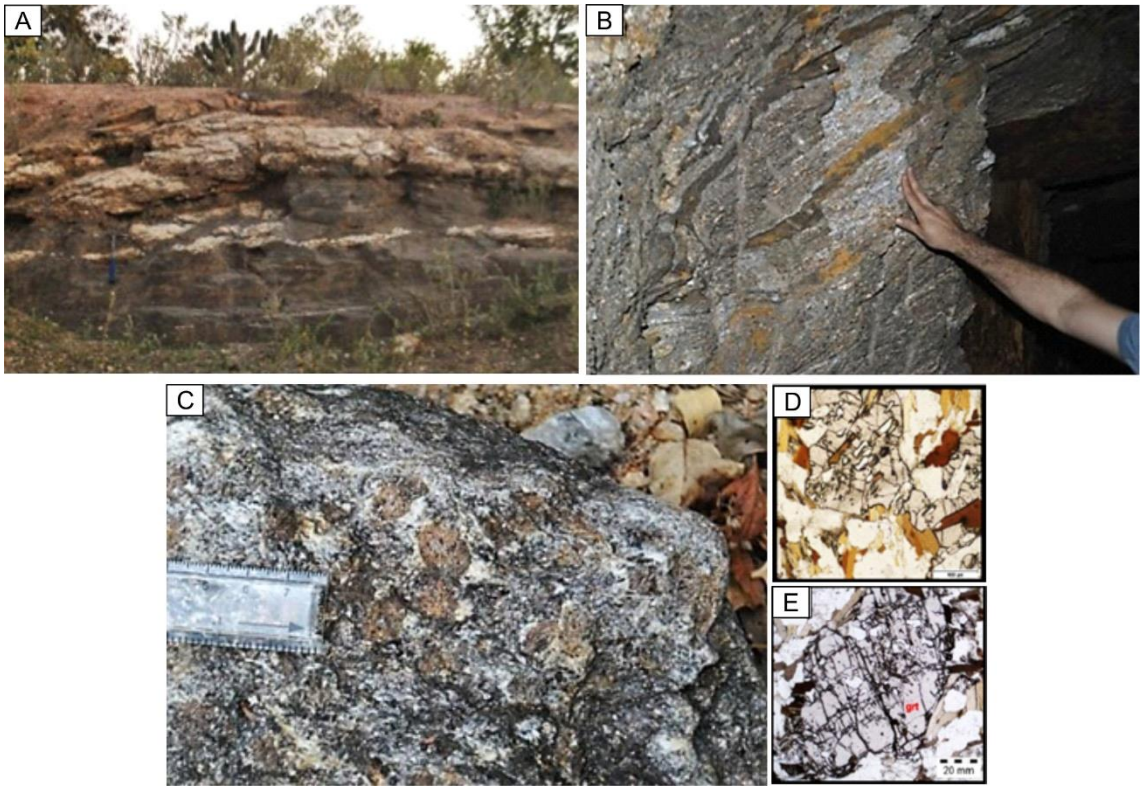


Figura 11.1-140: (A) Afloramento muito alterado de biotita gnaisse de granulação fina, coloração cinza escura, intercalado com porções pegmatíticas de composição quartzo-feldspática; (B) Detalhe de planos limonitizados concordantes à foliação (40/40) exposta no plano de fratura 315/80. Plano de fratura de direção 150/77; 122/82; 125/80; 135/82 (Notação Clar); (C) Gnaisse apresentando porfiroblastos centimétricos de granada; (D) Granada poiquiloblástica com formato parcial de sigmoide-boudin e com diversas fraturas e inclusões (quartzo e biotita, dominantes); (E) Poiquiloblasto de granada muito fraturado incluso numa matriz de quartzo, plagioclásio e biotita.

Fonte: ARCADIS LOGOS (2014), Cavalcante (2019). Adaptado por: Tetra Mais, 2021.

Em perfis de alteração de rochas (horizonte C) da Formação Barrigas é comum a presença de acúmulo de seixos e calhaus angulosos de quartzo proveniente de veios, denotando uma predominância destes em meio aos gnaisses. De fato, em alguns locais foram observados veios de quartzo com dimensões diversas. Destaca-se, na porção sudeste da ADA,

um veio de espessura estimada entre 10 e 20 m, que atravessa obliquamente uma estrada. Os veios, de modo geral, têm orientação discordante ou subconcordante com a estruturação preferencial da rocha.

Nas cotas mais altas da Serra da Mata Fome, localizada ao sul da ADA, migmatitos da Formação Barrigas tendem a ocorrer aflorando em lajes que compõem boa parte dos topos deste relevo. Essas rochas apresentam granulação média e típicas estruturas migmatíticas, principalmente estromatíticas e subordinadamente schilieren, que segmentam porções leucossomáticas, mesossomáticas e raramente melanossomáticas (Figura 11.1-141).

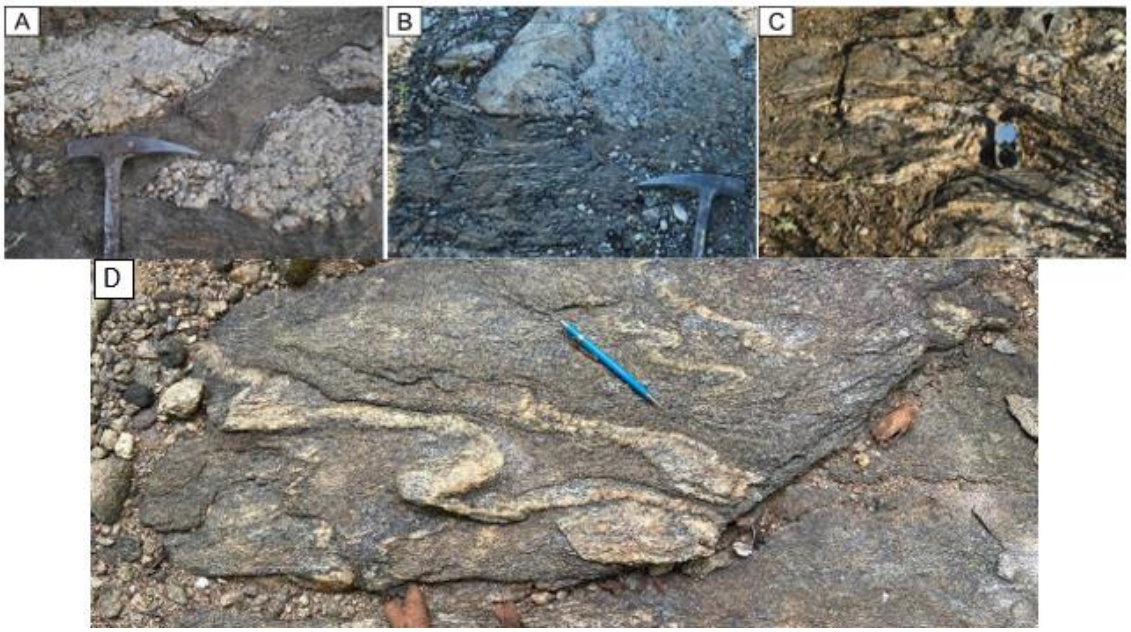


Figura 11.1-141: (A) Detalhe de veios e bolsões pegmatíticos em biotita-gnaisse; (B) Detalhes de contato entre porções paleo/melanossomáticas e neo/leucossomáticas em migmatito da Formação Barrigas; (C) Outros detalhes de estruturas migmatíticas; (D) Afloramento em lajedo, extensão de aproximada de 30m, de Sillimanita-Granada-Biotita gnaisse com dobras pitgmáticas e de arrasto indicando cinemática dextral.

Fonte: ARCADIS LOGOS (2014), Geohidro (2023). Adaptado por: Tetra Mais, 2023.

As porções mesossomáticas são constituídas, principalmente, por quartzo, biotita, plagioclásio e granada. Apresentam coloração variando entre cinza claro a escuro, estrutura foliada e eventualmente xistosa, e textura lepidogranoblástica com porfiroblastos de granada esparsos. As bandas leucossomáticas apresentam estrutura levemente foliada ou maciça, textura granoblástica de granulação média a grossa e são predominantemente compostas por quartzo e feldspato. É importante ressaltar a presença de pequenos veios graníticos de granulação fina que cortam, discordantemente, os migmatitos.

Ocorrem dois tipos de contato entre as rochas da Formação Barrigas e da Formação Alcantil (Figura 11.1-142). Quando gradacional é marcado pela intercalação decimétrica a

métrica entre os litotipos típicos destas duas unidades. Nestes contatos é comum também ocorrer níveis métricos a decimétricos de rochas calcissilicáticas, dentre as quais: diopsiditos, escapolita diopsiditos, além de mármores impuros contendo, frequentemente, biotita e granada em meio a matriz calcítica/dolomítica.

Assim como a Formação Barrigas, a Formação Alcantil se distribui por toda a AID e na ADA se concentra na porção noroeste, 31,37%, enquanto na ADA seu valor é de 31,72% totalizando 189 afloramentos. A Formação Alcantil é constituída pelas rochas metacarbonáticas e calcissilicáticas com espessura superior a 50m, com máximos de até 300 m (Alcantara e Silva, 2003; Almeida et al., 2008). É predominantemente composta por mármores de granulação média a grossa, maciços, localmente foliados e bandados, com textura equigranular. Estes litotipos apresentam, em geral, coloração variando entre matizes de cinza e branco, dependendo do grau de pureza, dado pela presença de cristais sub-milimétricos de sericita e grafita (Figura 11.1-143).

Em sua porção basal predominam rochas Calcissilicáticas (diopsiditos e escapolitas-diopsiditos) que gradam para mármores com diferentes graus de pureza. Estes litotipos, ocasionalmente, apresentam alto teor de magnésio (Mg). Associados às rochas carbonáticas e calcissilicáticas da Formação Alcantil ocorrem os principais corpos de minério fosfático (colofanito), compondo um padrão de preenchimento de fraturas e falhas do tipo stockwork (Nuclebrás, 1984; Almeida et al., 2008).

Figura 11.1-142: (A) Afloramento em laje de intercalações de mármore com rocha calciossilitcática e gnáissica; (B) Detalhe de amostra de mármore apresentando níveis ricos em granada; (C e D) Contato entre xisto e rocha Calcissilicática; (E) mármore; blocos angulosos evidenciando alto grau de fraturamento.

Fontes: ARCADIS LOGOS (2014), BTB Explorers (2021), Geohidro (2023). Adaptado por: Tetra Mais, 2023.

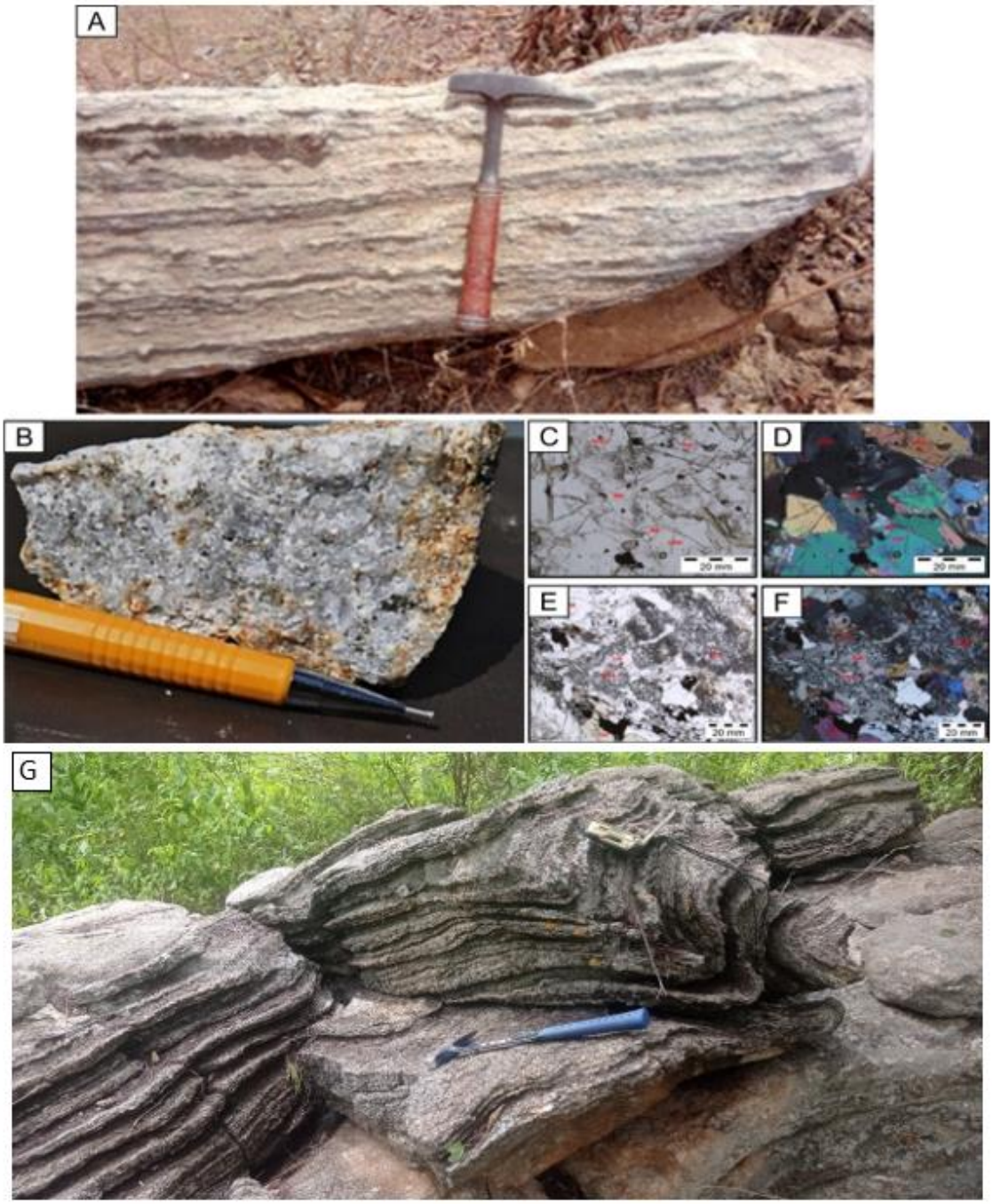


Figura 11.1-143: (A) Mármore bandado; (B) Detalhe de amostra de mármore com grafita apresentando granulação grossa e textura granoblástica; (C e D) Microfotografia de rocha Calcissilicática com cristais de condrodita (chn), escapolita (scp), epidoto (ep) e quartzo (qz); (E e F) Microfotografia de rocha Calcissilicática mostrando modificações texturais marcadas pela presença da vesuvianita (ves) alterada para epidoto; (G) metacarbonato bandado dobrado.

Fonte: ARCADIS LOGOS (2014), Cavalcante (2019), BTBexplorers (2021, 2023). Adaptado por: Tetra Mais, 2023.

Localmente, os mármores da Formação Alcantil afloram em grandes lajes (Figura 11.1-144), porém predominam afloramentos restritos, embora sejam geralmente mais frequentes que os da Formação Barrigas. De forma subordinada, e exclusivamente no Serrote

da Igreja (Figura 11.1-144), a oeste da ocorrência do minério de colofanito, e nas proximidades do Serrote do Canudo, ocorrem na forma de paredões métricos e, mais raramente, decamétricos.

Os paredões ocorrem em cotas elevadas, com encostas íngremes, constituindo, portanto, locais de difícil acesso (Figura 11.1-144). Associados a estes ocorrem, também, expressivos depósitos de tálus contendo blocos decimétricos a métricos e mais raramente até decamétricos, essencialmente de rochas de composição carbonática (Figura 11.1-144).

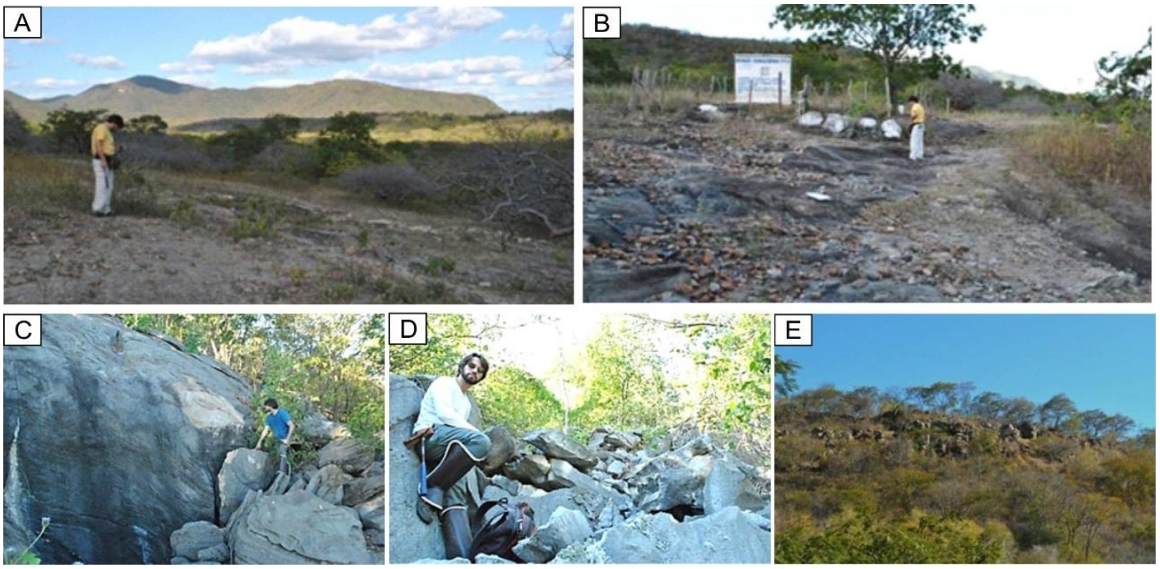


Figura 11.1-144: (A) Vista para nordeste com Serra do Céu ao fundo e em primeiro plano extenso lajedo de mármore da Formação Alcantil; (B) Aspecto de lajedos em mármore da Formação Alcantil; (C) Paredão de mármore no Serrote da Igreja; (D) Detalhe de depósito de tálus na encosta do Serrote do Canudo; (E) Detalhe de afloramentos de mármores em paredões no Serrote do Canudo.

Fonte: ARCADIS LOGOS (2014). Adaptado por: Tetra Mais, 2021.

Um aspecto extremamente relevante consiste na existência de processos cársticos evidenciados por feições de dissolução superficial formando caneluras que evoluem para lapiás, dissolução ao longo de fraturas abertas e, isoladamente, significativas cavidades verticais denominadas abismos.

Os abismos podem atingir profundidades de 10 m e apresentam, em superfície, geometria ovalada com eixo maior coincidindo com fraturas de direção N-S (Figura 11.1-145). Em alguns locais, foi observada uma nítida correlação entre a intensidade de dissolução e o nível de pureza dos mármores. A Figura 11.1-145 ilustra um afloramento de mármore onde ocorrem intercalações de níveis puros de mármore e níveis contendo concentrações perceptíveis de minerais não carbonáticos.

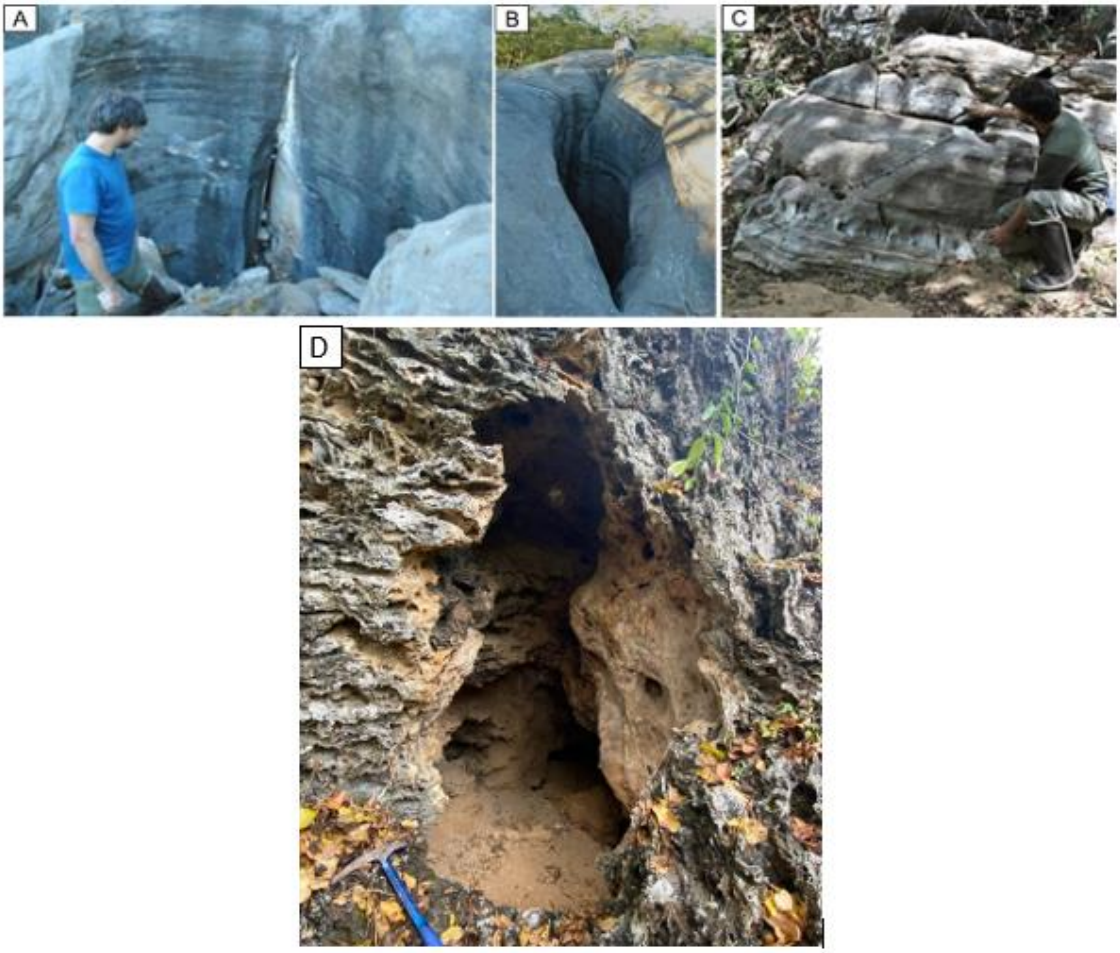


Figura 11.1-145: (A) Dissolução ao longo de fratura N-S subvertical, afetando mármores da Formação Alcantil; (B) Vista de abismo localizado na porção W do Serrote da Igreja. A feição apresenta orientação N-S associada ao padrão de faturamento; (C) Afloramento de mármore da Formação Alcantil mostrando intercalação de camadas puras e impuras. A dissolução é mais efetiva nas camadas de mármore puro; (D) Afloramento de Tufas Calcárias, apresentando alta porosidade, estrutura crostiforme com formas similares a moldes de caules e folhas alongadas, e intenso processo de dissolução associado resultando na geração de cavernas.

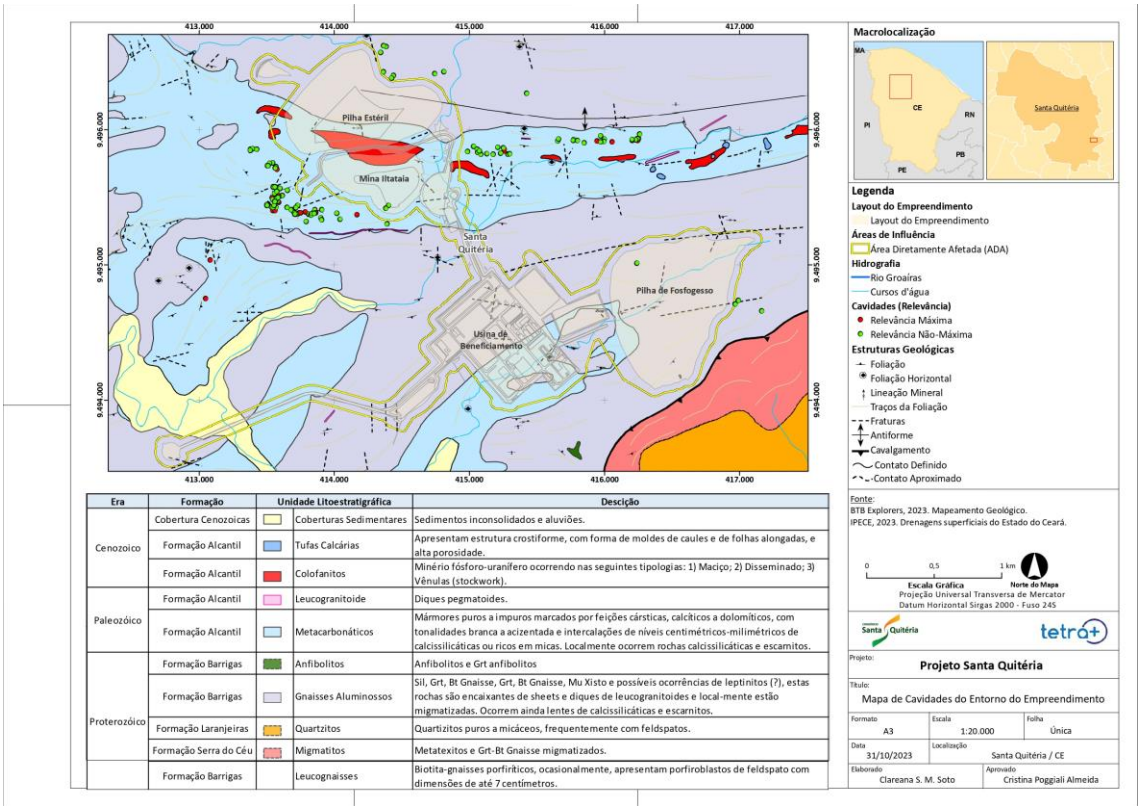
Fonte: ARCADIS LOGOS (2014), Geohidro (2023). Adaptado por: Tetra Mais, 2023.

Vale ressaltar que foram realizados estudos espeleológicos do entorno da ADA, considerando um buffer de 250 metros, pela ARCADIS LOGOS (2014) e atualizados em 2021 e 2023. Como o primeiro levantamento foi realizado em 2014, fez-se necessário uma revisão e novas etapas de campo para conformidade com a Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiente (IN MMA n.º 02/2017). No Art. 12 do IN MMA n.º 02/2017, consta que algumas cavidades naturais subterrâneas com menos de 5 m de desenvolvimento linear serão classificadas com baixo grau de relevância, ressaltando que deverá apresentar a inexistência de zona afótica, relevância histórico-cultural ou religiosa; presença de depósitos químicos, clásticos ou biogênicos de significativo valor científico, cênico ou ecológico; função hidrológica expressiva para o sistema cársico.

Nos estudos de espeleologia realizados pela empresa Carste, foram levantadas 124 cavidades, sendo dessas 20 com relevância máxima e o restante de relevância não-máxima. Para ser considerado relevância máxima, a cavidade deve atender um dos 11 atributos descritos no Art 3 do IN MMA n° 02/2017, listado abaixo:

- Gênese única ou rara;
- Morfologia única;
- Dimensões notáveis em extensão, área ou volume
- Espeleotemas únicos;
- Isolamento geográfico;
- Abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais;
- Hábitat essencial para preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relíctos;
- Hábitat de troglóbio raro;
- Interações ecológicas únicas;
- Cavidade testemunho;
- Destacada relevância histórico-cultural ou religiosa.

Nenhuma cavidade de relevância máxima, encontra-se dentro da ADA (conforme a Figura 11.1-146). Estão concentradas principalmente nas áreas cársticas e em terços médio e superior dos morros residuais que formam os Isenlbergs da Depressão Sertaneja ou remanescentes do Planalto Sertanejo, principalmente nas litologias de Metacarbonáticas da Formação Alcantil, e em pequenas quantidades nos paragnaisses com intercalação de calciossilicaticas. De forma geral as cavidades não apresentam grandes profundidades e interconexões, ficando restrito a superfície conforme representação na Figura 11.1-147. Em relação às cavidades esse EIA, comporta um capítulo à parte sobre o patrimônio espeleológico, onde o tema será densamente abordado.



Era	Formação	Unidade Litoestratigráfica		Descição
Cenozoico	Cobertura Cenozoicas		Coberturas Sedimentares	Sedimentos inconsolidados e aluviões.
	Formação Alcantil		Tufas Calcárias	Apresentam estrutura crostiforme, com forma de moldes de caules e de folhas alongadas, e alta porosidade.
	Formação Alcantil		Colofanitos	Minério fósforo-uranífero ocorrendo nas seguintes tipologias: 1) Maciço; 2) Disseminado; 3) Vênulas (stockwork).
Paleozóico	Formação Alcantil		Leucogranitoide	Diques pegmatoides.
	Formação Alcantil		Metacarbonáticos	Mármores puros a impuros marcados por feições cársticas, calcíticos a dolomíticos, com tonalidades branca a acizentada e intercalações de níveis centimétricos-milimétricos de calcissilicáticas ou ricos em micas. Localmente ocorrem rochas calcissilicáticas e escamitos.
Proterozóico	Formação Barrigas		Anfibolitos	Anfibolitos e Grt anfibolitos
	Formação Barrigas		Gnaisses Aluminossos	Sil, Grt, Bt Gnaisse, Grt, Bt Gnaisse, Mu Xisto e possíveis ocorrências de leptinitos (?), estas rochas são encaixantes de sheets e diques de leucogranitoides e local-mente estão migmatizadas. Ocorrem ainda lentes de calcissilicáticas e escarnitos.
	Formação Laranjeiras		Quartzitos	Quartizitos puros a micáceos, frequentemente com feldspatos.
	Formação Serra do Céu		Migmatitos	Metatexitos e Grt-Bt Gnaisse migmatizados.
	Formação Barrigas		Leucognaisses	Biotita-gnaisses porfiríticos, ocasionalmente, apresentam porfiroblastos de feldspato com dimensões de até 7 centímetros.

Figura 11.1-146: Mapa das cavidades estudas, em vermelho as de relevância máxima e em verde as de não-máxima. Ao fundo da figura, foi inserido o mapa geológico de detalhe de 1:10.000, onde é visível a concentração das cavidades em rochas metacarbonáticas.

Fonte: GeoHidro (2023) e Carste (2023). Adaptado BTB Explorers (2023)

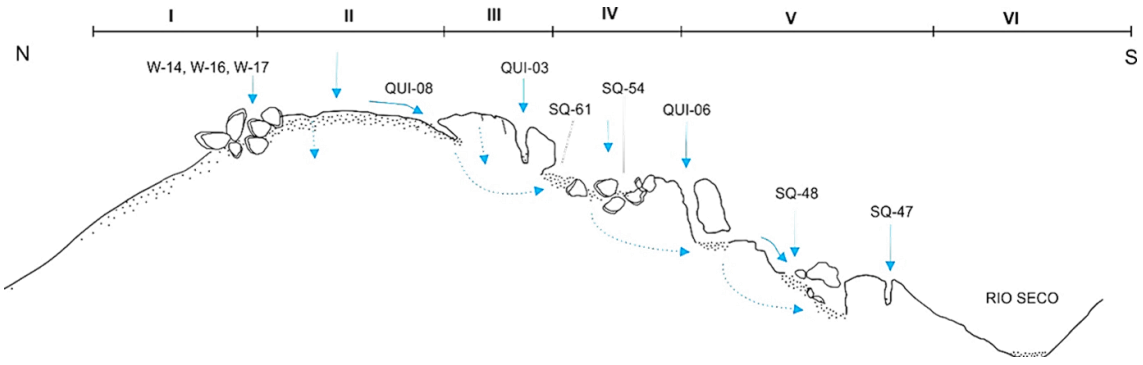


Figura 11.1-147: Cavernas rasas em relação a superfície ou associadas a depósitos de tálus.

Elaborado por Carste (2023).

Vale ressaltar que será disposto principalmente em áreas de rochas paragnaissicas, nos quais apresentam em média 150 Mpa (20 a 40 Mpa para os mármores da região) de resistência a compressão pelo método de Hoek-Brown apresentada UCS (ultimate compressive strength), enquanto os estudos teóricos apontam (Potamos, 2023), a estrutura que irá oferecer maior tensão são pilhas de estéril e fosfogesso, não devendo ultrapassar os 2 Mpa. Assim, caso na hipótese de existência de feições cársticas, a pressão incremental pelo carregamento das

estruturas pode ser considerada pequena, comparativamente à resistência das rochas locais. Em caso de existência de feições cársticas subsuperficiais o Volume I desse EIA, apresenta possíveis métodos de tratamento com soluções de engenharia.

Nas áreas mais rebaixadas da Depressão Sertaneja como, por exemplo, na porção centro-sul da AID, os mármores ocorrem na forma de extensos lajedos e são ligeiramente alterados e pouco a medianamente fraturados. Diferenciam-se dos afloramentos descritos anteriormente por não apresentar feições cársticas de interesse, embora aparentemente constituam mármores puros ou ligeiramente impuros.

De acordo com Veríssimo e colaboradores (2016), as mineralizações de interesse na região ocorrem em três minerais de fosfato. Acredita-se que o fosforo é de origem sedimentar, associada a depósitos de fosforito no mesmo ambiente de deposição do Grupo Itataia, mas que foi remobilizado e reconcentrado em eventos posteriores. A primeira fase (Figura 11.1-148) é composta por fluorapatitas prismáticas (+albita +arfvedsonita +ferro-eckermanita) em vugs, vazios e armadilhas estruturais. Acredita-se que essa fase está associada a um evento inicial metassomático de alta temperatura.

Segundo os autores, a segunda fase (Figura 11.1-149) corresponde a fluorapatitas com hábito fibro-radiado ou coloforme, substituindo o carbonato de cálcio em mármores ou rochas Calcissilicáticas (especialmente ao longo das fraturas) e associada a minerais como o quartzo clorita e zeólita. Ocorre na forma de stockworks, veios de colofanito e carbonatos e brechas carbonáticas mineralizadas. Essa fase reflete um evento multifásico cataclástico/hidrotermal de temperatura mais baixa concentrado em zonas de falha e paleocarsticas, envolvendo a mistura de fluidos hidrotermais e meteóricos.

A terceira e última fase (Figura 11.1-150) consiste em apatitas (fluorapatita e hidroxiapatita) botrioidais, com argilominerais e outros fosfatos de cálcio e alumínio. Essa fase formou colofanitos maciços e foi desenvolvida em condições oxidantes, com mistura de fluidos hidrotermais e meteóricos.

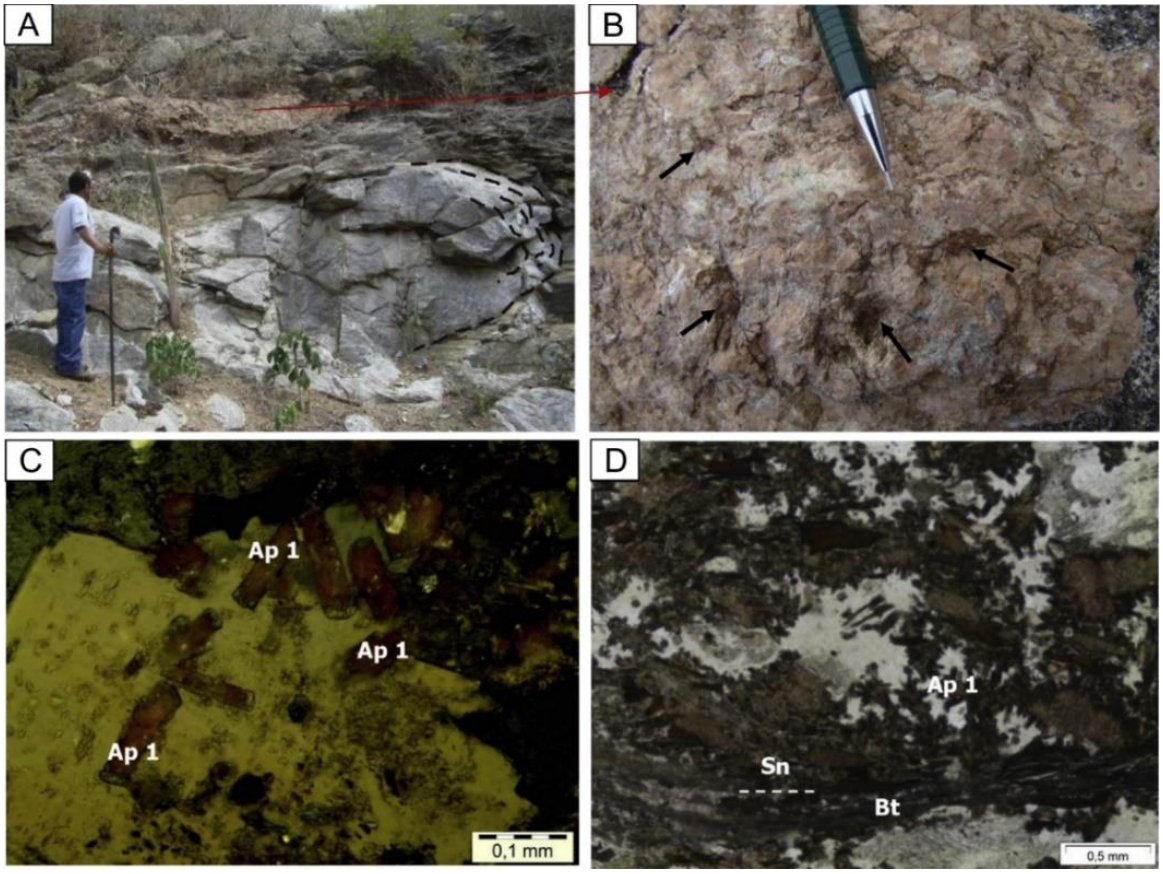


Figura 11.1-148: (A e B) Minério preenchendo vazios formados devido a lixiviação de quartzo; (C) Cristais de apatita bem formados; (D) Cristais de apatita não deformados (Ap1) preenchendo vazios em rochas Calcissilicáticas, com presença da foliação principal (Sn) definida por cristais de biotita (Biotita).

Fonte: Veríssimo et al. (2016). Adaptado por: Tetra Mais, 2021.

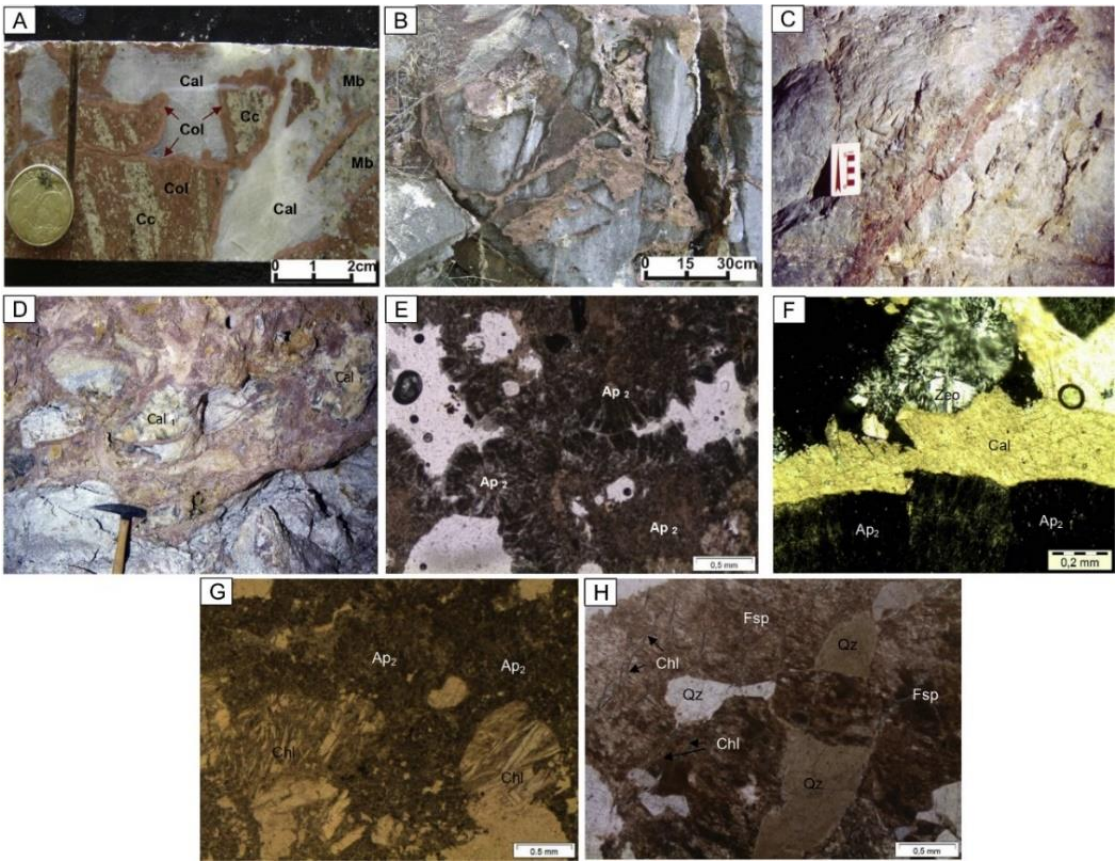


Figura 11.1-149: (A) Colofanito associado a brechas carbonáticas, onde os clastos são compostos por rochas feldspáticas, mármores (Mb), rochas Calcissilicáticas (Cc) e colofanita (Col). A matriz da brecha é composta por carbonatos bem cristalizados (Cal) ou rochas carbonáticas cinza escuras; (B) Veios de colofanitas tipo stockwork em mármores; (C) Fraturas e falhas nos mármores da Formação Alcantil com brechas preenchidas por colofanito; (D) Brecha com colofanito e megacristais de calcita (Cal1) em mármores carstificados da Formação Alcantil; (E) Apatita coloforme (Ap2) preenchendo vazios com cristais de calcita (Cal) em mármore da Formação Alcantil; (F) Apatita associada com zeólita (Zeo) e carbonato (Cal); (G) Apatita associada com clorita; (H) Feldspato alterado (Fsp) contendo inclusões de quartzo (Qz) e fraturas preenchidas por clorita (Chl).

Fonte: Veríssimo et al. (2016). Adaptado por: Tetra Mais, 2021.

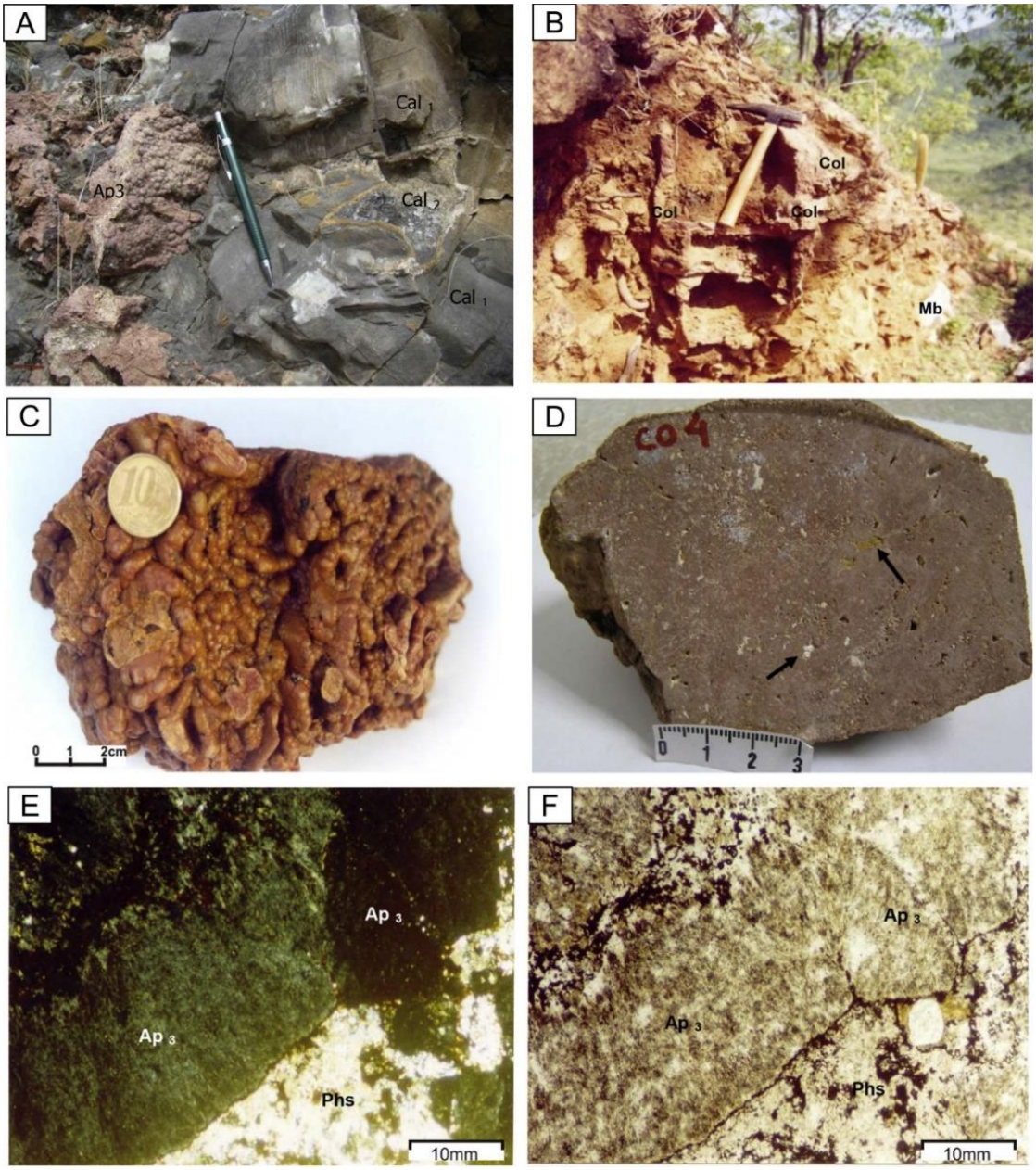


Figura 11.1-150: (A) Colofanita residual (Ap3) com textura botrioidal cobrindo e preenchendo vazios em cristais de calcita hidrotermal, incluindo megacristais de calcita hidrotermais (Cal1) e cristais menores de calcita preenchendo vazios gerados pela dissolução de megacristais (Cal2); (B) Colofanita residual no topo do depósito de Itataia, com estrutura semelhante a perfis lateríticos gerados por lixiviação química: níveis de colofanita maciça (Col) e alguns fragmentos de mármore (Mb) em solo marrom-amarelado; (C) Minério de colofanita maciças com textura botrioidal; (D) Colofanita maciça contendo apatita microcristalina e minerais de argila, com cavidades (setas pretas) que podem ser preenchidas com calcita, quartzo, feldspato, minerais de grafite ou argila; (E e F) Fotomicrografias que ilustram a fase de apatita mais recente (Ap3) associada a outra fase de fosfato microcristalino (Phs).

Fonte: Veríssimo et al. (2016). Adaptado por: Tetra Mais, 2021.

Conforme destacado anteriormente, na região, o colofanito ocorre principalmente associado aos mármores da Formação Alcantil, rochas calcissilicáticas e, mais raramente, aos gnaisses da Formação Barrigas. Consiste em uma rocha maciça, às vezes vesicular,

formada por material fosfático com textura fanerítica muito fina a afanítica, e coloração castanho-avermelhada ou alaranjada.

O colofanito também se encontra na forma de brechas compostas por fragmentos angulosos centimétricos a decimétricos (Figura 11.1-150). Um veio marcante de colofanito brechado pode ser observado nos afloramentos existentes na entrada da galeria de pesquisa G-2. A principal mineralização em subsuperfície ocorre no Serrote da Igreja, entre as cotas 480 m e 400 m. Neste local, especificamente, a mineralização está associada ao mineral zirconífero e material alterado argiloso preto com presença de grafita, pirita e goethita, relacionada a uma brecha carbonosa (ALCANTARA e SILVA, 2003).

Mineralogicamente o colofanito é constituído, essencialmente, por esferulitos de colofana (variedade criptocristalina da apatita) e inclusões de feldspato esbranquiçado e parcialmente modificado para caulinita. Como minerais acessórios opacos, identificados através de análise calcográfica, ocorrem grafita, magnetita, pirita, arsenopirita e limonita. Apresenta-se também preenchendo fraturas e foliações, e principalmente nos mármores, preenchendo os interstícios de antigas cavidades (Figura 11.1-145) (ARCADIS LOGOS, 2014).

Vale destacar que, a caracterização mineralógica do minério da Jazida Itataia, realizada pelo Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LCT-EPUSP,2019), em amostra representativa da Jazida identificada segundo a sistemática de classificação do código JORC, e analisada por meio de técnicas avançadas de separação mineral em líquido denso e separação magnética em separador Frantz, análises mineralógicas através da conjugação de difração de raios x, microscopia eletrônica de varredura acoplada e espectrômetro por dispersão de energia (EDS) e busca automatizada, através do software Mineral Liberation Analyser (MLA-FEI), não identificou pirita nas análises do colofanito na área da jazida.

Conforme resultado das análises laboratoriais que apresentam a composição média dos minerais do minério, também não foram constatados nenhum dos sulfetos possíveis e que poderiam produzir lixiviação ácida após oxidação, conforme Quadro 11.1.7-18, (HUTCHINSON, 1992).

Quadro 11.1.7-18: Sulfetos mais comuns e seus produtos de oxidação

Mineral	Espécies aquosas após oxidação completa[1]	Possíveis Minerais secundários formados a pH neutro e após completa oxidação [2]
Pirita FeS_2	Fe^{3+}, SO_4^{2-},H^+	Hidróxidos de ferro e sulfatos; Gipsita
Marcassita FeS_2	Fe^{3+}, SO_4^{2-},H^+	Hidróxidos de ferro e sulfatos; Gipsita
Pirrotita $Fe_{(1-x)}S$	Fe^{3+}, SO_4^{2-},H^+	Hidróxidos de ferro e sulfatos; Gipsita
Calcopirita $CuFeS_2$	Cu^{2+}, Fe^{3+},SO_4^{2},H^+	Hidróxidos de ferro e sulfatos, Hidróxidos de cobre e Carbonatos; Gipsita
Calcocita CU_2S	Cu^{2+},SO_4^{2},H^+	Hidróxidos de cobre e Carbonatos;Gipsita
Bornita Cu_3FeS_4	Cu^{2+},Fe^{3+},SO_4^{2},H^+	Hidróxidos de ferro e sulfatos, Hidróxidos de cobre e Carbonatos; Gipsita
Arsenopirita FeAsS	Fe^{3+},AsO_4^{3-} ,SO_4^{2},H^+	Hidróxidos de ferro e sulfatos, Arsenatos de ferro e Cálcio; Gipsita
Molibdenita MoS_2	MoO_4^{2-},SO_4^{2-},H^+	Hidróxidos de Fe e Sulfatos, Molibdatos, óxidos de molibdênio;Gipsita
Esfalerita ZnS	Zn^{2+},So_4^{2-},H^+	Hidróxidos de zinco e carbonatos.Gipsita
Galena PbS	Pb^{2+},SO_4^{2-},H^+	Hidróxidos de chumbo, Carbonatos, sulfatos; Gipsita
Cobalita CoAsS	Co^{2+},AsO_4^{3-},So_4^{2-} ,H^+	Hidróxidos de cobalto, Carbonatos; Arsenatos de ferro e Cálcio; Gipsita

[1] Espécies intermediárias tais como o íon ferroso (Fe^{2+}) e $S_2O_3^{2-}$ podem também ocorrer (Stumm & Morgan, 1981; Goldhader,1983);
[2] Outros minerais podem ser formados associados ou em alternativas aos listados em função do ambiente.

Fonte: Hutchinson, 1992.

Desta forma, considerando o material avaliado, verificações em campo e os resultados supracitados, considera-se que o potencial de geração da lixiviação ácida na área da cava ou na pilha de estéril é baixo, pois os minerais que compõem o minério são naturalmente alcalinos, de forma que estes resultados indicam que as águas lixiviadas nestas áreas podem ter seu pH variando de neutro para alcalino.

A presença de colofanito em fraturas, foliações e preenchendo interstícios de antigas cavidades, evidencia a existência de uma fase pretérita de carstificação, totalmente dissociada da fase responsável pela formação das cavidades anteriormente relatadas. A mineralização se apresenta, principalmente, como um padrão stockwork ou filoneana, sendo

que a fração maciça do minério tende a ocorrer somente nas cotas mais altas da Serrote da Igreja.

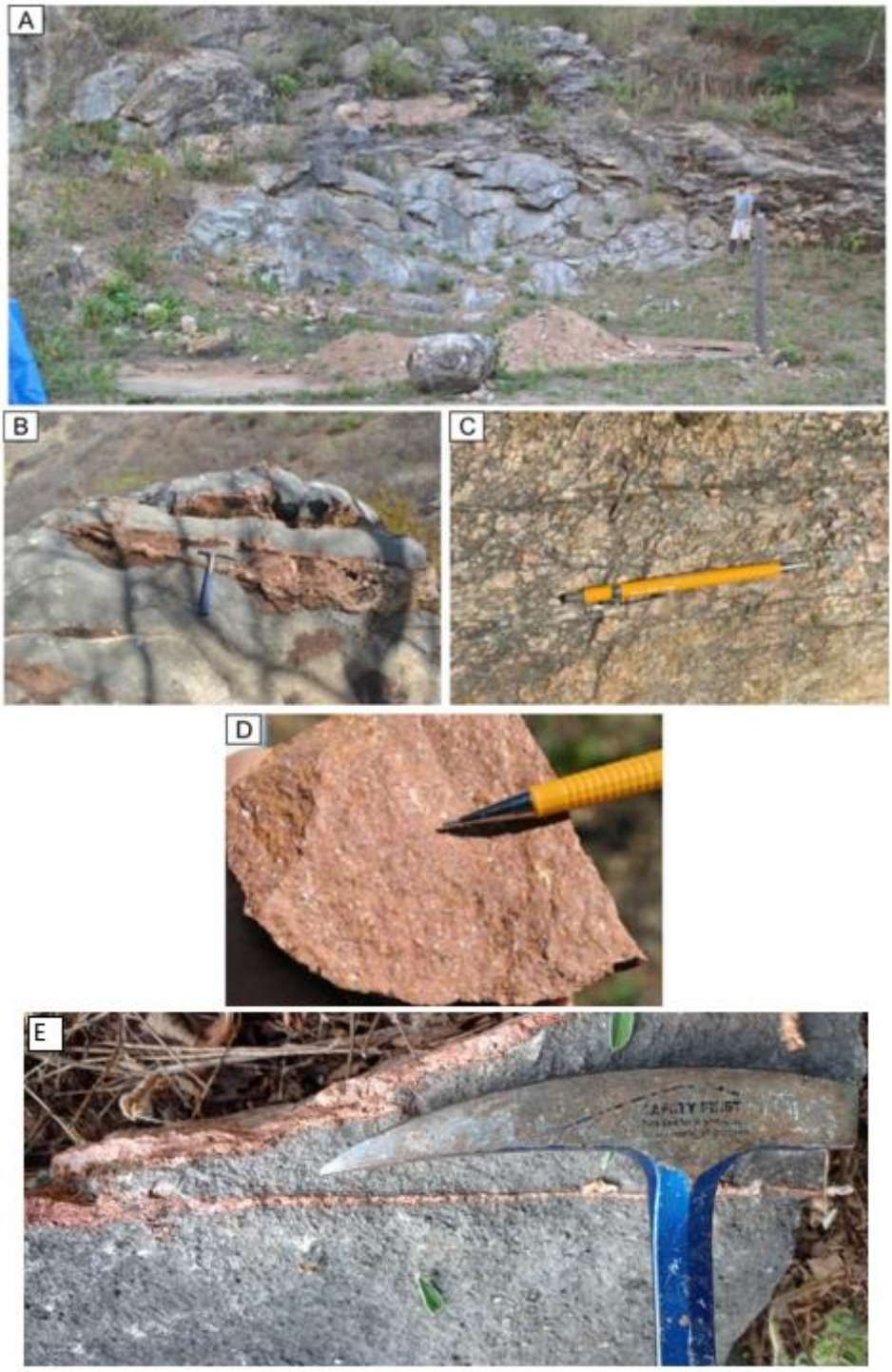


Figura 11.1-151: (A) Afloramento existente na entrada da galeria G2, com detalhe para o colofanito rosado na porção superior da foto; (B) Detalhe de colofanito preenchendo fraturas dos mármores da Formação Alcantil; (C) Detalhe de amostra de brecha de colofanito afetada por cisalhamento, observada na galeria G2; (D) Detalhe de amostra de colofanito observado no Serrote da Igreja; (E) mármore calcítico, cristais de calcita venulado com colofonita.

Fonte: ARCADIS LOGOS (2014), Geohidro (2023). Adaptado por: Tetra Mais, 2023.

Rochas básicas intrusivas ocorrem na forma de diques, apesar de não observadas durante os levantamentos de campo. Blocos de diabásio decimétricos arredondados foram observados em pontos isolados ao longo do vale do riacho das Guaribas, constituindo clastos dos seus depósitos aluvionares (Figura 11.1-152).

Os depósitos quaternários aluvionares se encontram restritos aos vales das principais drenagens intermitentes que cortam a AID e ADA (representando menos de 1% da ADA e totalizando 3,77% da área mapeada), com destaque para o riacho das Guaribas, riacho Cunha Moti e riacho da Gangorra. Estas acumulações recobrem, predominantemente, rochas da Formação Barrigas e Formação Alcantil e compõem, localmente, depósitos pouco espessos constituídos por sedimento arenoso médio a grosso com grânulos, seixos, calhaus e, por vezes, matacões de litotipos diversos (Figura 11.1-152).

Figura 11.1-152: (A) Amostra de diabásio; (B) Blocos e calhaus em leito de rio intermitente; (C) Aluvião arenoso de cerca de 1 m de espessura.

Fonte: ARCADIS LOGOS (2014). Adaptado por: Tetra Mais, 2021.

11.1.7.3.7 Estrutural

Do ponto de vista estrutural, a AID e a ADA apresentam evolução tectônica complexa, ilustrada por diferentes estruturas de caráter dúctil e rúptil, onde na área do futuro empreendimento predominam as zonas dúcteis, representado por maciços rochosos pouco fraturado com dobramentos de diversos tamanhos.

O contato basal das sequencias supracrustais é geralmente marcado por rochas miloníticas de fácies anfibolito baixo, que indicam que o final da *mise em place* das nappes formadas se deu em condições metamórficas retrógradas (Almeida et al., 2008). Essa feição é apontada por Castro el al. (2005) para os metapelitos basais do Grupo Itataia (Formações Serra do Céu e Barrigas). Estes possuem cianita reliquiar em alguns locais, sobretudo na base de algumas unidades próximo às zonas de cavalgamento, além de veios de quartzo com megacristais de rutilo e granada nos anfibolitos, sugerindo condições pretéritas de mais alta pressão.

A foliação regional (Figura 11.1-153) é normalmente paralela aos contatos litológicos (S0) (Almeida et al., 2008). Regionalmente, as foliações apresentam predominância de baixos ângulos de mergulho (aproximadamente 20°) e rumo predominante para sul e sudeste, com pequenas variações para noroeste e nordeste. Localmente, podem apresentar mudanças severas nas orientações e mergulhos, devido aos diversos padrões de dobramento superimpostos às rochas.

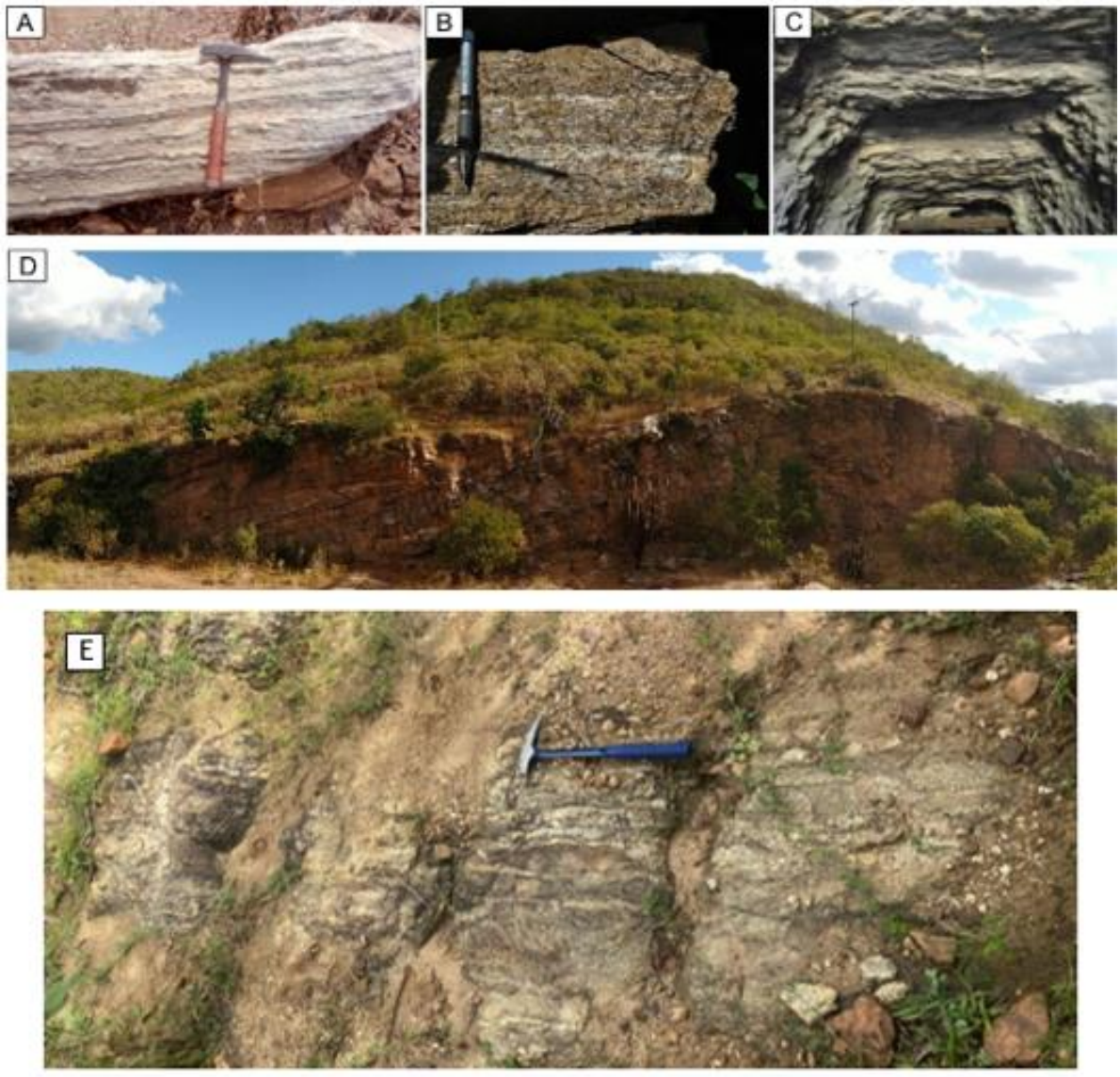


Figura 11.1-153: (A) Foliação principal em mármores bandados; (B) Foliação principal em gnaisse; (c) Foliação ortogonal a galeria com mergulho de aproximadamente 50° para fora da galeria G1; (D) Mármores da formação Alcantil, com a foliação principal levemente dobrada; (E) Afloramento rasteiro de metatexito com estrutura estromática e sheets de leucogranitoide. A foliação é sub-vertical, sublinhando um possível cisalhamento.

Fonte: ARCADIS LOGOS (2014), BTB Explorers (2021), GeoHidro (2023). Adaptado por: Tetra Mais, 2023.

Junto as descrições litológicas realizadas na quinta etapa de campo, foram obtidos dados estruturas de 124 afloramentos, com a direção e mergulho das foliações. Assim foram gerados dois estereogramas (Figura 11.1-154), que indicam o mergulho de baixo ângulo (aproximadamente 20°), preferencial para sul e sudeste. Essa foliação e descrita paralalamente aos contatos geológicas (S0) (Almeida et al., 2008). Além da foliação, foram descritas três famílias de falhas e fraturas com direções médias NW (335), E-W (89 – 271) e NE (56).

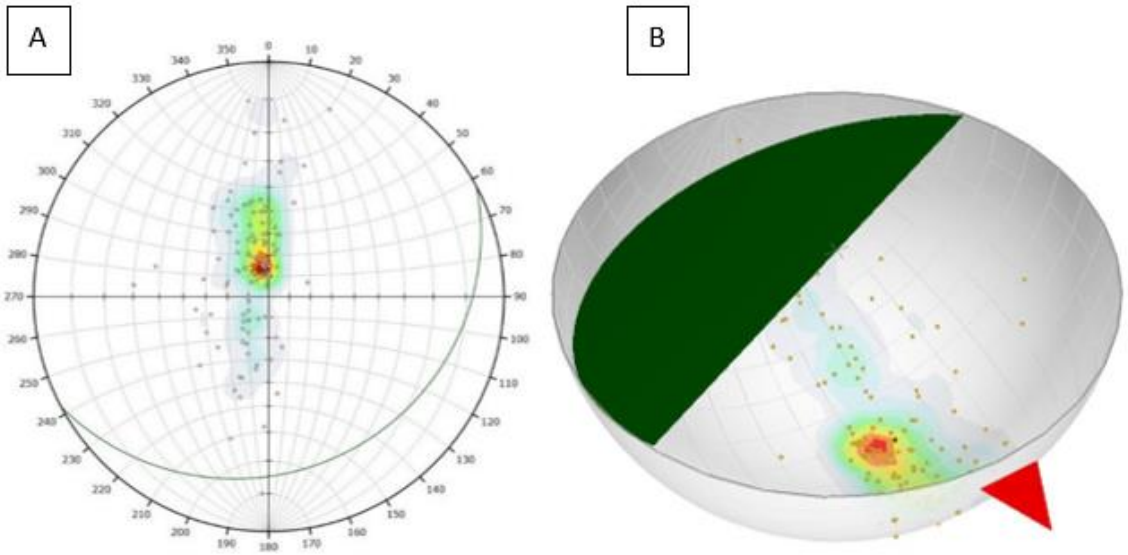


Figura 11.1-154: (A) Estereograma das foliações obtidas na 5ª campanha - 18 de maio a 01 de abril, foram obtidas 125 medidas. (B) - Esteograma em 3D, em vermelho a direção do Norte, enquanto em verde o plano médio das foliações, com direção de mergulho para sul/sudeste.

Fonte: GeoHidro (2023) adaptado BTB Explorers (2023).

Além das estruturas rúpteis, as dúcteis foram descritas durante as etapas de campo, principalmente na forma de dobras anticlinais, recumbentes e sinformes (Figura 11.1-155), além de dobras migmátiticas e em pigmátitos dentro de gnaisses, mas as dobras ocorrem principalmente nas rochas metacarbonáticas.

A
B
C
D

Figura 11.1-155: Rocha Metacarbonática com sheets leucograniticas dobrada, afloramento evidencia a charneira da dobra anticlinal aberta; B - Zona de ocorrência de metacarbonática com intercalações milimétricas de gnaisse/calcissilicática e sheets de leucogranitoide. Dois sistemas de fraturas: 1) NW (N290); 2) aproximadamente E-W (N75), ambas são subverticais; C - Afloramento em lajedo de metatexito com estrutura estromática e dobra sinforme; D - Afloramento em lajedo, extensão de aproximada de 30m, de Sillimanita, Granada, Biotita gnaisse com dobras pitgmáticas e de arrasto indicando cinemática dextral; E e F - Afloramento metacarbonato com dobramento.

Fonte: GeoHidro (2023).

As fases de deformação dúctil que afetaram as rochas da região alteraram a geometria e distribuição espacial das unidades até então depositadas. São comuns dobras complexas, geralmente isoclinais, frequentes nas associações litológicas com contrastes reológicos e gerando transposições em condições de deformação progressiva (ALMEIDA et al., 2008).

Estudos de Alcântara e Silva (2003) identificaram três diferentes fases de dobramentos que se interceptam progressivamente, constituindo grandes dobras posteriormente deformadas coaxial e ortogonalmente.

A primeira fase de deformação foi reconhecida nas porções micáceas dos mármores, nas quais são observadas dobras decimétricas recumbentes, normalmente isoclinais, com mergulho do plano-axial sentido sul. Essas dobras apresentam charneira com direções preferencialmente para WNW/ESE.

Caracteristicamente com planos-axiais subverticais, a segunda fase de deformação é caracterizada por dobras decimétricas a decamétricas, com eixo orientado segundo E-W, coaxial ao primeiro evento. Mais especificamente a NE da Falha do Rio Groaíras, as inflexões das lineações de estiramento (NE-SW para WNW-ESSE) provavelmente acompanham formação de dobras abertas quilométricas com eixos encurvados e tenham sido adquiridas na fase final de mise em place da nappe (ALMEIDA et al., 2008).

O terceiro evento, ortogonal aos anteriores, possui, nitidamente, eixos com direções aproximadas para norte, preferencialmente noroeste, resultando em ondulações suaves nos flancos e planos axiais das dobras antecessoras.

Para Veríssimo et al. (2016), as deformações da orogenia Brasiliano-Pan-Africano são responsáveis pelo metamorfismo de alto grau (anfibolito) das rochas metassedimentares e pelo evento progressivo de deformação dúctil interpretado como um episódio de compressão regional que resultou em dobras isoclinais estreitas com um plano axial de baixo ângulo. Essas dobras apresentam trend para sul e são relacionadas a falhas de empurrão que localmente evoluíram para falhas transcorrentes.

Neste cenário, os quartzitos da Formação Laranjeiras passaram por processos de cavalgamento sobre paragnaisses da Formação Barrigas, levando à intercalação tectônica de gnaisses e quartzitos, enquanto o contato entre a Formação Barrigas e os mármores da Formação Alcantil é gradacional, marcado pela ocorrência de mármores impuros e rochas calciossilicaticas. Por vezes, mineralizações ocorrem na zona de crista de dobras isoclinais com planos de foliação mergulhando para o norte.

A Figura 11.1-156 ilustra algumas das dobras observadas na região. Dentre os diversos padrões de dobras observados ou descritos na literatura, destacam-se as dobras abertas de porte regional, com eixos próximos de E-W, correspondentes à última fase de deformação. Estas megaestruturas são as principais responsáveis pela orientação preferencial das unidades geológicas e pela inversão dos mergulhos da foliação. As famílias mapeadas são categorizadas de acordo com sua atitude, agrupadas em três orientações principais, e com mergulhos normalmente subverticais. A primeira família possui direção geral para noroeste, variando para N15-45W; a segunda família possui direção geral E-W e a terceira N-S.

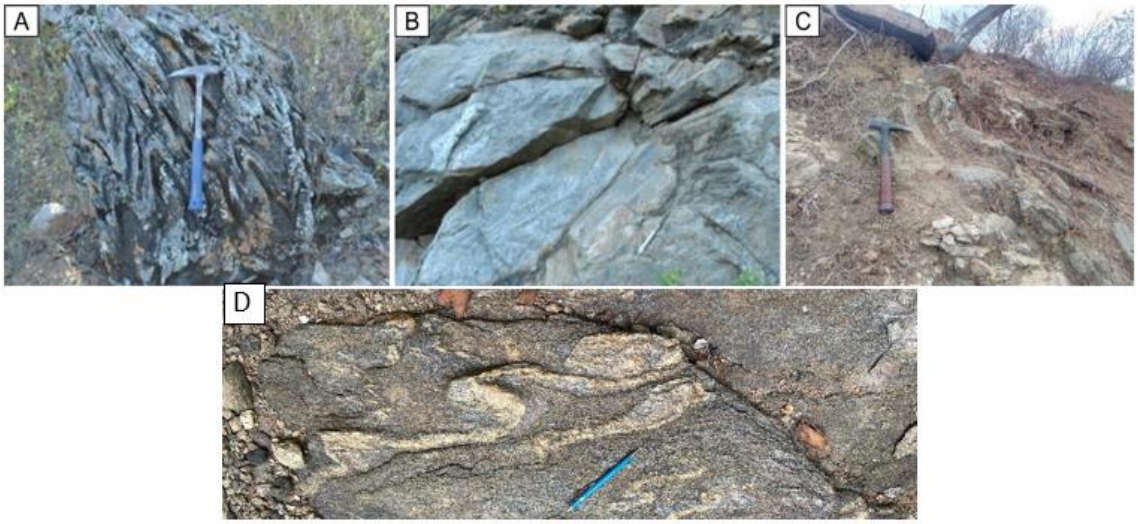


Figura 11.1-156: (A) Detalhe de dobras isoclinais apresentando padrão em Chevron; (B) Detalhe da dobra apresentando planos nos flancos com presença de estiramento mineral; (C) Dobra com eixo verticalizado em contato entre xistos e Calcissilicáticas; (D) Afloramento em lajedo, extensão de aproximada de 30m, de Sillimanita, Granada, Biotita gnaisse com dobras pitgmáticas e de arrasto indicando cinemática dextral.

Fonte: ARCADIS LOGOS (2014), BTB Explorers (2021) e GeoHidro (2023). Adaptado por: Tetra Mais, 2023.

O presente trabalho não tem o objetivo de caracterizar deformações dúcteis em detalhes. Relacionados a eventos mais recentes, estruturas rúpteis (separadas em juntas e falhas) estão distribuídas em famílias por toda a área. Essas estruturas cortam os litotipos Pré-Cambrianos e dobras existentes. Localmente, as deformações rúpteis controlam zonas de fraqueza geradas nas rochas ao formarem falhas e fraturas, que também concentram as mineralizações do depósito de Itataia (VERÍSSIMO et al., 2016).

As fraturas e falhas se apresentam agrupadas em três famílias com direções médias NNW-SSE, NW-SE e E-W, normalmente com mergulhos subverticais apresentando pequenas dispersões. Suas características são praticamente homogêneas em toda a área, independentemente dos litotipos, apresentando superfícies geralmente planas, lisas a rugosas, seladas ou com aberturas milimétricas, algumas vezes preenchidas por argilas resultantes da alteração da própria rocha, e geralmente secas. Localmente, nas áreas de ocorrência de mármores, são observadas descontinuidades com maior abertura, derivadas da ação de processos cársticos de dissolução.

Durante o mapeamento, foram encontradas fraturas (Figura 11.1-157) isoladas com direções discordantes e, algumas vezes, mergulhos sub-horizontais, que significam pequenas variações locais e não pertencem a nenhum grupo. No domínio dos mármores, foram observados veios de quartzo decimétricos dispostos *en echelon*, cujo alinhamento principal

apresenta direção próxima de E-W. A disposição dos veios indica um provável cisalhamento com esta direção, e cinemática sinistral.

Na região são encontradas falhas de diferentes portes, direções e cinemáticas (normal, inversa e transcorrente), algumas vezes reativadas em regimes de esforços distintos. Em alguns pontos, identificou-se a movimentação relativa entre os blocos, através das estrias resultantes. Particularmente nos afloramentos analisados nas entradas das galerias G1 e G2, foram identificados falhamentos normais com direção E-W (Figura 11.1-157), e mergulhos em torno de 50º a 60º, respectivamente, para norte e sul.

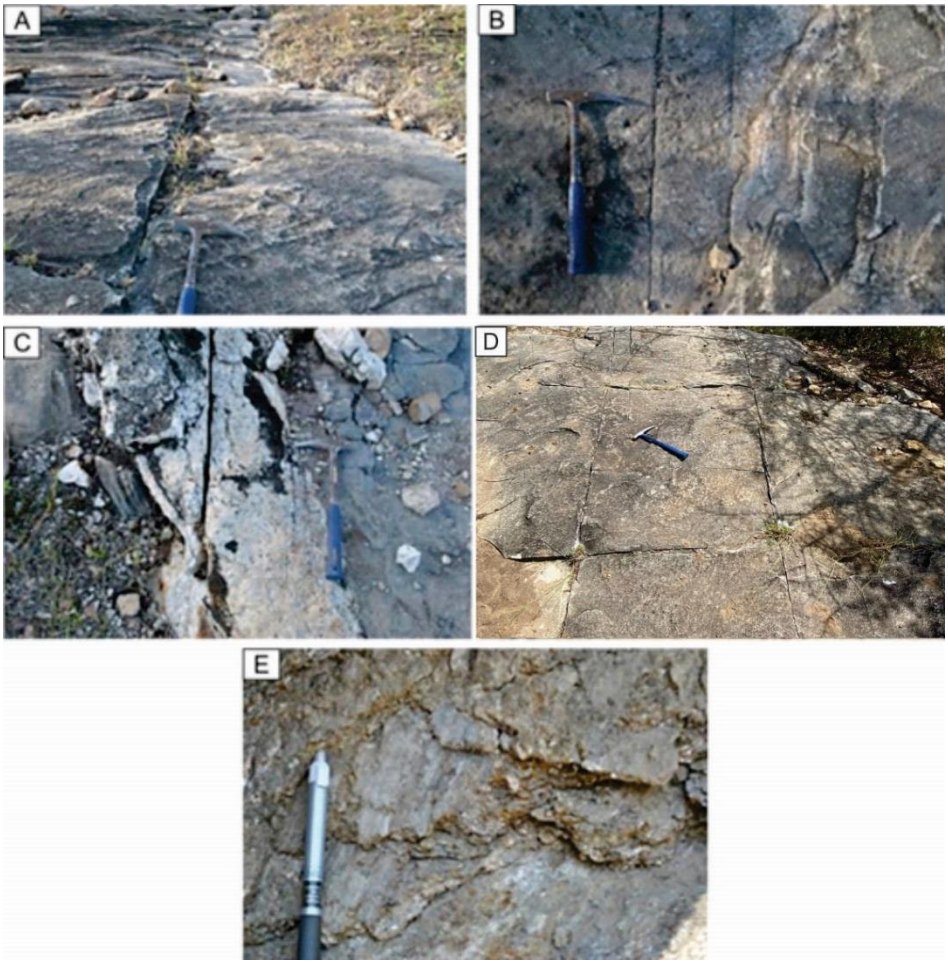


Figura 11.1-157: (A) Detalhe de família de fraturas com direções 295/80, 294/75, 290/72 e 292/70 (Notação Clar), apresentando 3 cm de abertura e preenchidas por solo; (B) Detalhe de família de juntas com direção 295/80; 294/75; 290/72 e 292/70, apresentando abertura da ordem de 3 cm; (C) Fratura no quartzito de direção 265/88, plana, lisa a rugosa, com espaçamento centimétrico, abertura superior a 1 mm, seca, com persistência de 1 m a 3 m; (D) Afloramento em lajedo de mármore, de cor branca, apresenta dois sistemas de fraturas: NW e E-W.; (E) Detalhe das lineações presentes em plano de falha normal e estrias slinkensides indicando movimentação normal em plano de falha com atitude 170/70 (Notação Clar).

Fonte: ARCADIS LOGOS (2014) e GeoHidro (2023). Adaptado por: Tetra Mais, 2023.

Entretanto, como apontado na Figura 11.1-158, as grandes estruturas existentes na ADA estão em regiões planas, o que diminui a existência de afloramentos e dificulta a definição das zonas de falhas e cisalhamentos. As falhas E-W controlam a formação de um vale que se estende regionalmente (VERÍSSIMO et al., 2016). Portanto, levantamentos geofísicos foram fundamentais para definir feições estruturais na região.

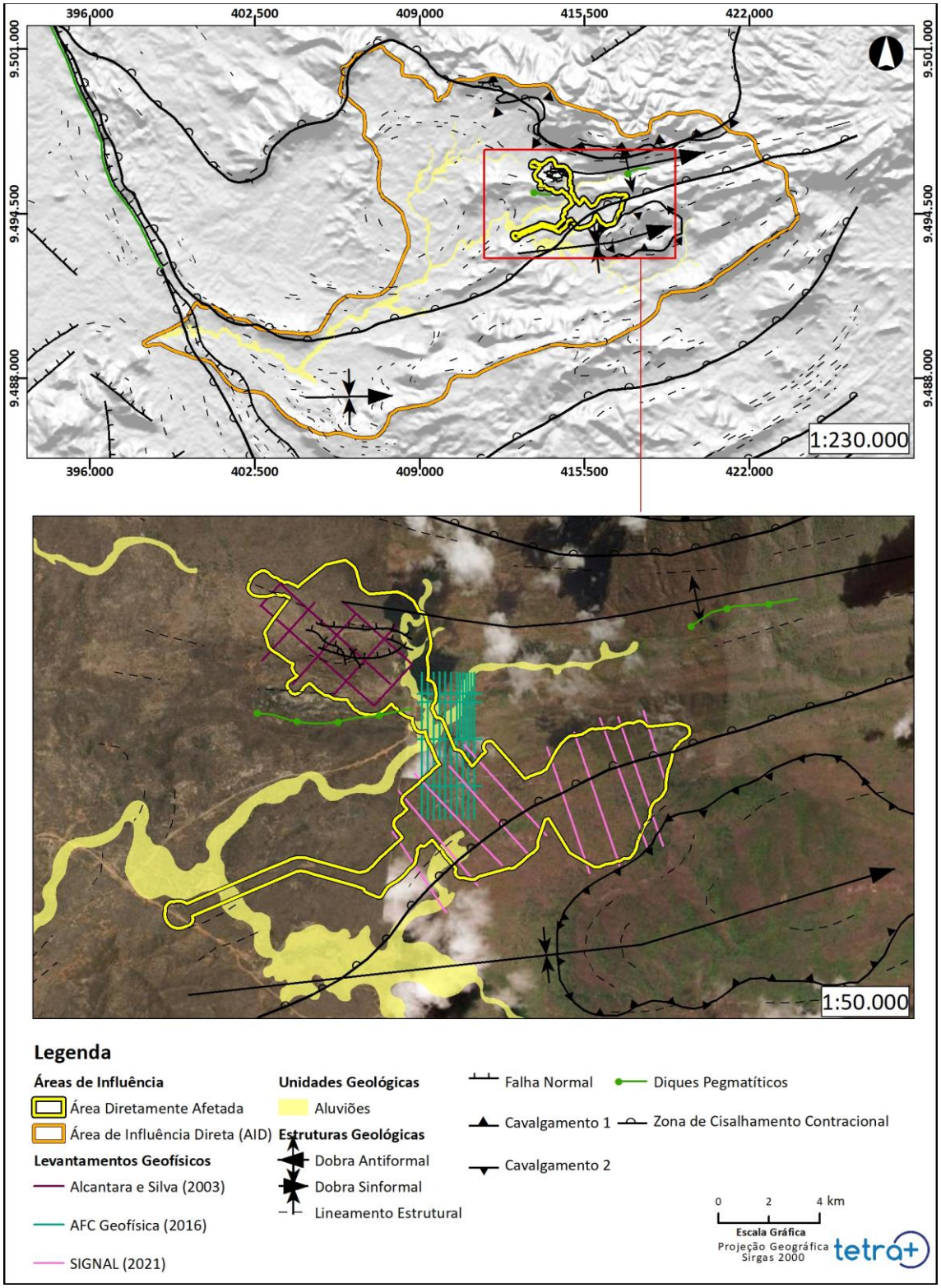


Figura 11.1-158: Mapa local mostrando as principais estruturas existentes e levantamentos realizados para coleta de dados sobre MDE.

Fonte: BTB Explorers (2021). Elaboração: Tetra Mais, 2023

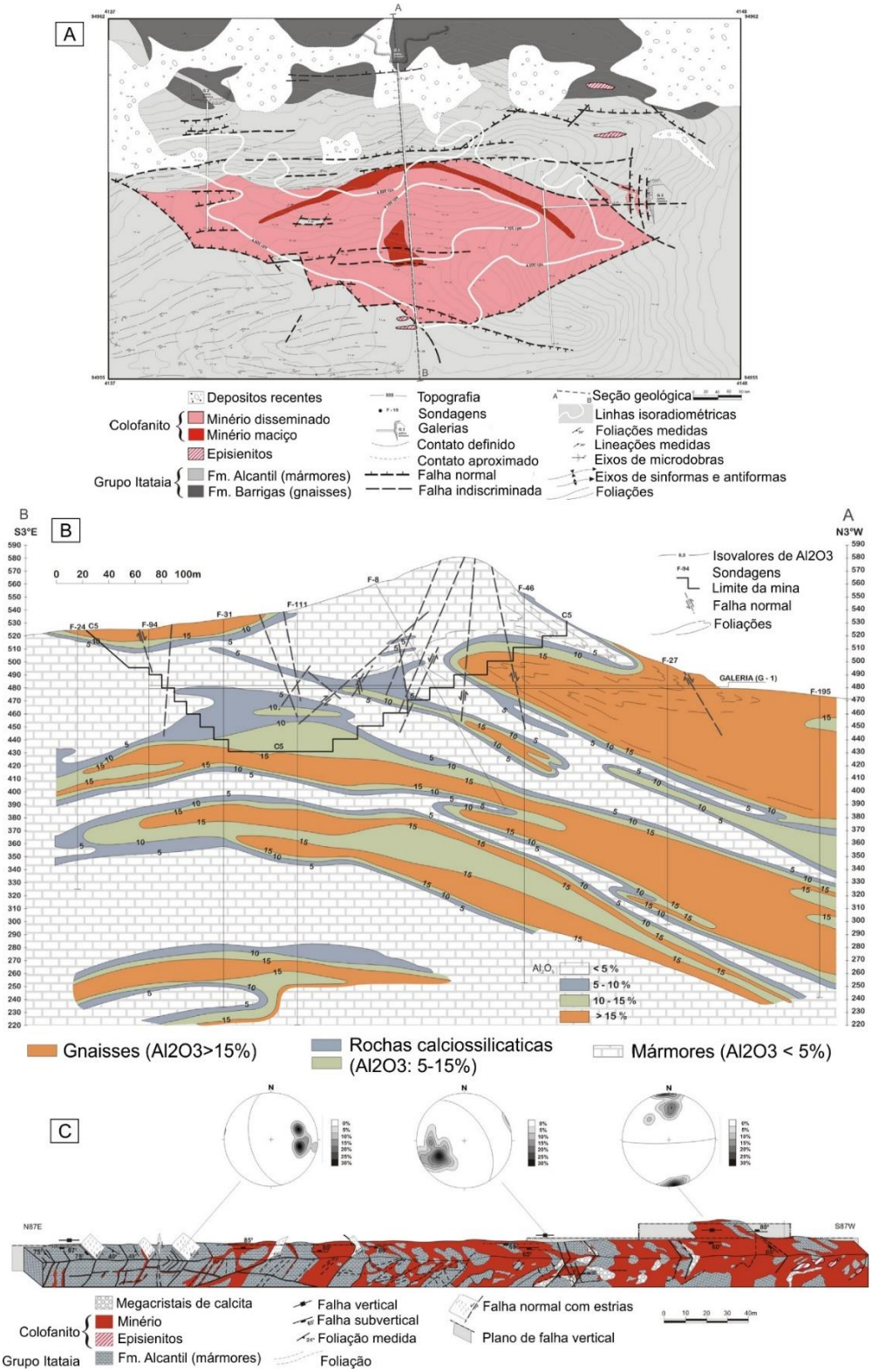


Figura 11.1-159: (A) Mapa geológico do depósito de fosfato-urânio de Itataia, ilustrando o corpo principal de minério e sua associação com planos de falha; (B) Seção transversal através da zona mineralizada com curvas de isovalores de Al2O3. A seção AB está desenhada em (A) e mostra as principais estruturas dúcteis e rúpteis; (C) Mapa geológico e estrutural detalhado da galeria G-3, ilustrando a relação do minério de colofanita com a tectônica rúptil. Nota-se um aumento gradual no volume do minério de sul para norte, acompanhado de brechação e carstificação de mármores.

Fonte: Veríssimo et al. (2016).

As pesquisas de Alcantara e Silva (2003), posteriormente retrabalhadas por Veríssimo et al., 2016), apontam que a ocorrência do minério (Figura 11.1-159) está condicionada por fraturamentos e falhamentos normais (típicos do modelo graben e horst) orientados nas direções N70E e N80W - secundariamente N10E e N30W - com mergulhos de alto ângulo (70° e 85° para o quadrante norte).

Os planos de falhas estão associados com brechas carbonáticas, veios de calcita e colofanita (Veríssimo et al., 2016). Vale apontar que os mármores da Formação Alcantil são as principais rochas hospedeiras das mineralizações de interesse, mas essa também ocorre em gnaisses e rochas Calcissilicáticas principalmente em fraturas NW-SE e nos planos de folição (Veríssimo et al., 2016).

Os trabalhos realizados em 2016, pela AFC Geofísica notaram a existência de possíveis cavidades naturais nos mármores orientados em faixas E-W, onde será instalado parte do complexo Mínero-industrial, mais especificamente a via de acesso a jazida e britador. Vale apontar que essa unidade contém lineamentos estruturais de direção E-W, identificados em análises remotas. Isso pode ser um indício de deformações na região segundo esse trend, seja na forma de contatos entre litotipos, falhas ou fraturas.

Os levantamentos realizados pela Signal em 2021 (Figura 11.1-160 a Figura 11.1-162), identificaram estruturas verticalizadas associadas a falhamentos. Além destas estruturas, descontinuidades litológicas compuseram o grupo de feições mapeadas, sendo possível através dos resultados fornecidos extrair a profundidade, extensão e posição em linha de cada corpo ou anomalia.

Na intepretação geoestrutural, foi possível identificar três zonas geoelétricas distintas, permitindo caracterizar os contornos e contatos em:

- zona 1 (muito condutiva), com valores menores que 100 ohm.m;
- zona 2 (condutiva ou pouco resistiva), com valores entre 100 e 1.400 ohm.m;
- zona 3 (resistiva), com valores maiores que 1.400 ohm.m.

De acordo com o processamento e interpretação dos dados de tomografia elétrica, foi observado o caráter condutivo predominante nos estratos geoelétricos que compõem toda a subsuperficie investigada na área de estudo.

Mesmo com a padronização das escalas de resistividade dos perfis foram observados valores máximos de 4.000 ohm.m em nove dos dez perfis realizados. Apenas um perfil (Perfil

04) apresentou valores superiores a 4.000 ohm.m de resistividade, sendo este aproximado a 7.500 ohm.m.

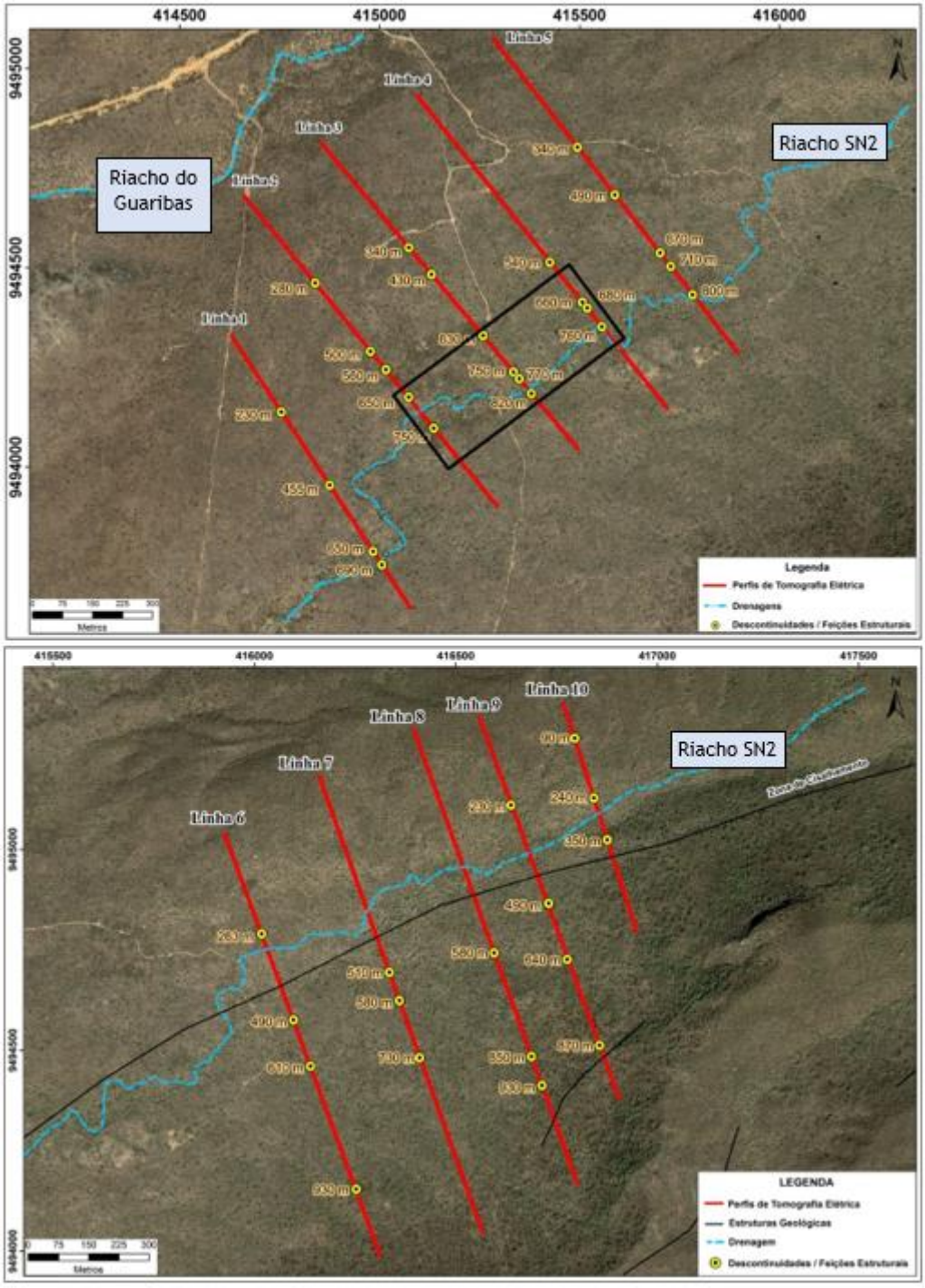


Figura 11.1-160: Mapas com a identificação das posições das feições estruturais identificadas ao longo dos perfis geoelétricos da área de estudo. Destacar as correlações estruturais entre os perfis 02, 03 e 04 (retângulo em cor preta) e dos perfis com a interseção com a drenagem (riacho SN2). ***Fonte: Signal (2021).***

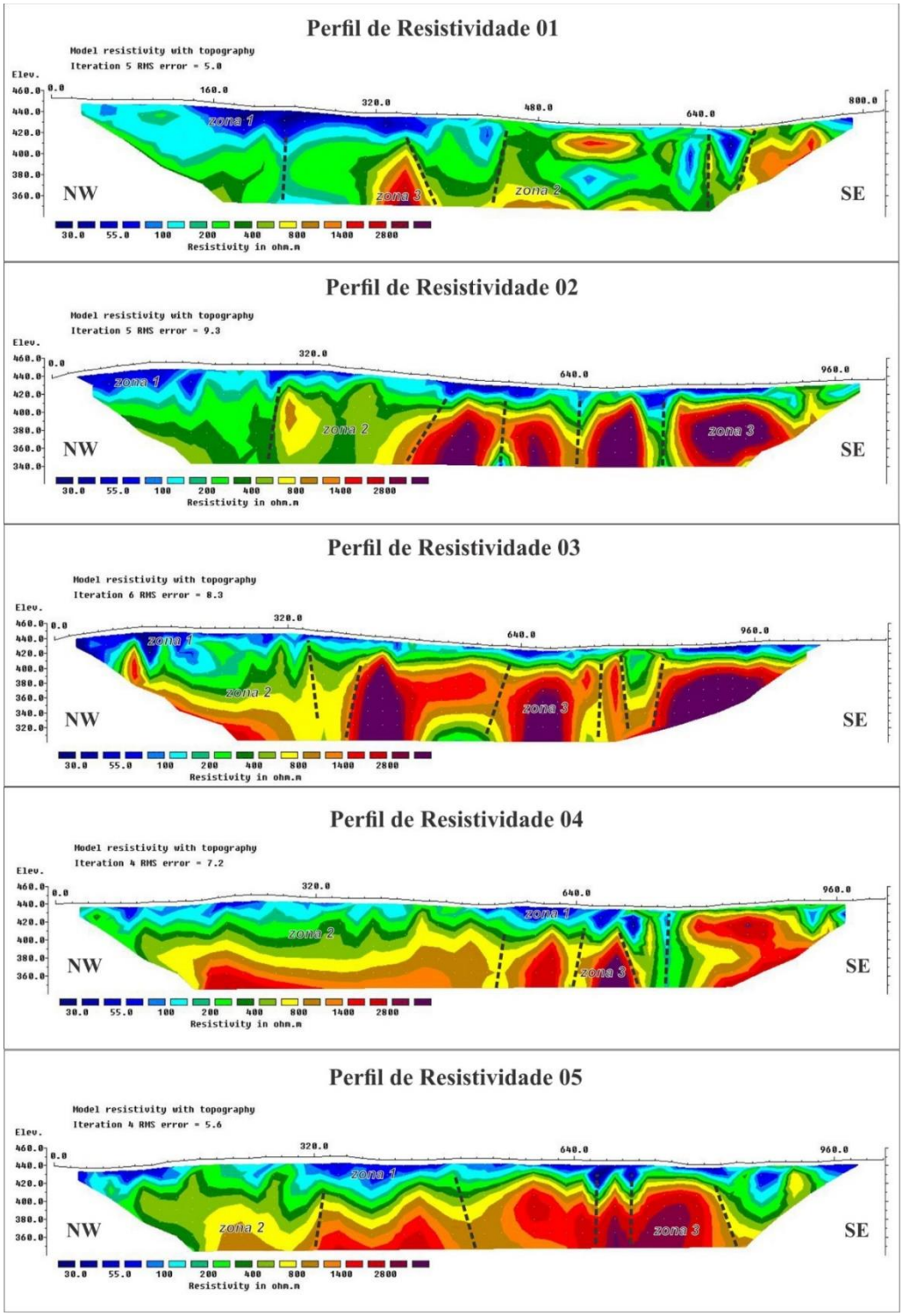


Figura 11.1-161: Seções de resistividade modeladas para os perfis 01 a 05 com suas respectivas características: comprimento da seção, escala de resistividade, cota/elevação. O traçado em cor preta significa presença de descontinuidades/feições identificadas.

Fonte: Signal (2021).

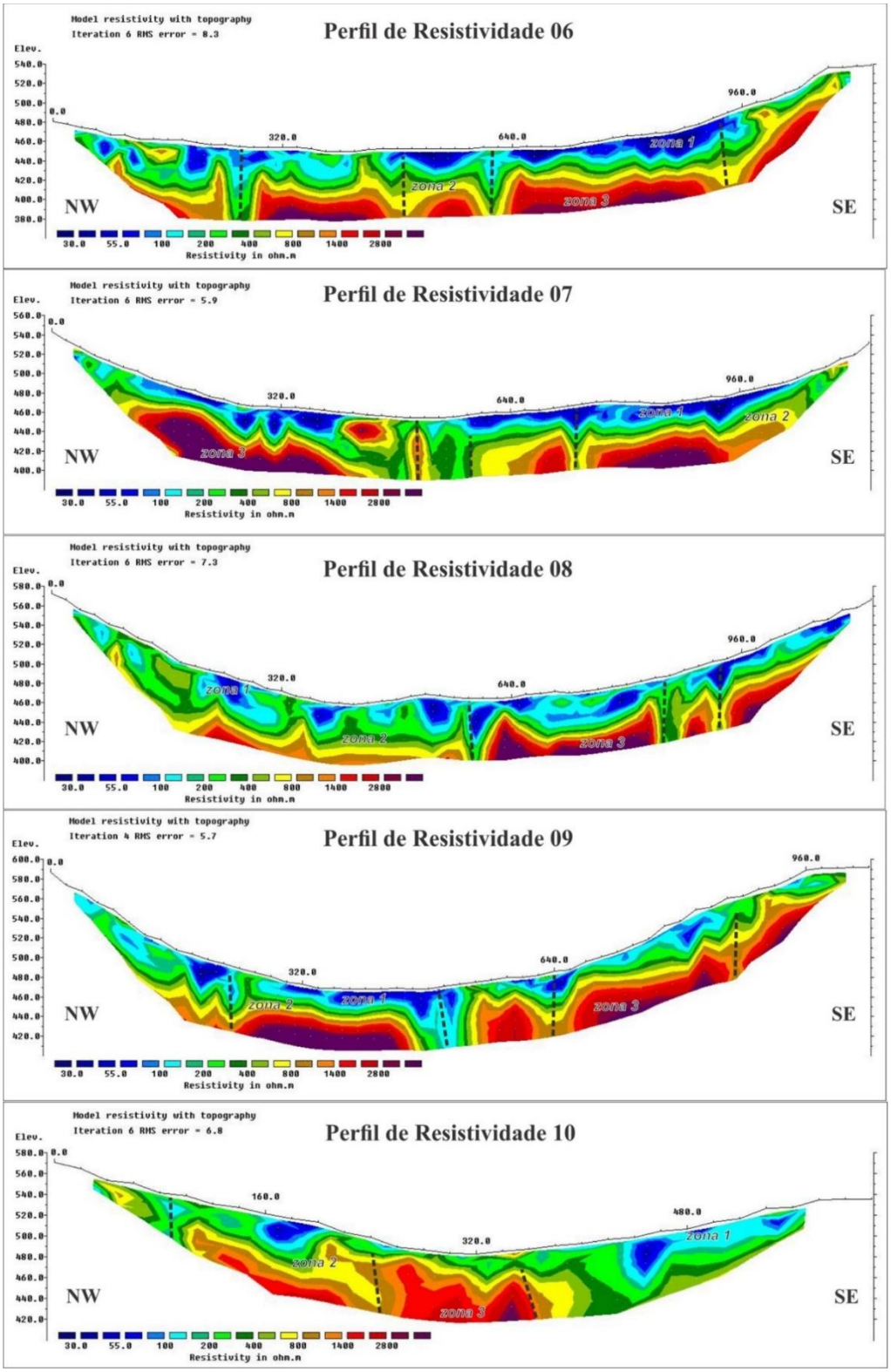


Figura 11.1-162: Seções de resistividade modeladas para os perfis 06 a 10 com suas respectivas características: comprimento da seção, escala de resistividade, cota/elevação. O traçado em cor preta significa presença de descontinuidades/feições identificadas.

Fonte: Signal (2021).

Considerando o contexto geológico local, a presença de regiões com menor resistividade (zona 1), podem ser associadas, no geral, com rochas alteradas (saprólito) e/ou possíveis descontinuidades (como fraturas). À proporção que ocorrem rochas mais consolidadas ou pouco fraturadas, por exemplo, os valores de resistividade tendem a aumentar (zona 2). Em contrapartida, as regiões mais resistivas (zona 3) podem ser associadas rochas cristalinas sãs e/ou pouco fraturadas/alteradas.

Logo, de um modo geral, a área de estudo apresenta estratos geoelétricos de caráter predominantemente condutivo, ou pouco resistivo. Este fato pode ser justificado:

i) pela presença elevada de descontinuidades e feições estruturais interpretadas nas seções geofísicas;

ii) pela possibilidade destas feições estarem ou não associadas a presença de acúmulo de água subterrânea, razão esta agravada em virtude da quadra invernosa no momento da aquisição;

iii) do detalhe de que todos os perfis cruzaram uma região caracterizada pela presença de "vale ou drenagem" encaixada em lineamentos e feições lineares existente na área (Riacho Guaribas).

A Figura 11.1-115 e a Figura 11.1-116 (descritos no item 11.1.7.3.1 Dados Geofísicos) mostram uma possível correlação entre as estruturas identificadas nos perfis que compõem a porção que fica mais a sudoeste da ADA, na área onde serão implantadas as unidades industriais (perfis 01, 02, 03, 04 e 05).

Em mapa (Figura 11.1-161) foi identificada a região onde os perfis (principalmente os perfis 02, 03 e 04) atravessam um lineamento estrutural com presença de uma drenagem superficial que se encontrava seca sazonalmente (SN2). Esta região dos perfis é caracterizada pela elevada intensidade de fraturamento (Figura 11.1-163)

Em alguns trechos do riacho SN2 podemos observar o padrão retilíneo descrito em diversos trabalhos acadêmicos com o termo de "Riacho Fenda". São trechos da rede de drenagem superficial influenciados diretamente por controles estruturais presentes na área, como por exemplo, ângulos muito fechados (~90°) como visto na porção entre as linhas geofísicas 01 e 02. Também aspectos retilíneos podem ser observados entre as linhas geofísicas 03 e 04.

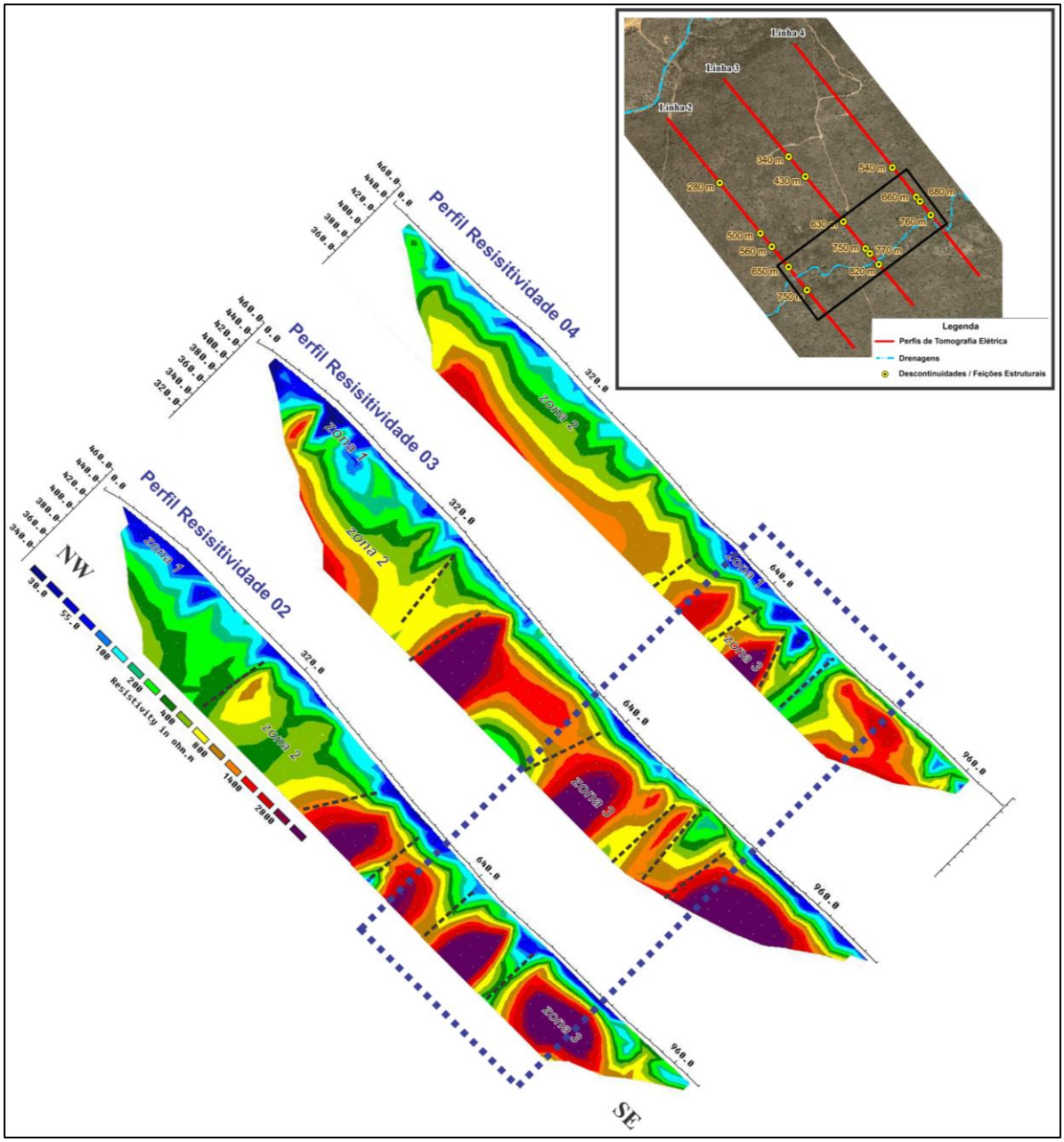


Figura 11.1-163: Correlação entre as descontinuidades estruturais presente na modelagem dos perfis 02, 03 e 04 (retângulo tracejado na cor azul). Destaque para este intervalo bastante fraturado vistos em ambos os perfis, associado a presença do riacho SN2.

Fonte: Signal (2021).

Com relação aos perfis mais a nordeste da ADA, na área prevista para o Pilha de fosfogesso e cal (perfis 06, 07, 08, 09 e 10), novamente observa-se um padrão contínuo de descontinuidades estruturais ao longo deles. A Figura 11.1-164 apresenta as feições identificadas nas suas respectivas posições no decorrer destes perfis. O perfil 09 deixa bastante evidente (posição entre 450 e 520 metros) a forte interseção deste com o lineamento estrutural (Zona de Cisalhamento) destacado na Figura 11.1-164.

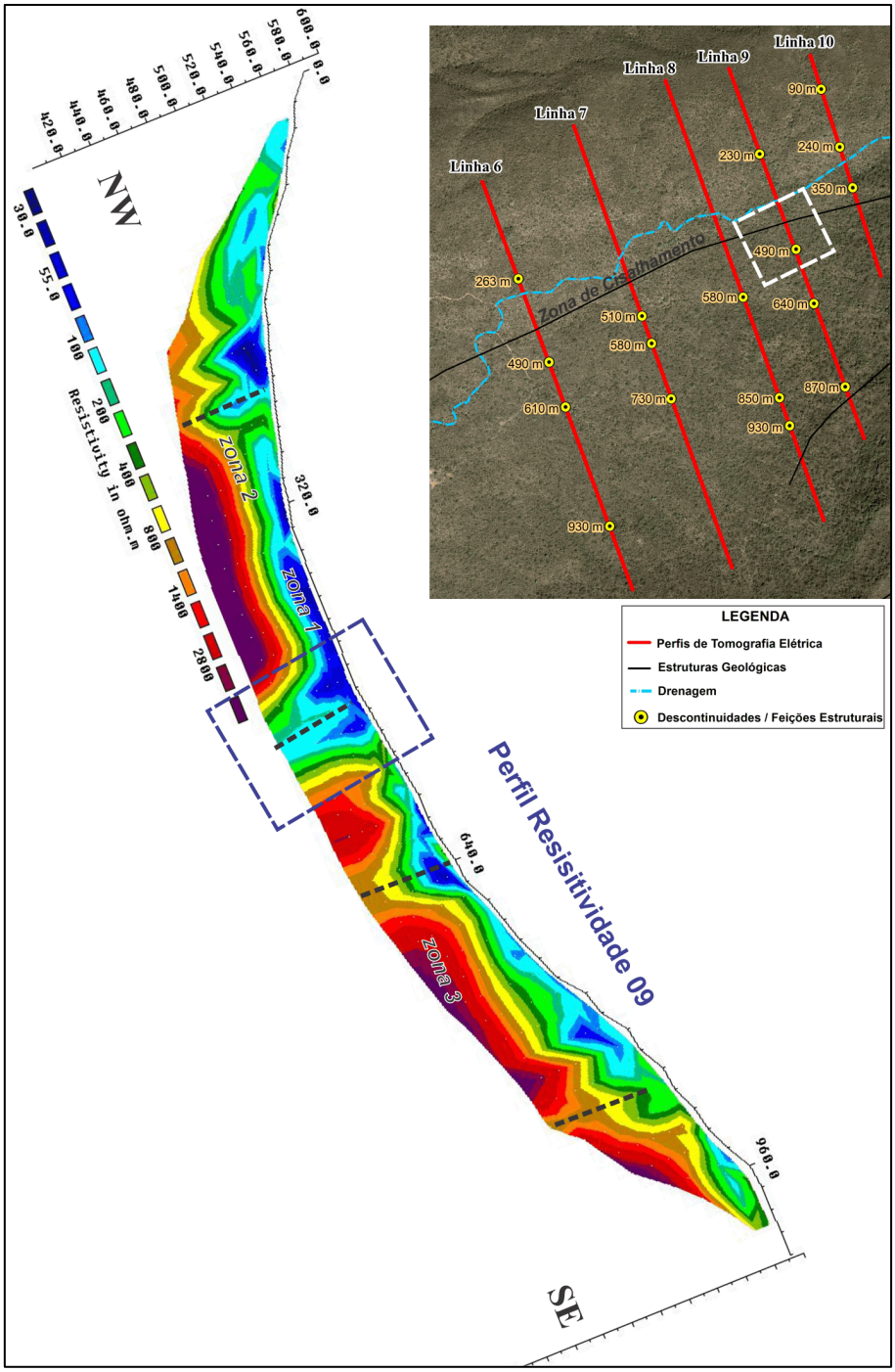


Figura 11.1-164: Correlação entre as descontinuidades estruturais presente na modelagem do perfil 09 (retângulo tracejado na cor azul). Destaque para este intervalo (traçado em cor branca) bastante fraturado visto no perfil, associado a presença da Zona de Cisalhamento e riacho SN2.

Fonte: Signal (2021).

11.1.7.4 Considerações Finais

De forma geral, os conhecimentos em relação ao meio físico foram adensados, refletindo diretamente nos dados geológicos obtidos entre 2022 e 2023. Com a realização do mapeamento 1:10.000 e a construção da nova rede de poços de monitoramento é possível visualizar de maneira detalhada as litologias do entorno da ADA.

Para ampliar os conhecimentos geológicos e aprofundar, consequentemente, os estudos de geotecnia, hidrogeologia, pedologia etc., foi realizado um mapeamento de detalhe na escala de 1:10.000. Da área mapeada (17,8 km²), a Formação Barrigas representa 56,33 % do total, enquanto na ADA esse valor chega a 66,91%. Já a Formação Alcantil tem 31,37%, enquanto na ADA seu valor é de 31,72%. As Formações Serra do Céu e Laranjeiras representam 3,79% e 3,22% respectivamente, ambas as unidades não estão inseridas na ADA. Por fim, os sedimentos cenozoicos estão concentrados na região sudoeste, próximo aos rios e vales, sua área representa 3,94% e na ADA apenas 0,99%.

A Fm. Barrigas é formada principalmente por granada-biotita gnaisse, silimanita-granada-biotita gnaisse, porções migmatizadas, xistos com presença de biotita e muscovita, além de anfibolitos dispersos. Já a Fm. Alcantil, apresenta essencialmente metacarbonáticas (mármores puros, impuros, dolomíticos e calcissilicáticas), devido a sua composição não ser de origem clástica e sim química, essa formação é suscetível a alteração e formação de áreas cársticas. Por esse motivo, durante o Cambriano/Ordoviciano houve um primeiro processo de carstificação dessas rochas que junto a fluidos quentes, preencheu algumas porções com um fluido rico em fosfato e urânio, resultando na origem ao minério de colofanito. Por fim, hoje a região conta com algumas zonas cársticas, formando algumas áreas com presença de calcretes e tufas calcárias, que foram estão descritos no mapa de detalhe 1:10.000. O tema referente às cavidades é apresentado no capítulo Patrimonio Espeleológico, e resumido aqui no item 11.1.7.3.6.

Uma das principais informações obtidas e a questão da interdigitação entre a Fm. Alcaltil e Fm. Barrigas, que podem ocorrer de forma centimétrica a métrica conforme a Figura 11.1-123. Além disso, a Figura 11.1-123 possibilita entender o comportamento estrutural e geotécnico em profundidades médias de 30 metros. Essa informação auxiliada aos dados geofísicos possibilita identificar quais pontos há possibilidade da existência de cavidades, como nos levantamentos realizados em 2016, que aponta para diversas anomalias ao norte da área do complexo industrial.

Com a construção dos poços de monitoramento, como no caso do PC-09, é possível identificar que em profundidades superiores a 40 m a rocha apresenta intenso fraturamento

além de grau de alteração A3 (muito alterado) em diversos extratos, intercalado com rochas muito sã. No caso do PC-09 esse tipo de padrão pode gerar essas anomalias, indicando possíveis canais de percolação de água, essencial para a alteração química das rochas. Outro fator que pode gerar essas anomalias é a interdigitação das camadas, que por sua vez respondem de maneira diferente à resistividade geofísica. O caso das linhas ERT01 e 02 e ERT05 e 06 apresentam possíveis cavidades, porém há 3 poços na região (PC-13, PC-14 e PC-15), que indicam que a camada da Fm. Alcantil, presente sobre parte da pilha de fosfogesso e complexo industrial, adelga de SW para NE (Figura 11.1-165), assim as anomalias mais profundas referentes das linhas de 2021, possivelmente reflitam a presença da Fm. Barrigas em maiores profundidades.

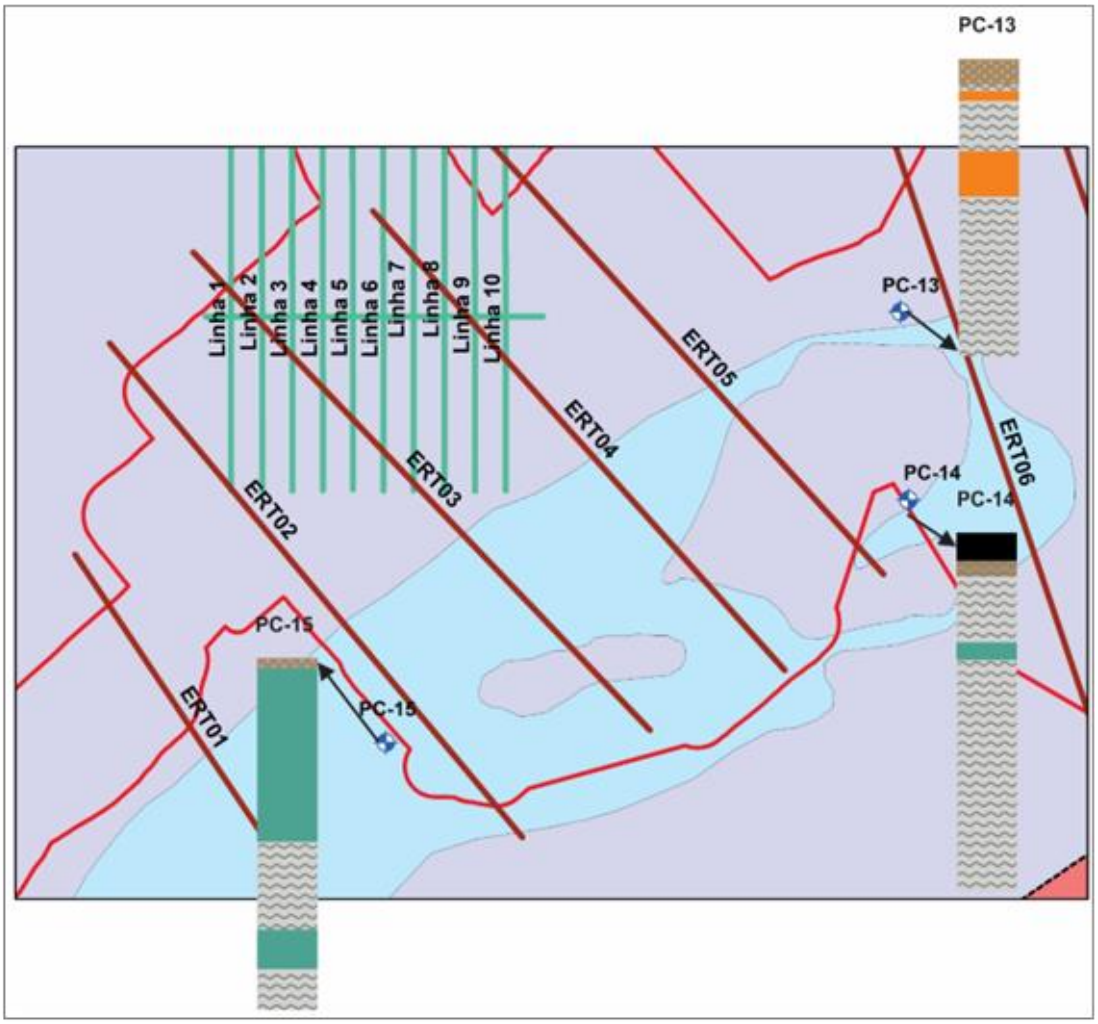


Figura 11.1-165: Mapa esquemático dos poços construídos em 2022 em relação às linhas geofísicas de 2021. Em tons azul esverdeado está representado nos perfils as camadas metacarbonáticas, enquanto os tons cinza hachurados os paragnaisses, e em laranja os Pegmatoides.

Elaborado por BTBExplorers (2023).

Em todos os furos, apenas o furo PC-05 (extremo NW do mapa 1:10.000 e fora da ADA) identificou possíveis cavidades, conforme o Quadro 11.1.7-4, com bolsões com material arenoso entre as rochas metacarbonáticas.

Para sanar questões sobre a presença de sulfetos nos minerais que compõem as demais rochas e que possam provocar a lixiviação ácida, foram realizadas novas análises químicas (Anexo 9-3-4), coletando amostras de rochas que iram compor o estéril da mina, a fim de identificar possíveis minerais sulfetados. Tanto em campo como em análises laboratoriais (Anexo 11.1.7-2 e 11.1.7-5 e Anexo 9-3-4) não foram encontrados indícios da presença de sulfetos, isso ocorre, principalmente pela composição das rochas ser predominantemente alcalina:

- Paragnaisses: (Feldspatos + Biotita + Quartzo + Granada + Silimanita ± Muscovita)
- Anfibolitos: (Anfibólio + Plagioclásio + Granada ± Piroxênio)
- Pegmatoides: (Feldspatos + Quartzo)
- Mármores, Mármores Dolomíticos, Mármores Impuros e Calcissilicática: (Calcita + Dolomita + Anfibólio ± Piroxênio ± Biotita ± Grafita).
- Quartzitos e Muscovita Quartzitos: (Quartzo + Muscovita ± Feldspato)
- Migmatito, Metatexitos e Gnaisses Migmatizados: (Feldspatos + Biotita + Quartzo + Anfibólio)

11.1.8 Hidrologia

11.1.8.1 Considerações Metodológicas

O diagnóstico dos recursos hídricos nas áreas de influência do Projeto Santa Quitéria (PSQ) foi pautado em pesquisa a dados secundários disponíveis nos órgãos públicos, na bibliografia especializada, entre outras fontes de consulta pertinentes ao tema, a partir dos quais foram descritas as principais características do ambiente passíveis de sofrer interferências pelo empreendimento.

Para a caracterização das nascentes e suas respectivas vazões, foram considerados os levantamentos realizados pela ARCADIS LOGOS (2014) no ano de 2012, cujo relatório de caracterização é apresentado no Anexo 11.1.8-1.

No item a seguir, consta a caracterização dos recursos hídricos superficiais na AII, compreendendo uma contextualização regional com ênfase na bacia do rio Acaraú, estreitando-se o foco para a bacia do rio Groaíras, onde está projetado o empreendimento. No item subsequente, descreve-se a avaliação dos recursos hídricos superficiais na AID e ADA do PSQ.

Para subsidiar a descrição da rede hidrográfica, empregou-se a base de dados oficial do IPECE de 2023 (base cedida em agosto/2023). Considerando que a nomenclatura dos riachos, córregos e corpos hídricos pode diferir tanto em relação a outras bases de dados como em relação à terminologia empregada pelos moradores locais, optou-se por manter a nomenclatura do IPECE, sendo referenciada também a nomenclatura local, de modo a

facilitar o amplo entendimento da rede hidrográfica. O Quadro 11.1.8-1 a seguir apresenta a comparação da nomenclatura dos corpos hídricos levando em conta a base do IPECE e a localmente conhecida.

Quadro 11.1.8-1: Nomenclatura dos corpos hídricos com base nos dados oficiais do IPECE e a nomenclatura local.

Nomenclatura	
Base Oficial (IPECE, 2023)	**Base Local**
Riacho das Guaribas	Riacho das Guaribas
Riacho Cunha-Moti	Riacho Cunha-Moti
Riacho do Mulungu	Riacho do Mulungu
Riacho sem denominação 1 (SN1)	Riacho Gangorra
Açude do Riacho da Gangorra	Açude Morrinhos
Riacho da Gangorra	Riacho Gangorra
Riacho do Bitu	Riacho do Bitu
Riacho da Gangorra	Riacho Porto dos Cavalos
Riacho sem denominação 3 (SN3)	Riacho Alcantil
Riacho sem denominação 2 (SN2)	Riacho Lúcio
Açude do Riacho Caramutim	Açude Quixaba
-	Riacho do Mata Fome*
Riacho Mata Fome*	-
Riacho Curimatã	Riacho Curimatã
Riacho Caramutim	Riacho Curimatã

Legenda: A nomenclatura da base oficial e da base local é registrada em dois cursos d'água distintos.*

Fonte: IPECE, 2023 e Consórcio Santa Quitéria, 2023. Elaboração: Tetra Mais, 2023.

Cabe destacar que o balanço hídrico da região é apresentado no capítulo 11.1.1 Clima e Meteorologia (item 11.1.1.3.5 Balanço Hídrico Climatológico).

11.1.8.2 Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII)

11.1.8.2.1 Aspectos Fisiográficos

Conforme detalhado na definição das áreas de influência, a AII do PSQ está inserida na sub-bacia do rio Groaíras, um dos principais afluentes da margem direita do rio Acaraú. Segundo a subdivisão do território brasileiro estabelecida pela Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH nº 32/2003, a bacia do rio Acaraú se enquadra no grupo de mananciais pertencentes à Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental.

De acordo com a base da Divisão Hidrográfica Nacional - DHN250 essa área está localizada na macrorregião hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, na mesorregião Litoral do Ceará e na microrregião Acaraú (codificação Otto Pfafstetter 6752) (IBGE & ANA, 2021).

A bacia do rio Acaraú, que compõe uma das 12 Regiões Hidrográficas definidas no âmbito da Política Estadual de Recursos Hídricos, está localizada no setor norte-ocidental do estado do Ceará, tendo como limites: a nordeste - bacias do Litoral e Curu; a oeste, noroeste e sudoeste - bacias do Serra da Ibiapaba, do Coreaú e Sertões de Crateús, esta última se estendendo ao sul até o limite da bacia do Banabuiú; ao norte - Oceano Atlântico, onde deságua o rio Acaraú (Figura 11.1-166).

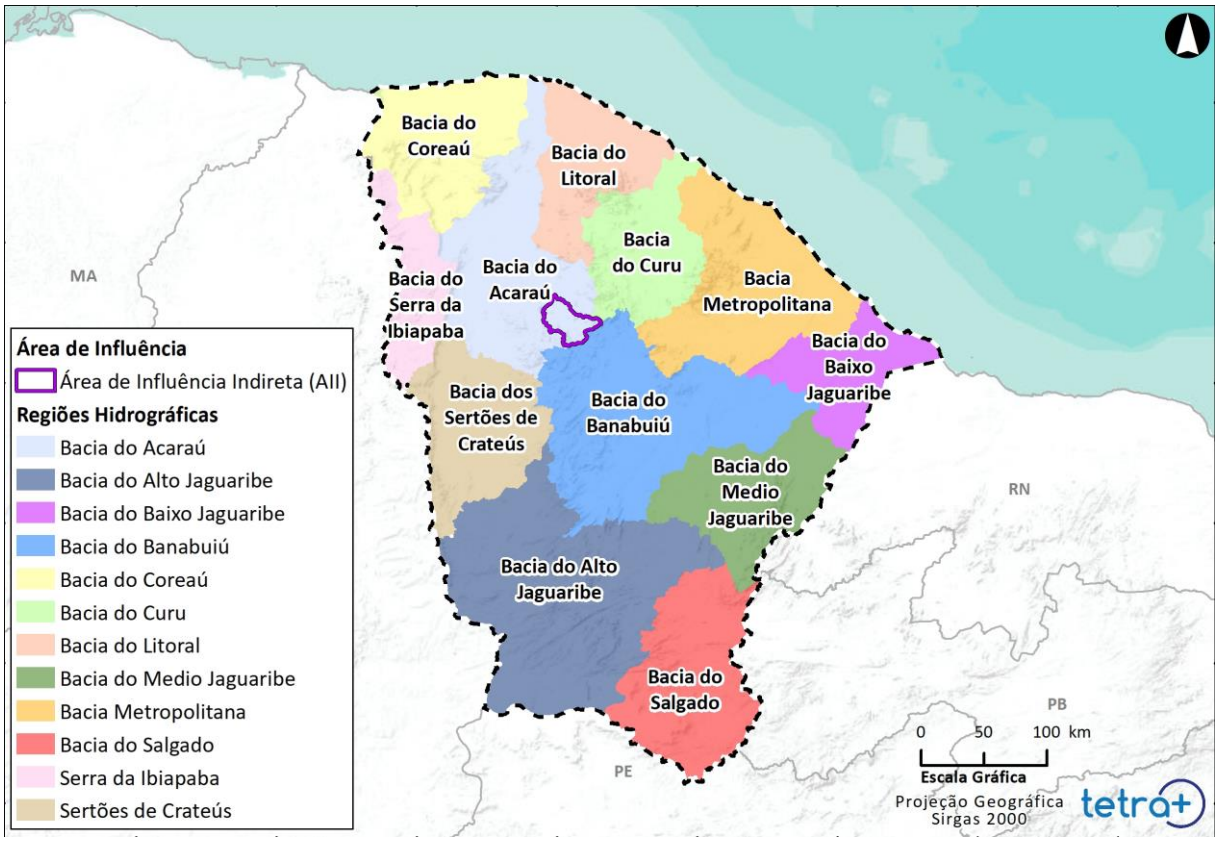


Figura 11.1-166: Regiões hidrográficas do estado do Ceará.

Fonte: SRH (2021).

As ações de gerenciamento dessa bacia estão vinculadas ao Conselho dos Recursos Hídricos do Ceará – CONERH e Gerência da Bacia do Coreaú e Acaraú – COGERH. O Comitê da Bacia Hidrográfica do Acaraú foi criado pelo Decreto Estadual nº 27.647, de dezembro de 2004 e instalado em 18 de fevereiro de 2005.

No total, o rio Acaraú delimita uma bacia de drenagem de 14.416 km², que corresponde a cerca de 10% do território cearense, compreendendo 28 municípios, entre os quais a quase totalidade do território de Santa Quitéria (SRH, 2021). No total, há 15 açudes públicos gerenciados pela COGERH na região hidrográfica do Acaraú, conforme Quadro 11.1.8-2 e Figura 11.1-167 e, que destaca também os limites das áreas de influência do empreendimento.

Quadro 11.1.8-2: Reservatórios Monitorados pela COGERH na Região Hidrográfica do Acaraú.

RESERVATÓRIO	MUNICÍPIO	CURSO D'ÁGUA BARRADO	CAPACIDADE (HM^3)*	AFLUÊNCIA MÉDIA TOTAL (HM^3/ANO)
Carão	Tamboril	Rio Acaraú	26,23	16,87
Farias de Sousa	Nova Russas	Riacho Curtume	12,23	1,36
Bonito	Ipu	Riacho Ipuzinho	6,00	5,10
Jatobá II	Ipueiras	Riacho Jatobá	6,24	4,31
Araras	Varjota / Pires / Hidrolândia / Santa Quitéria	Rio Acaraú	859,53	399,65
Carmina	Catunda	Riacho dos Abreus	13,48	11,43
Edson Queiroz	Santa Quitéria	Rio Groaíras	254,00	148,45
Taquara	Cariré / Pacujá / Mubambo	Rio Jaibaras	320	128,41
Ayres de Sousa	Sobral	Rio Jaibaras	96,80	92,22
Sobral	Sobral	Riacho Mata Fresca	4,27	2,53
Arrebita	Forquilha	Riacho Sabonete	18,53	9,86
Forquilha	Forquilha	Riacho Madeiro	50,13	21,31
Jenipapo	Merouca	Riacho Jenipapo	4,94	3,12
Acaraú Mirim	Massapé	Rio Acaraú Mirim	36,72	135,71
São Vicente	Santana do Acaraú	Riacho São Vicente	9,84	12,78
Total Monitorado			1.718,94	

Fonte: COGERH, 2022.

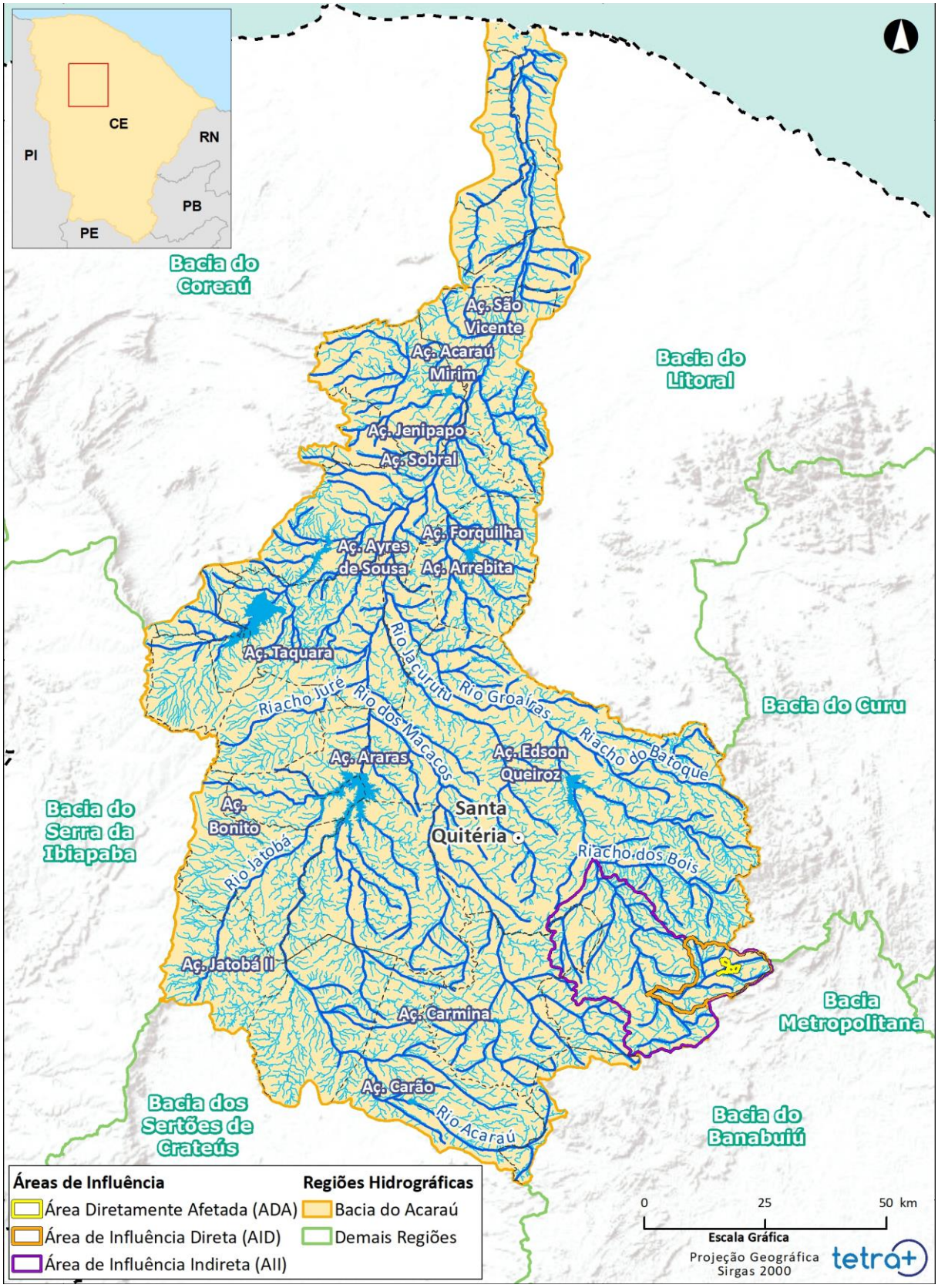


Figura 11.1-167: Rede de drenagem da bacia do rio Acaraú.

Fonte: COGERH, 2021.

Os principais afluentes do rio Acaraú estão concentrados na porção alta da bacia. Pela margem esquerda, destaca-se o rio Jaibara (ou Jaibaras), onde se encontra o açude Aires de Souza no município de Sobral. A margem direita recebe contribuição de um maior número de tributários, como os rios dos Macacos, Jacurutu e Sabonete, além do rio Groaíras, em cuja sub-bacia foi estabelecida a delimitação da AII do PSQ, segundo representado no Mapa 11.1-20.

O rio Groaíras percorre uma extensão de aproximadamente 85 km desde as cabeceiras até sua foz no rio Acaraú, totalizando uma bacia de drenagem da ordem de 2.700 km^2. Nessa área estão presentes, além de Santa Quitéria e Catunda, os municípios de Forquilha e de Groaíras, onde desemboca no rio Acaraú.

A AII abrange, no seu limite sudeste, um dos formadores do rio Groaíras, o riacho do Mulungu, coincidindo com os divisores das bacias hidrográficas dos rios Acaraú e Banabuiú. Com um percurso preferencial no sentido leste/oeste, o rio Groaíras recebe pela margem direita, na AII, o riacho Cacimbas e seu afluente Arapuã, além do riacho do Desterro e seu contribuinte riacho Fundo, entre outras sub-bacias laterais de menor porte, que drenam o município de Santa Quitéria.

Ainda na margem direita encontra-se o riacho das Guaribas, que nasce nas proximidades da divisa municipal de Santa Quitéria e Itatira e segue seu fluxo até a sua foz no riacho Cunha-Moti, nas proximidades da futura cava e pilha de estéril do PSQ. O riacho Cunha-Moti recebe contribuições ainda do riacho Caramutim, o qual é represado formando o açude do riacho Caramutim, popularmente conhecido como açude Quixaba.

Na margem esquerda do rio Groaíras, a jusante da foz dos riachos Dalgado e Angico, encontram-se seus principais contribuintes, os riachos Carcará e do Logradouro, cujos divisores delimitam a porção oeste da AII.

O riacho do Logradouro tem seu curso principal servindo de limite administrativo entre o município de Santa Quitéria, à direita, e o município de Catunda, à esquerda. O território de Catunda é também drenado pelos trechos alto e médio do riacho do Logradouro até a foz do riacho do Feijão, seu contribuinte da margem direita. A seguir, o riacho do Logradouro entra no limite de Santa Quitéria, encontrando outros contribuintes à direita, para desaguar a seguir no rio Groaíras.

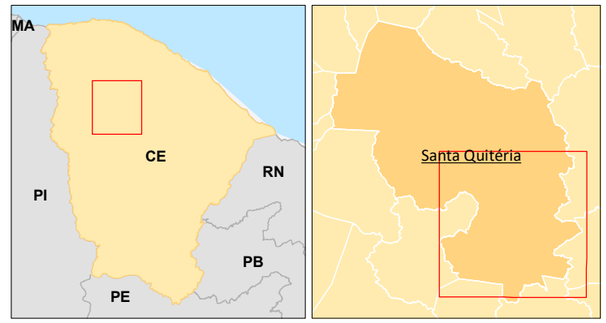
390.000 405.000 420.000

9.515.000 9.500.000 9.485.000

Rio Groaíras
Rch. do Papagaio
Rch. Lameu
Rch. das Pintas
Rch. do Logradouro
Açd. Riacho do Logradouro
Rch. da Mesa
Rch. Fundo
Rch. do Desterro
Rch. Pau D'Arco
Açd. Riacho dos Pintos
Açd. Riacho Pai Domingos
Rch. Santa Luzia
Rch. do Feijão
Rch. Refrigel
Rch. dos Porcos
Rch. Maniçoba
Rch. Juazeiro
Rch. Carcará
Rch. das Pedras
Rch. das Cacimbas
Rch. do Bitu
Rch. Arapuá
Rch. Cunha Moti
Rch. Caramutim
Rch. Curimatá
Rch. Angico
Rch. do Dalgado
Rch. do Mulungu
Rch. Maracanã
Rch. dos Cavalos
Rch. do Salobro
Rch. do Ingá
Rch. da Mina
Rch. do Guaribas

Canindé
Catunda
Santa Quitéria
Morrinhos
Queimadas
Riacho das Pedras
Itatira
Lagoa do Mato
Monsenhor Tabosa
Boa Viagem
Madalena

Macrolocalização



Legenda

Referências Locacionais

- Localidades
- Limite Municipal
- Áreas Urbanizadas/Edificadas

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)
- Área de Influência Indireta (AII)

Hidrografia

- Rio Groaíras
- Cursos d'água
- Massa d'água

Fonte:
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:180.000
0 2 4 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria

tetra+

Projeto: **Projeto Santa Quitéria**

Título: Delimitação da AII - Bacia do rio Groaíras

Formato	Escala	Folha
A3	1:180.000	Única

Data	Localização
27/11/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

A jusante, o rio Groaíras segue seu fluxo e encerra a delimitação da AII do PSQ logo após a confluência com o riacho dos Papagaios, contribuinte da margem esquerda. A jusante recebe a contribuição de outros afluentes até a zona de remanso formada pelo reservatório Edson Queiroz.

O rio Groaíras banha principalmente o território de dois municípios: Santa Quitéria, onde está localizada sua nascente, e Groaíras, onde se localiza sua foz no rio Acaraú. Abrange também pequenas partes dos municípios de Forquilha e Catunda. Dentre esses, Santa Quitéria é o principal município inserido na AII e sua sede urbana situa-se a jusante desta área, conforme ilustrado no Mapa 11.1-20. Assim, não há sedes urbanas na AII. Os principais núcleos habitacionais existentes nessa área são os assentamentos de Morrinhos e Queimadas (sub-bacia do riacho do Mulungu), situados na margem esquerda do rio Groaíras.

Conforme documentado por Nascimento *et al.* (2008), um dos padrões que sobressai na bacia do rio Acaraú, em Santa Quitéria, é o escoamento superficial com rios de padrões dendríticos e intermitente sazonal.

Cabe indicar que, embora o açude Edson Queiroz esteja fora dos limites da AII, cerca de 9 km a jusante, foram incorporados dados deste açude no contexto da caracterização das áreas de influência do empreendimento (AII, AID e ADA), tendo em vista sua relevância regional. Este açude garantirá o suprimento de água ao PSQ, sendo importante considerar que, para a etapa de operação do empreendimento, o estado do Ceará atestou a sua disponibilidade no açude Edson de Queiroz, através de uma outorga já emitida (Nº 100712/2022, emitida pela SRH para o PSQ em 30/05/2022), com validade vigente até 2032. A infraestrutura para provimento de água até o PSQ contará com um sistema adutor. O licenciamento desse sistema é de responsabilidade do Governo do Estado do Ceará e seguirá seus trâmites técnicos e administrativos pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), conforme pode ser observado no Memorando de Entendimentos anexado ao presente Estudo de Impacto Ambiental, e detalhado na Caracterização do Empreendimento (Volume I). O mesmo capítulo descreve que também haverá captação no Açude Edson Queiroz, por meio de caminhões pipa, também dentro do limite de vazão já outorgado ao Consórcio Santa Quitéria.

A bacia do rio Acaraú abriga ainda vários dos mais importantes açudes cearenses, todos fora da AII, tais como o Forquilha, no município homônimo, o Ayres de Sousa em Sobral, e o Taquara, entre os municípios de Cariré, Pacujá e Mucambo (Mapa 11.1-20).

11.1.8.2.2 Pluviometria

Na bacia do rio Acaraú, incluindo a sub-bacia do rio Groaíras na AII, predominam cursos d'água com intermitências sazonais e produtividade hídrica limitada, reflexo do clima predominantemente quente e estável, de elevadas temperaturas e reduzidas amplitudes, com acentuada taxa de insolação, forte poder evaporante e com regime pluviométrico marcadamente irregular.

Segundo a classificação de Köppen (1931), a área da bacia apresenta duas zonas climáticas principais:

- Aw': clima tropical chuvoso, com estação de inverno ausente e estação chuvosa concentrada no outono; ocorre na porção norte da bacia, com precipitações variando de 1.000 a mais de 1.600 mm anuais;
- BSw'h': clima quente e semiárido, com estação chuvosa no outono, ocorre na porção sul da bacia, abrangendo a AII, onde as precipitações oscilam entre 700 mm e 1.000 mm.

Ao longo da bacia do rio Acaraú, as temperaturas médias oscilam em torno de 27ºC, mas ocorrem valores mais elevados, como no município de Sobral, onde a média mensal é de 28,9ºC. A média pluviométrica anual da área da bacia está situada entre 670 mm e 940 mm. Na parte baixa da bacia o clima é mais úmido, do tipo tropical chuvoso. A umidade relativa média varia de níveis < 50% a > 80% (SALES *et al.*, 2020).

Segundo dados apresentados no Diagnóstico Ambiental da Bacia do Acaraú (COGERH, 2022,) nesta bacia encontram-se 94 postos pluviométricos, sendo a maioria operado pela FUNCEME (73 postos ou 78% do total), além do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), com 14 postos, seguida pela CPRM com cinco postos e, por fim, o INMET com dois postos.

Dentre esses, apenas dois estão inseridos na área de estudo, sendo um na AII (Boa Vista) e um na AID (Itataia). Ademais, são verificados postos no entorno da região de estudo conforme apresentado no Quadro 11.1.8-3 e no Mapa 11.1-21.

Quadro 11.1.8-3: Estações Pluviométricas no município de Santa Quitéria. Destacados em negrito os postos na AII (Boa Vista) e AID (Itataia).

CÓDIGO ANA	CÓDIGO FUNCEME	NOME ESTAÇÃO	PERÍODO DADOS	RESPONSÁVEL	OPERADOR	LAT.	LONG.
439060	375	Bandeira	2000-2019	FUNCEME	FUNCEME	-4,605	-39,647

CÓDIGO ANA	CÓDIGO FUNCEME	NOME ESTAÇÃO	PERÍODO DADOS	RESPONSÁVEL	OPERADOR	LAT.	LONG.
439059	374	Cachoeira	2000-2020	FUNCEME	FUNCEME	-4,689	-39,524
440015	556	Edson Queiroz	1992-2001	FUNCEME	FUNCEME	-4,217	-40,067
439070	**672**	**Itataia**	**2006, 2007, 2013, 2014, 2015**	**FUNCEME**	**FUNCEME**	**-4,567**	**-39,783**
439030	71	Itatira	1974-2020	FUNCEME	FUNCEME	-4,529	-39,635
439061	189	Lagoa do Mato	1978-2020	FUNCEME	FUNCEME	-4,653	-39,670
-	732	Lisieux	2009-2021	FUNCEME	FUNCEME	-4,003	-40,187
440006	288	Macarau	1998-2023	FUNCEME	FUNCEME	-4,100	-40,433
440064	645	Malhada Grande	2000-2008	FUNCEME	FUNCEME	-4,067	-40,300
439069	673	Muribeca	2001-2008	FUNCEME	FUNCEME	-4,417	-39,900
440081	675	Raimundo Martins	2000-2023	FUNCEME	FUNCEME	-4,633	-40,067
439087	558	Saco de Belém	1991-2023	FUNCEME	FUNCEME	-4,430	-39,796
440077	129	Santa Quitéria	1974-2023	FUNCEME	FUNCEME	-4,333	-40,150
439068	253	Sta Rita dos Galdinos	1998-2023	FUNCEME	FUNCEME	-4,317	-39,817
440063	644	Trapia	2000-2023	FUNCEME	FUNCEME	-4,183	-40,317
440031	**-**	**Boa Vista**	**1917-1992**	**DNOCS**	**DNOCS**	**-4,483**	**-40,017**
440070	-	Trapia	2004-2021	ANA	CPRM	-4,191	-40,322
440043	-	Fazenda Paraná	1992-2021	ANA	CPRM	-4,091	-40,129
440065	-	Lizie	2000-2009	FUNCEME	FUNCEME	-4,633	-40,067

Fonte: COGERH, 2021 e ANA, 2021.

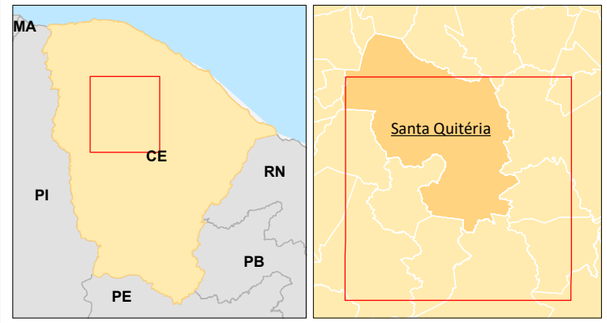
345.000 360.000 375.000 390.000 405.000 420.000 435.000

9.530.000 9.515.000 9.500.000 9.485.000 9.470.000 9.455.000 9.440.000

Trapia
Trapia
Edson Queiroz
Sta Rita dos Galdinos
Santa Quitéria
Santa Quitéria
Santa Quitéria
Hidrolândia
Muribeca
Saco de Belém
Boa Vista
Itatira
Itatira
Itataia
Itataia
Bandeira
Raimundo Martins
Lagoa do Mato
Catunda
Cachoeira
Rio Groaíras
Monsenhor Tabosa
Tamboril

Itataia

Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional
- Sede Municipal
- Limite Municipal
- Áreas Urbanizadas/Edificadas

Áreas de Influência
- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)
- Área de Influência Indireta (AII)

Hidrografia
- Rio Groaíras
- Cursos d'água

Estações
- Estação Climatológica
- Postos Pluviométricos

Fonte:
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:390.000
0 2 4 km
Escala Gráfica
Norte do Mapa
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria
tetra+

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Localização das Estações e Postos Pluviométricos

Formato	Escala	Folha
A3	1:390.000	Única

Data	Localização
31/10/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

Conforme apresentado no Quadro 11.1.8-3, os postos pluviométricos possuem período de dados variados. A estação Itataia da Funceme, localizada na propriedade da INB, apresenta a maior irregularidade na frequência da tomada de dados.

Ainda, conforme apresentado no capítulo 11.1.1 de Clima e Meteorologia as precipitações na região apresentam valores anuais abaixo de 800 mm, o que corrobora com a inserção da região no polígono das secas. Neste capítulo, menciona-se ainda que a estação convencional com maior período de atividade é a estação Quixeramobim (1992-2023), que iniciou a operação em 2007, sendo ambas administradas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Apesar dos totais pluviométricos das estações e postos avaliados mostrarem diferença entre si, os locais analisados possuem o mesmo comportamento no que se refere a distribuição das chuvas ao longo do ano, verificando-se a concentração de chuvas entre os meses de janeiro a junho, com destaque para março e abril, e queda dos índices pluviométricas entre os meses de julho a dezembro. Os dados da estação Itataia da Funceme, localizada na propriedade da INB, foram exceção. Neste local, os índices de chuva em janeiro são bem próximos aos observados nos meses de seca, com aumento das precipitações a partir do mês de fevereiro (Figura 11.1-168). Vale destacar que o detalhamento das variações pluviométricas consta do capítulo 11.1.1 de Clima e Meteorologia.

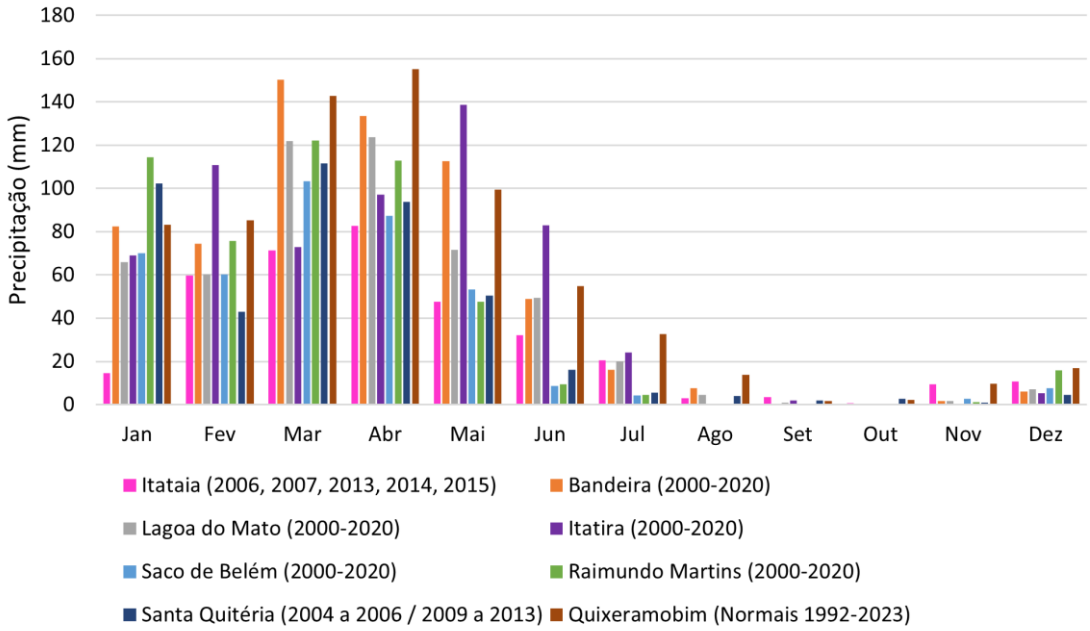


Figura 11.1-168: Distribuição da precipitação das estações e postos pluviométricos analisados.

Fonte: INMET, 2023 / Funceme, 2021 / Consórcio Santa Quitéria.

Elaboração: Tetra Mais, 2023.

Dados apresentados na Nota Técnica 001/2021, elaborada pela Secretaria de Recursos Hídricos - SRH do Ceará (Anexo 11.1.8-2), apontam que a partir de junho até dezembro a pluviometria na bacia do rio Acaraú não é tão expressiva a ponto de possibilitar recarga aos reservatórios monitorados. Essa característica da região semiárida do Nordeste acarreta grande variabilidade nos volumes aportados aos mananciais de abastecimento público. No Ceará, os volumes distribuídos são alocados anualmente, de maneira, descentralizada e participativa por meio dos Comitês de Bacias nos processos denominados:

- Operação Emergencial (1º Semestre): no primeiro semestre do ano, durante a estação chuvosa, os reservatórios são operados de forma a garantir o atendimento dos usos múltiplos, sobretudo na estiagem.

- Alocação Negociada de Água (2º Semestre): com o fim da estação chuvosa, os volumes são alocados pelos comitês.

11.1.8.3 Caracterização da Área de Influência Direta (AID) e da Área Diretamente Afetada (ADA)

11.1.8.3.1 Aspectos Fisiográficos

A AID do PSQ engloba a região compreendida pela sub-bacia do riacho do Mulungu, abarcando os divisores de águas das serras que ladeiam a ADA, com destaque para a Serra do Céu ao norte e Serra da Mata Fome, a leste.

A AID abrange ao norte as nascentes do riacho do Bitu, do riacho da Gangorra e do riacho sem denominação 1, a leste o riacho das Guaribas e Curimatã, ao sul-sudoeste a nascente do riacho do Mulungu. O riacho do Mulungu, que recebe contribuição do riacho Cunha Moti pela margem direita, segue seu fluxo na AID em direção ao oeste até desaguar no rio Groaíras, em sua margem direita. A montante da foz do riacho Mulungu se encontram os riachos do Ingá e do Salobro, que também deságuam no rio Groaíras, a montante do limite da AID.

Os corpos hídricos identificados na AID têm escoamento preferencial para sudoeste e oeste, no município de Santa Quitéria, próximo à divisa com Itatira, sendo que neste último, fora dos limites das áreas de influência, encontra-se o distrito de Lagoa do Mato, cuja rede de drenagem flui em direção ao sul, incluindo os açudes da Laís e João Silva Guerra.

No setor a noroeste da ADA, ainda na AID, encontra-se o riacho sem denominação 1, o qual juntamente com o riacho da Gangorra forma o açude riacho do Gangorra (popularmente conhecido como açude Morrinhos). O riacho da Gangorra segue seu fluxo até desaguar no riacho do Bitu.

A ADA abrange contribuintes de pequeno porte, tais como o riacho sem denominação 2 (conhecido popularmente como riacho Lúcio), além do riacho das Guaribas, principal drenagem da ADA, a qual nasce na Serra do Céu, em altitude aproximada de 750 m e, após receber o riacho sem denominação 3 (popularmente conhecido como riacho Alcantil), seu principal formador da margem direita, passa a margear o Serrote da Igreja (Mapa 11.1-22).

Segundo o arranjo geral do empreendimento atualmente proposto, no riacho das Guaribas, na sua margem direita, estão previstas a cava e a pilha de estéril, abrangendo a região da micro-bacia do riacho sem denominação 3 (conhecido popularmente como riacho Alcantil). Na micro-bacia do riacho sem denominação 2 estão projetadas a área industrial do PSQ e a pilha de fosfogesso e cal. Esse riacho (sem denominação 2) deságua no açude do riacho Caramutim (popularmente conhecido como açude Quixaba), o qual represa ainda as águas que fluem pelo leito dos riachos Curimatã e Mata Fome. O açude do riacho Caramutim, que já teve capacidade de armazenar 2.300.000 m^3 de água, foi construído em 1983 visando a suprir parcialmente as demandas operacionais do PSQ (ARCADIS LOGOS, 2014). A jusante deste açude há a confluência do riacho Guaribas, compondo a foz do riacho Cunha-Moti, afluente do riacho do Mulungu, que deságua na margem direita do rio Groaíras.

De acordo com os estudos ambientais prévios realizados para o projeto (INB e GEOCONSULT, 2004), a topografia desfavorável e o clima semiárido da região do projeto, associados ao rápido escoamento superficial, intensa evaporação, pequena infiltração e grande variabilidade de deflúvios, são fatores que limitam o fluxo dos recursos hídricos superficiais.

Os levantamentos de campo realizados para o diagnóstico de qualidade da água e dos sedimentos, detalhados no item 11.1.9.3.3A, nos principais cursos d'água da AID e ADA, em novembro/2020, fevereiro/2021 e em abril/2023, bem como nas amostragens do ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), mostraram ausência de escoamento superficial em todos os riachos avaliados, sendo possível realizar coleta apenas nos açudes. Conforme documentado por Nascimento *et al*. (2008), um dos padrões que sobressai na região é o escoamento superficial com rios de padrões dendríticos e intermitente, condição observada na AID e ADA do PSQ.

Tendo em vista esse cenário, não foram observadas áreas assoreadas ou de maior probabilidade de assoreamento ou de ocorrência de enchentes, na área de influência direta do empreendimento. Ribeiro (2016) levantou dados da Defesa Civil, no município de Santa Quitéria, que apontam as áreas de maior risco às inundações, porém cabe destacar que nenhuma das localidades mencionadas pela autora integra a AID e ADA do PSQ.

Além disso, nos levantamentos de campo na AID e ADA não foram observadas também veredas, lagoas marginais e regiões de baixio.

405.000

420.000

9.500.000

9.485.000

Canindé

Serra do Gavião

Serra dos Cacimbas

Serra do Céu

Rch. do Bitu

Rch. da Gangorra

Riacho SN1

Riacho SN3

Açd. Riacho do Gangorra

Serrote da Igreja

Rch. do Guaribas

Serrote do Amargoso

Riacho SN2

Serra da Mata Fome

Serrote do Curimata

Morrinhos

Queimadas

Açd. Riacho Caramutim

Rch. Caramutim

Rch. Mata Fome

Rch. Curimatã

Serra da Laranjeira

Santa Quitéria

Rch. Cunha Moti

Serra Arapuá

Rch. do Mulungu

Serra de São João

Serra do Quati

Rio Groaíras

Serra da Negra

Lagoa do Mato

Boa Viagem

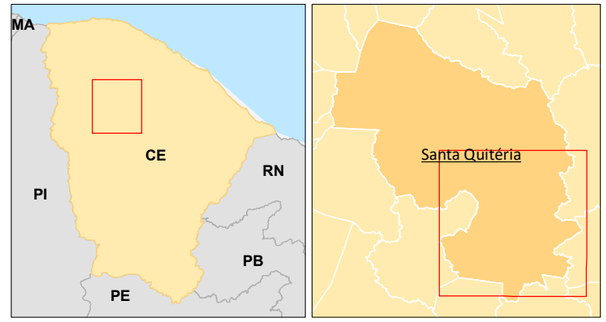
405.000

420.000

9.500.000

9.485.000

Macrolocalização



Referências Locacionais

- Localidades
- Limite Municipal
- Áreas Urbanizadas/Edificadas

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)
- Área de Influência Indireta (AII)

Hidrografia

- Rio Groaíras
- Cursos d'água
- Massa d'água

Elementos Fisiográficos Naturais

- Serras

Fonte:
ARCADIS, 2020. Cursos d'água na AID.
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:100.000

0 2 4 km

Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria

tetra+

Projeto:

Projeto Santa Quitéria

Título:

Rede Hidrográfica do PSQ (AID)

Formato	Escala	Folha
A3	1:100.000	Única

Data	Localização
27/11/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

11.1.8.3.2 Caracterização dos Cursos d'água, das Nascentes e Vazões

A caracterização das nascentes e vazão foi realizada pela Arcadis Logos no ano de 2012. As atividades constaram de trabalhos de levantamento e inspeção dos pontos de amostragens de qualidade das águas e locais de 25 nascentes que tiveram suas coordenadas estabelecidas previamente em bases cartográficas e consolidadas *in loco*.

Conforme apresentado no Anexo 11.1.8-1, todos os cursos d'água inspecionados se apresentavam sem qualquer escoamento, fato este observado mesmo após a ocorrência de precipitações antecedentes. Em alguns pontos foram verificados processos de infiltração no substrato arenoso dos álveos e, em alguns casos a formação de algumas poças d'água, sem qualquer fluxo de vazão. Esta condição inviabilizou a realização de medições de descarga líquida nos álveos selecionados.

Durante os levantamentos de campo realizados em novembro/2020 e fevereiro/2021, com objetivo de caracterizar a rede de drenagem, novamente se verificou a ausência de escoamento nos cursos d'água.

De acordo com os levantamentos realizados em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014) os pontos com ocorrências de água se concentraram nos corpos dos açudes do riacho Caramutim (Quixaba), do riacho da Gangorra (Morrinhos), da Laís e Edson Queiroz. Nos levantamentos em novembro/2020 e fevereiro/2021, o açude do riacho da Gangorra encontrava-se seco, verificando-se a presença de água apenas nos açudes Edson de Queiroz, do riacho Caramutim (popularmente conhecido como açude Quixaba), Laís e João Silva Guerra, porém, na amostragem efetuada em abril/2023, o açude do riacho da Gangorra encontrava-se com fluxo d'água.

No Anexo 11.1.8-1 é apresentado o relatório de levantamento e inspeção de pontos de amostragem de qualidade de água e potenciais nascentes.

11.1.8.4 Considerações Finais

Os cursos d'água que drenam a AID e ADA do PSQ são contribuintes da margem direita do rio Groaíras, a exemplo da sub-bacia do riacho do Mulungu. Nessa região de clima semiárido, fatores associados ao rápido escoamento superficial, intensa evaporação e reduzida infiltração limitam o fluxo dos recursos hídricos superficiais, se destacando os cursos d'água intermitentes.

11.1.9 Qualidade dos Corpos D'Água

11.1.9.1 Considerações Metodológicas

O diagnóstico de qualidade dos corpos hídricos nas áreas de influência do PSQ foi pautado em pesquisa a dados secundários disponíveis nos órgãos públicos, na bibliografia especializada, em estudo ambiental pretérito, entre outras fontes de consulta pertinentes ao tema.

Esses dados secundários foram complementados e atualizados com dados primários obtidos através de duas campanhas realizadas em 27 de novembro de 2020 e em 10 e 11 de fevereiro de 2021, representativas dos períodos seco e chuvoso, respectivamente. Adicionalmente, foi realizada em abril/2023 uma nova amostragem, na estação chuvosa, uma vez que a amostragem de fevereiro/2021, embora também representativa da estação chuvosa, foi realizada em período de baixa precipitação.

A seguir, consta a caracterização da qualidade dos corpos d'água na AII, compreendendo uma contextualização regional com ênfase na bacia do rio Acaraú, estreitando-se o foco para a bacia do rio Groaíras, onde está projetado o empreendimento. Na sequência, descreve-se a avaliação da qualidade dos corpos d'água, considerando a qualidade da água e dos sedimentos na AII, AID e ADA do PSQ.

11.1.9.2 Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII)

11.1.9.2.1 Classificação dos Corpos D'água

Os cursos d'água superficiais na AII do PSQ não foram submetidos ao processo de enquadramento nos termos da Resolução CONAMA nº 357/05. Conforme estabelecido por essa legislação: "Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2".

Segundo essa resolução, as águas classe 2 servem ao abastecimento público após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquática; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; e à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aquicultura e à atividade de pesca.

11.1.9.2.2 Fontes Potenciais de Poluição

O regime climático e o padrão sazonal de vazões acarretam dois efeitos associados que se refletem na qualidade das águas: o acúmulo de cargas poluentes na bacia de drenagem

durante um período de tempo prolongado, na estação seca, tende a alcançar os cursos d'água em maior concentração com a ocorrência das primeiras chuvas; e a baixa capacidade de assimilação de cargas poluidoras devido às reduzidas vazões apresentadas pelos rios no início do período chuvoso.

O uso do leito do rio durante a estiagem para atividades produtivas, como pastagem de caprinos, contribui fortemente para o acúmulo de matéria fecal e de nutrientes minerais nos sedimentos, os quais são imediatamente incorporados ao fluxo das águas, assim que têm início as precipitações.

O rio Acaraú recebe a contribuição de cargas e vem sendo contaminado por dejetos humanos e de animais, e por resíduos provenientes de diversas atividades (INESP, 2009). Segundo o Diagnóstico da Região Hidrográfica do Acaraú (COGERH, 2022), essa bacia está sujeita à poluição decorrente da precária infraestrutura de saneamento, sendo que os reservatórios, incluindo o Edson Queiroz, evidenciam alterações relacionadas ao assoreamento e à poluição, em decorrência da urbanização, desmatamento, retirada de areia, lavagem de roupas e animais, pastagem do gado dentro do lago e deposição de resíduos sólidos nas proximidades do reservatório.

Em levantamento conduzido pela ANA (2017), na bacia do rio Acaraú constam dois pontos outorgados de lançamentos de esgotos domésticos, porém, estão situados fora dos limites da AII, no trecho do rio Groaíras perenizado pelo açude Edson Queiroz (lançamento da sede urbana de Groaíras/CE) e trecho do rio Acaraú perenizado pelos açudes Araras, Ayres de Souza e Edson Queiroz (lançamento da sede urbana de Sobral/CE). Especificamente para o açude Edson Queiroz, foi calculada uma vazão de diluição no valor de 513 L/s de efluentes, sendo relativamente inferior às vazões de diluição calculadas para os açudes Araras e Ayres de Souza com 3.990 L/s e 1.978 L/s, respectivamente (ANA,2017). Assim, o aporte de efluentes representa uma relevante fonte de poluição para o açude Edson Queiroz.

A situação é semelhante na sub-bacia do rio Groaíras, com pequenos açudes explorados que recebem cargas poluidoras difusas, principalmente de dejetos de animais. No município de Santa Quitéria, não ocorrem núcleos urbanos expressivos na AII, destacando-se as comunidades dos Assentamentos de Morrinhos e Queimadas. Nesses locais, é comum a disposição de lixo a céu aberto nos terrenos, além da construção de fossas.

O abastecimento é feito pelo uso de cisternas, sendo também adotadas cacimbas descobertas. Esses fatores repercutem sobre a qualidade das águas, podendo favorecer a transmissão de doenças de veiculação hídrica, como hepatite e verminoses.

11.1.9.2.3 Qualidade dos Corpos D'água

A qualidade da água da bacia do rio Acaraú é monitorada no âmbito do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas, desenvolvido pela COGERH em parceria com a Agência Nacional de Águas – ANA. As amostragens são realizadas na frequência trimestral em 16 pontos, todos situados fora dos limites da AII do empreendimento em foco.

Dentre esses, apenas um ponto se situa no município de Santa Quitéria (EDQ-01), no açude Edson Queiroz. Conforme citado, apesar do açude Edson Queiroz estar fora dos limites da AII, os dados deste ambiente foram incorporados à caracterização das áreas de influência por representar um dos maiores reservatórios de água na região e por corresponder ao local de captação de água do PSQ.

De acordo com os dados do relatório Anuário do Monitoramento Qualitativo dos Principais Açudes do Estado do Ceará (COGERH, 2018), relativos ao ano de 2017, a maioria dos açudes na bacia do rio Acaraú, de modo geral, apresenta alto grau de trofia (eutrófico). Os reservatórios desta bacia têm, em sua maioria, baixo ou médio risco de salinização do solo (COGERH, 2018).

Especificamente no açude Edson Queiroz, foram detectadas elevadas concentrações de nutrientes (fósforo e nitrogênio), atingindo picos de até 0,314 mg P/L e 4,838 mg N/L, na campanha de fevereiro de 2017, bem superiores aos padrões da Resolução CONAMA nº 357/05 para água doce - classe 2. O alto grau de trofia neste açude propicia o registro de elevadas densidades de cianobactérias (>250.000 cél./mL), em todas as quatro coletas realizadas no ano de 2017 (COGERH, 2018).

Esse estudo indica a necessidade da adoção de ações que reduzam a carga de nutrientes e poluentes, além de melhoria nas condições de saneamento, redução dos níveis de erosão e uso de programas de educação ambiental, visto que se trata de um manancial de abastecimento público.

No portal da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME (2023) são disponibilizados os resultados do Índice de Estado Trófico – IET, tendo como base o monitoramento conduzido pela COGERH. Na Figura 11.1-169 consta a variação sazonal deste indicador no açude Edson Queiroz, considerando o período entre maio de 2008 e maio de 2023. Os dados evidenciam na maior parte do tempo condições eutróficas e hipereutróficas.

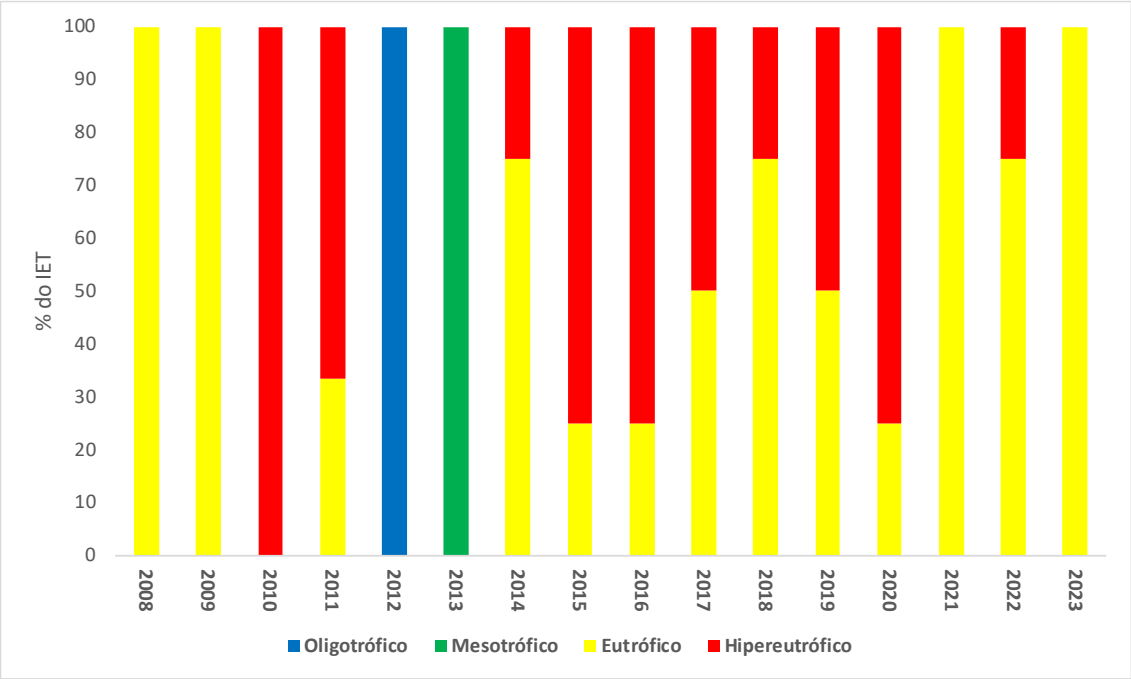


Figura 11.1-169: Estado trófico do açude Edson Queiroz entre os anos de 2008 e de 2023.
Fonte: Elaborado com base na FUNCEME, 2023.

No Quadro 11.1.9-1 foram reunidos os dados de qualidade da água do açude Edson Queiroz disponíveis a partir do ano de 2016 até o ano de 2023, sendo assim foram avaliados os dados obtidos entre os anos de 2016 e 2021, disponibilizados no portal Hidroweb da ANA (2023). Os resultados apontam neste açude temperaturas da água que variam entre 26,31°C e 31,79°C, com transparência máxima de 1 m.

De modo geral, as concentrações de oxigênio dissolvido atendem ao padrão legal estipulado pela Resolução CONAMA nº 357/05 (> 5 mg/L), na maioria das amostragens. Em algumas campanhas observa-se a supersaturação de oxigênio (> 10 mg/L), possivelmente devido ao intenso processo de fotossíntese, uma vez que os resultados de clorofila-*a* foram elevados e mostram um alto grau de trofia neste açude.

O pH é predominantemente alcalino, na faixa entre 7,18 e 9,01, atendendo ao padrão da legislação, na maioria das coletas. Os teores de sólidos dissolvidos também estão em consonância com o padrão legal, com máximo de 423 mg/L na estação chuvosa (janeiro/17).

As principais alterações detectadas na qualidade da água se referem às concentrações mais elevadas de matéria orgânica, expressas em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, que atingiram o máximo de 11,66 mg/L (janeiro/18), além do acentuado conteúdo de nutrientes (fósforo e nitrogênio amoniacal), que propiciam o incremento da produtividade primária neste sistema lêntico, conforme atestam os teores de clorofila-*a*, que superam sistematicamente o padrão legal (30 µg/L), atingindo até 246,62 µg/L em

novembro de 2016. Cabe apontar que, desde o ano de 2019, é evidente uma diminuição nas concentrações dos nutrientes citados e de clorofila-*a*, resultados que podem estar relacionados provavelmente à ampliação no sistema de saneamento básico na região.

Quadro 11.1.9-1: Resultados da qualidade das águas do açude Edson Queiroz (2016 a 2021).

Data da coleta	Temperatura da água (°C)	Transparência (m)	Oxigênio dissolvido - OD (mg/L)	pH	DBO (mg/L)	Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	Clorofila-*a* (µg/L)	Fósforo total (mg/L)	Nitrogênio total (mg/L)
VMP	-	-	≥5	6 a 9	<5	500	30	0,03	0,5 a 3,7 (1)
03/08/2016	29,65	0,9	*	9,01	ND	374	204,25	0,106	4,187
03/11/2016	27,8	0,8	5,5	9	ND	406	246,62	0,12	4,825
16/01/2017	28,58	0,8	8,04	8,82	ND	423	235,56	0,314	4,838
10/04/2017	31,79	0,4	10,42	8,68	ND	332	91,46	0,154	2,425
23/01/2018	27,92	0,3	*	8,69	11,66	284	90,35	0,112	2,838
24/04/2018	28,1	0,3	*	8,7	7,83	182	117,77	0,115	2,188
24/07/2018	26,31	0,5	4,35	7,18	3,78	183	95,29	0,096	2,625
24/10/2018	27,8	0,4	10,28	8,24	7,51	209	107,85	0,088	2,438
23/01/2019	29,61	0,5	*	8,83	5,33	220	151,15	0,079	2,363
24/04/2019	30,58	0,4	9,27	8,75	6,4	182	113,47	0,099	2,088
24/07/2019	27,82	0,4	6,34	7,8	5,71	136	89,05	0,091	2,288
23/10/2019	29,88	0,2	9,79	8,79	2,17	156	12,98	0,084	1,65
12/02/2020	30,36	0,3	9,06	8,53	4,19	192	33,52	0,062	1,75
24/06/2020	28,41	0,25	6,61	ND	6,18	155	31,74	0,092	1,54
03/03/2021	29,22	1	6,98	ND	4,88	174	24,65	0,039	1,41
24/05/2021	29,99	0,8	9,61	8,47	5,71	168	39,38	0,053	2,06

*Legenda: VMP= Valor Máximo Permitido pela Resolução CONAMA nº 357/05 para águas classe 2 (ambientes lênticos). Destaque em vermelho para os parâmetros que não atendem esta legislação. 1 - O VMP de nitrogênio amoniacal varia de acordo com o pH, sendo 3,7mg/L N, para pH ≤ 7,5; 2,0 mg/L N para 7,5 < pH ≤ 8,0; 1,0 mg/L N para 8,0 < pH ≤ 8,5 e 0,5 mg/L N para pH > 8,5. ND- Não detectado. * Resultado anômalo. Fonte: ANA (2021).*

A seguir, é apresentada uma síntese dos resultados obtidos em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), tendo em vista subsidiar a avalição da qualidade das águas superficiais na AII.

No ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), foram realizadas quatro campanhas de amostragem da qualidade da água e dos sedimentos, nos meses de abril (primeira campanha), maio (segunda), julho (terceira) e agosto (quarta), representativas dos períodos chuvoso (abril e maio/2011) e seco (julho e agosto/2011). A malha amostral compreendeu inicialmente oito pontos de coleta (P01 a P08), porém em cinco destes locais (P03, P04, P05, P06 e P07) a ausência de escoamento superficial impossibilitou a coleta nos períodos citados. Em função disso, outros cursos d'água próximos a assentamentos urbanos (pontos denominados PA, PB e PC) foram inspecionados e inclusos na rede de amostragem visando obter um maior número de informações da qualidade das águas e dos sedimentos da região em estudo. A malha indicada coincide com a delineada para as amostragens efetuadas na AID e ADA nos anos de 2020 a 2023, conforme detalhado no item 11.1.9.3.3.

Adicionalmente, a partir da segunda campanha (maio/2011), foi acrescentado um ponto de inspeção no riacho da Barra (ponto denominado PD), localizado no município de Itatira, e um ponto de coleta no açude Edson Queiroz (P10) situado no município de Santa Quitéria. Em função da ausência de escoamento superficial, mesmo no período chuvoso, a tomada de amostras se restringiu aos açudes, totalizando cinco pontos de coleta, distribuídos nos açudes do riacho Caramutim (popularmente conhecido como açude Quixaba), do riacho da Gangorra (conhecido localmente como açude Morrinhos), da Laís e Edson Queiroz.

Cabe destacar que, dentre estes, os açudes do riacho Caramutim e do riacho da Gangorra estão inseridos na AID do empreendimento e os resultados obtidos nestes ambientes são detalhados no item 11.1.9.3.3. Os açudes da Laís e o Edson Queiroz estão fora dos limites da AII, porém considerando a importância do açude Edson Queiroz, no contexto regional, e que o açude da Laís anteriormente servia como fonte de abastecimento para o distrito de Lagoa do Mato (atualmente substituído pelo açude João Silva Guerra), os resultados de ambos são abordados no contexto da AII, visando dar um panorama global dos dados secundários pretéritos levantados na região onde está projetado o empreendimento.

No Anexo 11.1.9-1 consta a tabela com os resultados obtidos nas quatro campanhas do ano de 2011. A seguir é apresentada uma síntese das principais características observadas da qualidade da água e dos sedimentos.

A avaliação da qualidade das águas superficiais evidenciou predomínio de ambiente alcalino, com pH mantendo-se na faixa definida pela Resolução CONAMA nº 357/05 para águas classe 2.

No açude da Laís, as concentrações de DBO, de fósforo total e de manganês superaram o padrão da legislação, com registro de teor oxigênio dissolvido inferior ao indicado para manutenção da biota aquática (5 mg/L), entre maio e agosto/2011.

No açude Edson Queiroz (P10, a jusante da AII), a maioria das variáveis analisadas atendeu ao padrão de qualidade determinado pela legislação, constituindo exceções o fósforo total (abril/2011, maio/2011 e julho/2011), a DBO (abril/2011 e maio/2011) e o manganês total (maio/2011).

Na Figura 11.1-170 constam os percentuais de não conformidades em relação aos padrões da Resolução CONAMA nº 357/05, levando em conta o conjunto de amostras analisadas nas quatro campanhas. Os dados obtidos evidenciam que as principais alterações na qualidade da água em todos os açudes amostrados se relacionam ao conteúdo de fósforo total, que denotam acentuado grau de trofia, além de compostos orgânicos (DBO), de sólidos dissolvidos e de manganês total. Pontualmente, os compostos orgânicos semivoláteis benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno e criseno também foram registrados acima do padrão legal.

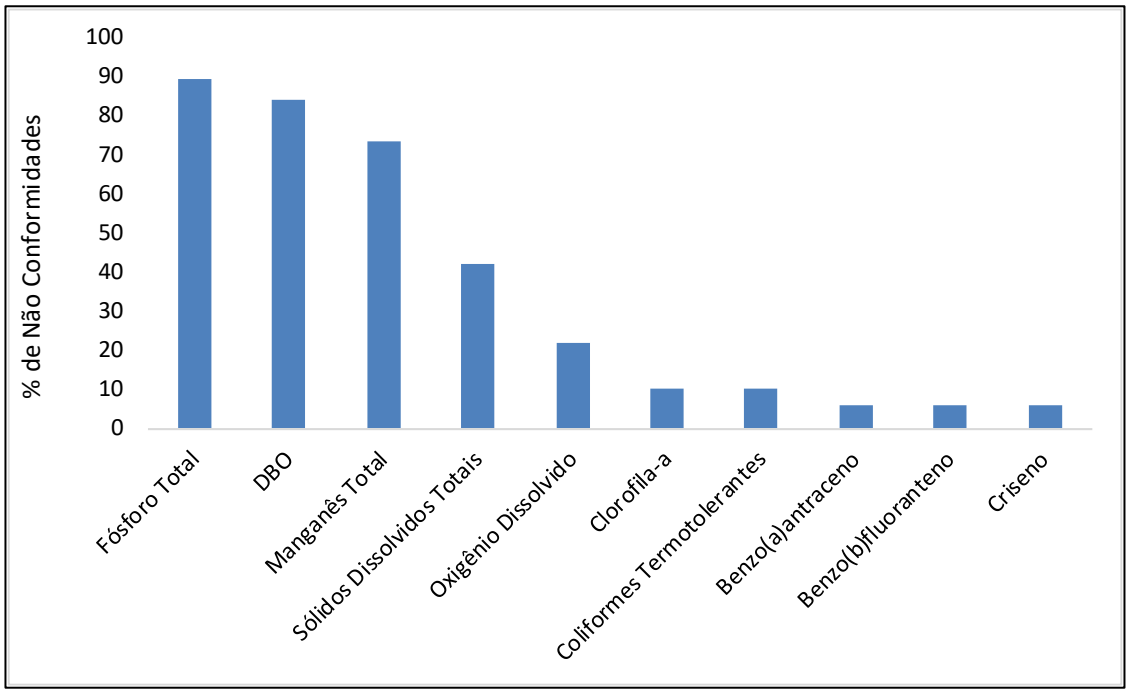


Figura 11.1-170: Porcentagem de Não Conformidades nas Águas nas Amostragens Realizadas em 2011.

Elaboração: Tetra Mais, 2021. Fonte: ARCADIS LOGOS (2014).

A análise dos sedimentos em todos os pontos amostrados nas quatro campanhas de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014) indicou ausência de contaminação por agrotóxicos e demais compostos orgânicos analisados. Os metais foram registrados em concentrações inferiores

ao limiar do qual se prevê baixa probabilidade de efeitos adversos à biota (nível 1 da Resolução CONAMA nº 454/12 ou TEL da *Canadian Council of Ministers of the Environment* - CCME, 2001), com exceção do cobre, cromo e níquel, que apresentaram teores acima do padrão legal (nível 1) (Figura 11.1-171). A ultrapassagem do nível 2, que confere riscos potenciais à biota aquática, foi observada apenas para cromo e níquel no açude a jusante da AII, Edson Queiroz, somente em julho/2011.

Os dados apontaram ainda acúmulo de fósforo total no açude Edson Queiroz, acima do valor alerta da Resolução CONAMA nº 454/12, resultante possivelmente do posicionamento desse açude em zona urbana e no baixo curso do rio Groaíras, onde atua como receptor das cargas afluentes de toda a bacia de drenagem a montante, especialmente na forma de dejetos de animais que se acumulam sobre o solo na época seca.

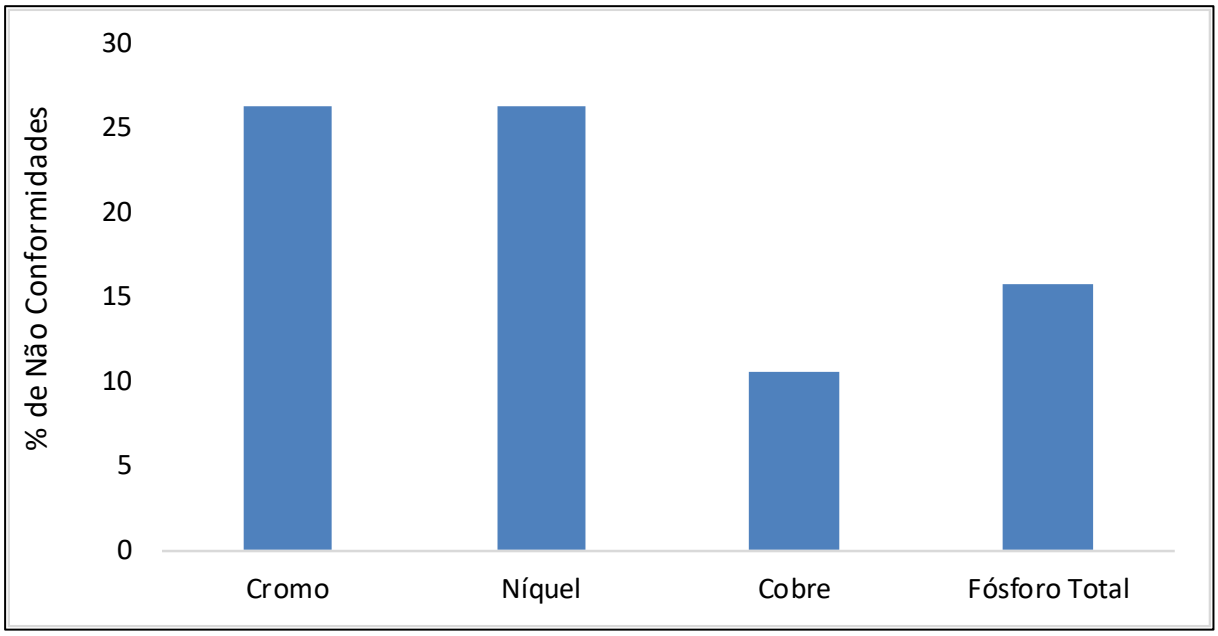


Figura 11.1-171: Porcentagem de Não Conformidades nos Sedimentos nas Amostragens Realizadas em 2011.

Elaboração: Tetra Mais, 2021. Fonte: ARCADIS LOGOS (2014).

De acordo com a comunicação NUP 24001.022350/2023-80 da Secretaria do Estado do Ceará, desde 2019 a Célula de Vigilância em Saúde Ambiental -CEVAM realiza coletas ambientais de água e solo em comunidades próximas à Mina de Itataia, com o objetivo do monitoramento e da vigilância da qualidade da água e do solo, através de análises de metais. No período de 2019-2023 foram realizadas 49 coletas de amostras de água para análise de metais. As coletas foram realizadas uma vez por ano (set/2019, out e nov/2020, set/2021, set/2022, ago/2023), em localidades no entorno da Mina de Itataia, totalizando 25 pontos de coleta. As concentrações dos metais na água apresentaram valores acima do permitido pela Resolução CONAMA nº 357/05 e da Portaria GM/MS N° 888/21 em alguns parâmetros,

com diferenças de concentrações nos respectivos pontos de análises. Entre os parâmetros em situação de não conformidade com as normativas, destacam-se para a água bruta o manganês, com 10 não conformidades em cerca de 21 amostras (47%), o níquel (28,6%), o antimônio (23,8%) e chumbo (19%), enquanto em relação à normativa para água potável, destacam-se o sódio, com 12 amostras em situação de não conformidade de um total de 28 (42,8%), o manganês (28,6%) e o bário (25%). Outros elementos, como cádmio, boro, alumínio e ferro também foram registrados em concentrações não conformes no que se refere a uma ou outra normativa, mas em proporções menores que 20%.

11.1.9.3 Caracterização da Área de Influência Direta (AID) e da Área Diretamente Afetada (ADA)

11.1.9.3.1 Classificação dos Corpos D'água

Conforme detalhado na AII, os cursos d'água superficiais na AID e ADA do PSQ são considerados águas doces classe 2.

11.1.9.3.2 Fontes Potenciais de Poluição

As fontes de poluição na AID e ADA reproduzem o padrão da AII. A população é essencialmente rural e as fontes de poluição são de origem difusa, com destaque para a criação de caprinos e agricultura de subsistência.

Grande parte dessas áreas de influência é cortada por rios intermitentes, onde a água, em geral, é acumulada em açudes que, durante as secas, formam um mosaico em toda a região do semiárido. No período chuvoso, é restabelecido temporariamente o fluxo de água que interliga a sucessão de açudes, sendo que as cargas de origem orgânica e fecal concentradas no leito seco dos rios durante os períodos de estiagem alcançam os reservatórios das barragens, alterando a qualidade das águas do ponto de vista ecológico e sanitário.

Na AID e ADA encontram-se dois assentamentos rurais (Morrinhos e Queimadas). De modo geral, no entorno dos assentamentos, a disposição de lixo a céu aberto nos terrenos e a construção de fossas rudimentares também são fatores que contribuem para a contaminação das águas superficiais e de cacimbas, o que pode restringir seu uso para fins domésticos.

11.1.9.3.3 Qualidade da Água e dos Sedimentos

O diagnóstico na AID e na ADA do PSQ compreendeu três campanhas, representativas dos períodos seco e chuvoso, realizadas em 27 de novembro/2020 (1ªC, período seco); de 09

a 11 de fevereiro/2021 (2ªC, período chuvoso) e entre 25 e 27 de abril de 2023 (3ªC, período chuvoso).

Como a segunda campanha foi realizada em um ano atípico em termos de pluviosidade (2021), quando choveu muito menos que o esperado, a terceira campanha foi realizada no pico da estação chuvosa de 2023, conforme citado. Essa terceira campanha foi realizada visando ainda fornecer dados para subsidiar o diagnóstico do meio biótico.

Conforme citado, também foi realizada a comparação com os dados primários levantados nas quatro campanhas efetuadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014). A seguir, consta a rede de amostragem adotada e os procedimentos de coleta e análise da qualidade da água e dos sedimentos.

A. Concepção da rede de amostragem

A rede de amostragem da qualidade das águas superficiais foi concebida considerando-se a localização das principais estruturas do projeto, de forma a fornecer o diagnóstico da situação atual e subsidiar a futura análise dos impactos nas etapas de implantação e de operação do PSQ.

Os locais de coleta foram previamente definidos em cinco açudes e em quatro riachos situados no entorno das instalações do empreendimento. No plano de coleta, identificaram-se os assentamentos, as fontes relevantes de poluição, as condições de acessibilidade e o apoio logístico, entre outros fatores que caracterizam os pontos amostrados, conforme detalhado a seguir.

Foram previstos 11 pontos (P01 a P11), porém, a ausência de escoamento superficial nos riachos, representados pelos pontos P03, P04, P05, P06 e P07, bem como no açude do riacho da Gangorra (P08), impossibilitou a coleta de amostras nas campanhas de novembro/2020 e de fevereiro/2021. Pelo mesmo motivo, a maior parte desses pontos não foi avaliada na campanha de abril/2023, com exceção de P08, cuja presença de escoamento durante a terceira campanha permitiu a amostragem nesse local.

Como ocorrido nas campanhas de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), foram realizadas inspeções em todos os pontos, certificando os locais que se encontravam secos. Assim, a tomada de amostras se restringiu aos açudes, onde foi realizada a amostragem de toda a série de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos definidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 (amostragem completa). Especificamente no açude do riacho Caramutim (popularmente conhecido como açude Quixaba), a amostragem compreendeu um ponto na barragem (P01) e outro no remanso (P02).

Cabe destacar que, dentre os locais amostrados, o açude do riacho Caramutim e do riacho Gangorra se situam nos limites da AID. Os demais açudes se situam fora dos limites das áreas de influência, porém foram inseridos na malha amostral uma vez que se caracterizam como fontes de abastecimento no contexto regional, conforme detalhado no Quadro 11.1.9-2. Neste diagnóstico, optou-se pela análise integrada do conjunto de dados primários obtidos, tendo em vista obter um panorama integrado dos parâmetros amostrados nas três campanhas.

Conforme citado, essa última amostragem foi realizada para subsidiar o diagnóstico do meio biótico, para o qual o Parecer Técnico nº 148 do Ibama solicitou uma amostragem no auge da estação chuvosa, em função da campanha de fevereiro/2021 ter sido realizada em período atípico de baixa precipitação, e o açude João Silva Guerra, por não integrar a malha amostral da biota aquática, não foi amostrado na última campanha. No Quadro 11.1.9-2 consta a rede amostral adotada para avaliação das águas superficiais e dos sedimentos, o tipo de amostragem (completa ou inspeção) e as coordenadas geográficas em ambas as campanhas, enquanto no Mapa 11.1-23, é ilustrada a localização dos pontos de coleta. No Quadro 11.1.9-3 consta a descrição dos pontos de coleta, com detalhes de localização e escoamento da água durante as campanhas.

Quadro 11.1.9-2: Rede de amostragem de qualidade da água superficial e de sedimentos - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Pontos	Corpos d'água	Campanha	Coordenadas Geográficas (Fuso 24M)		Tipo de Amostragem	Pontos das campanhas de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014)
			Norte	Leste		
P01	Açude do riacho Caramutim: barragem	1ªC	9.493.297	413.664	Completa	x
		2ªC	9.493.278	413.649		
		3ªC	9.493.185	413.649		
P02	Açude do riacho Caramutim: remanso	1ªC	9.493.246	414.142	Completa	x
		2ªC	9.493.246	414.142		
		3ªC	9.493.116	414.248		
P03	Riacho Caramutim	1ªC	9.493.941	413.189	Inspeção	#
		2ªC	9.493.942	413.185		
		3ªC	9.494.003	413.204		
P04	Riacho das Guaribas	1ªC	9.494.072	413.101	Inspeção	#
		2ªC	9.494.054	413.091		
		3ªC	9.494.113	413.135		
P05	Riacho Cunha - Moti	1ªC	9.494.026	412.479	Inspeção	#

Pontos	Corpos d'água	Campanha	Coordenadas Geográficas (Fuso 24M)		Tipo de Amostragem	Pontos das campanhas de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014)
			Norte	Leste		
		2ªC	9.494.029	412.481		
		3ªC	9.494.066	412.513		
P06	Riacho sem denominação 3	1ªC	9.495.510	414.916	Inspeção	#
		2ªC	9.495.527	414.906		
		3ªC	9.495.509	414.940		
P07	Riacho Cunha - Moti	1ªC	9.492.212	409.366	Inspeção	#
		2ªC	9.492.216	409.364		
		3ªC	9.492.253	409.395		
P08	Açude do riacho da Gangorra	1ªC	9.496.134	409.691	Inspeção	x
		2ªC	9.496.138	409.689		
		3ªC	9.496.144	409.766	Completa	
P09	Açude da Laís	1ªC	9.482.905	423.077	Completa	x
		2ªC	9.482.855	423.014		
		3ªC	9.482.907	423.074		
P10	Açude Edson Queiroz	1ªC	9.529.266	382.315	Completa	x
		2ªC	9.529.183	382.295		
		3ªC	9.529.211	382.284		
P11	Açude João Silva Guerra	1ªC	9.485.241	427.973	Completa	
		2ªC	9.485.180	427.875		

Legenda: x pontos amostrados e # pontos inspecionados pela Arcadis Logos (2014).

Elaboração: Tetra Mais, 2023.

Quadro 11.1.9-3: Descritivo dos pontos de amostragem de qualidade da água e de sedimentos - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

PONTOS	OBSERVAÇÕES
P01 e P02 – Açude do riacho Caramutim (popularmente conhecido como açude Quixaba)	Localizado próximo ao alojamento da Fazenda Itataia, na AID, esse açude foi incluído na rede de amostragem pela sua proximidade às instalações do PSQ e por ter um formador (córrego sem denominação 2, conhecido popularmente como riacho Lúcio) que passará pelas estruturas do PSQ. Os pontos P01 e P02 estão situados na barragem e no remanso deste açude, respectivamente, a montante da ADA. O ponto P01 estava com água nas três campanhas atuais (novembro/2020 a abril/2023) e nas realizadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014). O ponto P02 foi amostrado nas quatro campanhas ocorridas em 2011, porém, nas campanhas atuais (2020/2021/2023) tornou necessário seu deslocamento um pouco mais a jusante para melhor caracterização do ambiente aquático.
P03 – Riacho Caramutim, popularmente conhecido como riacho Curimatã	Esse ponto está situado a jusante do açude do riacho Caramutim, na AID, imediatamente após o cruzamento da via de acesso de interligação com a CE-366. Esse riacho tem como contribuinte a montante, na margem direita, o riacho Mata Fome. O riacho Curumatã, no seu médio curso, passa a assumir o nome de Caramutim, porém, localmente é conhecido como Curimatã. O riacho Caramutim se encontrava seco no período de desenvolvimento das três campanhas atuais (novembro/2020 a abril/2023) e das quatro amostragens realizadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), padrão constatado também para os demais cursos d'água lóticos da rede amostral.
P04 – Riacho das Guaribas	Curso d'água na AID, cuja confluência com o riacho Caramutim forma o riacho Cunha-Moti. O ponto 04, estabelecido próximo à foz do riacho das Guaribas, é receptor potencial da Instalação Mínero-industrial, bem como das atividades de lavra e da pilha de estéril através do riacho sem denominação 3 (popularmente conhecido como riacho Alcantil), seu tributário da margem direita. Em nenhuma das campanhas foi constatado escoamento superficial nesse ponto.
P05 – Riacho Cunha - Moti	Situado imediatamente a jusante da confluência dos riachos Caramutim e das Guaribas, na AID, o Ponto P05 foi selecionado por constituir o corpo receptor potencial da estrutura operacional do projeto. Durante todas as campanhas esse riacho manteve-se seco.
P06 – Riacho sem denominação 3 (popularmente conhecido como riacho Alcantil)	O Ponto P06 está situado na AID, próximo à foz do riacho sem denominação 3 (popularmente conhecido como riacho Alcantil), o riacho das Guaribas, sendo representativo das atividades de lavra e da pilha de estéril, conforme citado. Esse afluente se manteve seco durante a realização de todas as campanhas.
P07 – Riacho Cunha – Moti	O Ponto P07 está localizado no riacho Cunha–Moti próximo à fazenda Tapera, na AID.
P08 – Açude do riacho da Gangorra	Açude construído no riacho da Gangorra e que recebe contribuições do riacho sem denominação 1. Esse açude tangencia a pilha de estéril a montante. Este ponto, na AID, foi selecionado por representar também

PONTOS	OBSERVAÇÕES
(popularmente conhecido como açude Morrinhos)	uma importante sub-bacia formadora do contribuinte que desagua no riacho Cunha-Moti. Nas duas primeiras campanhas em foco (novembro/2020 e fevereiro/2021), o açude do riacho da Gangorra estava seco, entretanto na terceira (abril/2023) se encontrava com lâmina d'água, bem como nas campanhas realizadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014).
P09 – Açude da Laís (ou Oitícica)	O Ponto P09 se situa fora dos limites da AII, AID e ADA, porém, o açude da Laís foi selecionado pois, anteriormente servia como fonte de abastecimento para o distrito de Lagoa do Mato, atualmente substituído pelo açude João Silva Guerra. O açude da Laís estava com água em todas as campanhas atuais (novembro/2020 a abril/2023) e aquelas realizadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014).
P10 – Açude Edson Queiroz	O açude Edson Queiroz é formado pelo rio Groaíras, a jusante da AII do empreendimento. O ponto P10, foi incluído na rede de amostragem pelo fato deste manancial estar contemplado como fonte de abastecimento na fase de operação do empreendimento e também por representar um dos maiores reservatórios de água na região. Foram coletadas amostras em todas as campanhas nesse açude.
P11 – Açude João Silva Guerra	Embora situado fora dos limites da AII, AID e ADA, este açude foi selecionado, pois suas águas abastecem o distrito de Lagoa do Mato, conforme citado anteriormente. Em novembro/2020 e em fevereiro/2021, este açude se encontrava com água, possibilitando a amostragem no Ponto P11. Em abril/2023, não foi realizada coleta, conforme já informado.

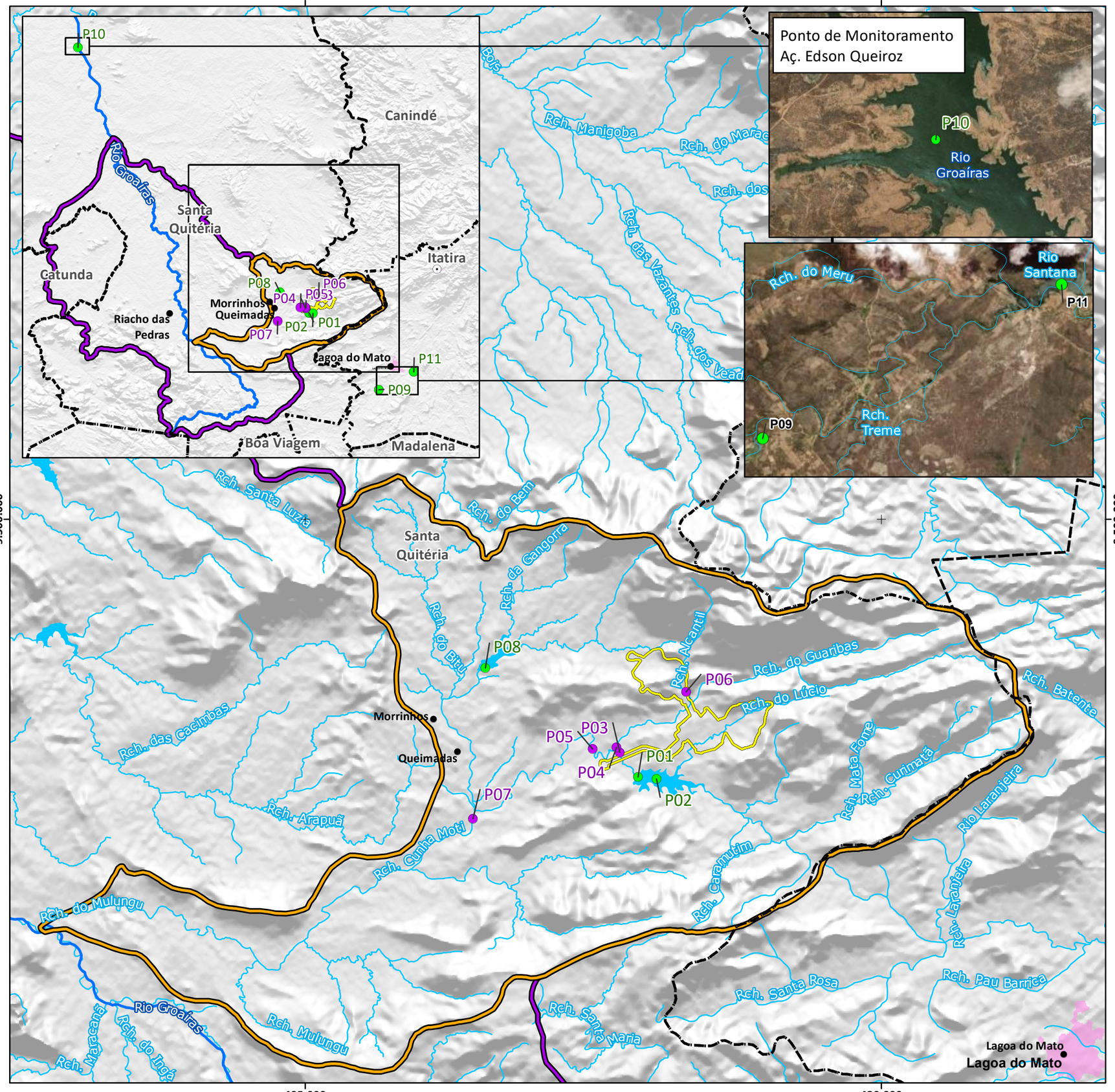
Elaboração: Tetra Mais, 2023.

405.000

420.000

9.500.000

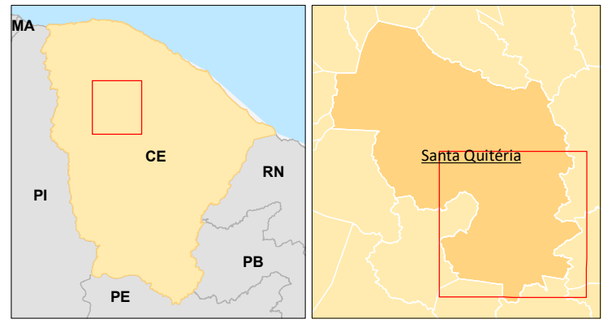
9.500.000



405.000

420.000

Macrolocalização



- Localidades
- Limite Municipal
- Áreas Urbanizadas/Edificadas

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)
- Área de Influência Indireta (AII)

Hidrografia

- Rio Groaíras
- Cursos d'água

Pontos de Monitoramento de Água e Sedimentos

- Ponto de Monitoramento Coletado
- Ponto de Monitoramento Seco

Fonte:
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:103.340

0 2 4 km

Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria

tetra+

Projeto:

Projeto Santa Quitéria

Título: Rede de Amostragem de Qualidade da Água e de Sedimentos – PSQ
Novembro/2020 (1ªC) a Abril/2023 (3ªC)

Formato	Escala	Folha
A3	1:103.340	Única

Data	Localização
27/11/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

A seguir consta o registro fotográfico da malha amostral em todas as campanhas realizadas entre novembro/2020 e abril/2023 (Figura 11.1-172 até Figura 11.1-203).

Figura 11.1-172: Ponto P01 - Açude do riacho Caramutim (barragem), na 1ª campanha (período seco).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-173: Ponto P01 - Açude do riacho Caramutim, na 2ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-174: Ponto P01 - Açude do riacho Caramutim, na 3ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2023.

Figura 11.1-175: Ponto P02 - Açude do riacho Caramutim (remanso), na 1ª campanha (período seco).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-176: Ponto P02 - Açude do riacho Caramutim, na 2ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-177: Ponto P02 - Açude do riacho Caramutim, na 3ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2023.

Figura 11.1-178: Ponto P03 - Riacho Caramutim: sem escoamento superficial, na 1ª campanha (período seco).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-179: Ponto P03 - Riacho Caramutim: sem escoamento superficial, na 2ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-180: Ponto P03 - Riacho Caramutim: sem escoamento superficial, na 3ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2023.

Figura 11.1-181: Ponto P04 - Riacho das Guaribas: sem escoamento superficial, na 1ª campanha (período seco).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-182: Ponto P04 - Riacho das Guaribas: sem escoamento superficial, na 2ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-183: Ponto P04 - Riacho das Guaribas: sem escoamento superficial, na 3ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2023.

Figura 11.1-184: Ponto P05 – Riacho Cunha-Moti: sem escoamento superficial, na 1ª campanha (período seco).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-185: Ponto P05 – Riacho Cunha-Moti: sem escoamento superficial, na 2ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-186: Ponto P05 - Riacho Cunha - Moti: sem escoamento superficial, na 3ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2023.

Figura 11.1-187: Ponto P06 - Riacho sem denominação 3: sem escoamento superficial, na 1ª campanha (período seco).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-188: Ponto P06 - Riacho sem denominação 3: sem escoamento superficial, na 2ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-189: Ponto P06 - Riacho sem denominação 3, na 3ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2023.

Figura 11.1-190: Ponto P07 - Riacho Cunha - Moti: sem escoamento superficial, na 1ª campanha (período seco).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-191: Ponto P07 - Riacho Cunha - Moti: sem escoamento superficial, na 2ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-192: Ponto P07 - Riacho Cunha - Moti: sem escoamento superficial, na 3ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2023.

Figura 11.1-193: P08 - Açude do riacho da Gangorra: seco, na 1ª campanha (período seco).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-194: P08 - Açude do riacho da Gangorra: seco, na 2ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-195: P08 - Açude do riacho da Gangorra, na 3ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2023.

Figura 11.1-196: Ponto P09 - Açude da Laís, na 1ª campanha (período seco).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-197: Ponto P09 - Açude da Laís, na 2ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-198: Ponto P09 - Açude da Laís, na 3ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2023.

Figura 11.1-199: Ponto P10: Açude Edson Queiroz, na 1ª campanha (período seco).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-200: Ponto P10: Açude Edson Queiroz, na 2ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-201: Ponto P10: Açude Edson Queiroz, na 3ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2023.

Figura 11.1-202: Ponto P11: Açude João Silva Guerra, na 1ª campanha (período seco).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

Figura 11.1-203: Ponto P11: Açude João Silva Guerra, na 2ª campanha (período chuvoso).

Fonte: Tetra Mais / Econsult, 2021.

B. Variáveis selecionadas

B.1. Qualidade das águas superficiais

Com o objetivo de caracterizar a qualidade das águas superficiais nas áreas de influência do empreendimento, foi selecionado um conjunto de variáveis físico-químicas e bacteriológicas, tendo como base a listagem de parâmetros definida pela Resolução CONAMA nº 357/05 para águas doces classe 2 e pela Norma Técnica NBR 12.649 que trata da caracterização de cargas poluidoras das atividades de mineração.

A avaliação da qualidade das águas superficiais compreendeu toda a série de parâmetros físico-químicos, biológicos e bacteriológicos, incluindo metais e compostos

orgânicos, coincidentes com as variáveis selecionadas no ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), conforme citado anteriormente. No Quadro 11.1.9-4 consta a listagem dos parâmetros analisados, com a respectiva unidade, o Limite de Quantificação (L.Q.) e a metodologia analítica adotada.

Quadro 11.1.9-4: Parâmetros analisados na caracterização da qualidade das águas superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

PARÂMETROS	UNIDADE	L.Q.	METODOLOGIA ANALÍTICA
FÍSICO-QUÍMICOS			
Cianeto Livre	mg/L	0,001	ASTM D 7237-15a
Cloreto	mg/L	0,5	POP PA 032
Cloro Residual*	mg/L	0,01	POP PA 010 - Rev.09
Cor Verdadeira	mg Pt/L	5	SMWW 2120 C
DBO	mg/L	2 a 5	SMWW 5210 B
DQO	mg/L	40	SMWW 5220 D
Fluoreto	mg/L	0,05 a 0,5	POP PA 032
Fósforo Total	mg/L	0,01	SMWW 3125 B
Nitrato (como N)	mg/L	0,3	SMWW 4500 NO3- F
Nitrito (como N)	mg/L	0,01	SMWW 4500 NO2- B
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,1	ISO 11732: 2005
Óleos e Graxas Visíveis*	-	-	SMWW 2110
Oxigênio Dissolvido*	mg/L	0,1	SMWW 4500O G
pH (a 25°C)*	-	2-13	SMWW 4500H+ B
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	5	SMWW 2540 A, B, C, D, E
Sulfato	mg/L	0,5	POP PA 032
Sulfetos (como H_2S não dissociado)	mg/L	0,002	SMWW 4500 S-2 H
Temperatura da Água*	°C	1-50	SMWW 2550 B
Turbidez	UNT	0,1	SMWW 2130 B
BIOLÓGICOS E BACTERIOLÓGICOS			
Clorofila-*a*	µg/L	1	SMWW 10200 H
Coliformes Termotolerantes *(E. coli)*	NMP/100mL	10	SMWW 9223 B
Coliformes Totais	NMP/100mL	10	SMWW 9223 B

PARÂMETROS	UNIDADE	L.Q.	METODOLOGIA ANALÍTICA
Densidade de Cianobactérias	cél./mL	3	SMWW 10200
METAIS E SEMIMETAIS			
Alumínio Dissolvido	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Antimônio	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Arsênio Total	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Bário Total	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Berílio Total	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Boro Total	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Cádmio Total	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Chumbo Total	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Cobalto	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Cobre Dissolvido	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Cromo Total	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Ferro Dissolvido	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Lítio Total	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Manganês Total	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Mercúrio Total	mg/L	0,0001	SMWW 3125 B
Níquel Total	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Prata Total	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Selênio Total	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Urânio Total	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Vanádio Total	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
Zinco Total	mg/L	0,001	SMWW 3125 B
SOLVENTES AROMÁTICOS VOLÁTEIS - BETX			
Benzeno	µg/L	0,5	EPA 8260 D: 2018
Etilbenzeno	µg/L	1	EPA 8260 D: 2018
Tolueno	µg/L	1	EPA 8260 D: 2018
Xilenos	µg/L	3	EPA 8260 D: 2018
COMPOSTOS ORGÂNICOS SEMI VOLÁTEIS			
Surfactantes (como LAS)	mg/L	0,2	POP PA 023 - Rev.14

PARÂMETROS	UNIDADE	L.Q.	METODOLOGIA ANALÍTICA
Índice de Fenóis	mg/L	0,001	ISO 14402: 1999
1,1-Dicloroeteno	mg/L	0,001	EPA 8260 D: 2018
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	EPA 8260 D: 2018
2,4,5-T	µg/L	0,005	EPA 8270 E-1:2018
2,4,5-TP	µg/L	0,005	EPA 8270 E-1:2018
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,000003	EPA 8270 E-1:2018
2,4-D	µg/L	0,1 e 0,005	EPA 8270 E-1:2018
2,4-Diclorofenol	µg/L	0,1 e 0,005	EPA 8270 E-1:2018
2-Clorofenol	µg/L	0,005	EPA 8270 E-1:2018
Acrilamida	µg/L	0,1	POP PA 188
Alaclor	µg/L	0,005	EPA 8270 E-1:2018
Aldrin + Dieldrin	µg/L	0,002	EPA 8270 E-1:2018
Atrazina	µg/L	0,05 e 0,005	EPA 8270 E-1:2018
Benzidina	µg/L	0,0001	POP PA 166
Benzo(a)antraceno	µg/L	0,01 e 0,005	EPA 8270 E-1:2018
Benzo(a)pireno	µg/L	0,01 e 0,005	EPA 8270 E-1:2018
Benzo(b)fluoranteno	µg/L	0,01 e 0,005	EPA 8270 E-1:2018
Benzo(k)fluoranteno	µg/L	0,01 e 0,005	EPA 8270 E-1:2018
Carbaril	µg/L	0,02 e 0,005	EPA 8270 E-1:2018
Clordano (cis e trans)	µg/L	0,002	EPA 8270 E-1:2018
Criseno	µg/L	0,01 e 0,005	EPA 8270 E-1:2018
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDD + p,p'-DDE)	µg/L	0,002	EPA 8270 E-1:2018
Demeton (Demeton-O e Demeton-S)	µg/L	0,03 e 0,01	EPA 8270 E-1:2018
Dibenzo(a,h)antraceno	µg/L	0,01 e 0,005	EPA 8270 E-1:2018
Dibromofluorometano	%	-	EPA 8260 D: 2018
Diclorometano	mg/L	0,001	EPA 8260 D: 2018
Dodecacloropentaciclodecano	µg/L	0,001	EPA 8270 E-1:2018
Endossulfan (a, b e sulfato)	µg/L	0,003	EPA 8270 E-1:2018
Endrin	µg/L	0,001	EPA 8270 E-1:2018

PARÂMETROS	UNIDADE	L.Q.	METODOLOGIA ANALÍTICA
Estireno	mg/L	0,001	EPA 8260 D: 2018
Glifosato	µg/L	0,005 a 0,05	POP PA 032
Gution	µg/L	0,004	EPA 8270 E-1:2018
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	µg/L	0,002	EPA 8270 E-1:2018
Hexaclorobenzeno	µg/L	0,005	EPA 8270 E-1:2018
Indeno(1,2,3,cd)pireno	µg/L	0,01 e 0,005	EPA 8270 E-1:2018
Lindano (g-HCH)	µg/L	0,01 e 0,001	EPA 8270 E-1:2018
Malation	µg/L	0,01 e 0,005	EPA 8270 E-1:2018
Metolacloro	µg/L	0,05 e 0,005	EPA 8270 E-1:2018
Metoxicloro	µg/L	0,001	EPA 8270 E-1:2018
Paration	µg/L	0,04 e 0,005	EPA 8270 E-1:2018
p-Bromofluorbenzeno	%	-	EPA 8260 D: 2018
Pentaclorofenol	mg/L	0,00001 e 0,000005	EPA 8270 E-1:2018
Simazina	µg/L	0,05 e 0,005	EPA 8270 E-1:2018
Tetracloreto de Carbono	mg/L	0,0005	EPA 8260 D: 2018
Tetracloroeteno	mg/L	0,001	EPA 8260 D: 2018
Toxafeno	µg/L	0,01	EPA 8081 B: 2007
Tributilestanho	µg/L	0,005	POP PA 167
Triclorobenzenos	mg/L	0,003	EPA 8260 D: 2018
Tricloroeteno	mg/L	0,0005	EPA 8260 D: 2018
Trifluralina	µg/L	0,05 e 0,005	EPA 8270 E-1:2018
BIFENILAS POLICLORADAS			
PCBs - Bifenilas Policloradas	µg/L	0,001	EPA 8270 E-1:2018

*Legenda: * Variáveis medidas em campo. LQ: Limite de Quantificação do método analítico (-) não se aplica.*

Elaboração: Tetra Mais, 2023.

Nas três campanhas, as coletas de água e dos sedimentos, bem como as análises laboratoriais, estiveram a cargo da Mérieux NutriSciences Brasil, (nome fantasia de Bioagri Laboratórios Ltda.), a qual é acreditada pela Coordenação Geral de Acreditação – CGCRE do

INMETRO – Inmetro Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, segundo os requisitos da NBR ISO/IEC 17025.

Para acesso a alguns pontos dos açudes foi utilizado barco. Previamente à tomada de amostras, foram anotadas em cada ponto de coleta as seguintes informações sobre os corpos d'água avaliados e as condições predominantes do entorno, visando dar subsídios à interpretação dos resultados analíticos: identificação do ponto com os códigos adotados pelo projeto, localização geográfica com GPS, data e hora de coleta, condição predominante do tempo durante a coleta, ocorrência de chuva nas últimas 24 horas e presença de mata ciliar no entorno. Adicionalmente, anotou-se nas fichas se havia nos açudes amostrados materiais flutuantes, resíduos sólidos e corantes artificiais.

Os trabalhos de campo incluíram ainda medições diretas para determinação das seguintes variáveis: temperatura da água, pH e oxigênio dissolvido - OD (sonda multiparâmetros - Figura 11.1-204), além de cloro residual. O equipamento utilizado em campo foi devidamente calibrado em laboratório da Rede Brasileira de Calibração (RBC) (Anexo 11.1.9-2) e verificado com padrões rastreáveis de forma a garantir a precisão e a exatidão dos dados obtidos.

A coleta da água foi realizada com base nos métodos propostos pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMEWW) 23ª edição (APHA, 2017), pelo Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB & ANA, 2011) e pelas normas da ABNT-NBR (10007/2004).

Em cada ponto amostral, coletaram-se amostras na subsuperfície, com uso de garrafa de Van Dorn (Figura 11.1-205), que foram posteriormente transferidas para frascos específicos para cada tipo de análise (Figura 11.1-206). As amostras foram acondicionadas e mantidas refrigeradas durante o transporte até o laboratório.

Figura 11.1-204: Sonda multiparâmetros usada para as medições *in situ*.

Fonte: Econsult, 2021.

Figura 11.1-205: Garrafa de Van Dorn utilizada na amostragem de água.

Fonte: Tetra Mais, 2021.

Figura 8.1-175: Acondicionamento de amostras de água.

Fonte: Econsult, 2023.

Em laboratório, as análises seguiram as normas técnicas preconizadas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA *et al.*, 2012, 2017), pela *United State Environmental Protection Agency* – EPA (1992, 2007, 2018), além dos protocolos internos do laboratório. As cadeias de custódia, os laudos analíticos e os certificados de calibração dos equipamentos de medição in situ constam nos Anexo 11.1.9-3, Anexo 11.1.9-1 e Anexo 11.1.9-2, respectivamente.

Análise dos Dados

Para avaliação dos resultados obtidos nos pontos amostrados, os dados foram consolidados em gráficos de barras, comparando-se aos valores determinados pela Resolução CONAMA nº 357/05 para águas doces classe 2.

Nas representações gráficas, a linha vermelha indica o VMP - Valor Máximo Permitido de acordo com essa legislação e a ausência de barras significa valores abaixo do respectivo Limite de Quantificação do Método Analítico (L.Q.). Para oxigênio dissolvido (OD) e pH, as barras indicam o valor mínimo e a faixa limite permitidos pela referida Resolução, respectivamente.

Utilizou-se ainda na análise dos dados o Índice de Estado Trófico (IET) adotado pela CETESB (2020). Este indicador leva em consideração os dados relativos à clorofila-*a* e ao fósforo total, tendo por finalidade classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia e apontar o nível de enriquecimento das águas com nutrientes, processo que interfere

diretamente no crescimento do fitoplâncton e de macrófitas aquáticas. O Índice de Estado Trófico – IET foi calculado de acordo com CETESB (2021a). O IET é composto pelo Índice do Estado Trófico para o fósforo – IET (PT) e o Índice do Estado Trófico para a clorofila-*a* – IET (CL), modificados por Lamparelli (2004), sendo estabelecidos para ambientes lênticos de águas doces, segundo as equações:

- Reservatórios

IET (CL) = 10 x (6-((0,92-0,34 x (ln CL)) /ln 2))

IET (PT) = 10 x (6-(1,77-0,42 x (ln PT)/ln 2))

Onde:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg.L-1;

CL: concentração de clorofila-*a* medida à superfície da água, em µg.L-1;

ln: logaritmo natural.

Os limites estabelecidos para as diferentes classes de trofia para rios e reservatórios estão descritos no Quadro 11.1.9-5 a seguir.

Quadro 11.1.9-5: Classificação do Estado Trófico para reservatórios.

Classificação do Estado Trófico - Rios			
Categoria (Estado Trófico)	**Ponderação**	**P-total - (mg/m³)**	**Clorofila-*a* - (mg/m³)**
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	P ≤ 8	CL ≤ 1,17
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	8< P ≤ 19	1,17 < CL ≤ 3,24
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	19 < P ≤52	3,24 < CL ≤ 11,03
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	52< P ≤120	11,03 < CL ≤ 30,55
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	120 < P ≤233	30,55 < CL ≤ 69,05
Hipereutrófico	IET> 67	233 < P	69,05 < CL

Conforme citado, no presente relatório adotaram-se para comparação os dados obtidos nas quatro campanhas realizadas no ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), constante no Anexo 11.1.9-1.

Qualidade dos sedimentos

Com o objetivo de avaliar a qualidade dos sedimentos na AID e ADA do PSQ foi analisado um conjunto de parâmetros tendo como base a Resolução CONAMA nº 454/2012 e o *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME, 2001), incluindo análises físicas, nutrientes, metais e semimetais e compostos orgânicos, conforme listagem apresentada no Quadro 11.1.9-6 onde consta a unidade, o Limite de Quantificação (LQ) e a metodologia analítica adotada. Conforme detalhado no item 11.1.9.1 foram coletadas amostras em seis pontos.

Quadro 11.1.9-6: Parâmetros analisados na caracterização da qualidade dos sedimentos - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Parâmetros	Unidade	L.Q.	Metodologia Analítica
Físico			
% Sólidos	% p/p	0,05	SMWW 2540 G
Granulometria	g/kg	-	ISO 13320: 2009 / POP PA 180
Nutrientes e COT			
Carbono Orgânico Total	% p/p	0,05	POP PA 182
Nitrogênio Kjeldahl Total	mg/kg	24	POP PA 005
Fósforo Total	mg/kg	1	EPA 6010 D-1
Metais e Semimetais			
Arsênio	mg/kg	1	EPA 6010 D-1
Cádmio	mg/kg	0,1	EPA 6010 D-1
Chumbo	mg/kg	1	EPA 6010 D-1
Cobre	mg/kg	1	EPA 6010 D-1
Cromo	mg/kg	1	EPA 6010 D-1
Mercúrio	mg/kg	0,05	EPA 245.7
Níquel	mg/kg	1	EPA 6010 D-1
Zinco	mg/kg	1	EPA 6010 D-1
COMPOSTOS ORGÂNICOS SEMIVOLÁTEIS			
PESTICIDAS ORGANOCLORADOS			
Cis Clordano (Alfa Clordano)	µg/kg	0,3	EPA 8270 E-1, POP PA 076
DDD (isômeros)	µg/kg	0,13	EPA 8270 E-1, POP PA 076

Parâmetros	Unidade	L.Q.	Metodologia Analítica
DDE (isômeros)	µg/kg	0,13	EPA 8270 E-1, POP PA 076
DDT (isômeros)	µg/kg	0,13	EPA 8270 E-1, POP PA 076
Dieldrin	µg/kg	0,18	EPA 8270 E-1, POP PA 076
Endrin	µg/kg	0,18	EPA 8270 E-1, POP PA 076
HCH Alfa	µg/kg	0,09	EPA 8270 E-1, POP PA 076
HCH Beta	µg/kg	0,09	EPA 8270 E-1, POP PA 076
HCH Delta	µg/kg	0,09	EPA 8270 E-1, POP PA 076
Lindano (g-HCH)	µg/kg	0,09	EPA 8270 E-1, POP PA 076
Trans Clordano (Gama Clordano)	µg/kg	0,3	EPA 8270 E-1, POP PA 076
PCBS			
Bifenilas Policloradas	µg/kg	3,5	EPA 8270 E-1, POP PA 076
HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS (HPAS)			
Acenafteno	µg/kg	0,3	EPA 8270 E-1, POP PA 076
Acenaftileno	µg/kg	0,3	EPA 8270 E-1, POP PA 076
Antraceno	µg/kg	0,3	EPA 8270 E-1, POP PA 076
Benzo(a)antraceno	µg/kg	0,3	EPA 8270 E-1, POP PA 076
Benzo(a)pireno	µg/kg	0,3	EPA 8270 E-1, POP PA 076
Criseno	µg/kg	0,3	EPA 8270 E-1, POP PA 076
Dibenzo(a,h)antraceno	µg/kg	0,3	EPA 8270 E-1, POP PA 076
Fenantreno	µg/kg	0,3	EPA 8270 E-1, POP PA 076
Fluoranteno	µg/kg	0,3	EPA 8270 E-1, POP PA 076
Fluoreno	µg/kg	0,3	EPA 8270 E-1, POP PA 076
2-Metilnaftaleno	µg/kg	0,3	EPA 8270 E-1, POP PA 076
Naftaleno	µg/kg	0,3	EPA 8270 E-1, POP PA 076
Pireno	µg/kg	0,3	EPA 8270 E-1, POP PA 076
Total de HAPs	mg/kg	5,1	EPA 8270 E-1, POP PA 076

Legenda: LQ - Limite de Quantificação do método analítico.

Elaboração: Tetra Mais, 2023.

A coleta dos sedimentos foi realizada com base nos métodos propostos pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMEWW) 23ª edição (APHA, 2017) e pelo Guia Nacional de coleta e Preservação de Amostras (CETESB & ANA, 2011).

As amostras foram obtidas com pegador de fundo (Figura 11.1-206 e Figura 11.1-207) distribuídas em bandeja de inox para homogeneização e posteriormente acondicionadas em frascos específicos, sendo mantidas refrigeradas durante o transporte ao laboratório da Mérieux NutriSciences Brasil (nome fantasia de Bioagri Laboratórios Ltda.), o qual é acreditado pelo CGCRE do NMETRO, segundo a norma NBR ISO/IEC 17025.

Os laudos analíticos com os resultados dos parâmetros analisados nos sedimentos e as cadeias de custódia estão apresentadas nos Anexo 11.1.9-5 e Anexo 11.1.9-3, respectivamente.

Figura 11.1-206: Coleta de sedimentos com amostrador de fundo (2ªC, fevereiro/2021).

Fonte: Tetra Mais, 2021.

Figura 11.1-207: Coleta de sedimentos com amostrador de fundo (3ªC, abril/2023).

Fonte: Tetra Mais, 2023.

Análise dos Dados

Os resultados obtidos foram comparados aos critérios de classificação definidos pela *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME, 2001). Cabe indicar que os padrões de referência da CCME serviram como base para a delimitação de valores utilizados em território nacional pela Resolução CONAMA nº 454/12 (níveis 1 e 2), que é direcionada a materiais resultantes de processos de dragagem.

A CCME (2001) adota dois níveis de classificação dos sedimentos:

- ISQG (*Interium Sediment Quality Guidelines*) ou TEL (*Thereshold Effect Level*) - indica o limiar abaixo do qual há menor probabilidade de causar efeitos adversos à biota;

- PEL (*Problably Effect Level*) - limiar acima do qual há maior probabilidade provocar efeitos adversos à biota.

Os resultados dos parâmetros carbono orgânico total, nitrogênio Kjeldahl total e fósforo total foram comparados aos valores alertas previstos na Resolução CONAMA nº 454/12, tendo em vista que os mesmos não são contemplados no CCME (2001).

Conforme apresentado no subitem 11.1.9.3.3, os dados obtidos na avaliação da qualidade dos sedimentos também foram sistematizados em gráficos de barras, nos quais a linha vermelha indica o TEL ou o valor alerta. A ausência de barras significa valores abaixo do limite de quantificação (LQ) do método analítico.

C. Resultados obtidos da qualidade das águas superficiais

No Quadro 11.1.9-7 e Quadro 11.1.9-8, são descritos os resultados das análises de laboratório e das medições em campo dos parâmetros de qualidade das águas obtidos nas três campanhas realizadas entre novembro/2020 e abril/2023. Conforme citado, os dados foram comparados aos valores máximos permitidos (VMP) que constam na Resolução CONAMA nº 357/05 para águas doces classes 2. Os resultados destacados em vermelho referem-se às concentrações que não estão de acordo com os limites estabelecidos por esse dispositivo legal.

Quadro 11.1.9-7: Resultados das análises da qualidade das águas superficiais na AID - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Parâmetro	Unidade	VMP	Açude do riacho Caramutim: barragem			Açude do riacho Caramutim: remanso		
			P01			P02		
			1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC
Físico-Químico								
Cianeto Livre	mg/L	0,005	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0017
Cloreto Total	mg/L	250	343	497	36,9	357	491	39,2
Cloro Residual*	mg/L	0,01	< 0,01	< 0,01	0,24	< 0,01	< 0,01	0,11
Cor Verdadeira	mg Pt/L	75	60,7	61,1	128	61,4	20,5	134
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	mg/L	5	< 3	5,6	<2,1	< 3	7,6	< 2,2
Demanda Química de Oxigênio - DQO	mg/L	-	124	157	78,8	126	155	80,4
Fluoreto Total	mg/L	1,4	0,84	< 0,5	0,19	0,83	0,98	0,18
Fósforo Total	mg/L	0,03	0,52	< 0,01	0,48	0,26	0,19	0,45
Nitrato (como N)	mg/L	10	0,9	< 0,1	< 0,1	0,83	< 0,1	< 0,1
Nitrito (como N)	mg/L	1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrogênio Amoniacal Total	mg/L	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,108	< 0,1	< 0,1
Óleos e Graxas Visíveis*	-	-	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Oxigênio Dissolvido*	mg/L	> 5	< 0,1	4,3	2,3	< 0,1	3,5	3,4
pH*	-	6 - 9	8,47	8,35	7,2	8,45	8,27	7,37
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	500	1.251	1.396	523	1.429	1.459	254
Sulfato Total	mg/L	250	172	255	14,3	177	263	14,9
Sulfetos (como H_2S não dissociado)	mg/L	0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,014

Parâmetro	Unidade	VMP	Açude do riacho Caramutim: barragem			Açude do riacho Caramutim: remanso		
			P01			P02		
			1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC
Temperatura da Água*	°C	-	25,8	28,4	29,2	26,6	29,1	30,1
Turbidez	UNT	100	44,2	90,1	9,58	44,2	52,1	15,4
Biológicos e Bacteriológicos								
Clorofila-*a*	µg/L	30	3,17	12,4	9,8	5,29	17,2	15
Coliformes Termotolerantes (*E. coli)*	NMP/100mL	1.000	< 10	< 10	73	< 10	< 10	161
Coliformes Totais	NMP/100mL	-	> 24200	> 24200	> 24200	19863	> 24200	> 24200
Cianobactérias	cél/mL	50.000	47.700	260.000	128	46.200	234	< 3
Metais e Semimetais								
Alumínio Dissolvido	mg/L	0,1	0,0488	< 0,001	0,0535	< 0,001	0,0034	0,0558
Antimônio	mg/L	0,005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005
Arsênio Total	mg/L	0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005
Bário Total	mg/L	0,7	0,119	0,165	0,0368	0,11	0,184	0,0466
Berílio Total	mg/L	0,04	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Boro Total	mg/L	0,5	0,132	0,164	0,076	0,135	0,238	0,0799
Cádmio Total	mg/L	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005
Chumbo Total	mg/L	0,01	< 0,001	0,0018	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	0,00051
Cobalto Total	mg/L	0,05	0,0012	0,0031	0,00064	0,0011	0,0015	0,00099
Cobre Dissolvido	mg/L	0,009	< 0,001	0,0033	0,00116	< 0,001	< 0,001	0,00079
Cromo Total	mg/L	0,05	0,0016	0,0083	0,0007	0,0024	0,0034	0,0038
Ferro Dissolvido	mg/L	0,3	0,0658	0,0698	0,199	0,0593	0,0383	0,241
Lítio Total	mg/L	2,5	< 0,001	0,0022	0,00139	< 0,001	0,0016	0,00177

Parâmetro	Unidade	VMP	Açude do riacho Caramutim: barragem			Açude do riacho Caramutim: remanso		
			P01			P02		
			1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC
Manganês Total	mg/L	0,1	0,628	1,18	0,201	0,746	1,05	0,157
Mercúrio Total	mg/L	0,0002	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Níquel Total	mg/L	0,025	0,0029	0,0075	< 0,001	0,0027	0,0037	0,00181
Prata Total	mg/L	0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005
Selênio Total	mg/L	0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005
Urânio Total	mg/L	0,02	0,0034	0,0026	< 0,0005	0,0032	0,0036	< 0,0005
Vanádio Total	mg/L	0,1	0,0132	0,0213	0,00307	0,0117	0,0131	0,00442
Zinco Total	mg/L	0,18	0,0149	0,0175	< 0,001	0,0038	0,206	0,00121
Solventes Aromáticos Voláteis - BETX								
Benzeno	mg/L	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
Etilbenzeno	µg/L	90	< 1	< 1	< 0,001	< 1	< 1	< 0,001
Tolueno	µg/L	2	< 1	< 1	< 0,001	< 1	< 1	< 0,001
Xilenos	µg/L	300	< 3	< 3	< 0,003	< 3	< 3	< 0,003
Compostos Orgânicos Semi Voláteis								
Surfactantes (como LAS)	mg/L	0,5	0,28	0,46	0,1	0,27	0,34	0,13
Índice de Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,003
1,1-Dicloroeteno	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0003	< 0,001	< 0,001	< 0,0003
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,0003	< 0,001	< 0,001	< 0,0003
2,4,5-T	µg/L	2	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
2,4,5-TP	µg/L	10	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,01	< 0,000003	< 0,000003	< 0,000003	< 0,000003	< 0,000003	< 0,000003

Parâmetro	Unidade	VMP	Açude do riacho Caramutim: barragem			Açude do riacho Caramutim: remanso		
			P01			P02		
			1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC
2,4-D	µg/L	4	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
2,4-Diclorofenol	µg/L	0,3	< 0,1	< 0,005	< 0,005	< 0,1	< 0,005	< 0,005
2-Clorofenol	µg/L	0,1	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Acrilamida	µg/L	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Alaclor	µg/L	20	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Aldrin + Dieldrin	µg/L	0,005	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Atrazina	µg/L	2	< 0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,05	< 0,005	< 0,005
Benzidina	µg/L	0,001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Benzo(a)antraceno	µg/L	0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001
Benzo(a)pireno	µg/L	0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001
Benzo(b)fluoranteno	µg/L	0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001
Benzo(k)fluoranteno	µg/L	0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001
Carbaril	µg/L	0,02	< 0,02	< 0,005	< 0,005	< 0,02	< 0,005	< 0,005
Clordano (cis e trans)	µg/L	0,04	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Criseno	µg/L	0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDD + p,p'-DDE)	µg/L	0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,001
Demeton (Demeton-O e Demeton-S)	µg/L	0,1	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01	< 0,01
Dibenzo(a,h)antraceno	µg/L	0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001
Diclorometano	mg/L	0,02	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Parâmetro	Unidade	VMP	Açude do riacho Caramutim: barragem			Açude do riacho Caramutim: remanso		
			P01			P02		
			1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC
Dodecacloropentaciclodecano	µg/L	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Endossulfan (a, b e sulfato)	µg/L	0,056	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Endrin	µg/L	0,004	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Estireno	mg/L	0,02	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Glifosato	µg/L	65	< 25	< 50	< 0,01	< 25	< 50	< 0,01
Gution	µg/L	0,005	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Hexaclorobenzeno	µg/L	0,0065	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Indeno(1,2,3,cd)pireno	µg/L	0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001
Lindano (g-HCH)	µg/L	0,02	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Malation	µg/L	0,1	< 0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,005
Metolacloro	µg/L	10	< 0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,05	< 0,005	< 0,005
Metoxicloro	µg/L	0,03	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Paration	µg/L	0,04	< 0,04	< 0,005	< 0,005	< 0,04	< 0,005	< 0,005
Pentaclorofenol	mg/L	0,009	< 0,00001	< 0,000005	< 0,000005	< 0,00001	< 0,000005	< 0,000005
Simazina	µg/L	2	< 0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,05	< 0,005	< 0,005
Tetracloreto de Carbono	mg/L	0,002	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
Tetracloroeteno	mg/L	0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Toxafeno	µg/L	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Tributilestanho	µg/L	0,063	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005

Parâmetro	Unidade	VMP	Açude do riacho Caramutim: barragem			Açude do riacho Caramutim: remanso		
			P01			P02		
			1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC
Triclorobenzenos	mg/L	0,02	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Tricloroeteno	mg/L	0,03	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0003	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0003
Trifluralina	µg/L	0,2	< 0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,05	< 0,005	< 0,005
PCBs - Bifenilas Policloradas	µg/L	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

*Legenda: VMP – Valores Máximos Permitidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 para águas classe 2. Para oxigênio dissolvido e pH, o VMP corresponde ao valor mínimo e à faixa limite estabelecida pela legislação, respectivamente. * Parâmetros medidos em campo. - Não se aplica ou não analisado. (1) O limite de nitrogênio amoniacal varia conforme o pH (2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 e 0,5 mg/L N, para pH > 8,5). Os resultados destacados em vermelho referem-se às concentrações acima do padrão da legislação.*

Quadro 11.1.9-8: Resultados das análises da qualidade das águas superficiais em pontos fora dos limites das áreas de influência - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Parâmetro	Unidade	VMP	Açude do riacho da Gangorra[1]	Açude da Laís			Açude Edson Queiroz			Açude João Silva Guerra[2]	
			P08	P09			P10			P11	
			3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC
Físico-Químico											
Cianeto Livre	mg/L	0,005	0,0011	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cloreto Total	mg/L	250	4,17	80,4	100	34,7	21	21	20,9	199	219
Cloro Residual*	mg/L	0,01	0,24	< 0,01	< 0,01	0,19	< 0,01	< 0,01	0,1	< 0,01	< 0,01
Cor Verdadeira	mg Pt/L	75	71,8	32,4	29,2	86,7	42,2	28,4	40,5	21,2	22,5
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	mg/L	5	< 3	< 3	6,8	< 3	4	4,2	< 2,1	< 3	4,1
Demanda Química de Oxigênio - DQO	mg/L	-	64,4	112	110	102	67	49	52,7	82	73,2
Fluoreto Total	mg/L	1,4	0,11	0,84	0,69	0,15	< 0,05	0,11	< 0,1	0,83	< 0,25
Fósforo Total	mg/L	0,03	0,18	< 0,01	0,01	0,13	0,06	0,07	0,08	0,09	< 0,01
Nitrato (como N)	mg/L	10	< 0,1	0,37	< 0,1	< 0,1	< 0,3	< 0,1	< 0,1	0,3	0,13
Nitrito (como N)	mg/L	1	13	< 0,01	< 0,01	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrogênio Amoniacal Total	mg/L	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Óleos e Graxas Visíveis*	-	-	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Oxigênio Dissolvido*	mg/L	> 5	3	< 0,1	4,7	5	4,5	4,4	2,9	5,1	4,9
pH*	-	06/set	7,29	8,26	8,37	7,45	8,44	8	7,24	8,38	8,33
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	500	118	387	404	229	159	130	166	515	519
Sulfato Total	mg/L	250	< 0,5	8,4	4,1	< 1	1	< 0,5	< 1	6,54	6,16

Parâmetro	Unidade	VMP	Açude do riacho da Gangorra[1]	Açude da Laís			Açude Edson Queiroz			Açude João Silva Guerra[2]	
			P08	P09			P10			P11	
			3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC
Sulfetos (como H_2S não dissociado)	mg/L	0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Temperatura da Água*	°C	-	31	24,9	31,8	31,4	29,3	30,4	30,4	25,8	30,1
Turbidez	UNT	100	5,03	44,2	25,6	17	40,1	11,9	4,79	44,2	29,8
Biológicos e Bacteriológicos											
Clorofila-*a*	µg/L	30	4,2	4,07	9,56	11	7,17	5,82	5,7	4,46	7,72
Coliformes Termotolerantes (*E. coli*)	NMP/100mL	1.000	20	< 10	31	63	41	< 10	< 10	< 10	41
Coliformes Totais	NMP/100mL	-	> 24200	1956	> 24200	> 24200	> 24200	> 24200	> 24200	> 24200	15500
Cianobactérias	cél/mL	50.000	126	51.700	562.000	48596	302.000	1.100.000	1182	152.000	1.560.000
Metais e Semimetais											
Alumínio Dissolvido	mg/L	0,1	0,0181	0,0586	0,0155	0,0321	0,0096	< 0,001	0,012	0,0117	< 0,001
Antimônio	mg/L	0,005	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001
Arsênio Total	mg/L	0,01	0,00197	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001
Bário Total	mg/L	0,7	0,0539	0,008	0,107	0,0937	0,041	0,044	0,0528	0,057	0,049
Berílio Total	mg/L	0,04	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Boro Total	mg/L	0,5	0,0248	< 0,001	0,0168	0,0673	< 0,001	< 0,001	0,0471	0,011	0,0266
Cádmio Total	mg/L	0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001
Chumbo Total	mg/L	0,01	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	0,0013	< 0,001
Cobalto Total	mg/L	0,05	0,0007	< 0,001	< 0,001	0,00067	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	0,0013	< 0,001
Cobre Dissolvido	mg/L	0,009	< 0,00025	< 0,001	< 0,001	0,00048	< 0,001	< 0,001	< 0,00025	< 0,001	< 0,001

Parâmetro	Unidade	VMP	Açude do riacho da Gangorra[1]	Açude da Laís			Açude Edson Queiroz			Açude João Silva Guerra[2]	
			P08	P09			P10			P11	
			3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC
Cromo Total	mg/L	0,05	0,00101	< 0,001	< 0,001	0,00058	0,0024	< 0,001	< 0,0005	0,0045	0,0012
Ferro Dissolvido	mg/L	0,3	0,0513	0,295	0,048	0,158	0,0986	0,0501	0,0168	0,0861	0,0085
Lítio Total	mg/L	2,5	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Manganês Total	mg/L	0,1	0,162	0,0257	0,0917	0,44	0,0685	0,037	0,0632	0,185	0,0911
Mercúrio Total	mg/L	0,0002	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Níquel Total	mg/L	0,025	0,00144	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0021	< 0,001
Prata Total	mg/L	0,01	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001
Selênio Total	mg/L	0,01	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001
Urânio Total	mg/L	0,02	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001
Vanádio Total	mg/L	0,1	0,00144	< 0,001	0,0019	0,0013	0,0039	< 0,001	0,00094	0,0049	0,0021
Zinco Total	mg/L	0,18	0,0143	0,0012	0,0042	< 0,001	0,0089	< 0,001	< 0,001	0,146	0,0976
Solventes Aromáticos Voláteis - BETX											
Benzeno	mg/L	0,005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
Etilbenzeno	µg/L	90	< 0,001	< 1	< 1	< 0,001	< 1	< 1	< 0,001	< 1	< 1
Tolueno	µg/L	2	< 0,001	< 1	< 1	< 0,001	< 1	< 1	< 0,001	< 1	< 1
Xilenos	µg/L	300	< 0,003	< 3	< 3	< 0,003	< 3	< 3	< 0,003	< 3	< 3
Compostos Orgânicos Semi Voláteis											
Surfactantes (como LAS)	mg/L	0,5	< 0,1	0,27	0,28	0,1	< 0,2	1,96	< 0,1	0,21	0,2
Índice de Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	< 0,001	< 0,001	0,003	< 0,001	< 0,001
1,1-Dicloroeteno	mg/L	0,003	< 0,0003	< 0,001	< 0,001	< 0,0003	< 0,001	< 0,001	< 0,0003	< 0,001	< 0,001
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,01	< 0,0003	< 0,001	< 0,001	< 0,0003	< 0,001	< 0,001	< 0,0003	< 0,001	< 0,001

Parâmetro	Unidade	VMP	Açude do riacho da Gangorra[1]	Açude da Laís			Açude Edson Queiroz			Açude João Silva Guerra[2]	
			P08	P09			P10			P11	
			3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC
2,4,5-T	µg/L	2	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
2,4,5-TP	µg/L	10	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,01	< 0,000003	< 0,000003	< 0,000003	< 0,000003	< 0,000003	< 0,000003	< 0,000003	< 0,000003	< 0,000003
2,4-D	µg/L	4	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
2,4-Diclorofenol	µg/L	0,3	< 0,005	< 0,1	< 0,005	< 0,005	< 0,1	< 0,005	< 0,005	< 0,1	< 0,005
2-Clorofenol	µg/L	0,1	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Acrilamida	µg/L	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Alaclor	µg/L	20	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Aldrin + Dieldrin	µg/L	0,005	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Atrazina	µg/L	2	< 0,005	< 0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,05	< 0,005
Benzidina	µg/L	0,001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Benzo(a)antraceno	µg/L	0,05	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005
Benzo(a)pireno	µg/L	0,05	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005
Benzo(b)fluoranteno	µg/L	0,05	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005
Benzo(k)fluoranteno	µg/L	0,05	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005
Carbaril	µg/L	0,02	< 0,005	< 0,02	< 0,005	< 0,005	< 0,02	< 0,005	< 0,005	< 0,02	< 0,005
Clordano (cis e trans)	µg/L	0,04	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Criseno	µg/L	0,05	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDD + p,p'-DDE)	µg/L	0,002	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,001	< 0,002	< 0,002

Parâmetro	Unidade	VMP	Açude do riacho da Gangorra[1]	Açude da Laís			Açude Edson Queiroz			Açude João Silva Guerra[2]	
			P08	P09			P10			P11	
			3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC
Demeton (Demeton-O e Demeton-S)	µg/L	0,1	< 0,01	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01
Dibenzo(a,h)antraceno	µg/L	0,05	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005
Diclorometano	mg/L	0,02	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Dodecacloropentaciclodecano	µg/L	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Endossulfan (a, b e sulfato)	µg/L	0,056	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Endrin	µg/L	0,004	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Estireno	mg/L	0,02	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Glifosato	µg/L	65	< 0,005	< 25	< 25	< 0,01	< 5	< 5	< 0,01	< 25	< 25
Gution	µg/L	0,005	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Hexaclorobenzeno	µg/L	0,0065	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Indeno(1,2,3,cd)pireno	µg/L	0,05	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,001	< 0,01	< 0,005
Lindano (g-HCH)	µg/L	0,02	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Malation	µg/L	0,1	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,01	< 0,005
Metolacloro	µg/L	10	< 0,005	< 0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,05	< 0,005
Metoxicloro	µg/L	0,03	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Paration	µg/L	0,04	< 0,005	< 0,04	< 0,005	< 0,005	< 0,04	< 0,005	< 0,005	< 0,04	< 0,005
Pentaclorofenol	mg/L	0,009	< 0,000005	< 0,00001	< 0,000005	< 0,000005	< 0,00001	< 0,000005	< 0,000005	< 0,00001	< 0,000005

Parâmetro	Unidade	VMP	Açude do riacho da Gangorra[1]	Açude da Laís			Açude Edson Queiroz			Açude João Silva Guerra[2]	
			P08	P09			P10			P11	
			3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC
Simazina	µg/L	2	< 0,005	< 0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,05	< 0,005
Tetracloreto de Carbono	mg/L	0,002	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
Tetracloroeteno	mg/L	0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Toxafeno	µg/L	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Tributilestanho	µg/L	0,063	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Triclorobenzenos	mg/L	0,02	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Tricloroeteno	mg/L	0,03	< 0,0003	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0003	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0003	< 0,0005	< 0,0005
Trifluralina	µg/L	0,2	< 0,005	< 0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,05	< 0,005
PCBs - Bifenilas Policloradas	µg/L	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

*Legenda: VMP – Valores Máximos Permitidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 para águas classe 2. Para oxigênio dissolvido e pH, o VMP corresponde ao valor mínimo e à faixa limite estabelecida pela legislação, respectivamente. * Parâmetros medidos em campo. (-) Não se aplica ou não analisado. [1]Apenas na 3ª campanha. [2]Apenas na 1ª e na 2ª campanha. O limite de nitrogênio amoniacal varia conforme pH (2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 e 0,5 mg/L N, para pH > 8,5). Os resultados destacados em vermelho referem-se às concentrações que não estão de acordo com o padrão legal.*

Durante as duas primeiras campanhas (novembro/2020 e fevereiro/2021), o tempo se manteve predominantemente bom, sendo registrada a ocorrência de chuvas no período de 24 horas antecedentes na segunda campanha (fevereiro/2021). Na campanha de abril/2023, período chuvoso, o tempo se manteve nublado em parte das amostragens, com chuvas nas 24 horas anteriores e com chuvas durante a coleta no açude Edson Queiroz.

No entorno dos açudes amostrados, observou-se ausência de mata ciliar (Quadro 11.1.9-9 e Quadro 11.1.9-10).

Quadro 11.1.9-9: Registros de campo da Área de Influência Direta (AID) – PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Registros De Campo	Açude do riacho Caramutim						Açude do riacho da Gangorra
	P01			P02			P08
	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	3ªC
Data da Coleta	27/11/2020	10/02/2021	26/04/2023	27/11/2020	10/02/2021	26/04/2023	25/04/2023
Hora da Coleta	11h20	09h45	9h22	11h50	10h41	11h30	11h20
Condição do Tempo Durante a Coleta	Bom	Bom	Nublado	Bom	Bom	Nublado	Nublado
Chuva nas Últimas 24h	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não
Mata Ciliar	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Elaboração: Econsult, 2023.

Quadro 11.1.9-10: Registros de campo em pontos dos açudes localizados fora dos limites das áreas de influência – PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Registros de Campo	Açude da Laís			Açude Edson Queiroz			Açude João Silva Guerra	
	P09			P10			P11	
	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC
Data da Coleta	27/11/2020	10/02/2021	26/04/2023	27/11/2020	11/02/2021	27/04/2023	27/11/2020	10/02/2021
Hora da Coleta	8h45	13h29	16h10	16h00	11h23	12h00	9h45	11h30
Condição do Tempo Durante a Coleta	Bom	Bom	Nublado	Bom	Bom	Chuvoso	Bom	Bom
Chuva nas Últimas 24h	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim

Registros de Campo	Açude da Laís			Açude Edson Queiroz			Açude João Silva Guerra	
	P09			P10			P11	
	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC
Mata Ciliar	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Elaboração: Econsult, 2023.

A seguir, são descritos os resultados das principais variáveis analisadas, possibilitando estabelecer uma comparação entre os diferentes pontos de amostragem. Na representação gráfica, a linha tracejada vermelha representa o padrão determinado pela Resolução CONAMA nº 357/05 para águas doces classe 2. Cabe indicar que não foram elaborados gráficos para os parâmetros cujos resultados foram inferiores ao limite de quantificação do método analítico em todos ou na maioria dos pontos.

C.1. Parâmetros físico-químicos

Cianeto Livre

Os cianetos podem ser gerados em várias atividades industriais, tais como galvanização e produção de plásticos e fertilizantes, sendo bastante tóxicos na forma iônica (HELLER e PÁDUA, 2010). A Resolução CONAMA nº 357/05 determina, para águas doces classe 2, o valor máximo de 0,005 mg/L de cianeto livre.

Nas duas primeiras campanhas, realizadas nos períodos seco (novembro/2020) e chuvoso (fevereiro/2021), em todas as amostras analisadas, as concentrações de cianeto livre permaneceram em níveis inferiores ao limite de quantificação do método analítico (< 0,001 mg/L). Os resultados estavam, portanto, em conformidade com a legislação, e se assemelham ao verificado nas quatro campanhas realizadas no ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014) (vide Anexo 11.1.9-1).

No entanto, a campanha de abril/2023 apontou concentrações quantificáveis deste composto no remanso do açude do riacho Caramutim (P02) e no açude do riacho da Gangorra (P08), com 0,0017 mg/L e 0,0011 mg/L, respectivamente. Ainda assim, o cianeto livre permaneceu em conformidade com o padrão da normativa, tal como nas campanhas anteriores. A origem do cianeto presente nestes corpos de água é incerta, uma vez que o uso e ocupação do solo na bacia de drenagem é principalmente rural, com agricultura de subsistência e criação de caprinos, como detalhado no item 11.1.9.3.2.

Cloreto Total

O cloreto é um constituinte encontrado geralmente com baixas concentrações em águas naturais, exceto em zonas costeiras e em regiões do semiárido onde são maiores os níveis de evaporação das águas superficiais. Concentrações mais elevadas desse íon constituem indícios de contaminação das águas por esgotos sanitários (CETESB, 2022). A Resolução CONAMA nº 357/05 determina o valor máximo de 250 mg/L para cloreto em águas doces classe 2.

Nas duas primeiras campanhas, nos pontos P01 e P02, situados no açude do riacho Caramutim (popularmente conhecido como açude Quixaba), foram detectadas concentrações de cloreto acima do padrão da legislação. Os valores sofreram um incremento no período chuvoso (fevereiro/2021) em relação ao período seco anterior (novembro/2020), sendo obtidos os resultados máximos de 497 mg/L (P01) e 491 mg/L (P02). Nos demais pontos analisados, os níveis se mantiveram de acordo com a legislação (Figura 11.1-208).

No entanto, faz-se notar que o mês de fevereiro/2021, embora inserido no período chuvoso, não teve o volume de precipitação esperado para a época do ano. Assim a evaporação da água, sem a recarga esperada pela contribuição pluvial, entre novembro/2020 e fevereiro/2021, pode ser a responsável pelo aumento na concentração de sais de cloro no açude do riacho Caramutim.

A campanha de abril/2023, período que ocorreu maior volume chuvas na região, mostrou concentrações mais baixas em todos os pontos amostrais em comparação com as duas primeiras. A variação encontrada nesta última amostragem se deu entre 4,17 mg/L e 39,2 mg/L no açude do riacho da Gangorra, conhecido localmente como açude Morrinhos (P08) e no remanso do açude do riacho Caramutim (P02), respectivamente. Não ocorreram, portanto, violações ao padrão da Resolução CONAMA nº 357/05. Nas amostragens conduzidas em 2011, em todos os pontos de coleta os teores de cloreto variaram de 30 mg/L (P08, maio/2011) a 175 mg/L (P02, agosto/2011), indicando também que não houve alterações em relação ao padrão legal (vide Anexo 11.1.9-1).

Os resultados seguem o mesmo padrão verificado para sólidos dissolvidos, conforme será visto adiante. Os resultados são esperados para a região (FEITOSA *et al.*, 2008) e também estão em concordância com os resultados encontrados para sólidos dissolvidos na caracterização regional da Área de Influência Indireta e com as altas concentrações de cloretos e sólidos dissolvidos encontradas nas águas subterrâneas (item 11.1.12).

Feitosa *et al.* (2011) registram que os reservatórios de regiões semiáridas tendem a receber elevada carga externa de nutrientes e sedimentos em suspensão provenientes de sua área de drenagem que escoa as águas das chuvas concentradas em poucos meses do ano, favorecendo processos erosivos do solo. Em geral, esses ambientes exibem variações temporais de estado trófico, turbidez e salinidade, controlados principalmente pelo volume de descarga fluvial, e consequente carga externa de nutrientes e sedimentos, e pelo balanço hidrológico de precipitação e evaporação. Outro fator externo ao corpo d'água que deve ser considerado é a capacidade de retenção da água dos reservatórios, que se associa com as altas taxas de evapotranspiração do corpo aquático, as quais estão relacionadas com o tamanho do espelho d'água e a morfometria do açude (VON SPERLING, 1999). Essas características morfométricas favorecem a evaporação com consequente redução acelerada do volume de água armazenada nos açudes na estação seca, comportamento comum nos reservatórios do semiárido (TUCCI, 2002). Comumente, no período seco, os açudes perdem muita água por evaporação, o que acarreta o aumento da concentração de íons e aumento da condutividade elétrica.

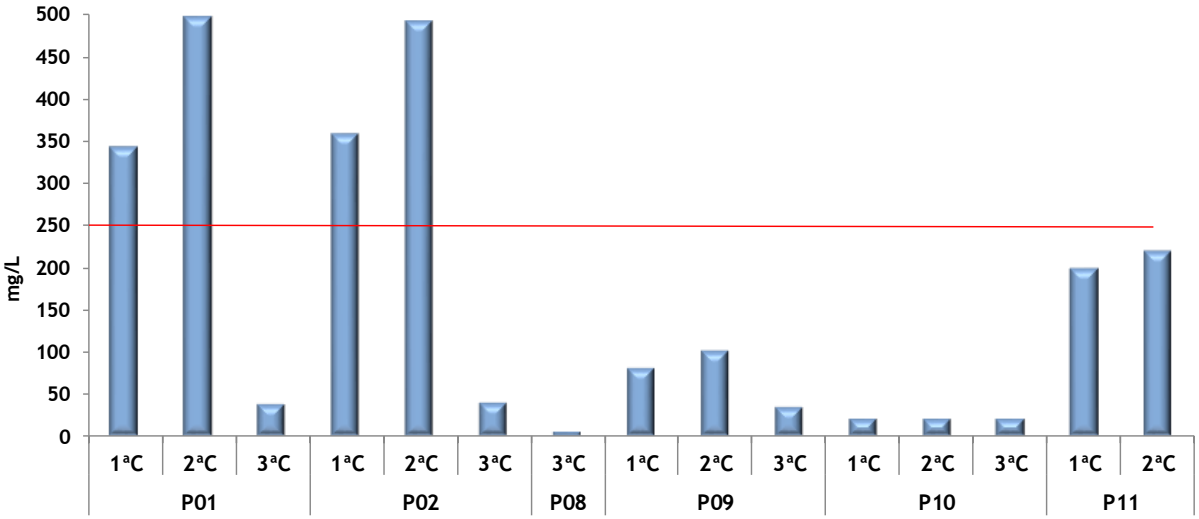


Figura 11.1-208: Cloreto nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).
Elaboração: Econsult, 2023.

Cloro Residual

O cloro residual (cloro residual livre + cloro residual combinado) é a fração do cloro total adicionado à água para fins de desinfecção que não é consumida em reações com substâncias orgânicas e inorgânicas, normalmente presentes na água e o que se combina com amônia ou outros compostos nitrogenados, produzindo as cloraminas (MEYER, 1994). A

Resolução CONAMA nº 357/05 determina que em águas doces classes 2 a concentração máxima de cloro residual seja de 0,01 mg/L.

Nas duas primeiras campanhas, novembro/2020 e fevereiro/2021, não foram detectadas concentrações de cloro residual acima do LQ do método analítico (0,01 mg/L) (Figura 11.1-209), o que aponta para a conformidade de 100% das amostragens nestas campanhas ao padrão para águas doces classe 2. O mesmo ocorreu nas quatro campanhas realizadas no ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), tendo valores abaixo do limite de quantificação em todos os pontos (Anexo 11.1.9-1).

Contudo, a campanha de abril/2023 mostrou concentrações elevadas em todos os pontos amostrais, com 100% de não conformidade ao padrão da Resolução CONAMA nº 357/05. A variação encontrada nessa amostragem se deu entre 0,1 mg/L (P10, açude Edson Queiroz) e 0,24 mg/L (P01, barragem do açude do riacho Caramutim e P08, açude do riacho da Gangorra).

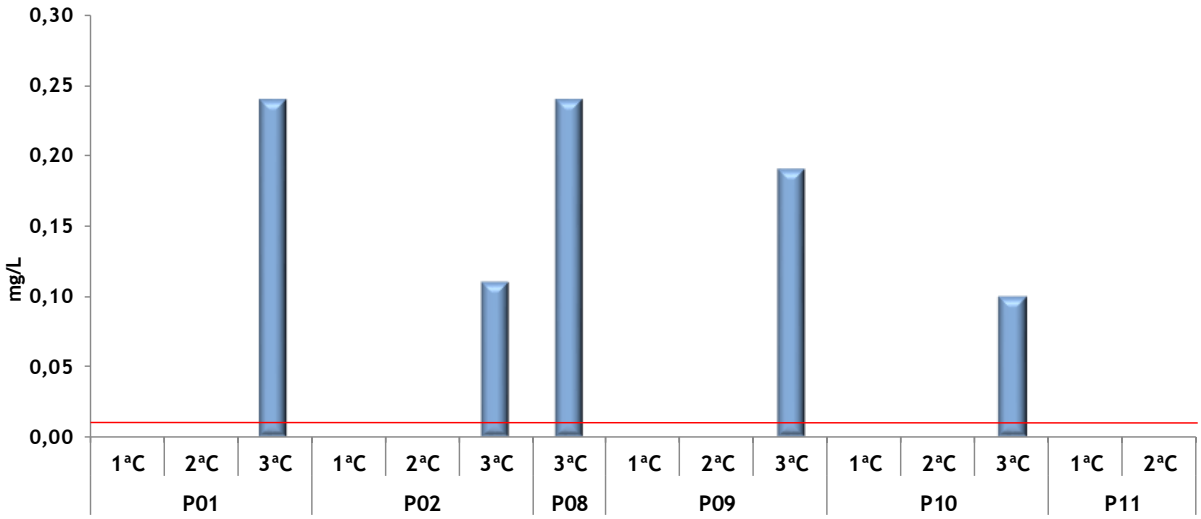


Figura 11.1-209: Cloro Residual nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

Cor Verdadeira

A cor verdadeira da água deve-se à presença de substâncias em solução, geralmente resultantes da decomposição de restos vegetais, tais como ácidos fúlvicos e húmicos, que conferem aos cursos d'água uma coloração amarelada a marrom, assumindo tonalidade mais

escura na presença de compostos de ferro. A introdução de sólidos a partir da bacia de drenagem, a ressuspensão dos sedimentos e o desenvolvimento do fitoplâncton, em geral, afetam as propriedades óticas de um corpo d'água através do aumento da cor e também da turbidez (CETESB, 2022).

A cor é um parâmetro estético, de especial interesse para mananciais destinados ao abastecimento público, já que níveis de coloração intensa tendem a causar rejeição das águas para consumo humano. Porém, níveis elevados de cor podem estar associados a parâmetros de interesse sanitário, como floração de algas, presença de metais e de outros contaminantes que causam problemas de saúde pública.

A Resolução CONAMA nº 357/05 determina o máximo de 75 mg Pt/L de cor verdadeira para águas doces classe 2.

Nos pontos analisados os valores obtidos nas duas primeiras campanhas do atual estudo (novembro/2020 e fevereiro/2021) foram condizentes com o padrão da legislação, com o máximo de 61,4 mg Pt/L, no ponto P02 (açude do riacho Caramutim), conforme Figura 11.1-210. O mesmo ocorreu nas quatro campanhas realizadas no ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), tendo valores abaixo do limite estabelecido pela legislação (vide Anexo 11.1.9-1).

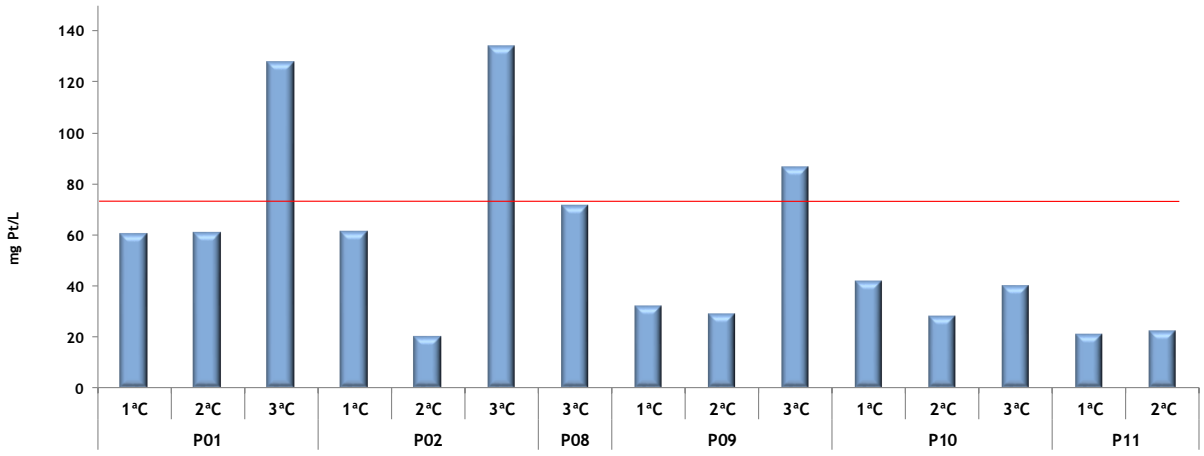


Figura 11.1-210: Cor Verdadeira nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

No entanto, a campanha realizada em abril/2023 mostrou não conformidades em três dos cinco ambientes amostrados (remanso e barragem do açude do riacho Caramutim - P01 e P02 e no açude da Laís – P09), com valor máximo de 134 mg Pt/L no remanso do açude do riacho Caramutim. A ocorrência de chuvas no dia anterior à amostragem pode ser uma das

causas deste desvio em relação ao padrão da normativa, uma vez que o escoamento superficial da água pluvial pode carrear para o ambiente aquático material particulado do ecossistema terrestre adjacente.

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

A DBO de uma amostra de água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por meio de decomposição biológica aeróbia, formando subprodutos na forma inorgânica estável (CETESB, 2022). A Resolução CONAMA nº 357/05 determina, para águas doces classe 2, o valor máximo de 5 mg/L de DBO.

Na maioria dos pontos avaliados na campanha de novembro/2020 (período seco), as concentrações de DBO permaneceram inferiores ao limite de quantificação do método analítico (3 mg/L), com exceção apenas do açude Edson Queiroz (P10, a jusante da AII), onde se obteve 4 mg/L, estando, portanto, todos os resultados em conformidade com a legislação.

Contudo, na campanha seguinte (fevereiro/2021), a maioria dos pontos apresentou concentrações de DBO superiores ao padrão legal, com 5,6 mg/L (P01) e 7,6 mg/L (P02), no açude do riacho Caramutim, e 6,8 mg/L no açude da Laís (P09) (Figura 11.1-211), o que pode refletir a maior concentração de matéria orgânica acumulada como sugerem as concentrações de clorofila-*a* relativamente elevadas nestes pontos para esta campanha, como mostrado mais adiante.

Em abril/2023, no período chuvoso, a DBO decai para concentrações abaixo do limite de quantificação do método analítico, em todos os açudes amostrados, atendendo, portanto, ao padrão legal. Essa redução pode refletir o efeito diluidor das chuvas que antecederam essa coleta sobre os compostos orgânicos.

Mesmo com as alterações mencionadas para a campanha de fevereiro/2021, o resultado obtido no período mais recente (2020-2023) representa uma melhoria em relação aos dados obtidos no ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), quando os sistemas aquáticos avaliados apresentaram elevados teores de DBO, com extrapolação do padrão da legislação, tanto no período seco como no chuvoso, atingindo pico de 31 mg/L (P01, açude do riacho Caramutim, popularmente conhecido como açude Quixaba, abril/2011) (vide Anexo 11.1.9-1).

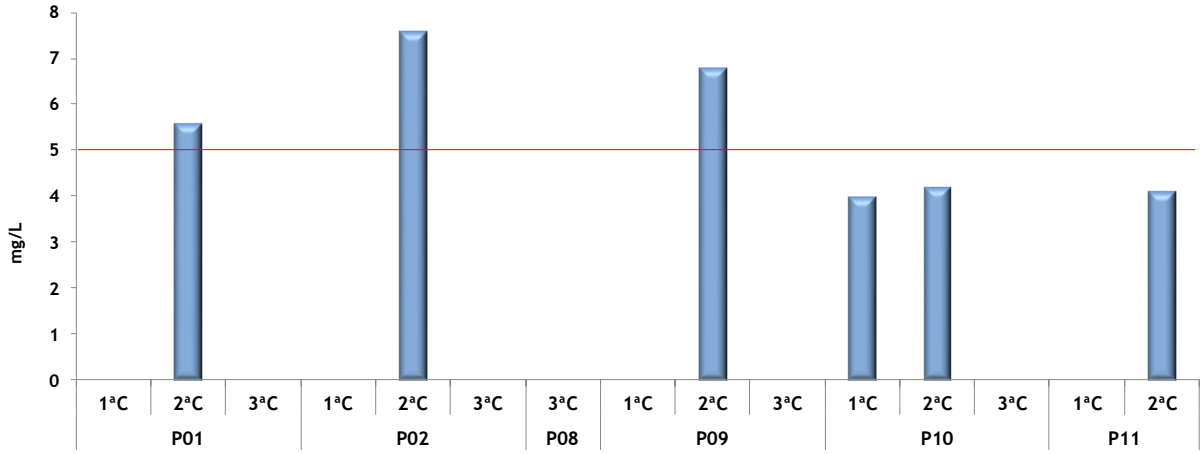


Figura 11.1-211: Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

DQO - Demanda Química de Oxigênio

A DQO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico. Como a DBO afere apenas a fração biodegradável, quanto mais esse valor se aproximar da DQO, maior é o potencial de degradação biológica dos compostos presentes em determinada amostra (CETESB, 2022). Não há na Resolução CONAMA nº 357/05 padrões para esta variável.

Nas duas primeiras campanhas, os valores de DQO variaram entre 49 mg/L (P10, açude Edson Queiroz) a 157 mg/L (P01, açude do riacho Caramutim), ambos verificados na campanha de fevereiro/2021 conforme Figura 11.1-212. A última campanha, abril/2023, mostrou valores menores e menor amplitude de variação, com mínimo de 52,7 mg/L e máximo de 102 mg/L no açude Edson Queiroz (P10) e açude da Laís (P09), respectivamente. Considerando que esse parâmetro não possui limite definido pela legislação, conforme citado, a análise serve para subsidiar a caracterização da qualidade da água.

Nos levantamentos conduzidos no ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), o maior pico de DQO foi de 72 mg/L (P02 – açude do riacho Caramutim (Quixaba), abril/2011) (vide Anexo 11.1.9-1). Ao se comparar com os resultados do estudo atual é observado um aumento dos valores deste parâmetro nos últimos anos, denotando maior potencial de concentração de materiais orgânicos no açude do riacho Caramutim.

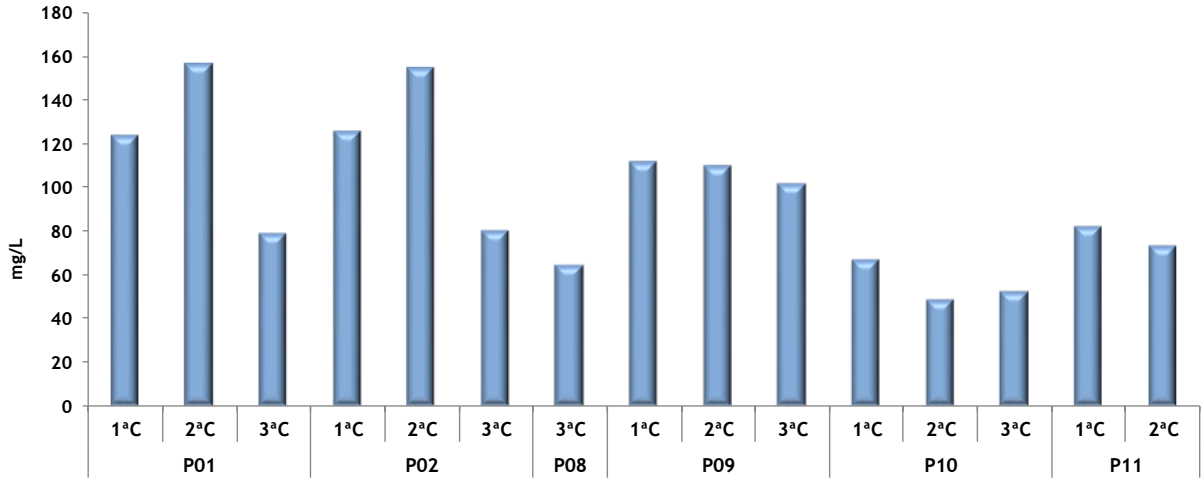


Figura 11.1-212: Demanda Química de Oxigênio - DQO nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

Fluoreto Total

Fluoreto é a forma iônica do flúor, sendo normalmente encontrado em águas naturais em níveis traço, enquanto as concentrações elevadas geralmente estão associadas a fontes subterrâneas. Em locais onde existem minerais ricos em flúor, as águas podem ter concentrações que superam 10 mg/L. Alguns efluentes industriais também descarregam fluoreto nas águas naturais, tais como indústrias de vidro e de fios condutores de eletricidade (CETESB, 2022). A Resolução CONAMA nº 357/05 determina o máximo de 1,4 mg/L de fluoreto para águas doces classe 2.

Na rede amostral, as concentrações de fluoreto em novembro/2020 e fevereiro/2021 atenderam ao padrão legal em todos os pontos avaliados, com níveis abaixo do limite de quantificação nos açudes Edson Queiroz (P10 – novembro/2020), do riacho Caramutim (P01 – fevereiro/2021) e João Silva Guerra (P11 - novembro/2020), a um máximo de 0,98 mg/L no açude do riacho Caramutim (P02), em fevereiro/2021 (Figura 11.1-213).

A campanha de abril/2023, realizada sob o período chuvoso com maiores precipitações, mostrou concentrações pequenas para esta forma iônica. A variação encontrada foi desde inferior do LQ do método (0,1 mg/L) até 0,19 mg/L, no açude Edson Queiroz (P10) e na barragem do açude do riacho Caramutim (P01), respectivamente.

Padrão semelhante de baixas concentrações de fluoreto foi reportado nas amostragens do ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), quando todas as amostras de fluoreto total

permaneceram em níveis inferiores ao limite de quantificação do método analítico (vide Anexo 11.1.9-1).

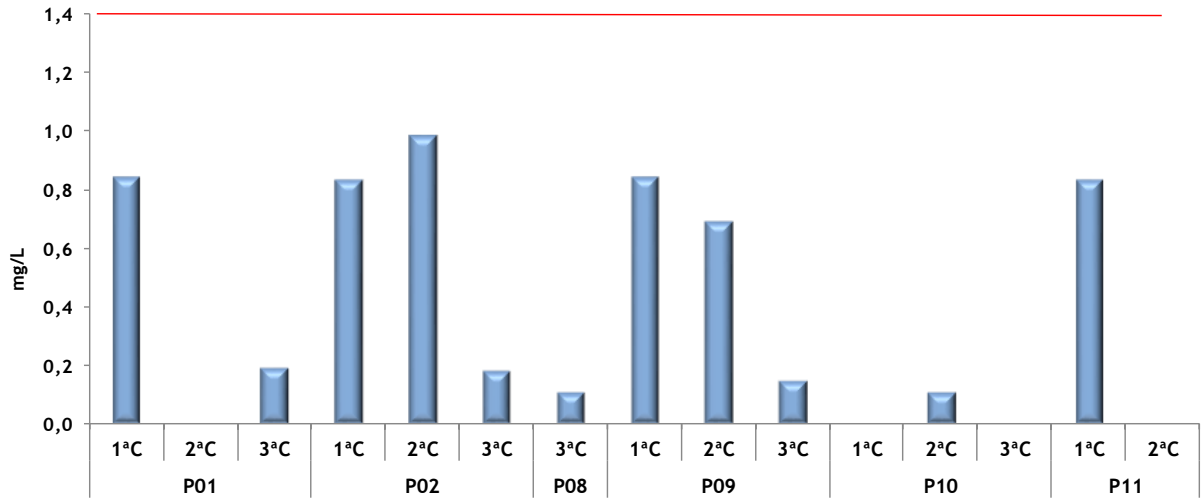


Figura 11.1-213: Fluoreto Total nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

Fósforo Total

O fósforo na água ocorre principalmente nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. As principais fontes de fósforo nas águas nas áreas urbanas são provenientes da introdução de esgotos domésticos, enquanto nas zonas rurais predominam as fontes difusas, associadas aos dejetos de bovinos, além de fertilizantes agrícolas (CETESB, 2022). A Resolução CONAMA nº 357/05 define para ambientes lênticos (classe 2) o limite máximo de 0,03 mg/L de fósforo total.

As concentrações de fósforo total, nos açudes analisados, evidenciaram elevado conteúdo deste nutriente na maioria das amostras, com exceção apenas do açude da Laís (P09) nas campanhas de novembro de 2020 e fevereiro de 2021, e nos açudes do riacho Caramutim (P01) e João Silva Guerra (P11), também em fevereiro/2021, quando a concentração não atingiu o limite de quantificação do método analítico (<0,01 mg/L).

Nas demais amostras houve extrapolação do padrão estabelecido pela legislação, com valores máximos no açude do riacho Caramutim, com 0,521 mg/L (novembro/2020) e 0,48 mg/L (abril/2023), nas proximidades da barragem (P01). Esse resultado provavelmente se relaciona à decomposição de material orgânico acumulado no corpo hídrico, além da possível associação com a matriz geológica regional, rica em fosfato.

O diagnóstico de Geologia (item 11.1.7) cita que, de acordo com Veríssimo e colaboradores (2016), as mineralizações de interesse na região ocorrem em três minerais de fosfato. Acredita-se que o fósforo é de origem sedimentar, associada a depósitos de fosforito no mesmo ambiente de deposição do Grupo Itataia, mas que foi remobilizado e reconcentrado em eventos posteriores.

Cabe indicar ainda que o açude Edson Queiroz é receptor de efluentes das comunidades urbanas e rurais situadas no entorno o que potencializa o incremento deste nutriente, porém, vale mencionar que esse açude apresentou nível intermediário de trofia, nas duas primeiras campanhas, conforme detalhado anteriormente.

De forma similar, nas quatro campanhas realizadas no ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), também foram detectados níveis de fósforo superiores ao limite da legislação (Figura 11.1-214), em todos os pontos em abril/2011, julho/2011 e agosto/2011. Em maio/2011, apenas nos pontos P01 (0,03 mg/L) e P08 (<0,01 mg/L) houve conformidade com o padrão legal (vide Anexo 11.1.9-1).

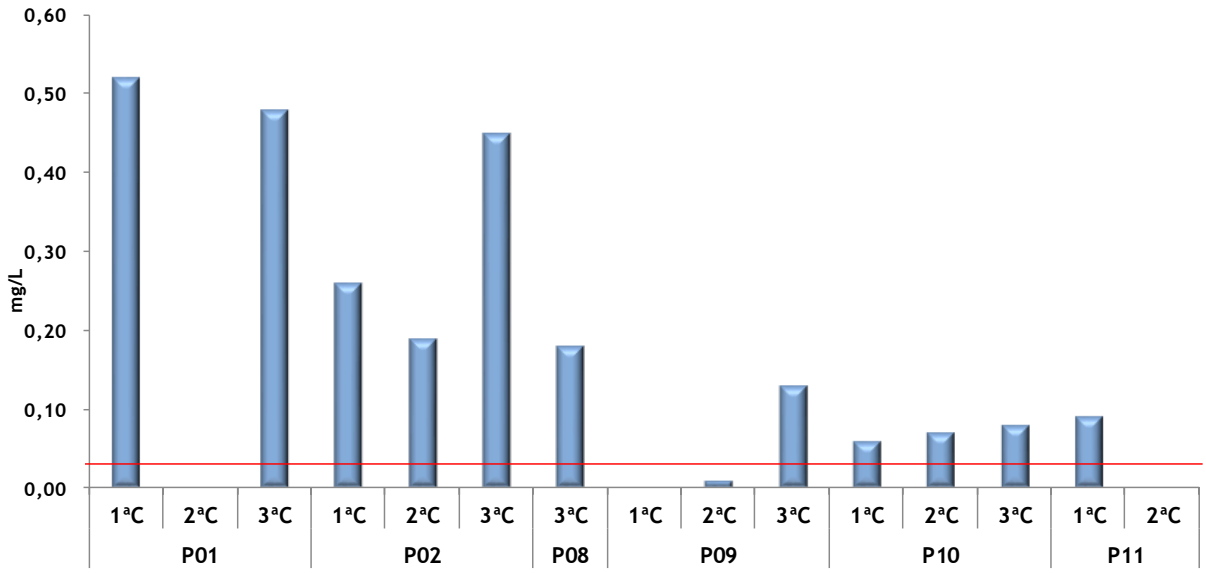


Figura 11.1-214: Fósforo Total nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

Série de Nitrogênio

O nitrogênio participa da formação de proteínas no metabolismo dos seres vivos, podendo ser encontrado no meio aquático na forma orgânica (microrganismos, detritos orgânicos) e na forma inorgânica, especialmente amônia, nitrito e nitrato. Os processos de

decomposição biológica levam à amonificação do nitrogênio presente nos compostos orgânicos (BRANDELERO *et al.*, 2010).

Em ambientes bem oxigenados, os produtos amoniacais se convertem rapidamente a nitritos, que são instáveis no ambiente e, em seguida, a nitratos, elementos conservativos facilmente assimilados pelos organismos autótrofos (algas e vegetais em geral).

As fontes de nitrogênio nas águas naturais são diversas. Os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico e amoniacal. Alguns efluentes industriais também concorrem para as descargas de nitrogênio orgânico e amoniacal nas águas, como indústrias químicas, frigoríficos e curtumes (CETESB, 2021).

Em águas doces classe 2, a Resolução CONAMA nº 357/05 estabelece para nitrito o limite de 1 mg/L. Para nitrato, o valor máximo permissível é de 10 mg/L. Os valores máximos de nitrogênio amoniacal variam, segundo esta legislação, de acordo com o pH do ambiente, sendo: 3,7 mg/L para pH inferior a 7,5; até 2,0 mg/L para pH entre 7,5 e 8,0; até 1,0 mg/L para pH entre 8,0 e 8,5; e 0,5 mg/L para pH superior a 8,5. Para nitrogênio orgânico e Kjeldahl total não há um padrão legal estipulado.

Nas campanhas de novembro/2020 e fevereiro/2021, as frações de nitrogênio amoniacal e de nitrito não atingiram o limite de quantificação do método analítico na maioria dos pontos amostrados, com exceção apenas do açude do riacho Caramutim (P02), onde se obteve 0,108 mg/L de nitrogênio amoniacal, atendendo, portanto, ao padrão da legislação, em todos os açudes avaliados. As concentrações de nitrato também foram compatíveis com o limite da legislação, apresentando valores abaixo do limite de quantificação na maioria das amostras de fevereiro/2021, com máximo de 0,9 mg/L e 0,83 mg/L no açude do riacho Caramutim (P01 e P02), ambos em novembro/2020 (Figura 11.1-215).

A campanha adicional de abril/2023 não apresentou valores quantificáveis para o nitrato e o nitrogênio amoniacal (Figura 11.1-216), mantendo, portanto, 100% de conformidade com o padrão da normativa. No entanto, o nitrito (Figura 11.1-217) mostrou concentração superior ao padrão de águas doces classe 2 no açude do riacho da Gangorra (P08), onde este composto alcançou o valor de 13 mg/L, o que implica em não conformidade. Esse resultado pode estar relacionado ao aporte de nutrientes carreados pelas chuvas e pelas reações de decomposição da matéria orgânica, embora seja complexo determinar a fonte direta do aumento da concentração deste nutriente.

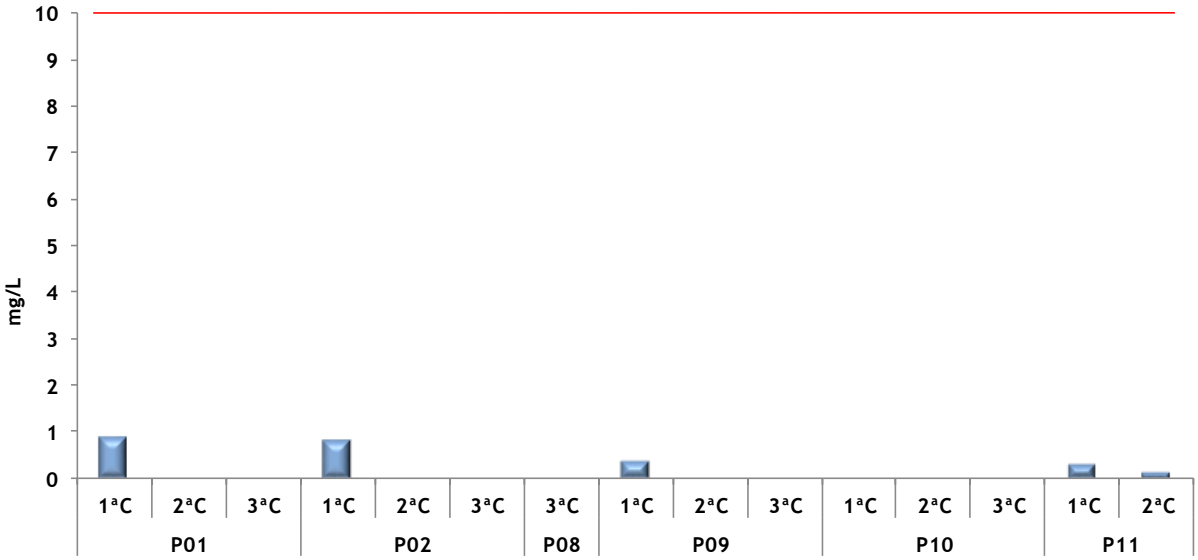


Figura 11.1-215: Nitrato nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

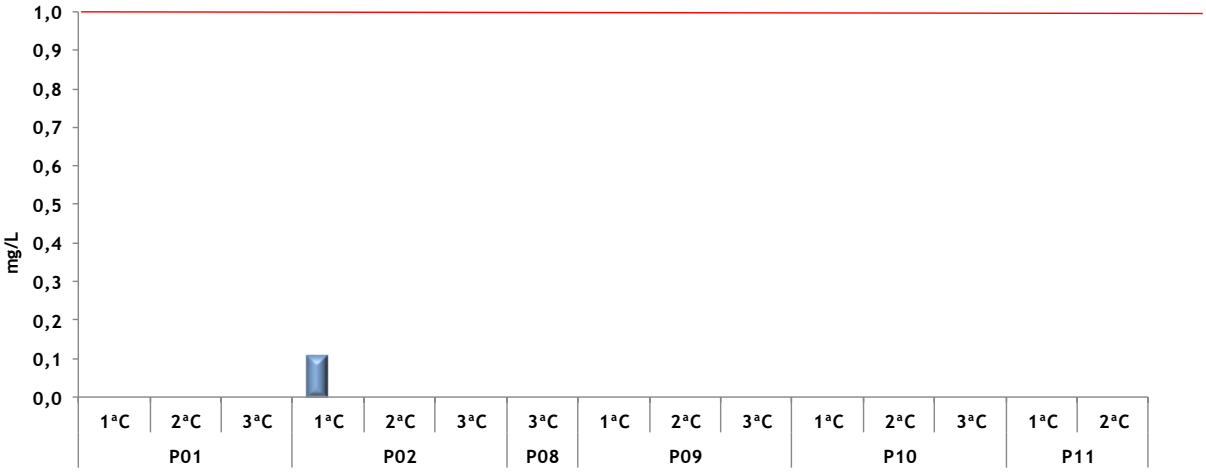


Figura 11.1-216: Nitrogênio Amoniacal nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

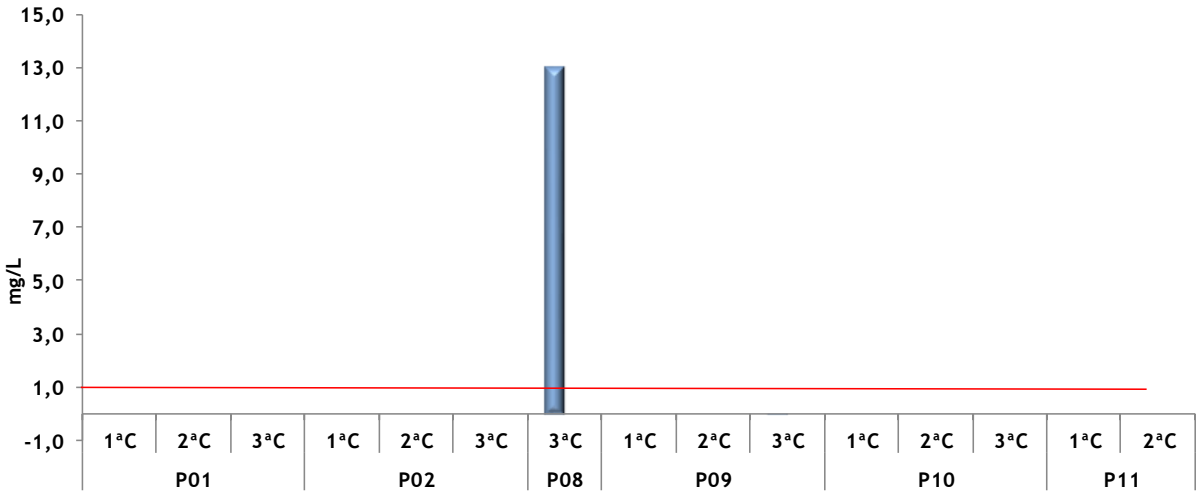


Figura 11.1-217: Nitrito nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).
Elaboração: Econsult, 2023.

Segundo Esteves (1998), a chuva, o material orgânico e inorgânico, de origem alóctone, e a fixação de nitrogênio molecular constituem as principais fontes naturais de nitrogênio. O nitrito presente na água é considerado como produto intermediário dos processos microbiológicos da redução do nitrato em baixos níveis de oxigenação ou da oxidação da amônia (BRAGA, 2006). Cabe indicar ainda que uma das fontes antrópicas de compostos nitrogenados em zonas rurais é o uso de fertilizantes, que podem ser lixiviados na estação chuvosa para o ambiente aquático.

Nas amostragens efetuadas no ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), as concentrações dos compostos nitrogenados (amoniacal, nitrato e nitrito) foram baixas e não extrapolaram o limite preconizado pela legislação (vide Anexo 11.1.9-1).

Óleos e Graxas

A presença de óleos e graxas nos corpos hídricos, além de acarretar problemas de origem estética, é prejudicial à biota aquática. A Resolução CONAMA nº 357/05 define que óleos e graxas estejam visualmente ausentes nas águas doces classe 2. Nas três campanhas do atual estudo (novembro/2020, fevereiro/2021 e abril de 2023) não foi observada a presença de óleos e graxas nos açudes avaliados, assim como em todas as campanhas realizadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014) (vide Anexo 11.1.9-1).

Oxigênio Dissolvido - OD

O oxigênio dissolvido (OD) assume grande importância no corpo d'água, pois dele depende a sobrevivência de seres aeróbios. Sua ausência ou restrição conduz à redução da diversidade biológica, passando a prevalecer condições anaeróbicas e a formação de ambiente redutor, o que torna os metais pesados e os compostos de fósforo mais solúveis e biodisponíveis no ambiente (CETESB, 2022; GOMES, 2016).

A Resolução CONAMA nº 357/05 estipula que, para águas doces classe 2, o nível de oxigênio dissolvido seja, no mínimo, igual a 5 mg/L, concentração considerada adequada para a sobrevivência e desenvolvimento dos organismos aquáticos aeróbios.

Do ponto de vista ecológico, os teores de OD foram baixos, inferiores ao padrão da legislação, na maioria dos locais amostrados em novembro/2020 e fevereiro/2021, sobretudo em novembro/2020 no açude do riacho Caramutim (P01 e P02) e da Laís (P09), onde os resultados apontam condições de anaerobiose (< 0,1 mg/L). Mesmo com um aumento da concentração de OD em fevereiro/2021, esses pontos permaneceram em desconformidade com a legislação com valores de 4,3 mg/L, 3,5 mg/L e 4,7 mg/L, respectivamente. No açude Edson Queiroz (P10, a jusante da AII), a taxa de oxigênio foi de 4,5 mg/L e 4,4 mg/L, inferior ao padrão da legislação nas duas campanhas, enquanto no açude João Silva Guerra (P11, fora da AII) foi detectada a maior concentração em novembro/2020, 5,1 mg/L, em conformidade com a legislação, decaindo ligeiramente para 4,9 mg/L, em fevereiro/2021 (Figura 11.1-218).

A campanha de abril/2023 também apontou não conformidade em praticamente todos os pontos amostrais, com exceção do açude da Laís (P09), que apresentou teor de oxigênio de 5,0 mg/L, não ultrapassando o limite mínimo da normativa. Para os demais locais avaliados, a concentração variou entre 2,3 mg/L (barragem do açude do riacho Caramutim, P01) e 3,4 mg/L (remanso do açude do riacho Caramutim, P02).

De acordo com Datsenko (1999), que avaliou o perfil de oxigênio em açudes do Ceará, esse parâmetro na região semiárida é influenciado, principalmente, pelo processo do metabolismo de ecossistema (produção primária e decomposição de matéria orgânica) e por suas características morfométricas. Nas camadas superficiais pode ocorrer supersaturação de oxigênio devido ao processo de fotossíntese, enquanto em camadas mais profundas o conteúdo de oxigênio pode reduzir bruscamente.

Nas campanhas realizadas no ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014) foram registrados teores satisfatórios de oxigênio dissolvido, na maioria dos pontos, porém em alguns açudes também se detectou déficits de oxigênio, a exemplo dos pontos P08 (açude do riacho da Gangorra), em abril/2011 (4,2 mg/L) e P09 (açude da Laís), com 4,1 mg/L, 1,3 mg/L e 3

mg/L, respectivamente nos meses de maio/2011, julho/2011 e agosto/2011 (vide Anexo 11.1.9-1).

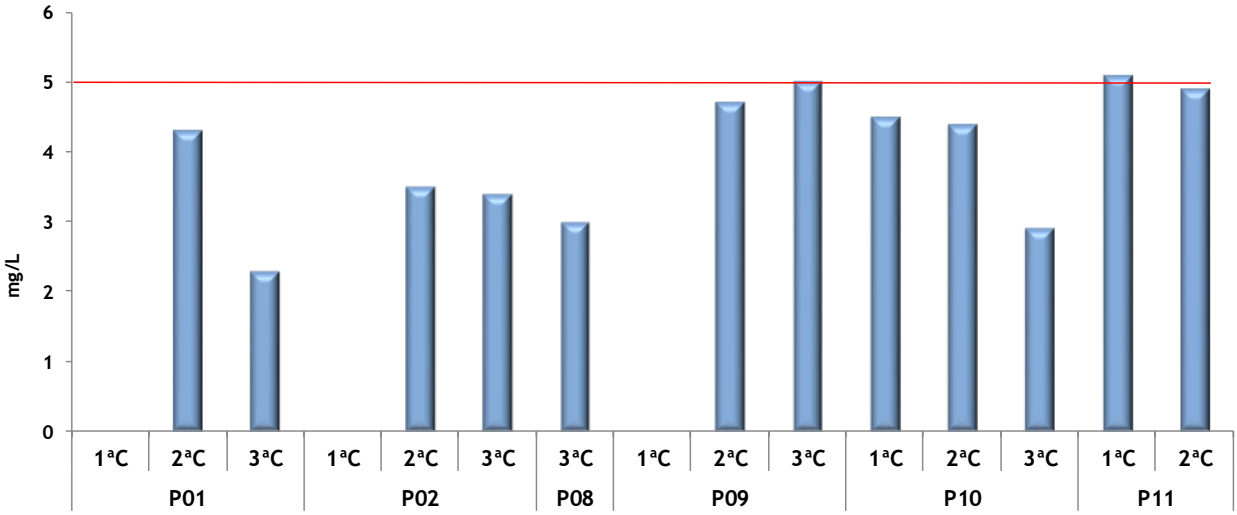


Figura 11.1-218: Oxigênio Dissolvido nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH define o caráter ácido, básico ou neutro de uma amostra. Sua influência nos ecossistemas aquáticos naturais ocorre diretamente sobre os aspectos fisiológicos dos organismos ou, indiretamente, contribuindo para a precipitação dos elementos químicos e na toxicidade de compostos diversos (ESTEVES, 1988). Em meio ácido, os metais pesados tendem a ter maior biodisponibilidade, aumentando seu nível de toxicidade.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/05 as águas doces classe 2 devem manter pH na faixa entre 6 e 9. Nos açudes amostrados, o pH se manteve nesta faixa nas três campanhas, com variação entre 7,2 na barragem do açude Quixada (P01, abril/2023) e 8,47 no mesmo ambiente (novembro/2020). Foi observado que as duas primeiras campanhas do atual estudo mostraram águas alcalinas, com pH sempre igual ou superior a 8,0 (Figura 11.1-219). A campanha de abril/2023, realizada em um momento de maior precipitação, mostrou águas com pH tendendo à neutralidade, não superando 7,45 (açude da Laís).

De forma similar às campanhas de 2020 e 2021, em todas as amostras coletadas no ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014) o pH foi predominantemente alcalino e enquadrado no intervalo da legislação (vide Anexo 11.1.9-1).

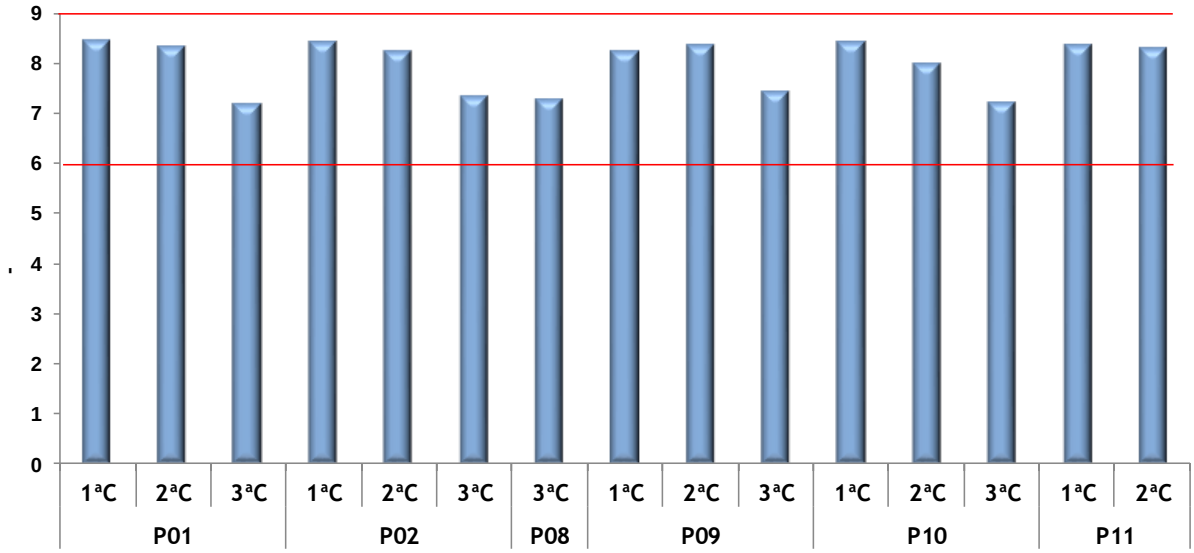


Figura 11.1-219: Potencial Hidrogeniônico (pH) nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

Sólidos Dissolvidos Totais

Nas águas naturais, os sólidos são encontrados em diversas frações. Os sólidos dissolvidos são constituídos por carbonatos, bicarbonatos, cloretos, sulfatos, fosfatos entre outros íons, refletindo no resultado de diversos parâmetros, como salinidade, condutividade e pH. A Resolução CONAMA nº 357/05 estabelece limite de 500 mg/L desses constituintes para águas doces classe 2.

Nas campanhas de novembro/2020 e fevereiro/2021 o conteúdo de sólidos dissolvidos nos açudes do riacho Caramutim (P01 e P02) e João Silva Guerra (P11, fora da AII) ultrapassou o padrão legal em ambas as amostragens, com valores máximos obtidos na segunda campanha de 1.396 mg/L, 1.459 mg/L e 519 mg/L, respectivamente (Figura 11.1-220). Em contraste, nos açudes da Laís (P09) e Edson Queiroz (P10), ambos localizados fora da AII, os resultados ficaram em conformidade com a legislação nas duas campanhas, com até 404 mg/L e 159 mg/L, respectivamente em fevereiro/2021 e novembro/2020.

Em abril/2023, as águas do açude do riacho Caramutim, nas proximidades da barragem (P01), mostraram novamente não conformidade em relação a este parâmetro, com concentração de 523 mg/L. Os demais resultados permaneceram em nível adequado a águas doces classe 2 com variação de 118 mg/L a 254 mg/L, nos açudes do riacho da Gangorra (P08) e do riacho Caramutim (P02), respectivamente.

Os levantamentos realizados no ano 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014) também evidenciaram concentrações de sólidos dissolvidos acima do limite estipulado pela legislação, nos pontos P01 e P02 (açude do riacho Caramutim), nas quatro campanhas analisadas, variando entre 560 mg/L e 600 mg/L (P01) e de 554 mg/L a 586 mg/L (P02) (vide Anexo 11.1.9-1). Os valores elevados são coerentes com o que é esperado para a região do projeto (FEITOSA *et al*. 2008).

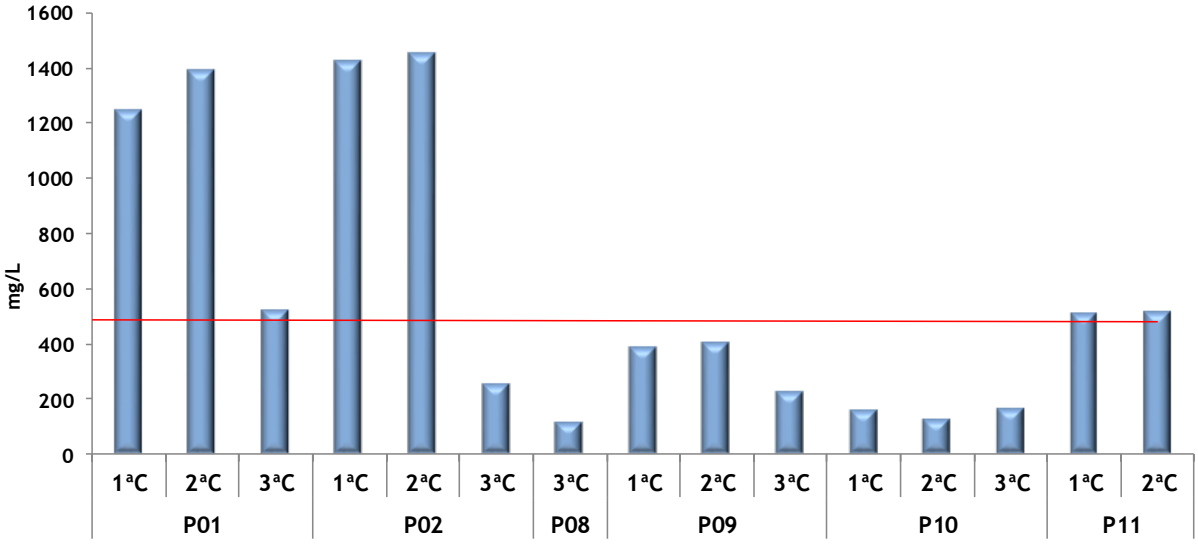


Figura 11.1-220: Sólidos Dissolvidos Totais nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

Sulfato e Sulfeto

O sulfato é um dos íons mais abundantes na natureza. Em águas naturais, a fonte de sulfato ocorre através da dissolução de solos e rochas, assim como pela oxidação de sulfeto. As principais fontes antrópicas de sulfato nas águas superficiais são as descargas de esgotos domésticos e efluentes industriais. Nas águas tratadas, é proveniente do uso de coagulantes (CETESB, 2022). Nos corpos d'água onde há depósito da matéria orgânica e baixos teores de oxigênio dissolvido, o sulfato pode ser transformado em sulfeto (ESTEVES, 1988), ocorrendo exalação do gás que confere odor característico. A Resolução CONAMA nº 357/2005 define, para corpos d'água classe 2, o limite máximo de 250 mg/L de sulfato total e de 0,002 mg/L de sulfeto.

Na rede amostral, os dados obtidos em novembro/2020 e fevereiro/2021 apresentaram concentrações de sulfato em conformidade com o limite estabelecido pela legislação na maioria das amostras, com exceção apenas dos pontos P01 e P02 (açude do riacho Caramutim) na segunda campanha (fevereiro/21), os quais atingiram os valores máximos de

255 e 263 mg/L, respectivamente (Figura 11.1-221). A ausência ou pouco volume de chuvas e a intensa evaporação de água entre as duas campanhas é uma provável explicação para este incremento na concentração de sais de enxofre.

Em abril/2023, não ocorreu nenhuma ultrapassagem ao padrão de águas doces classe 2 para este parâmetro. Nesta última campanha, foram encontradas concentrações quantificáveis de sulfato somente nos pontos amostrais do açude do riacho Caramutim, com 14,3 mg/L e 14,9 mg/L na região da Barragem (P01) e do remanso (P02), respectivamente.

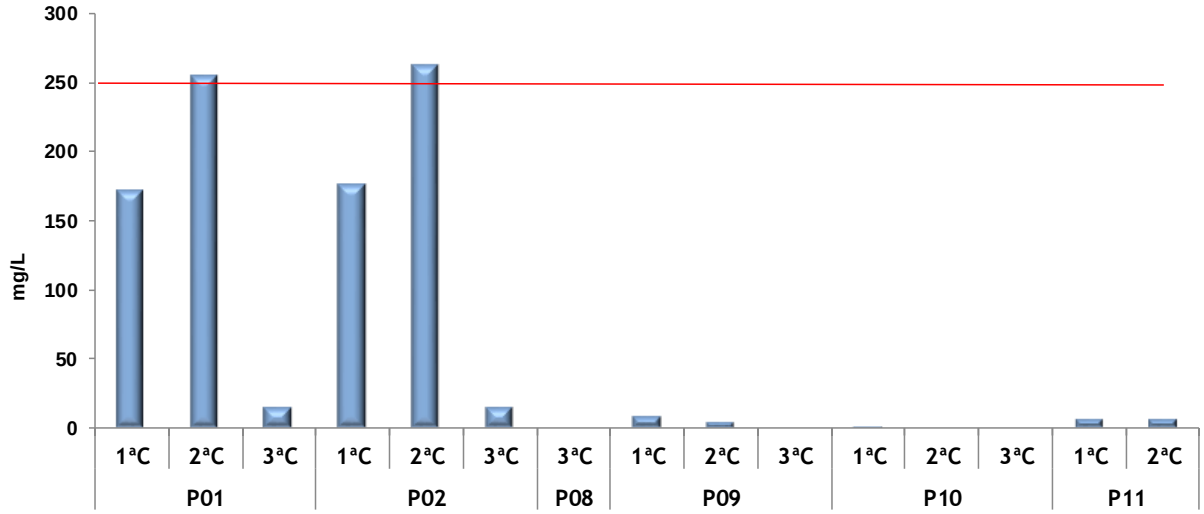


Figura 11.1-221: Sulfato nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).
Elaboração: Econsult, 2023.

Os níveis de sulfeto não atingiram o limite de quantificação do método analítico (< 0,002 mg/L), em todos os locais amostrados nas campanhas de novembro/2020 e fevereiro/21 e na maioria dos pontos amostrais de abril/2023. No entanto, nesta última campanha, registrou-se uma não conformidade para este parâmetro em P02, remanso do açude do riacho Caramutim, onde o sulfeto alcançou 0,014 mg/L (Figura 11.1-222).

Nas coletas efetuadas no ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), todos os teores de sulfato e de sulfeto mantiveram-se dentro do limite preconizado pela legislação, sendo que para concentração de sulfato os valores máximos obtidos foram de 6,3 e 8,9 mg/L nos pontos P01 e P02 (açude do riacho Caramutim, popularmente conhecido como açude Quixaba), respectivamente (vide Anexo 11.1.9-1).

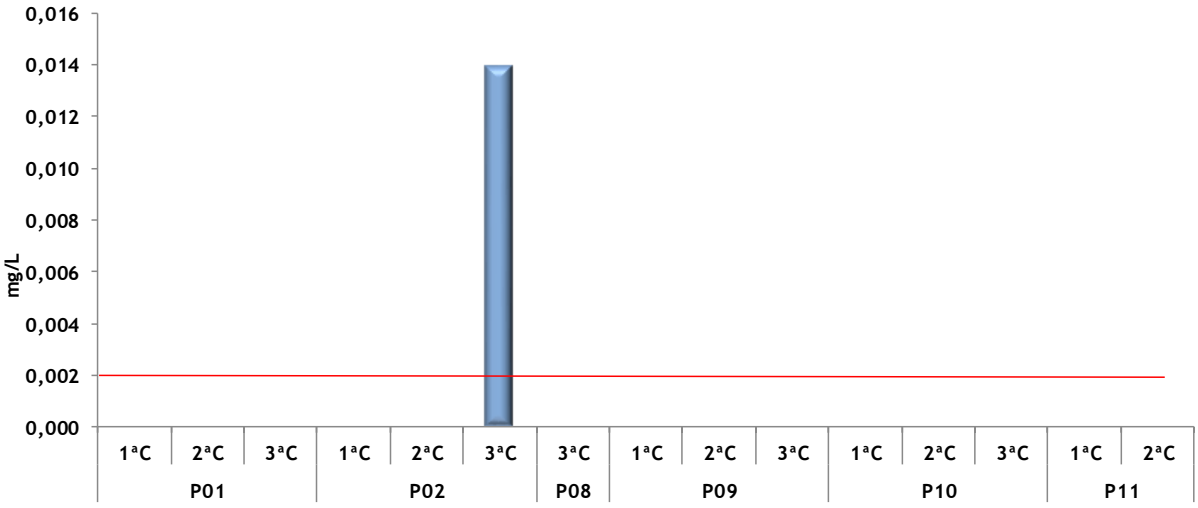


Figura 11.1-222: Sulfeto nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).
Elaboração: Econsult, 2023.

Temperatura da água

A temperatura desempenha um papel importante no meio aquático, condicionando uma série de variáveis físicas e químicas, como a solubilidade dos compostos, além de determinar a tolerância para os organismos aquáticos nos processos de migração, desova e incubação (CETESB, 2021a). A temperatura da água é influenciada pelas condições climáticas e horário de amostragem e pode ser alterada pela ação humana através do lançamento de efluentes com temperaturas mais altas ou mais baixas em relação ao corpo hídrico receptor. A Resolução CONAMA nº 357/05 não determina um padrão para a temperatura em águas doces.

As três campanhas efetuadas entre 2020 e 2023 mostraram baixa variabilidade da temperatura da água, com valores elevados e coerentes com a região onde se inserem os corpos de água. A temperatura mínima foi de 24,9°C e a máxima foi de 31,8°C, ambas no açude da Laís em novembro/2020 e fevereiro de 2021, respectivamente.

Turbidez

A turbidez da água é a medida da sua capacidade de dispersar luz em função das partículas em suspensão (silte, argila, microrganismos). Valores elevados de turbidez geralmente indicam contribuição de sólidos a partir da área de drenagem e podem interferir na atividade fotossintética de um corpo d'água. Quando sedimentadas, as partículas formam bancos de lodos que propiciam a digestão anaeróbia, levando à formação de gases. A Resolução CONAMA nº 357/05 determina o máximo de 100 UNT para águas doces classe 2.

Os resultados obtidos em novembro/2020 e fevereiro/2021, nos períodos seco e chuvoso, sucessivamente, evidenciaram níveis de turbidez entre 11,9 UNT, no açude Edson Queiroz (P10) e 90,1 UNT no açude do riacho Caramutim (P01), ambos em fevereiro/2021, atendendo, portanto, ao limite da legislação (Figura 11.1-223). Também em abril/2023 foram encontrados todos os resultados em conformidade com o padrão da normativa, registrando-se a maior turbidez no açude da Laís (P09), com 17 UNT, e a menor no açude Edson Queiroz (P10), com 4,79 UNT.

Esse resultado é corroborado pelos levantamentos efetuados no ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014) quando também se registraram valores de turbidez em conformidade com o limite da legislação, nas estações seca e chuvosa, com máximo de 42 UNT (P02 – açude do riacho Caramutim, em maio/2011) (vide Anexo 11.1.9-1). De modo geral, os baixos índices de turbidez nestes açudes resultam do processo de decantação de sólidos favorecido em ambientes lênticos.

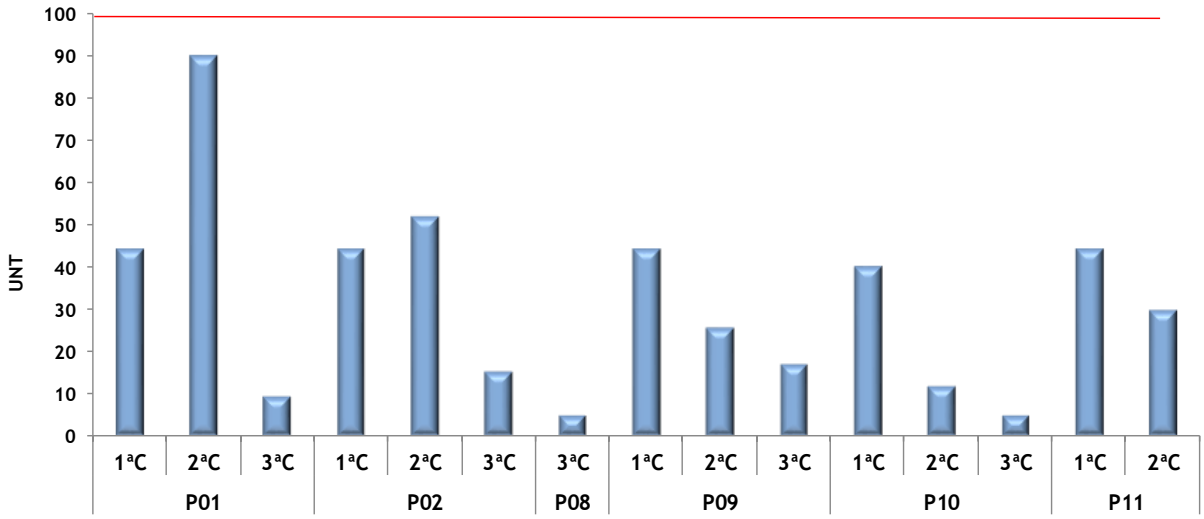


Figura 11.1-223: Turbidez nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).
Elaboração: Econsult, 2023.

C.2. Biológicos e bacteriológicos

Clorofila-*a* e Células de Cianobactérias

A clorofila-*a*, comum a todos os seres autótrofos, é o pigmento responsável pela assimilação da energia luminosa no processo de fotossíntese. Nos sistemas aquáticos, as algas e cianobactérias são os principais organismos capazes de realizar a fotossíntese, de forma

que o aumento na concentração de clorofila-*a* indica geralmente maior desenvolvimento do fitoplâncton nesses ambientes. A Resolução CONAMA nº 357/05 estabelece para clorofila-*a* em corpos d'água classe 2 o valor máximo de 30 µg/L.

Nas campanhas realizadas em novembro/2020 e fevereiro/2021 os níveis de clorofila-*a* oscilaram entre 3,17 µg/L (P01- açude do riacho Caramutim- novembro/2020) e 17,2 µg/L (P02- açude do riacho Caramutim- fevereiro/2021), atendendo aos limites permitidos pela legislação (Figura 11.1-224). Também em abril/2023 foram encontrados todos os resultados em conformidade com o padrão da normativa, registrando-se a maior concentração no remanso do açude do riacho Caramutim (P02), com 15 µg/L, e a menor no açude do riacho da Gangorra (P08), com 4,2 µg/L.

Na maioria das amostragens efetuadas no ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014) se obteve concentração deste constituinte em conformidade com o padrão legal, exceto nos pontos P01 e P02, no açude do riacho Caramutim (popularmente conhecido como açude Quixaba), em abril/2011, quando se detectaram picos de 58 e 74 µg/L, respectivamente (vide Anexo 11.1.9-1).

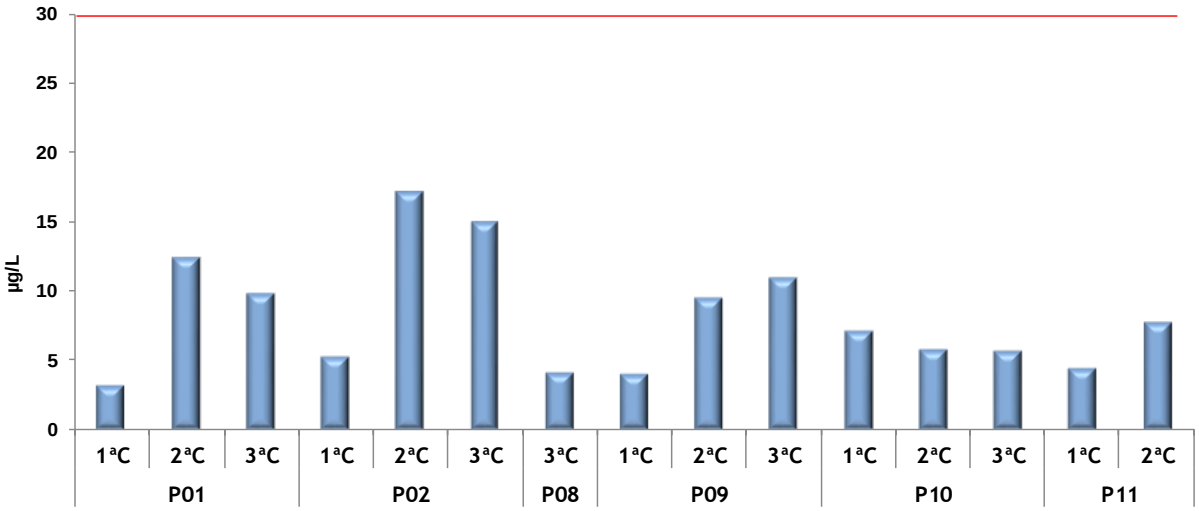


Figura 11.1-224: Clorofila-*a* nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

Nas duas primeiras campanhas deste estudo, a contagem de células de cianobactérias resultou em densidades entre 1.581 cél./mL (açude do riacho Caramutim – P02) e 1.560.000 cél./mL (açude João Silva Guerra – P11), ambos na segunda campanha (fevereiro/2021) conforme consta no Quadro 11.1.9-7, no Quadro 11.1.9-8 e na Figura 11.1-225. Com exceção

do ponto P02, nos demais locais houve extrapolação do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05 (50.000 cél./mL), em ao menos uma amostragem.

A campanha seguinte, realizada sob maior volume pluvial, resultou em valores em geral menores para a densidade de cianobactérias, não se verificando ultrapassagens ao limite da normativa. A variação encontrada foi desde inferior ao LQ do método (< 3 cél./mL) no remanso do açude do riacho Caramutim (popularmente conhecido como açude Quixaba) (P02) até 48.596 cél./mL no açude da Laís (P09), valor limítrofe ao padrão para águas doces classe 2.

A disponibilidade de nutrientes nos açudes amostrados, aliado à dinâmica lêntica, tende a promover o crescimento de algas e cianobactérias. A caracterização detalhada das algas e cianobactérias é abordada na avaliação da comunidade fitoplanctônica.

Nas amostragens efetuadas no ano de 2011, também houve registros de ultrapassagem dos limites da legislação, em todos os açudes, em pelo menos uma das campanhas realizadas.

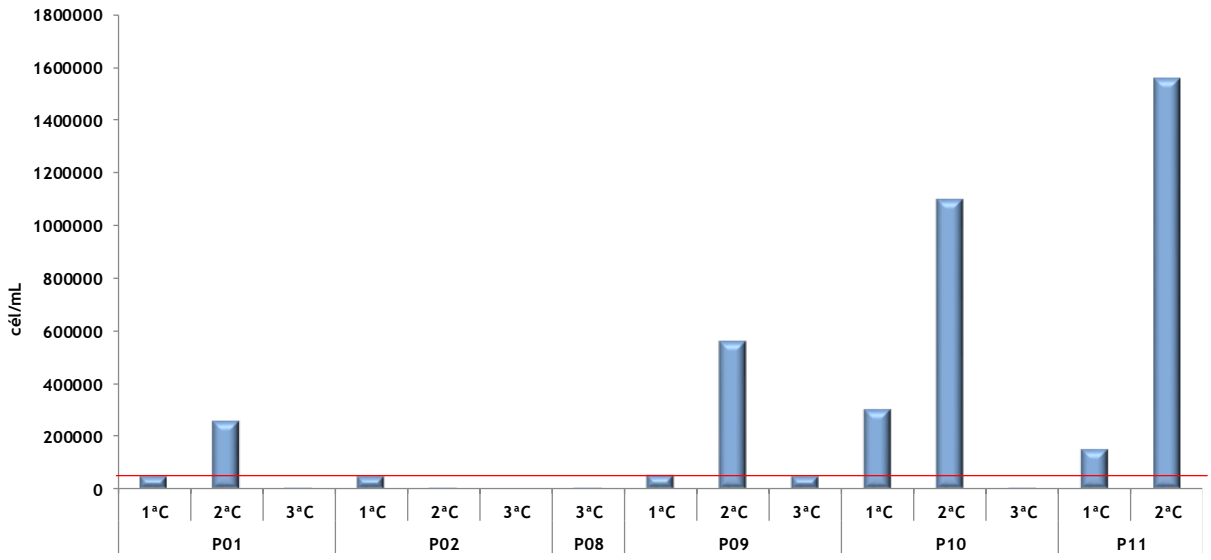


Figura 11.1-225: Cianobactérias nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

Coliformes Termotolerantes

Coliformes termotolerantes (ou fecais) são bactérias presentes nas fezes humanas e de animais homeotérmicos, constituindo importante indicador da existência de

microorganismos patogênicos responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratifóide, disenteria bacilar e cólera.

A bactéria *Escherichia coli* é integrante do grupo coliforme termotolerante, e é a mais indicada para determinação de contaminação fecal pelo fato de estar presente em grande quantidade em fezes de humanos e animais. A Resolução CONAMA nº 357/05 estabelece o máximo de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros para águas classe 2.

Nas três campanhas do atual estudo (novembro/2020, fevereiro/2021 e abril/2023), em todos os açudes amostrados, os níveis de coliformes termotolerantes atenderam ao padrão legal, sendo que na maioria não se atingiu a quantificação do método analítico. A maior densidade foi registrada no remanso do açude do riacho Caramutim (P02), com máximo de 161 NMP/100 mL na terceira campanha (abril/2023).

Um padrão semelhante de baixo conteúdo de coliformes termotolerantes foi reportado nas quatro amostragens efetuadas no ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), nas quais houve registro pontual de duas desconformidades: pontos P01 (açude do riacho Caramutim, conhecido popularmente como açude Quixaba) e P08 (açude do riacho da Gangorra, conhecido localmente como açude Morrinhos), com 1.610 NMP/100 mL (abril/2011) e 1.120 NMP/100 mL (agosto/2011), respectivamente (Anexo 11.1.9-1) (Figura 11.1-226).

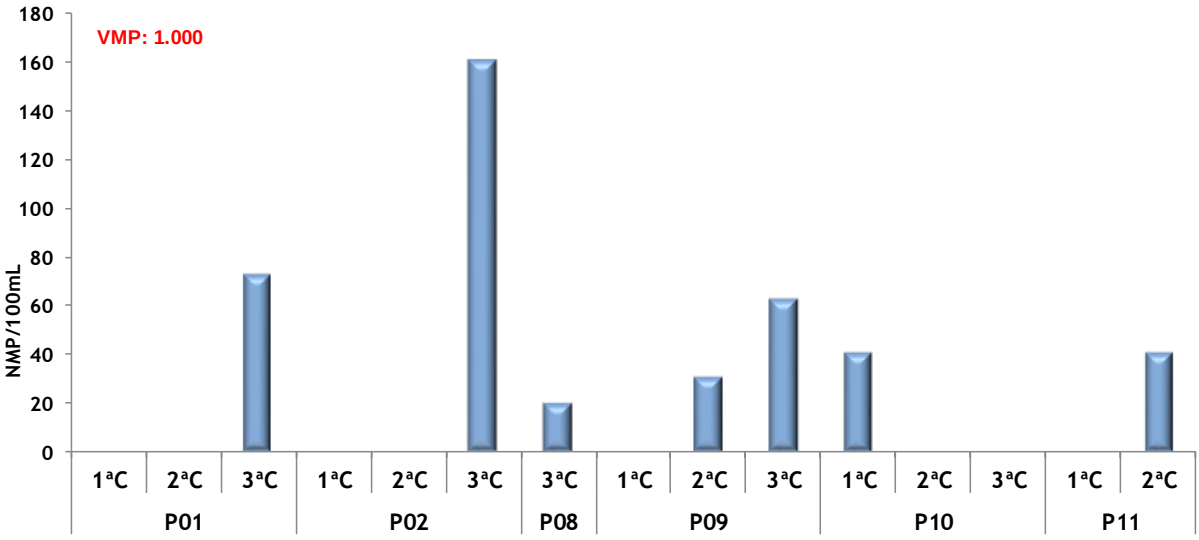


Figura 11.1-226: Coliformes termotolerantes (*E.coli*) - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).
Elaboração: Econsult, 2023.

Coliformes Totais

Os resultados de coliformes totais representam, em cada amostra, a soma dos coliformes de origem fecal e não fecal, sendo este último associado aos materiais em decomposição nos solos e no ambiente aquático. A Resolução CONAMA nº 357/05 não apresenta limite para esse parâmetro.

Os índices de coliformes totais superaram 24.200 NMP/100 mL em todos os pontos, em pelo menos uma campanha, conforme Figura 11.1-227. O menor resultado, de 1.965 NMP/100 mL, foi verificado no açude da Laís (P09), na primeira amostragem (novembro/2020).

Nas amostras analisadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), os valores de coliformes totais variaram entre 1.986 e 173.290 NMP/100 mL, ambos obtidos no açude do riacho da Gangorra (P08) nos meses de julho/2011 e abril/2011, respectivamente (vide Anexo 11.1.9-1).

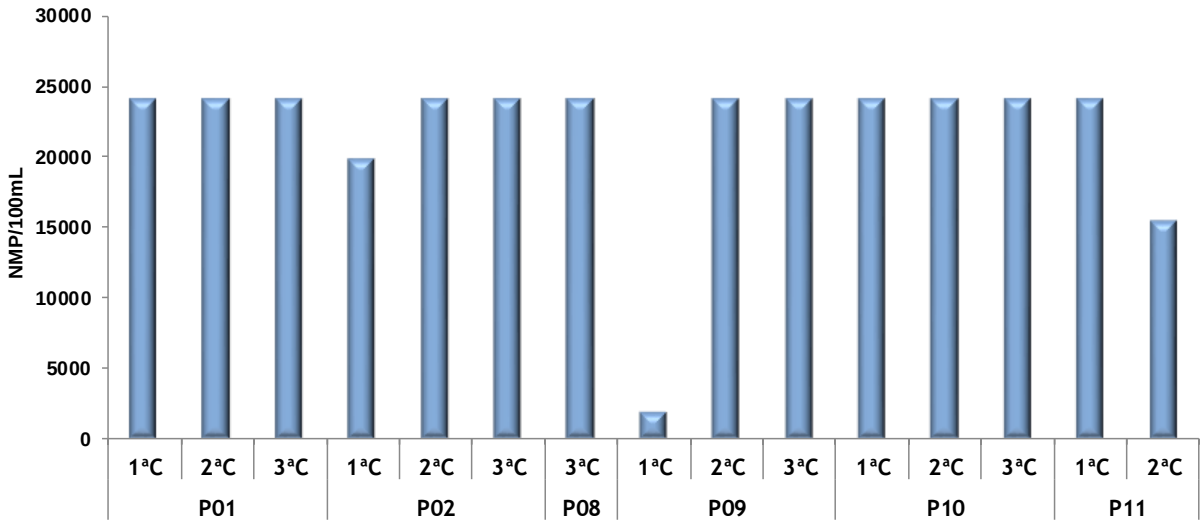


Figura 11.1-227: Coliformes Totais nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023.

Elaboração: Econsult, 2023.

C.3. Metais e semimetais

No ambiente aquático natural, os metais e semimetais (arsênio) normalmente são encontrados em níveis traços e subtraços, podendo ocorrer nas formas dissolvidas, coloidal e particulada (não solúveis).

No caso de metais pesados, a toxicidade tende a ser mais elevada quando ocorrem dissolvidos na água. Em condições anóxicas, alguns metais como ferro e manganês são mobilizados dos sedimentos e permanecem dissolvidos na coluna d'água, enquanto outros

metais, como cádmio, cobre, zinco e cromo, podem ser removidos da coluna d'água por precipitação na forma de sulfetos ou por outro tipo de redução, tornando-se insolúveis (CHAPMAN *et al.*, 2001).

Nas campanhas em foco (novembro/2020, fevereiro/2021 e abril/2023), os metais e semimetais antimônio total, berílio total, cádmio total, mercúrio total, prata total e selênio total não atingiram o limite de quantificação dos respectivos métodos analíticos em todas as amostras, mantendo-se em conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/05 na totalidade dos pontos amostrais.

Os metais alumínio dissolvido, arsênio total, bário total, boro total, chumbo total, cobalto total, cobre dissolvido, cromo total, ferro dissolvido, lítio total, níquel total, urânio total e vanádio total atenderam aos limites permitidos pela legislação em todos os pontos amostrados.

Constatou-se que, do conjunto dos metais e semimetais avaliados, somente manganês total e zinco total foram registrados acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 para águas doces classe 2, conforme será detalhado a seguir.

Um padrão semelhante foi reportado nos levantamentos efetuados no ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), quando as concentrações dos metais amostrados também atenderam aos padrões legais, com exceção de manganês, na maioria dos açudes (Anexo 11.1.9-1).

A seguir, consta o detalhamento dos resultados de manganês total e zinco total, assim como de ferro e alumínio que são constituintes da matriz geológica regional.

Manganês e Zinco Total, Alumínio e Ferro Dissolvido

O manganês é um elemento encontrado na maioria das rochas ígneas, estando associado frequentemente ao ferro, com o qual possui alto grau de semelhança no comportamento químico no ambiente. A Resolução CONAMA nº 357/05 estabelece o limite de 0,1 mg/L de manganês total para águas doces classe 2.

Os níveis de manganês total, nas três campanhas, variaram entre 0,0257 mg/L, no açude da Laís (P09 – novembro/2020) e 1,18 mg/L, no açude do riacho Caramutim (P01 – fevereiro/2021). Foram observadas não conformidades ao padrão para águas doces classe 2 nos dois pontos do açude do riacho Caramutim (P01 e P02) em todas as campanhas; no açude João Silva Guerra (P11) em novembro/2020 e no açude do riacho da Gangorra (P08) e açude

da Laís (P09) em abril/2023 (Figura 11.1-228). Este resultado implica que 60% das amostras do estudo atual estavam em situação não conforme ao limite da normativa.

Na amostragem de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), esse metal ultrapassou o limite estabelecido pela legislação em todas as campanhas no açude do riacho Caramutim (P01 e P02) e açude da Laís (P09) atingindo valores máximos de 0,2988 mg/L, 0,4523 mg/L e 0,7646 mg/L, respectivamente, além dos açudes do riacho da Gangorra (P08, com 0,1387 mg/L, em abril/2011) e açude Edson Queiroz (P10, com 0,1486 mg/L, em maio/2011) (Anexo 11.1.9-1).

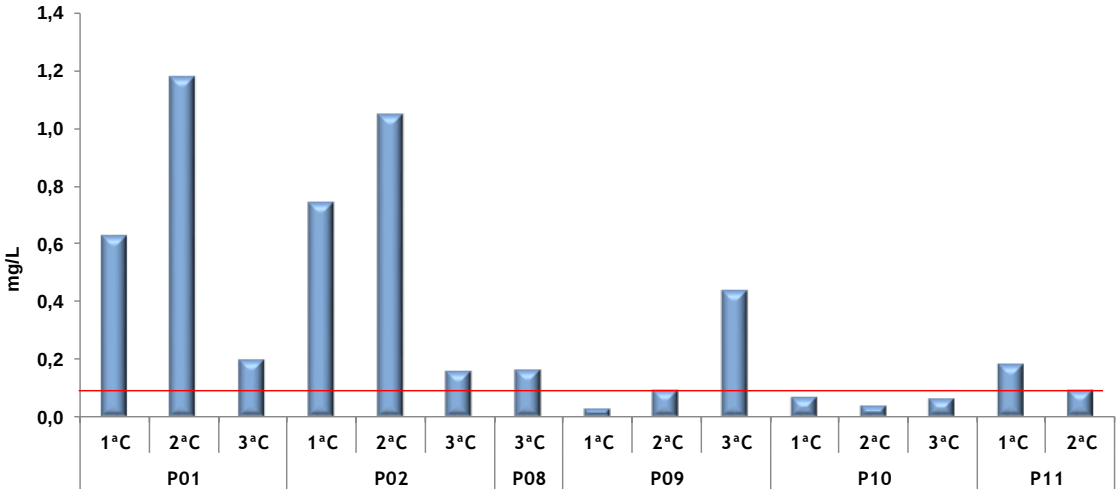


Figura 11.1-228: Manganês Total nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

O zinco é um metal amplamente distribuído na natureza, sendo comum o seu uso na forma metálica ou em sais do metal, estando presente nas habitações (telhas, utensílios) e em produtos diversos, como insumos agropecuários.

A Resolução CONAMA nº 357/05 determina o limite de 0,18 mg/L para águas classes 2. Os valores obtidos na análise de zinco não superaram o limite da legislação na maioria da rede de amostragem, com exceção apenas do remanso do açude do riacho Caramutim (P02, fevereiro/2021) que obteve valor de 0,206 mg/L (Figura 11.1-229).

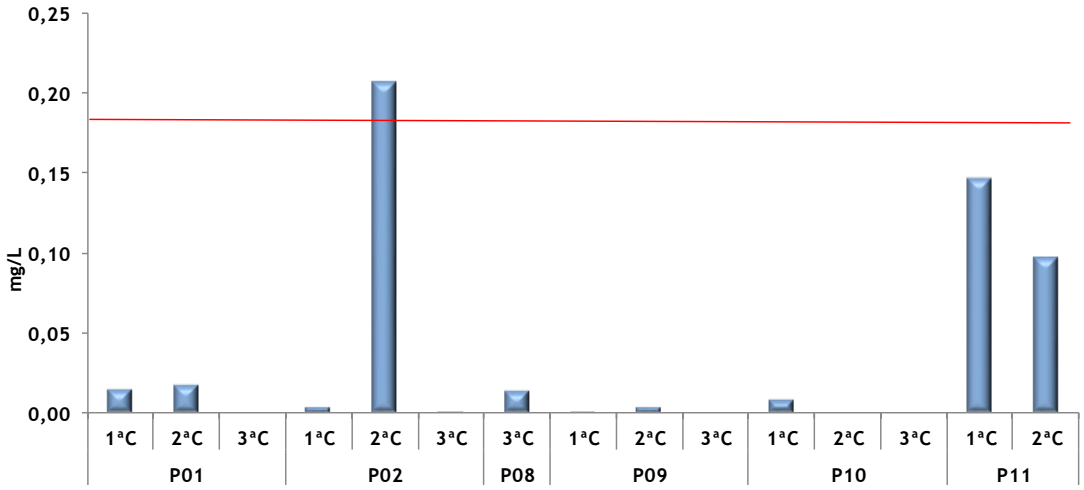


Figura 11.1-229: Zinco Total nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

O alumínio é encontrado em jazidas minerais na forma de bauxita. Na água, o alumínio forma complexos com outros elementos como o fósforo, sendo influenciado por fatores como pH, temperatura, presença de sulfatos, de matéria orgânica e de outros ligantes. O aumento da concentração de alumínio nos corpos d'água, em geral, é devido ao transporte de sólidos a partir da bacia de drenagem, principalmente quando há processos de erosão do solo e margens dos rios.

A Resolução CONAMA nº 357/05 considera o limite máximo de 0,1 mg/L. Nas campanhas de novembro/2020, fevereiro/2021 e abril/2023, foram registradas baixas concentrações de alumínio dissolvido em todos os pontos amostrados, com máximo de 0,0586 mg/L no ponto P09 (açude da Laís, novembro/2020), estando, portanto, todos os resultados em conformidade com a legislação vigente (Figura 11.1-230).

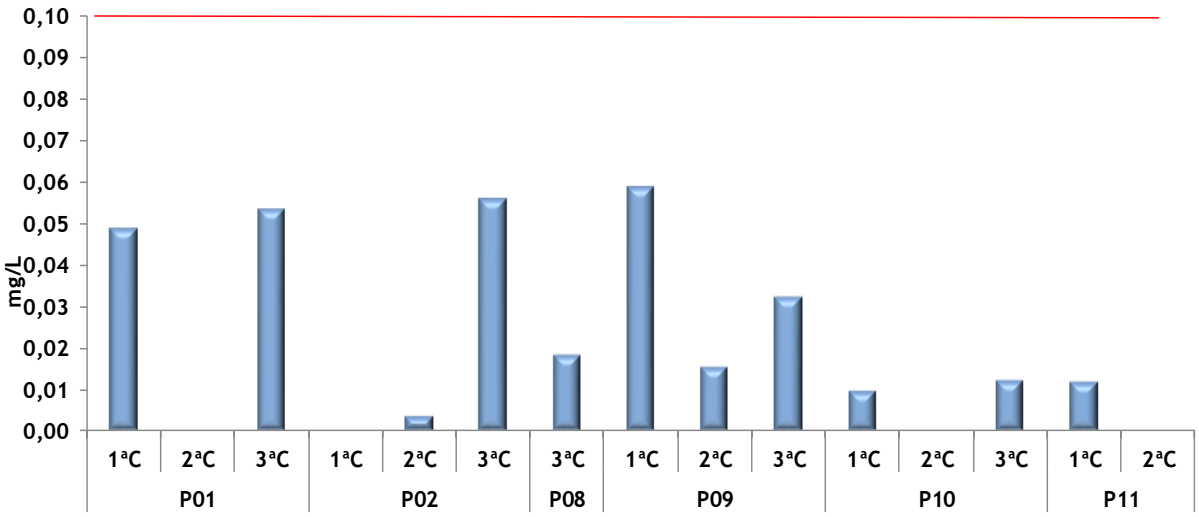


Figura 11.1-230: Alumínio dissolvido nas águas superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) e abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

Nas águas superficiais, a presença de ferro está associada às características geoquímicas regionais, quase sempre acompanhada pela ocorrência de manganês. Apesar de não ser um elemento tóxico, esse metal pode levar ao desenvolvimento de bactérias ferruginosas e produzir obstrução em canalizações. A Resolução CONAMA nº 357/05 estabelece o limite de 0,3 mg/L para águas doces classe 2.

Nos açudes amostrados nas três campanhas, os níveis de ferro dissolvido variaram entre 0,0085 mg/L, no açude João Silva Guerra (P11 – fevereiro/2021) a um máximo de 0,295 mg/L, no açude da Laís (P09 – novembro/2020), valor limítrofe, mas ainda em conformidade com o valor máximo permitido para águas doces classe 2. Desta forma, todos os resultados se enquadram no padrão da legislação (Figura 11.1-231).

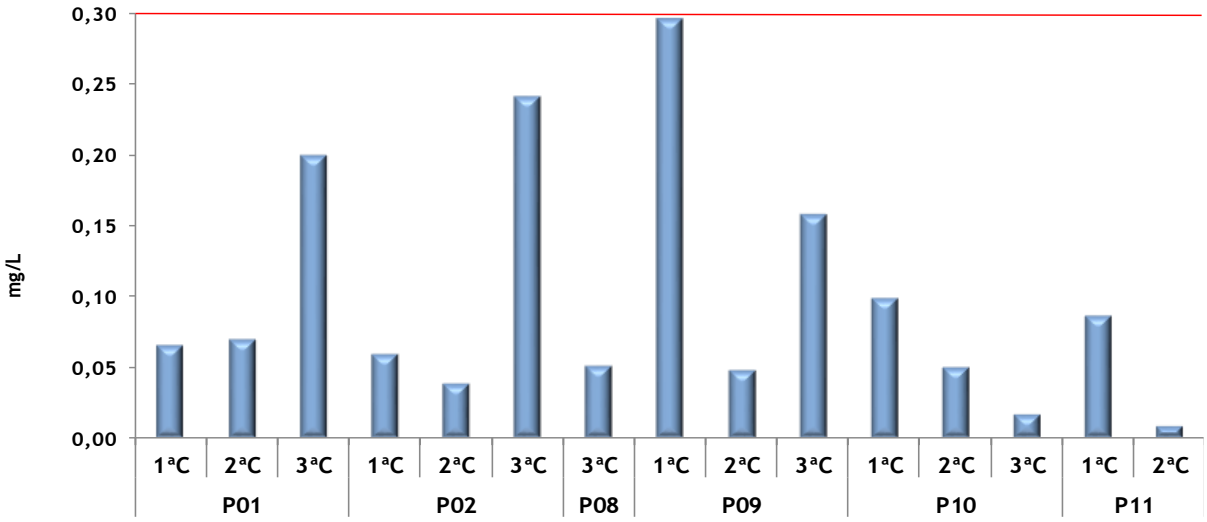


Figura 11.1-231: Ferro Dissolvido nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

Dados apresentados no diagnóstico de Geologia (item 11.1.7) mostram que as mineralizações de interesse na região ocorrem em três minerais de fosfato. Acredita-se que o fosforo é de origem sedimentar, associada a depósitos de fosforito no mesmo ambiente de deposição do Grupo Itataia, mas que foi remobilizado e reconcentrado em eventos posteriores. A primeira fase é composta por fluorapatitas prismáticas (+albita +arfvedsonita +ferro-eckermanita) e a terceira fase consiste de apatitas (fluorapatita e hidroxiapatita) botroidais, com argilominerais e outros fosfatos de cálcio e alumínio. Ainda de acordo com o diagnóstico o Complexo Tamboril Santa Quitéria recobre a porção oeste da região de estudo.

Segundo a CPRM (2017), neste complexo, as rochas são ricas em ferro e assumem características álcali-cálcico a cálcio-alcalino, mas podem conter termos alcalinos. Dentre os elementos mais abundantes nos solos encontra-se o óxido de alumínio (Al_2O_3). Assim, conforme citado, a ocorrência de ferro e de alumínio nas águas possivelmente se relaciona à matriz geológica regional.

C.4. Variáveis orgânicas

Os compostos orgânicos liberados no meio ambiente compreendem diversos constituintes de amplas faixas de tamanhos de moléculas e de grupos funcionais. Dentre estes, destaca-se o conjunto de Substâncias Tóxicas Poluentes (STP) que compreende, entre outras, as bifenilas policloradas - PCBs, os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - HPAs e também compostos orgânicos de metais. Apresentam como características alta

hidrofobicidade, baixa reatividade no meio ambiente e grande tendência para se acumular, ou bioconcentrar, nos tecidos dos organismos vivos (SCHWARZENBACH, 1995).

Os compostos orgânicos também podem ser classificados em termos de volatilidade, compondo dois grupos principais – os Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs) que incluem os solventes aromáticos (BETX), e os Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOCs), compreendendo os HPAs, os fenóis e surfactantes (LAS). Os PCBs entram na categoria dos não voláteis.

Os solventes aromáticos são hidrocarbonetos voláteis, representados principalmente pelo benzeno, etil-benzeno, tolueno e xileno (BETX), que consistem nos produtos de maior manipulação pelo setor industrial (CETESB, 2016). O benzeno, além de atuar como solvente, é um composto intermediário na síntese de detergentes, pesticidas entre outros compostos. Os solventes aromáticos podem ser gerados por contribuição difusa a partir de pequenas fontes que estocam e consomem combustíveis em geral, incluindo postos de gasolina, pátios de lavagem de máquinas e caminhões, usualmente encontradas em zonas urbanas (FOGAÇA, 2015).

Na AID e ADA do PSQ, os resultados das análises de benzeno, etilbenzeno, tolueno e xileno, assim como da maioria dos compostos orgânicos semivoláteis (SVOCs), não atingiram o limite de quantificação do método analítico utilizado, estando em conformidade com o limite determinado pela legislação tanto nas três campanhas mais recentes (novembro/2020, fevereiro/2021 e abril/2023), quanto em todas as coletas realizadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014) (vide Anexo 11.1.9-1).

Dentre os compostos orgânicos avaliados, os resultados analíticos indicaram a presença de surfactantes em níveis condizentes com o padrão da legislação (0,5 mg/L) na maioria da amostragem, com exceção apenas do açude Edson Queiroz (P10, a jusante da AII), que obteve valor de 1,96 mg/L em fevereiro/2021, conforme ilustra a Figura 11.1-232. Estes compostos são designados “substâncias ativas ao azul de metileno” e podem apontar aporte de detergentes no ambiente aquático.

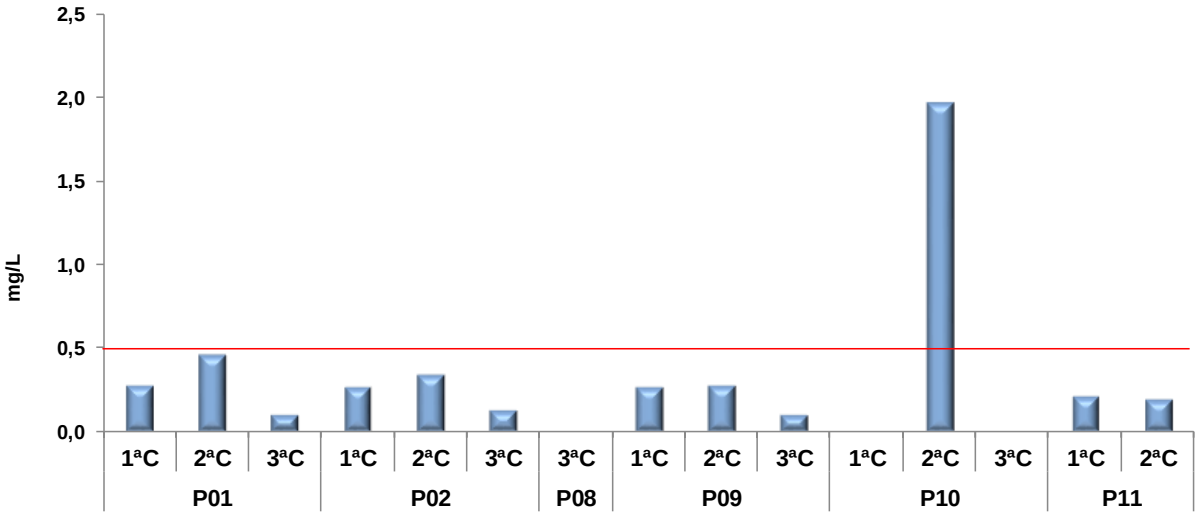


Figura 11.1-232: Surfactantes nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

Foi registrada também a presença de fenóis (Figura 11.1-233) em concentrações quantificáveis na terceira campanha (abril/2023) no remanso do açude do riacho Caramutim (P02; 0,003 mg/L), no açude da Laís (P09; 0,001 mg/L) e no açude Edson Queiroz (P10; 0,003 mg/L). Ainda que nos açudes do riacho Caramutim e Edson Queiroz a concentração obtida seja limítrofe ao VMP para águas doces classe 2 (0,003 mg/L), não foram verificadas não conformidades ao padrão da normativa.

Segundo Cunha (2005), a decomposição natural de matéria orgânica produz substâncias fenólicas no solo, bem como algumas plantas, entretanto, a maior parte do fenol presente no meio ambiente é de origem antropogênica. Fontes potenciais de emissões gasosas incluem a queima de madeira e na indústria química esse composto é amplamente utilizado.

Considerando que os fenóis e seus derivados aparecem, geralmente, nas águas naturais através das descargas de efluentes industriais, a origem dos fenóis nas águas dos açudes da Lais e do riacho Caramutim é incerta, pois os açudes estão inseridos em áreas que não são caraterizadas como regiões industrializadas, restringindo-se a atividades rurais, porém, o açude Edson Queiroz é receptor de efluentes das comunidades rurais situadas no entorno, o que pode ter contribuído para o aumento deste composto.

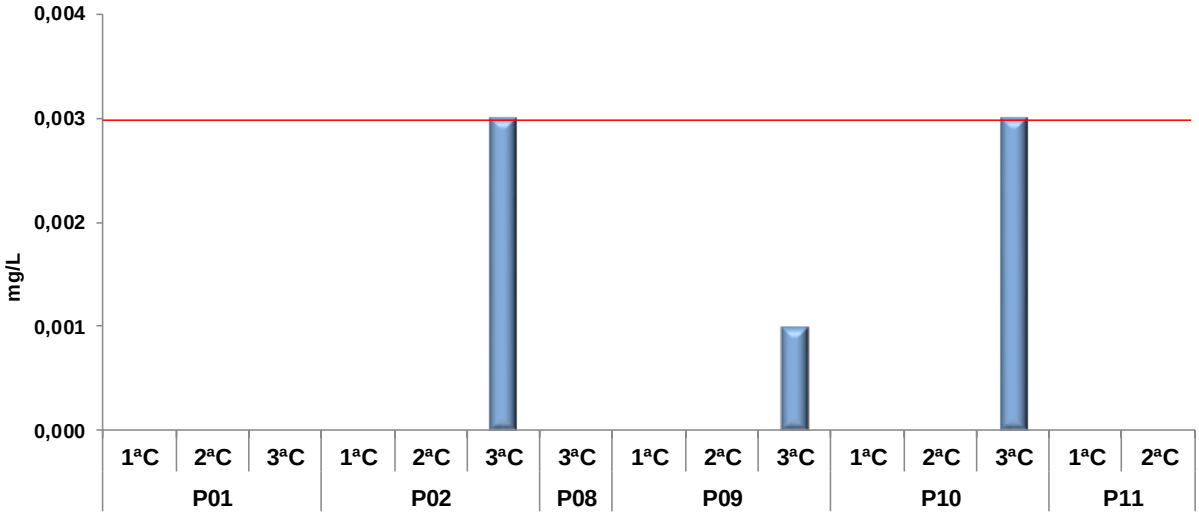


Figura 11.1-233: Fenóis nas Águas Superficiais - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).
Elaboração: Econsult, 2023.

Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos - HPAs

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) engloba um grupo de compostos que ocorrem naturalmente no carvão, petróleo bruto e gasolina e também são gerados durante a combustão incompleta ou pirólise de matéria orgânica e em vários processos industriais (CETESB, 2020).

Os resultados obtidos nos açudes avaliados, em novembro/2020, fevereiro/2021 e abril/23, demonstram concentrações de HPAs inferiores ao limite de quantificação do método analítico e do limite determinado pela legislação, assim como na maioria das amostras coletadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), com exceção apenas de uma amostra coletada no açude do riacho da Gangorra (P08), em julho/2011, onde se obteve concentrações acima dos limites da legislação (0,1 µg/L) para benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno e criseno, conforme citado (vide Anexo 11.1.9-1).

Cabe indicar que os dados abordados neste item se referem aos resultados brutos das análises, porém, ao serem incorporados novos resultados a partir de campanhas de monitoramento, no âmbito dos programas ambientais, será obtido um maior número amostral, possibilitando a realização de testes estatísticos.

Bifenilas Policloradas - PCBs

Os PCBs são produtos sintéticos, utilizados principalmente pela indústria elétrica, como fluído termoelétrico em transformadores e capacitores. O uso dos PCBs foi banido nos anos 80, porém, uma grande quantidade de equipamentos antigos e contendo estes compostos permanece em uso, constituindo fontes potenciais de contaminação para o meio ambiente, e, consequentemente, para o ecossistema aquático (FILLMAN *et al.*, 2007).

Os resultados obtidos nas análises de PCBs totais em todas as amostras coletadas na rede de amostragem em novembro/2020, fevereiro/2021 e abril/2023 estiveram abaixo do limite de quantificação do método analítico (0,001 µg/L), assim como nas campanhas realizadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014) (Anexo 11.1.9-1), estando, portanto, em conformidade com a legislação, que determina concentração máxima de 0,001 µg/L.

C.5. Índice de Estado Trófico – IET

Conforme citado anteriormente, o Índice de Estado Trófico leva em consideração os dados relativos à clorofila-*a* e ao fósforo total, tendo por finalidade classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia e apontar o nível de enriquecimento das águas com nutrientes.

Os resultados do Índice de Estado Trófico – IET, levando em conta as concentrações de fósforo total e de clorofila-*a* obtidas nas três campanhas do atual estudo, demonstram elevado grau de trofia no açude do riacho Caramutim, conhecido localmente como açude Quixaba, que variou entre Mesotrófico e Hipereutrófico. O açude de Edson Queiroz apresentou condição Mesótrofica nas duas primeiras campanhas, porém, atingiu elevado nível de trofia na última campanha (Hipereutrófico).

Um baixo grau de trofia (Oligotrófico) foi detectado apenas no açude da Laís (P09) em novembro/2020, refletindo as menores concentrações de fósforo e de clorofila dentre os locais amostrados. No entanto, este ambiente mostrou aumento do grau de trofia em fevereiro/2021 e abril/2023, classificado então como Mesotrófico e Hipereutrófico, respectivamente. O açude João Silva Guerra manteve-se como Mesotrófico em todas as campanhas em que foi avaliado.

É importante ressaltar que a campanha de abril/2023, período chuvoso, classificou todos os ambientes avaliados como de águas Hipereutróficas, incluindo o açude do riacho da Gangorra, conhecido localmente como açude Morrinhos, que só foi amostrado nessa campanha (Quadro 11.1.9-11 e Quadro 11.1.9-12) (Figura 11.1-234). O carreamento de matéria particulada dos ecossistemas terrestres para o ambiente aquático causado pelo

escoamento superficial das águas pluviais tem como consequência o enriquecimento dos corpos de água por nutrientes, como o fósforo. Este enriquecimento, aliado às altas temperaturas e elevada insolação características da região, favorece o crescimento da comunidade fitoplanctônica, aumentando a concentração de clorofila-*a*, o que predispõe ao incremento do estado trófico dos ambientes aquáticos.

Quadro 11.1.9-11: Índice do Estado Trófico (IET) na AID - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

CURSOS D'ÁGUA	PONTOS	CAMPANHA	IET	CLASSIFICAÇÃO
Açude do riacho Caramutim - barragem	P01	1ªC	62	Eutrófico
		2ªC	53	Mesotrófico
		3ªC	86	Hipereutrófico
Açude do riacho Caramutim - remanso	P02	1ªC	62	Eutrófico
		2ªC	63	Eutrófico
		3ªC	84	Hipereutrófico
Açude do riacho da Gangorra	P08	3ªC	81	Hipereutrófico

Elaboração: Econsult, 2023.

Quadro 11.1.9-12: Índice do Estado Trófico (IET) dos Pontos Fora dos Limites das Áreas de Influência - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

CURSOS D'ÁGUA	PONTOS	CAMPANHA	IET	CLASSIFICAÇÃO
Açude da Laís	P09	1ªC	51	Oligotrófico
		2ªC	53	Mesotrófico
		3ªC	82	Hipereutrófico
Açude Edson Queiroz	P10	1ªC	58	Mesotrófico
		2ªC	58	Mesotrófico
		3ªC	79	Hipereutrófico
Açude João Silva Guerra	P11	1ªC	58	Mesotrófico
		2ªC	53	Mesotrófico

Elaboração: Econsult, 2023.

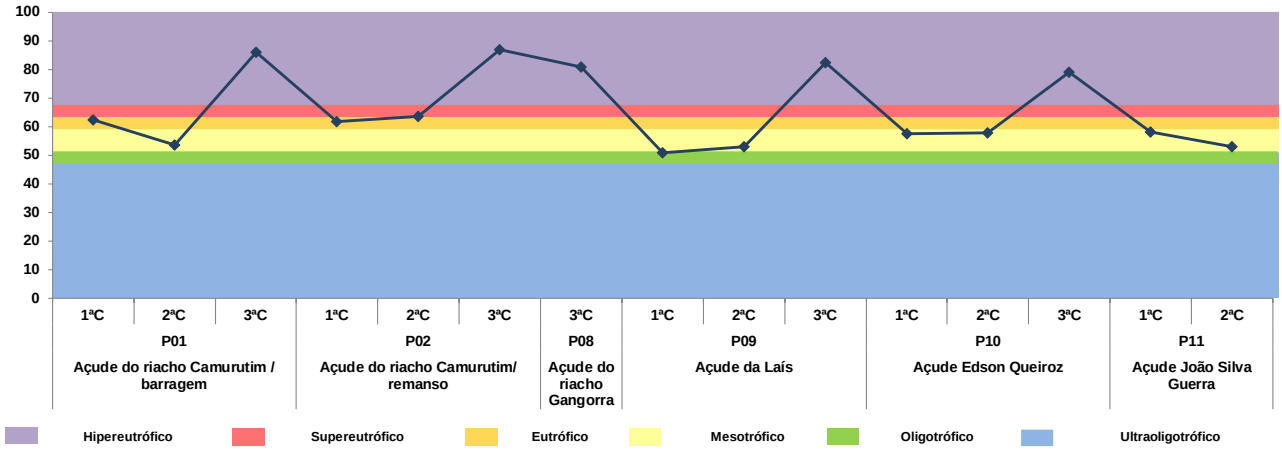


Figura 11.1-234: Índice de Estado Trófico (IET) - PSQ – novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).
Elaboração: Econsult, 2023.

D. Resultados da qualidade dos sedimentos

A seguir consta a caracterização da qualidade dos sedimentos com base nos dados primários obtidos em novembro/2020 (período seco), fevereiro/2021 (período chuvoso) e abril/23 (período chuvoso) (Quadro 11.1.9-13 e Quadro 11.1.9-14), nos pontos indicados no Mapa 11.1-23. Os resultados foram comparados aos valores alerta estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 454/2012 e às diretrizes de qualidade estipuladas pelo CCME (2001). Conforme citado, no presente relatório foram adotados, para comparação, os dados obtidos nas quatro campanhas (Anexo 11.1.9-1), realizadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014).

Ressalta-se que, no âmbito do licenciamento do PSQ junto a CNEN, também são realizadas as análises da caracterização dos sedimentos, porém, com foco nos radionuclídeos. Os resultados desse estudo podem ser consultados no Anexo 11.1.9-6 (PMRA-PO).

Quadro 11.1.9-13: Resultado das Análises da Qualidade dos Sedimentos na AID - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Parâmetros	Unidade	Diretrizes de Qualidade		Açude do riacho Caramutim/ barragem			Açude do riacho Caramutim/ remanso		
				P01			P02		
				1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC
Físico									
% Sólidos	% p/p	-		83,1	81,6	74,2	81,5	47,8	81,5
Nutrientes e COT									
		Valor Alerta							
Carbono Orgânico Total	% p/p	10		0,15	0,44	0,84	0,22	1,41	0,48
Nitrogênio Kjeldahl Total	mg/kg	4.800		101	287	792	398	1.050	708
Fósforo Total	mg/kg	2.000		244	119	336	72,4	324	151
Metais e Semimetais									
		ISQG/TEL	PEL						
Arsênio	mg/kg	5,9	17	< 1	< 1	< 1	< 1	1,55	< 1
Cádmio	mg/kg	0,6	3,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Chumbo	mg/kg	35	91,3	< 1	2,46	4,04	1,26	5,53	4,24
Cobre	mg/kg	35,7	197	8,01	7,49	20,9	1,45	14,6	15,1
Cromo	mg/kg	37,3	90	26,1	21,3	53,4	5,22	29,1	36,4
Mercúrio	mg/kg	0,17	0,486	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,0588	< 0,05
Níquel	mg/kg	18	35,9	12,8	10,1	20,3	2,62	18,3	14,8
Zinco	mg/kg	123	315	30,9	24	44,6	5,62	41,9	31,2
Compostos Orgânicos Semivoláteis									
Pesticidas Organoclorados									
Cis Clordano (Alfa Clordano)	µg/kg	-	-	< 0,3	< 0,3	< 0,34	< 0,3	< 0,52	< 0,31
DDD (isômeros)	µg/kg	3,54	8,51	< 0,13	< 0,13	< 0,13	< 0,13	< 0,21	< 0,13
DDE (isômeros)	µg/kg	1,42	6,75	< 0,13	< 0,13	< 0,13	< 0,13	< 0,21	< 0,13

Parâmetros	Unidade	Diretrizes de Qualidade		Açude do riacho Caramutim/ barragem			Açude do riacho Caramutim/ remanso		
				P01			P02		
				1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC
DDT (isômeros)	µg/kg	1,19	4,77	< 0,13	< 0,13	< 0,13	< 0,13	< 0,21	< 0,13
Dieldrin	µg/kg	2,85	6,67	< 0,18	< 0,18	< 0,2	< 0,18	< 0,31	< 0,18
Endrin	µg/kg	2,67	62,4	< 0,18	< 0,18	< 0,2	< 0,18	< 0,31	< 0,18
HCH Alfa	µg/kg	-	-	< 0,09	< 0,091	< 0,1	< 0,091	< 0,16	< 0,092
HCH Beta	µg/kg	-	-	< 0,09	< 0,091	< 0,1	< 0,091	< 0,16	< 0,092
HCH Delta	µg/kg	-	-	< 0,09	< 0,091	< 0,1	< 0,091	< 0,16	< 0,092
Lindano (g-HCH)	µg/kg	0,94	1,38	< 0,09	< 0,091	< 0,1	< 0,091	< 0,16	< 0,092
Trans Clordano (Gama Clordano)	µg/kg	-	-	< 0,3	< 0,3	< 0,34	< 0,3	< 0,52	< 0,31
PCBs									
Bifenilas Policloradas	µg/kg	34,1	277	< 3,5	< 3,5	< 3,5	<3,5	< 3,6	< 3,5
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs)									
Acenafteno	µg/kg	6,71	88,9	< 0,3	< 0,3	< 0,34	< 0,3	< 0,52	< 0,31
Acenaftileno	µg/kg	5,87	128	< 0,3	< 0,3	< 0,34	< 0,3	< 0,52	< 0,31
Antraceno	µg/kg	46,9	245	< 0,3	< 0,3	< 0,34	< 0,3	< 0,52	< 0,31
Benzo(a)antraceno	µg/kg	31,7	385	< 0,3	< 0,3	< 0,34	< 0,3	< 0,52	< 0,31
Benzo(a)pireno	µg/kg	31,9	782	< 0,3	< 0,3	< 0,34	< 0,3	< 0,52	< 0,31
Criseno	µg/kg	57,1	862	< 0,3	< 0,3	< 0,34	< 0,3	< 0,52	< 0,31
Dibenzo(a,h)antraceno	µg/kg	6,22	135	< 0,3	< 0,3	< 0,34	< 0,3	< 0,52	< 0,31
Fenantreno	µg/kg	41,9	515	< 0,3	< 0,3	< 0,34	< 0,3	< 0,52	< 0,31
Fluoranteno	µg/kg	111	2355	< 0,3	< 0,3	< 0,34	< 0,3	< 0,52	< 0,31
Fluoreno	µg/kg	21,2	144	< 0,3	< 0,3	< 0,34	< 0,3	< 0,52	< 0,31
2-Metilnaftaleno	µg/kg	20,2	201	< 0,3	< 0,3	< 0,34	< 0,3	< 0,52	< 0,31
Naftaleno	µg/kg	34,6	391	< 0,3	< 0,3	< 0,34	< 0,3	< 0,52	< 0,31

Parâmetros	Unidade	Diretrizes de Qualidade		Açude do riacho Caramutim/ barragem			Açude do riacho Caramutim/ remanso		
				P01			P02		
				1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC
Pireno	µg/kg	53	875	< 0,3	< 0,3	< 0,34	< 0,3	< 0,52	< 0,31
Total de HAPs	mg/kg	1.000	-	< 5,1	< 5,2	< 5,7	< 5,2	< 8,8	< 5,2

Legenda: ISQG/TEL - limiar abaixo do qual há menor probabilidade de causar efeitos adversos à biota (CCME, 2001); PEL - limiar acima do qual há maior probabilidade provocar efeitos adversos à biota (CCME, 2001). Valor Alerta – concentração estabelecida pela Resolução CONAMA nº 454/2012 acima da qual representa a possibilidade de causar prejuízos ao ambiente para nutrientes e carbono orgânico total - COT. (-) não se aplica.

Quadro 11.1.9-14: Resultado das Análises da Qualidade dos Sedimentos dos Pontos Fora dos Limites das Áreas de Influência – novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Parâmetros	Unidade	Diretrizes de Qualidade		Açude do riacho da Gangorra[1]	Açude da Laís			Açude Edson Queiroz			Açude João Silva Guerra[2]	
				P08	P09			P10			P11	
				3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC
Físico												
% Sólidos	% p/p	-		83,9	75,7	78,8	84,5	64,7	85,3	25,9	84	82,2
Nutrientes e COT												
		Valor Alerta										
Carbono Orgânico Total	% p/p	10		0,35	0,2	0,18	0,39	1	0,12	3,5	0,12	0,16
Nitrogênio Kjeldahl Total	mg/kg	4.800		571	223	88,4	615	1.290	88,6	692	75,6	86,8
Fósforo Total	mg/kg	2.000		137	374	139	360	351	200	869	81,8	160
Metais e Semimetais												
		ISQG/TEL	PEL									
Arsênio	mg/kg	5,9	17	2,31	2,48	< 1	3,7	2,61	< 1	3,17	1,08	2,14
Cádmio	mg/kg	0,6	3,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Chumbo	mg/kg	35	91,3	4,24	2,77	2,03	6,04	5,91	2,34	14,7	1,77	3,31

Parâmetros	Unidade	Diretrizes de Qualidade		Açude do riacho da Gangorra[1]	Açude da Laís			Açude Edson Queiroz			Açude João Silva Guerra[2]	
				P08	P09			P10			P11	
				3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC
Cobre	mg/kg	35,7	197	15,4	6,64	3,57	19,7	15,6	4,78	54,4	3,25	6,71
Cromo	mg/kg	37,3	90	59,9	13,1	6,3	31,9	29,9	42,7	81,6	5,52	9,11
Mercúrio	mg/kg	0,17	0,486	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,0729
Níquel	mg/kg	18	35,9	16,5	6,74	2,9	8,38	15,1	10,7	46,6	1,87	4,57
Zinco	mg/kg	123	315	22,3	23,9	16,9	43,3	36,4	13,6	89,8	8,57	21,7
Compostos Orgânicos Semivoláteis												
Pesticidas Organoclorados												
Cis Clordano (Alfa Clordano)	µg/kg	-	-	< 0,3	< 0,33	< 0,32	< 0,29	< 0,39	< 0,29	< 0,96	< 0,3	< 0,3
DDD (isômeros)	µg/kg	3,54	8,51	< 0,13	< 0,13	< 0,13	< 0,13	< 0,15	< 0,13	< 0,38	< 0,13	< 0,13
DDE (isômeros)	µg/kg	1,42	6,75	< 0,13	< 0,13	< 0,13	< 0,13	< 0,15	< 0,13	< 0,38	< 0,13	< 0,13
DDT (isômeros)	µg/kg	1,19	4,77	< 0,13	< 0,13	< 0,13	< 0,13	< 0,15	< 0,13	< 0,38	< 0,13	< 0,13
Dieldrin	µg/kg	2,85	6,67	< 0,18	< 0,2	< 0,19	< 0,18	< 0,23	< 0,18	< 0,58	< 0,18	< 0,18
Endrin	µg/kg	2,67	62,4	< 0,18	< 0,2	< 0,19	< 0,18	< 0,23	< 0,18	< 0,58	< 0,18	< 0,18
HCH Alfa	µg/kg	-	-	< 0,089	< 0,099	< 0,095	< 0,088	< 0,12	< 0,088	< 0,29	< 0,089	< 0,091
HCH Beta	µg/kg	-	-	< 0,089	< 0,099	< 0,095	< 0,088	< 0,12	< 0,088	< 0,29	< 0,089	< 0,091
HCH Delta	µg/kg	-	-	< 0,089	< 0,099	< 0,095	< 0,088	< 0,12	< 0,088	< 0,29	< 0,089	< 0,091
Lindano (g-HCH)	µg/kg	0,94	1,38	< 0,089	< 0,099	< 0,095	< 0,088	< 0,12	< 0,088	< 0,29	< 0,089	< 0,091
Trans Clordano (Gama Clordano)	µg/kg	-	-	< 0,3	< 0,33	< 0,32	< 0,29	< 0,39	< 0,29	< 0,96	< 0,3	< 0,3
PCBs												
Bifenilas Policloradas	µg/kg	34,1	277	< 3,5	<3,5	< 3,5	< 3,5	<3,5	< 3,5	< 6,7	<3,5	< 3,5
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs)												
Acenafteno	µg/kg	6,71	88,9	< 0,3	< 0,33	< 0,32	< 0,29	< 0,39	< 0,29	< 0,96	< 0,3	< 0,3

Parâmetros	Unidade	Diretrizes de Qualidade		Açude do riacho da Gangorra[1]	Açude da Laís			Açude Edson Queiroz			Açude João Silva Guerra[2]	
				P08	P09			P10			P11	
				3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC	3ªC	1ªC	2ªC
Acenaftileno	µg/kg	5,87	128	< 0,3	< 0,33	< 0,32	< 0,29	< 0,39	< 0,29	< 0,96	< 0,3	< 0,3
Antraceno	µg/kg	46,9	245	< 0,3	< 0,33	< 0,32	< 0,29	< 0,39	< 0,29	< 0,96	< 0,3	< 0,3
Benzo(a)antraceno	µg/kg	31,7	385	< 0,3	< 0,33	< 0,32	< 0,29	< 0,39	< 0,29	< 0,96	< 0,3	< 0,3
Benzo(a)pireno	µg/kg	31,9	782	< 0,3	< 0,33	< 0,32	< 0,29	< 0,39	< 0,29	< 0,96	< 0,3	< 0,3
Criseno	µg/kg	57,1	862	< 0,3	< 0,33	< 0,32	< 0,29	< 0,39	< 0,29	< 0,96	< 0,3	< 0,3
Dibenzo(a,h)antraceno	µg/kg	6,22	135	< 0,3	< 0,33	< 0,32	< 0,29	< 0,39	< 0,29	< 0,96	< 0,3	< 0,3
Fenantreno	µg/kg	41,9	515	< 0,3	< 0,33	< 0,32	< 0,29	< 0,39	< 0,29	< 0,96	< 0,3	< 0,3
Fluoranteno	µg/kg	111	2355	< 0,3	< 0,33	< 0,32	< 0,29	< 0,39	< 0,29	< 0,96	< 0,3	< 0,3
Fluoreno	µg/kg	21,2	144	< 0,3	< 0,33	< 0,32	< 0,29	< 0,39	< 0,29	< 0,96	< 0,3	< 0,3
2-Metilnaftaleno	µg/kg	20,2	201	< 0,3	< 0,33	< 0,32	< 0,29	< 0,39	< 0,29	< 0,96	< 0,3	< 0,3
Naftaleno	µg/kg	34,6	391	< 0,3	< 0,33	< 0,32	< 0,29	< 0,39	< 0,29	< 0,96	< 0,3	< 0,3
Pireno	µg/kg	53	875	< 0,3	< 0,33	< 0,32	< 0,29	< 0,39	< 0,29	< 0,96	< 0,3	< 0,3
Total de HAPs	mg/kg	1.000	-	< 5,1	< 5,6	< 5,4	< 5	< 6,6	< 5	< 16	< 5,1	< 5,2

Legenda: [1] - Apenas 3ªC; [2] - Apenas 1ª e 2ªC; ISQG/TEL – limiar abaixo do qual há menor probabilidade de causar efeitos adversos à biota (CCME, 2001); PEL – limiar acima do qual há maior probabilidade provocar efeitos adversos à biota (CCME, 2001). Valor Alerta – concentração estabelecida pela Resolução CONAMA nº 454/2012 acima da qual representa a possibilidade de causar prejuízos ao ambiente para nutrientes e carbono orgânico total – COT. (-) não se aplica.

A seguir, descrevem-se os resultados das principais variáveis analisadas nos sedimentos da AID e ADA do PSQ, possibilitando estabelecer uma comparação entre os pontos analisados. A linha vermelha nos gráficos corresponde às diretrizes de qualidade estipuladas pelo CCME (2001) ou os valores alerta estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 454/2012.

D.1. Carbono Orgânico Total – COT e Nutrientes

Na avaliação dos dados, verificou-se que as concentrações de COT foram inferiores ao Valor de Alerta (10%) da Resolução CONAMA nº 454/12 em toda a malha amostral e em todas as campanhas, conforme Figura 11.1-235. Em geral, as concentrações foram baixas, inferiores a 1% na maioria das amostras. Destaca-se, no entanto, que na terceira campanha o açude Edson Queiroz (P10) apresentou o valor máximo registrado na malha amostral, com 3,5%, o que indica maior concentração de matéria orgânica nos sedimentos deste açude durante o período chuvoso.

Nas quatro campanhas realizadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), as concentrações de COT registradas também ficaram abaixo do Valor Alerta da legislação em toda malha amostral, sendo o resultado máximo de 6,9% obtido no ponto P01 (açude do riacho Caramutim, localmente conhecido como açude Quixaba), em abril/2011 (Anexo 11.1.9-1).

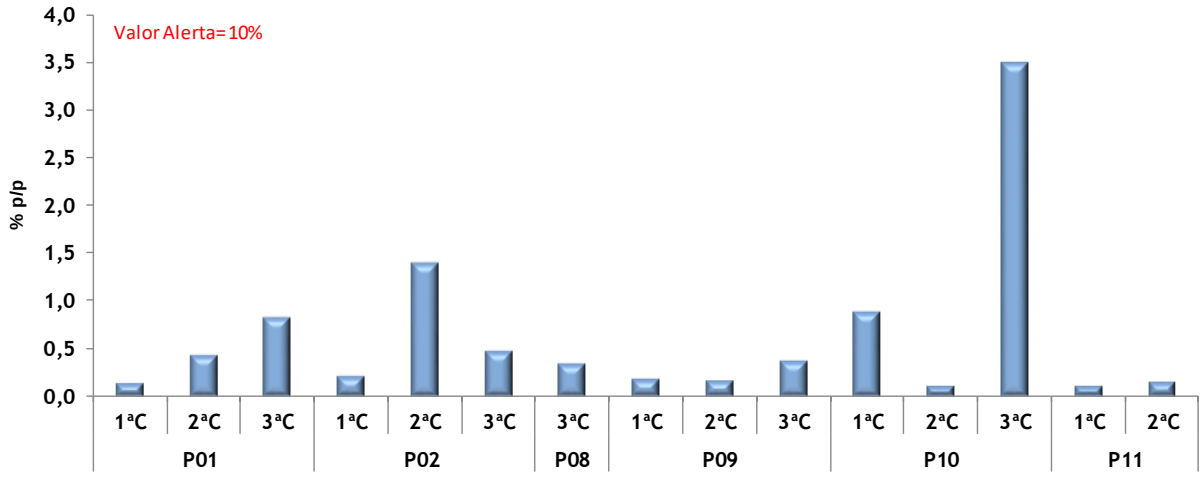


Figura 11.1-235: Carbono Orgânico nos Sedimentos – PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

Observou-se que as concentrações de nitrogênio Kjeldahl total foram inferiores ao Valor de Alerta (4.800 mg/kg) da Resolução CONAMA nº 454/12 em toda a malha amostral e em todas as campanhas, conforme Figura 11.1-236. Em geral, as concentrações foram baixas, inferiores a 1.000 mg/kg na maioria das amostras. Os níveis mais elevados de nitrogênio

Kjeldahl total foram computados no ponto P10 (açude a jusante da AII, Edson Queiroz), em novembro/2020, com 1.290 mg/kg. Portanto, as concentrações permaneceram compatíveis com o Valor Alerta da Resolução CONAMA nº 454/12, em todas as amostras, assim como observado nas coletas realizadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), quando se obteve o máximo de 1.317 mg/kg no açude do riacho Caramutim, popularmente conhecido como açude Quixaba (P02) (vide Anexo 11.1.9-1).

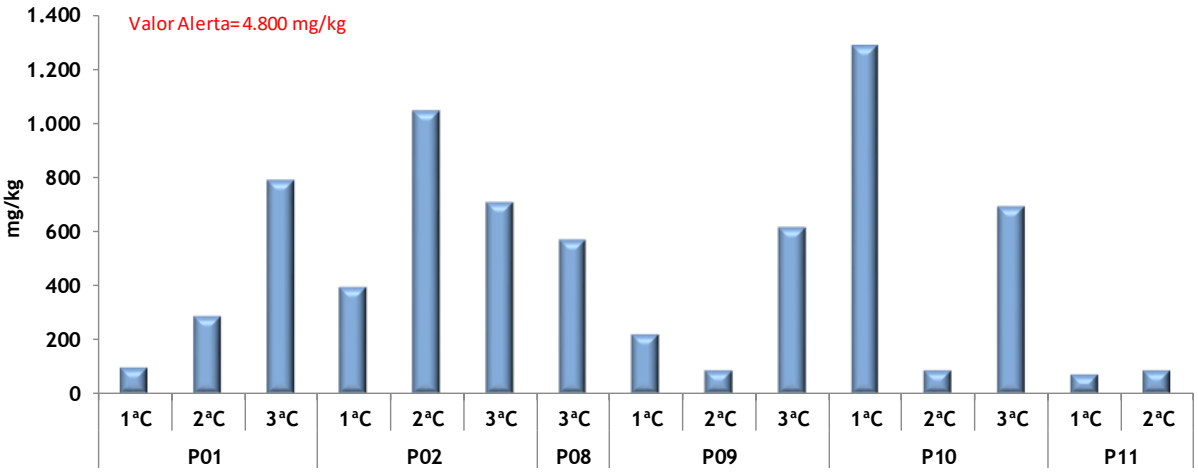


Figura 11.1-236: Nitrogênio Kjeldahl Total nos Sedimentos- PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

O fósforo total também permaneceu abaixo do Valor Alerta da Resolução CONAMA nº 454/12 (2.000 mg/kg), em todos os pontos nas três campanhas do atual estudo. A menor concentração de fósforo total da malha amostral foi verificada no ponto P02 (açude do riacho Caramutim), com 72,4 mg/kg, enquanto o máximo foi observado no açude Edson Queiroz (P10) em abril/2023, com 869 mg/kg (Figura 11.1-237).

Nas quatro campanhas realizadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), apenas no ponto P10 (açude a jusante da AII, Edson Queiroz) foram computadas concentrações deste nutriente acima do Valor Alerta em todas as coletas, atingindo máximo de 4.321 mg/kg (vide Anexo 11.1.9-1), tendo assim uma redução considerável neste açude nas campanhas mais recentes (novembro/2020, fevereiro/2021 e abril/2023).

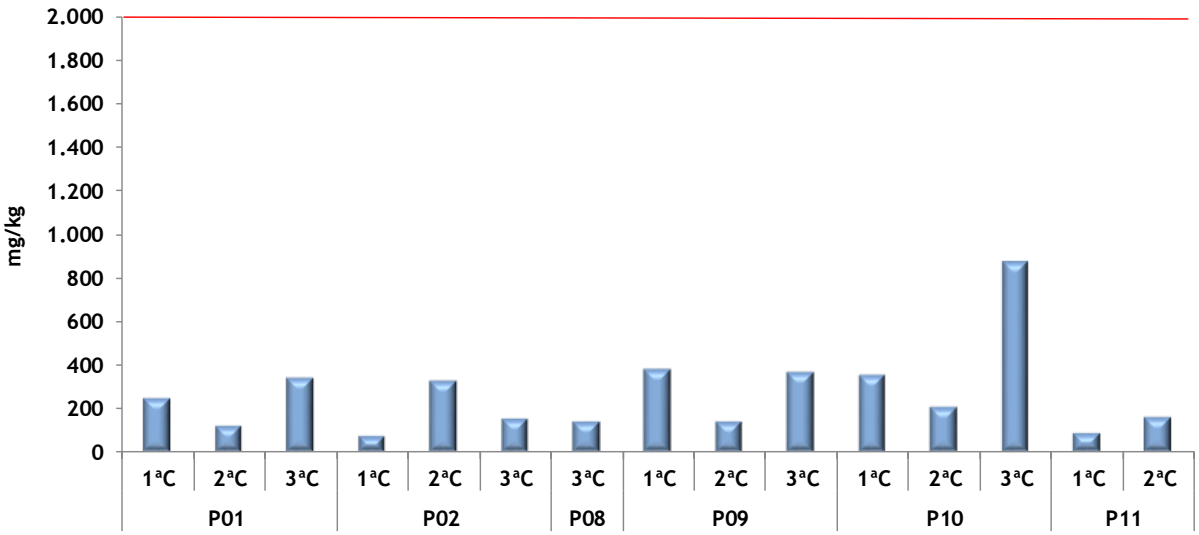


Figura 11.1-237: Fósforo Total nos Sedimentos - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).
Elaboração: Econsult, 2023.

D.2. Metais e semimetais

Nas campanhas de novembro/2020, fevereiro/2021 e abril/2023, constatou-se que o metal cádmio ficou abaixo do limite de quantificação do método analítico (0,1 mg/kg) em todas as amostras. Os metais chumbo, mercúrio e zinco e o semimetal arsênio foram quantificados em concentrações compatíveis com os padrões estabelecidos pelo padrão TEL do CCME (2001), em toda a malha amostral da AID e ADA do PSQ.

Do conjunto de metais avaliados, apenas cobre, cromo e níquel foram detectados em desconformidade com a legislação vigente em pelo menos uma amostra, conforme detalhado a seguir.

Um padrão semelhante foi reportado nas amostragens realizadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), quando a maioria dos metais pesados foi registrado em concentração inferior ao limite estabelecido pelo CCME (2001), com exceção do cobre, cromo e níquel que apresentaram teores que ultrapassaram o TEL. Ainda, nas amostragens anteriores ao atual estudo, foi verificada extrapolação para o PEL apenas para cromo e níquel no açude Edson Queiroz, em julho/2011 (ARCADIS LOGOS, 2014) (vide Anexo 11.1.9-1).

Cobre

O cobre tem vários usos, como na fabricação de tubos e válvulas, e está presente em ligas e revestimentos. Na forma de sulfato ($CuSO_4.5H_2O$) é usado como algicida. As fontes de cobre para o meio ambiente incluem a mineração, corrosão de tubulações por águas ácidas,

efluentes de estações de tratamento de esgotos, escoamento superficial e contaminação da água subterrânea a partir do uso agrícola do cobre e precipitação atmosférica de fontes industriais.

Nos sedimentos da malha amostral das três campanhas em foco, os níveis desse constituinte ultrapassaram o TEL (35,7 mg/kg) do CCME (2001), apenas no açude Edson Queiroz (P10, a jusante da AII) em abril/2023, com 54,4 mg/Kg (Figura 11.1-238).

Esse resultado pode estar correlacionado à granulometria dos sedimentos, pois conforme descrito mais adiante, registrou-se a ocorrência somente das frações silte e argila no açude Edson Queiroz, onde ocorreu a não conformidade (P10, abril/2023). A predominância de tais frações finas confere maior afinidade por determinados poluentes como metais, em comparação com sedimentos com granulometria mais grossa.

Conforme citado anteriormente, esse metal também ultrapassou o limite estabelecido pela legislação nas amostras coletadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), com valores acima do TEL em cerca de 10% das amostras de sedimentos (vide Anexo 11.1.9-1).

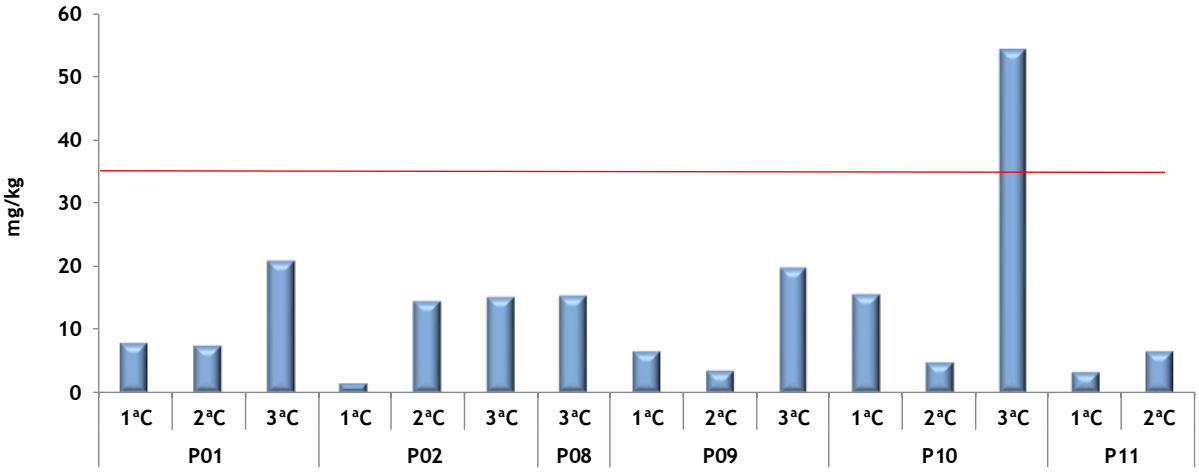


Figura 11.1-238: Cobre nos Sedimentos - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Legenda: Linha vermelha representa o TEL (35,7 mg/kg) do CCME (2001).

Elaboração: Econsult, 2023.

Cromo

O cromo ocorre naturalmente na composição de vários minerais, frequentemente associado a outros metais, sendo também encontrado em águas receptoras de esgotos domésticos sem tratamento. Esse metal pode se acumular nos organismos aquáticos, principalmente em animais filtradores. As formas mais estáveis são o cromo trivalente e

hexavalente, este último considerado cancerígeno ao ser humano. O cromo é utilizado na produção de ligas metálicas, estruturas da construção civil, fertilizantes, tintas, pigmentos, curtumes, preservativos para madeira, entre outros usos (CETESB, 2014).

Nos sedimentos da malha amostral, os níveis desse constituinte ultrapassaram o TEL (37,3 mg/kg) do CCME (2001) em fevereiro/2021, mas apenas no açude Edson Queiroz (P10, a jusante da AII), com 42,7 mg/Kg (Figura 11.1-239). No entanto, em abril/2023, a terceira campanha mostrou um incremento nas concentrações deste metal, sendo registrados valores maiores na região da barragem do açude do riacho Caramutim (P01; 53,4 mg/kg), no açude do riacho da Gangorra (P08; 59,9 mg/kg) e novamente no açude Edson Queiroz (P10), desta vez com 81,6 mg/kg.

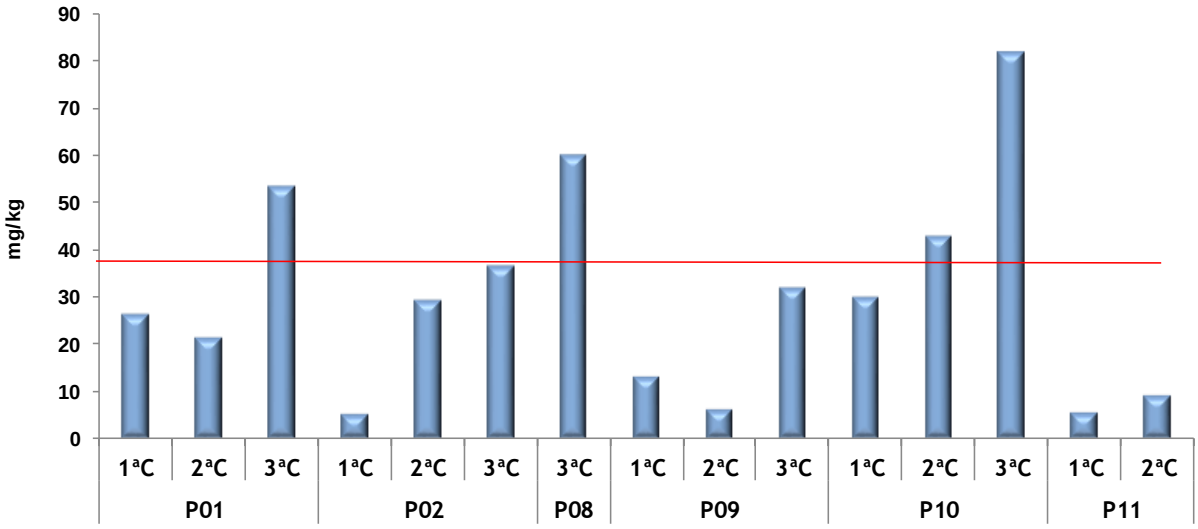


Figura 11.1-239: Cromo nos Sedimentos - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Legenda: Linha vermelha representa o TEL (37,3 mg/kg) do CCME (2001).

Elaboração: Econsult, 2023.

Esse padrão de resultado pode estar correlacionado à granulometria dos sedimentos, pois conforme descrito mais adiante, registrou-se predominância da fração de silte nos pontos em que ocorreram não conformidades, exceto para o açude Edson Queiroz (P10) em fevereiro/2021 (2ªcampanha). Tal predominância confere maior afinidade por determinados poluentes como metais, em comparação com sedimentos com granulometria mais grossa.

Conforme citado anteriormente, esse metal também ultrapassou o limite estabelecido pela legislação nas amostras coletadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), com valores acima do TEL, em agosto/2011, na maioria dos pontos, sendo exceção apenas o açude da Laís (P09, fora da AII). Nos demais açudes a concentração variou de 59 mg/kg no açude do riacho da

Gangorra, conhecido localmente como açude Morrinhos (P08), a 87 mg/kg no açude Edson Queiroz (P10, a jusante da AII). Além disso, também foi registrado em julho/2011 um valor acima do PEL (111 mg/kg) no açude Edson Queiroz (P10) (vide Anexo 11.1.9-1).

Níquel

O níquel está presente naturalmente na crosta terrestre. Esse metal é utilizado principalmente na fabricação de aço inoxidável, na galvanoplastia do crômio para conferir adesão do crômio ao ferro e como catalisador em algumas reações de hidrogenação. Além disso, é usado na produção de ligas, baterias alcalinas, moedas, entre outros (CETESB, 2014).

Nas duas primeiras campanhas do atual estudo, esse metal foi detectado em concentração superior ao TEL (18 mg/kg) apenas no remanso do açude do riacho Caramutim (P02) com valor de 18,3 mg/kg, na segunda campanha (Figura 11.1-240). A terceira campanha mostrou que esse açude continuou com concentrações elevadas, desta vez na região da barragem (P01), com 20,3 mg/kg. Nesta última campanha, o açude Edson Queiroz (P10) mostrou a concentração mais elevada da malha amostral com 46,6 mg/kg. Estes três resultados acima do limite TEL implicam em uma proporção de não conformidades de 20% do total de amostras.

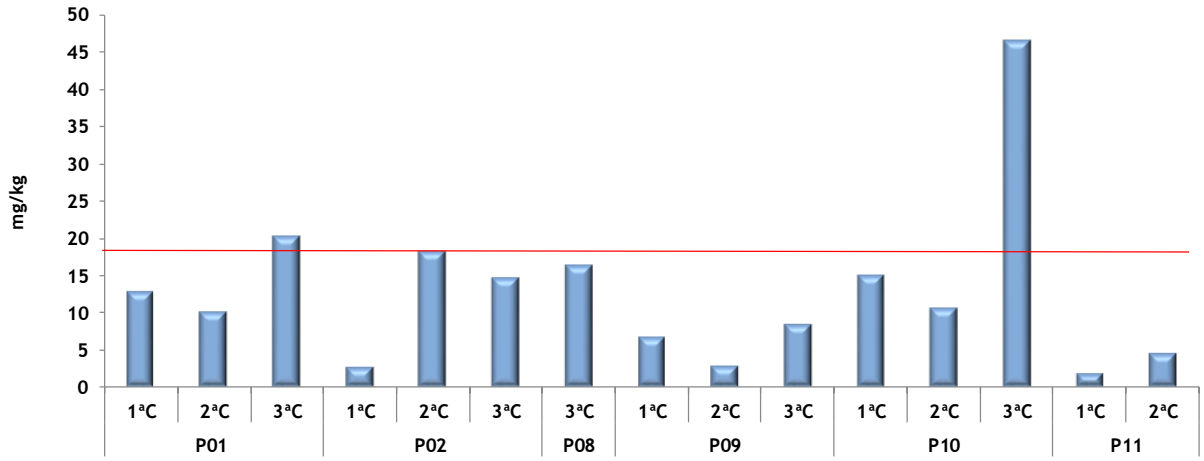


Figura 11.1-240: Níquel nos Sedimentos - PSQ - Novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Legenda: Linha vermelha representa o TEL (18 mg/kg) do CCME (2001).

Elaboração: Econsult, 2023.

Esse padrão de resultado também pode estar correlacionado à granulometria dos sedimentos.

Esse metal ultrapassou o TEL nas campanhas de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), no açude do riacho Caramutim (P01 com 19 mg/kg, em julho/2011) e na amostragem de agosto/2011

nos açudes do riacho Caramutim (P01 com 28 mg/kg), da Laís (P09 com 24 mg/kg) e Edson Queiroz (P10 com 27 mg/kg). Em padrão similar ao cromo, a concentração de níquel também ultrapassou o PEL no açude a jusante da AII, Edson Queiroz (P10 com 69 mg/kg), em julho/2011.

D.3. Pesticidas Organoclorados, Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (PAHs) e Bifenilas Policloradas (PCB's)

As concentrações dos pesticidas organoclorados, dos Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs), e das bifenilas policloradas, não atingiram o limite de quantificação do método analítico nos açudes amostrados em nenhuma das três campanhas em foco, estando, portanto, em conformidade com os padrões estipulados pelo CCME (2001), assim como nas campanhas realizadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), (vide Anexo 11.1.9-1).

D.4. Granulometria

A análise da composição granulométrica, em novembro/2020, fevereiro/2021 e abril/2023 é mostrada na Figura 11.1-241.

O açude do riacho Caramutim mostrou semelhança na composição granulométrica da região da barragem e do remanso (P01 e P02, respectivamente). Em ambas, a frações arenosas mais grossas foram predominantes na campanha de novembro/2020, enquanto nos períodos chuvosos de fevereiro/2021 e abril/2023 as frações mais finas como argila, silte e areia muito fina formaram a maior parte do substrato. Resultado semelhante foi observado no açude da Laís (P09), onde as frações de argila e silte foram também especialmente mais importantes em abril/2023.

O açude Edson Queiroz (P10) mostrou uma composição bastante variável da textura do sedimento entre as campanhas, com grande proporção e silte e argila em novembro/2020, aumento da fração arenosa em fevereiro/2021 e presença exclusiva de silte e argila nos sedimentos coletados em abril/2023.

De acordo com Mudroch & Macknight (1997), estudos de correlação de metais com granulometria demonstram que, usualmente, partículas mais finas de sedimentos, tais como silte e argila, contêm concentrações mais elevadas de metais, os quais são fixados por adsorção sobre as superfícies das partículas. Além disso, os fundos em que predominam estas frações apresentam maior capacidade de retenção de água e nutrientes, em razão do reduzido espaço intersticial (MONTE SERRAT *et al.*, 2002). Assim, a análise granulométria indica um dos fatores que pode explicar a maior concentração dos metais cromo e níquel na barragem do açude do riacho Caramutim, em abril/2023, e dos metais cobre, cromo e níquel

na mesma campanha, no açude Edson Queiroz, locais onde estes componentes apresentaram não conformidade ao padrão legislado, tal como no açude do riacho da Gangorra, onde as frações silte e argila compuseram cerca de 50% do sedimento e o cromo apresentou concentração superior ao limite TEL.

Nas campanhas realizadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), registrou-se predominância do substrato siltoso em toda a malha amostral, o que possivelmente se relaciona aos maiores teores de metais obtidos nessas amostragens (vide Anexo 11.1.9-1).

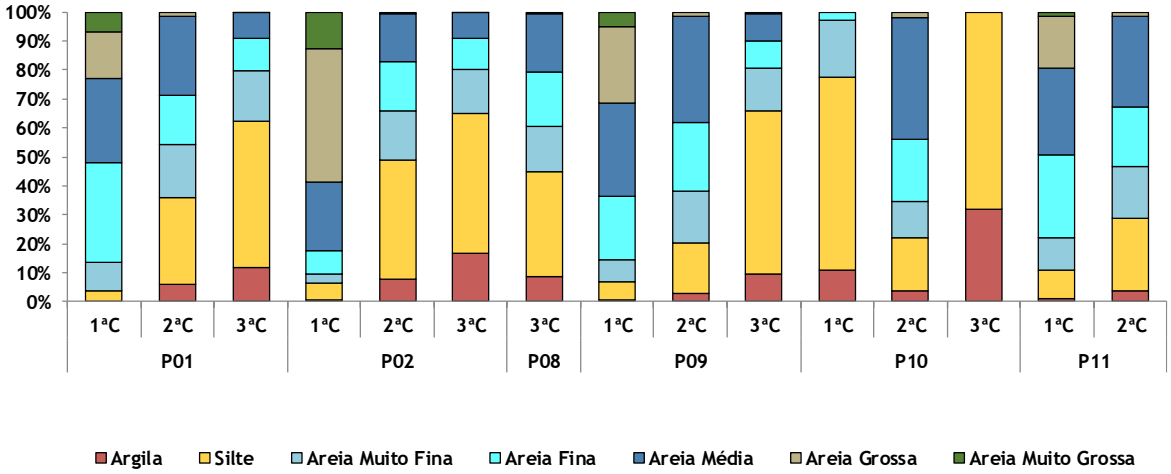


Figura 11.1-241: Porcentagem da Composição Granulométrica nos Sedimentos - PSQ - novembro/2020 (1ªC) a abril/2023 (3ªC).

Elaboração: Econsult, 2023.

11.1.9.4 Considerações Finais

Os cursos d'água nas áreas de influência do PSQ são considerados águas doces classe 2. As potenciais fontes de poluição na AID e ADA são, principalmente, de origem difusa, relacionadas ao aporte de dejetos de animais, com destaque para a criação de caprinos, além de agricultura de subsistência. As cargas de origem orgânica e fecal concentradas na bacia de drenagem e no leito seco dos rios no período de estiagem podem alcançar os açudes na época chuvosa, alterando a qualidade das águas do ponto de vista ecológico e sanitário.

As avaliações da qualidade das águas superficiais, realizadas em novembro/20, fevereiro/21 e abril/23, evidenciaram que as águas nos açudes amostrados atenderam, em grande parte, aos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 para águas doces classe 2. Os parâmetros que apresentaram não conformidades em relação à legislação nestas amostragens foram: cloreto total, cloro residual livre, cor verdadeira, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), fósforo total, nitrito, oxigênio dissolvido, sólidos

dissolvidos totais, sulfato total, sulfetos (como H_2S não dissociado), manganês total, zinco total, cianobactérias e surfactantes.

Do ponto de vista ecológico, os teores de oxigênio dissolvido foram baixos, inferiores ao padrão da legislação, na maioria dos locais amostrados, tendendo a anaerobiose nos açudes do riacho Caramutim e da Laís, no período seco (novembro/2020), possivelmente em função da dinâmica lêntica, onde a taxa de reintrodução de oxigênio dissolvido é baixa, além de ser um ambiente no qual tende a ocorrer acúmulo de compostos orgânicos. Nas campanhas de fevereiro/2021 e abril/2023, registrou-se uma maior oxigenação das águas nesses locais, porém, os teores de OD mantiveram-se inferiores ao estipulado pela legislação, com exceção do açude da Laís (P09) na terceira campanha (abril/2023), cujo valor obtido foi de 5,0 mg/L, que é o limite para águas doces classe 2.

A DBO apresentou desconformidade com o critério legal nos açudes do riacho Caramutim e da Laís, na segunda campanha (fevereiro/2021). Concentrações de fósforo total acima do padrão para águas doces classe 2 foram detectadas na maioria dos açudes avaliados, incluindo o do riacho Caramutim, o que provavelmente se relaciona a decomposição de material orgânico, além da possível associação com a matriz geológica regional, rica em fosfato.

A concentração de surfactantes, que pode refletir a introdução de detergentes, ultrapassou pontualmente o padrão da legislação, exclusivamente no açude Edson Queiroz, em fevereiro/2021. Os níveis de cloreto total, de sulfato total e de sulfetos, que podem ser indicativos da introdução de efluentes domésticos e também das elevadas taxas de evaporação, superaram o padrão da legislação nos pontos do açude do riacho Caramutim (P02), sendo o cloreto parâmetro desconforme nas duas amostragens iniciais e o sulfato, apenas em fevereiro/2021, enquanto o sulfeto como H2S dissociado foi registrado em não conformidade somente em abril/2023.

A disponibilidade de nutrientes nos açudes amostrados, aliado à dinâmica lêntica, tende a promover o crescimento de algas e cianobactérias. As cianobactérias atingiram densidades superiores ao padrão estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05 para águas doces classe 2, em ao menos uma campanha, na maioria dos pontos avaliados, exceto no remanso do açude do riacho Caramutim.

Foram registrados, nos açudes do riacho Caramutim e João Silva Guerra, níveis de sólidos dissolvidos e de manganês total não conformes com a legislação, provavelmente em decorrência dos processos erosivos na bacia de drenagem. O manganês também mostrou não conformidade nos açudes do riacho da Gangorra e da Laís em abril/2023. O metal zinco se

apresentou acima do padrão legal apenas no açude do riacho Caramutim, na campanha de fevereiro/2021.

Nas campanhas de novembro/2020 e fevereiro/2021, o Índice de Estado Trófico – IET demonstrou um grau de trofia entre Oligotrófico, no açude da Laís, e Eutrófico, no açude do riacho Caramutim. A campanha de abril/2023 mostrou, no entanto, um quadro de avanço do processo de eutrofização, com todos os ambientes amostrados classificados como Hipereutróficos.

Na avaliação realizada em 2011, no geral, se obteve um padrão relativamente similar ao obtido nas amostragens mais recentes, com desconformidades de DBO, fósforo total, manganês total, sólidos dissolvidos totais, além de clorofila-*a*, coliformes termotolerantes e, pontualmente, alguns HPAs, sendo os três últimos parâmetros (clorofila-*a*, coliformes termotolerantes e HPAs) se mantiveram conformes nas três amostragens mais recentes.

A análise dos sedimentos demonstrou ausência de contaminação por agrotóxicos e demais compostos orgânicos. Os metais dos sedimentos foram quantificados em concentrações compatíveis com os padrões estabelecidos pelo CCME (2001), na maioria da malha amostral, com exceção apenas do açude do riacho Caramutim (cromo e níquel), do açude do riacho da Gangorra (cromo) e do açude Edson Queiroz, onde foram registradas não conformidades para cobre, cromo e níquel.

Em síntese, os açudes amostrados apresentam indícios de introdução de matéria orgânica e de nutrientes, que podem acarretar processo de eutrofização do ambiente aquático, assim como algumas interferências relacionadas ao aporte de sólidos da matriz geológica regional.

11.1.10 Usos das Águas Superficiais e/ou Subterrâneas

11.1.10.1 Considerações Metodológicas

A caracterização dos usos da água foi realizada através de pesquisa em dados secundários, tendo como foco principal os disponibilizados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – Cogerh (2022 e 2023), dentre outras fontes de consulta pertinentes ao tema.

Complementarmente, foram feitos levantamentos primários na área de estudo juntamente com as campanhas de qualidade da água e de sedimentos, realizadas em novembro/2020, fevereiro/2021 e abril/2023. Além disso, foi realizada vistoria de campo pelo empreendedor em abril/2023, e levantamentos para o diagnóstico de socioeconomia

em julho/2023, quando foram observados os principais usos existentes nas áreas de influência do projeto.

11.1.10.2 Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII)

Conforme citado, a AII do PSQ se insere na sub-bacia do rio Groaíras, um dos principais afluentes da margem direita do rio Acaraú (Figura 11.1-242). Segundo o Diagnóstico da Região Hidrográfica do Acaraú (COGERH, 2023), os principais usos das águas outorgados nesta região são voltados à irrigação, ao abastecimento humano e à indústria (Figura 11.1-243).

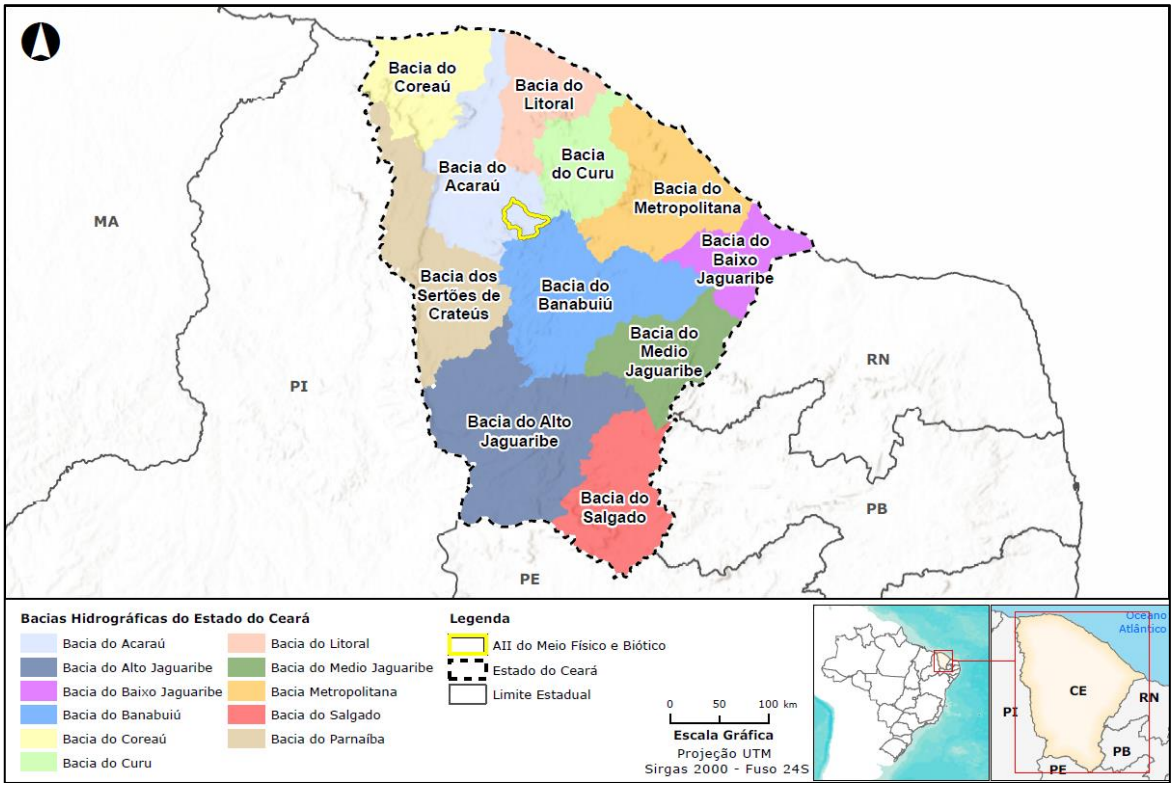


Figura 11.1-242: AII em relação as Bacias do Estado do Ceará

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Adaptado de: SRH, 2021.

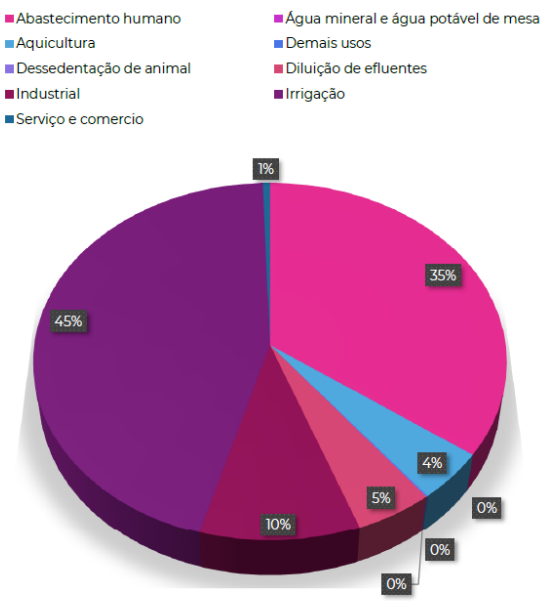


Figura 11.1-243: Principais usos das águas outorgados na RH do Acaraú.
Fonte: COGERH, 2023.

Segundo o relatório de diagnóstico da região hidrográfica do Acaraú, (fevereiro de 2022) a vazão total outorgada nesta região equivale a um total de 3.138,63 L/s, sendo que para o principal uso consuntivo outorgado (irrigação) a vazão reservada equivale a 1.414,12 L/s e para o abastecimento humano a vazão totaliza 1.095,95 L/s. Dentre os usos não consuntivos destaca-se a diluição dos lançamentos de efluentes (Figura 11.1-244).

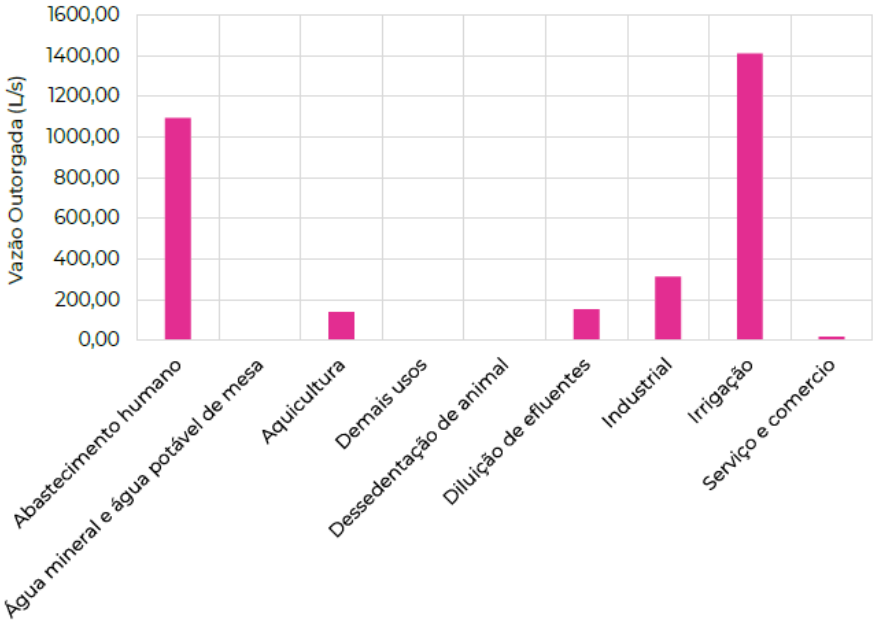


Figura 11.1-244: Vazão outorgada por tipo de uso válida em 2021 na RH do Acaraú.
Fonte: COGERH, 2022.

Essa bacia apresenta uma capacidade de acumulação de águas superficiais de 1.718,94 m^3 (SRH, 2022), em açudes públicos gerenciados pela COGERH. Esses açudes se situam fora da AII, destacando-se em termos de capacidade de acumulação os açudes Araras (Paulo Sarasate), Jaibaras (Ayres de Souza), Taquara e o Edson Queiroz. O conjunto de açudes mencionados apresenta capacidade de armazenamento hídrico de 1.530,33 hm^3.

No contexto do levantamento de demandas por açude na bacia do rio Acaraú, fora dos limites da AII, destaca-se que o reservatório Araras, por si só, é responsável por 43,8% (SRH 2022) das demandas hídricas identificadas para captação de água, sendo também notórios os açudes Edson Queiroz e Ayres de Souza, que juntos contribuem com o abastecimento de 33,2% (SRH 2022) das demandas consuntivas calculadas. Verifica-se um predomínio de usos prioritários na composição das demandas dos açudes da bacia, com destaque para o abastecimento urbano no reservatório Ayres de Souza e para as demandas difusas no reservatório Taquara (10,4% - SRH 2022).

Segundo o SRH (2022) a distribuição de águas para o uso industrial está focada principalmente na captação por açudes particulares não monitorados, rios e águas subterrâneas, conforme Quadro 11.1.10-1, onde consta que este tipo de uso corresponde a vazão de 314,44 m^3/s, equivalente a 10,01% do total da bacia do Acaraú.

Quadro 11.1.10-1: Quadro resumo das fontes de captação de água e usos.

MANANCIAL	ABASTECIMENTO HUMANO	ÁGUA MINERAL E ÁGUA POTÁVEL DE MESA	AQUICULTURA	DEMAIS USOS	DESSENDENTAÇÃO DE ANIMAL	DILUIÇÃO DE EFLUENTES	INDUSTRIAL	IRRIGAÇÃO	SERVIÇO E COMERCIO	TOTAL
	L/s									
Açude Acaraú Mirim	49,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,28	0,00	49,49
Açude Araras	24,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,44
Açude Aires de Sousa	20,34	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,08	0,00	0,00	20,46
Açude Canafístula	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,79	0,00	0,80
Açude Carmina	12,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,27
Açude Jenipapo	38,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,70
Açude Forquilha	40,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,81
Açude Martinópole	26,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,38
Açude Sobral	14,38	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,51	0,00	0,00	14,95
Açude Santo Antônio de Aracatiaçu	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91
Açude Taquara	21,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,00
Açudes não monitorados	11,21	0,00	7,61	0,00	0,22	0,00	263,91	1214,75	4,78	1503,97

MANANCIAL	ABASTECIMENTO HUMANO	ÁGUA MINERAL E ÁGUA POTÁVEL DE MESA	AQUICULTURA	DEMAIS USOS	DESSENDENTAÇÃO DE ANIMAL	DILUIÇÃO DE EFLUENTES	INDUSTRIAL	IRRIGAÇÃO	SERVIÇO E COMERCIO	TOTAL
	L/s									
Água Subterrânea	282,99	0,46	6,44	1,36	0,44	0,00	21,70	55,19	10,86	379,82
Lago ou lagoa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,12	0,00	0,00	0,12
Rio ou riacho	552,61	0,00	126,42	0,28	0,82	152,50	28,05	143,12	1,83	1006,64
Total	**1095,95**	**0,46**	**140,47**	**1,64**	**1,57**	**152,50**	**314,44**	**1414,12**	**17,47**	**3141,75**
Total (%)	**34,88%**	**0,01%**	**4,47%**	**0,05%**	**0,05%**	**4,85%**	**10,01%**	**45,01%**	**0,56%**	**100,00%**

Fonte: COGERH, 2022.

Especificamente para o açude Edson Queiroz, esse mesmo levantamento verificou que o principal uso de suas águas (44%) se refere ao abastecimento humano urbano dos municípios Groaíras, Santa Quitéria e Sobral; seguido da irrigação (33%) e do abastecimento rural (11%) e, em proporções menores, estão a dessedentação animal e a indústria, com 9% e 3% das demandas, respectivamente.

Dados apresentados no Quadro 11.1.10-2 sintetizam as principais características do açude Edson Queiroz.

Quadro 11.1.10-2: Principais características do açude Edson Queiroz.

Açude Edson Queiroz	
Localização	Município de Santa Quitéria
Bacia Hidrográfica	Acaraú
Rio/Riacho Barrado	Groaíras
Área de contribuição	1.779,22 km^2
Capacidade	254.000.000 m^3
Vazão Regularizada (Q90)	2.440 L/s

Fonte: COGERH, 2023.

Em 22/06/2021, foi realizada a reunião ordinária do Comitê da Bacia do Acaraú, quando foram apresentados os dados relativos aos açudes que são operados nessa bacia hidrográfica, incluindo os do açude Edson Queiroz. A equipe técnica da COGERH apresentou informações sobre a situação hídrica dos açudes como subsídio para a gestão da água, priorizando o abastecimento humano, a dessedentação animal e os seus múltiplos usos nos municípios da bacia. Na Figura 11.1-245 é apresentado o histórico recente do volume acumulado e da vazão alocada para usos múltiplos do açude Edson Queiroz.

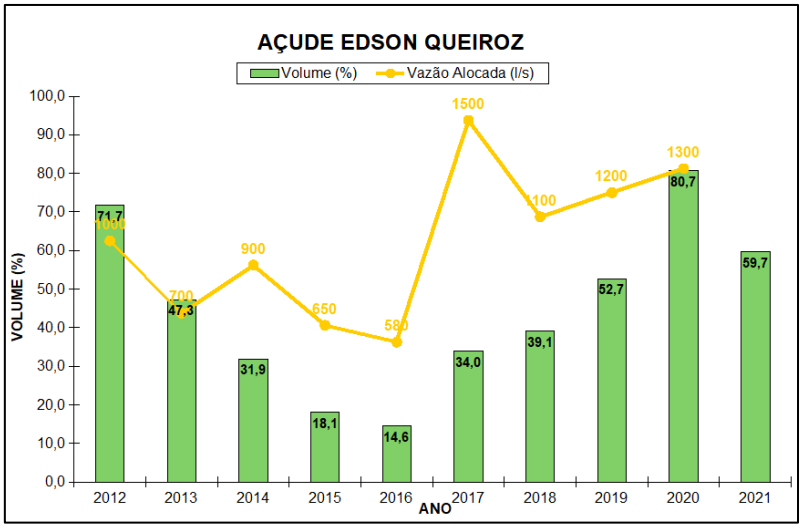


Figura 11.1-245: Evolução do volume armazenado e vazão alocada no Açude Edson Queiroz - 2012 a 2021.

Fonte: COGERH, 2021

Dados apresentados na Nota Técnica nº 001/2021, elaborada pela Secretaria de Recursos Hídricos -SRH do Ceará (Volume V – Anexo 11.1.8-2) apontam que, a partir dos meses de junho até dezembro, a pluviometria na bacia do rio Acaraú não é tão expressiva a ponto de possibilitar recarga aos reservatórios monitorados. Essa característica da região semiárida do Nordeste acarreta grande variabilidade nos volumes aportados aos mananciais de abastecimento público. No Ceará, os volumes distribuídos são alocados anualmente, de maneira, descentralizada e participativa por meio dos Comitês de Bacias nos processos denominados:

- Operação Emergencial (1º Semestre): no primeiro semestre do ano, durante a estação chuvosa, os reservatórios são operados de forma a garantir o atendimento dos usos múltiplos, sobretudo na estiagem.

- Alocação Negociada de Água (2º Semestre): com o fim da estação chuvosa, os volumes são alocados pelos comitês.

No documento citado, são detalhadas as ações previstas na bacia tendo em vista aumentar a oferta hídrica. Este documento conclui sobre a possibilidade de atender à demanda de água do PSQ, levando em conta a vazão regularizada do açude Edson Queiroz (2.440 L/s) e sua demanda projetada para atender às demandas de abastecimento humano, irrigação, indústria e usos difusos (811,5 L/s).

Cabe ressaltar que, conforme apresentado no Volume I, no item referente à Caracterização do Empreendimento, a SRH emitiu a Outorga de Uso de Recursos Hídricos nº 100712/2022 para o açude Edson Queiroz, em 30/05/2022, com validade até 30/5/2032,

para atendimento às demandas da etapa de operação do Projeto Santa Quitéria (vazão outorgada: 263,89 L/s).

Nos municípios nos quais se insere a AII, foi realizada uma pesquisa das outorgas vigentes concedidas pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH,2023) para os usos superficiais neste curso d'água, o que resultou no registro de 67 outorgas (10 para açudes e 31 para rios e riachos), a maioria das quais é destinada à irrigação (30), que representa o principal uso, seguido do abastecimento público (16) destinado ao município de Santa Quitéria, reproduzindo usos similares aos verificados no contexto mais amplo da bacia do Acaraú (Quadro 11.1.10-3 e Figura 11.1-246).

Quadro 11.1.10-3: Outorgas em vigência dentro dos municípios da AII.

REQUERENTE	MUNICIPIO	TIPO MANANCIAL	TIPO USO	N° OUTORGA	VOLUME OUTORGADO (m³)	
ASSOCIAÇÃO DE SANGRADOURO	SANTA QUITERIA	AÇUDE	ABASTECIMENTO HUMANO	104559/2023	5026,05	0,0190%
ASSOCIAÇÃO RAIMUNDO LORENÇO RIBEIRO SALES	CATUNDA	POÇO	ABASTECIMENTO HUMANO	102311/2022	15012,45	0,0567%
CAGECE - COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ	CATUNDA	POÇO	ABASTECIMENTO HUMANO	103192/2022	418180,50	1,5801%
ASSOCIACAO COMUNITARIA SAO RAIMUNDO DE OLHO DAGUA DOS BOIS - CATUNDA -CE	CATUNDA	POÇO	ABASTECIMENTO HUMANO	99961/2022	18213,50	0,0688%
ASSOCIACAO COMUNITARIA FRANCISCO GOMES MARTINS	CATUNDA	POÇO	ABASTECIMENTO HUMANO	99962/2022	23031,50	0,0870%
ASSOC. DOS MORADORES DE TRAPIÁ	SANTA QUITERIA	POÇO	ABASTECIMENTO HUMANO	105347/2023	9230,85	0,0349%
CAGECE - COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ	SANTA QUITERIA	POÇO	ABASTECIMENTO HUMANO	105268/2023	120833,25	0,4566%
ASSOCIACAO COMUNITARIA SACO DO BELEM	SANTA QUITERIA	POÇO	ABASTECIMENTO HUMANO	107529/2023	5058,90	0,0191%
ASSOC. COM. FRANCISCA JOVELINA BRAGA	SANTA QUITERIA	POÇO	ABASTECIMENTO HUMANO	109058/2023	2496,60	0,0094%
CAGECE - COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ	SANTA QUITERIA	POÇO	ABASTECIMENTO HUMANO	105269/2023	205367,25	0,7760%
ASSOCIAÇÃO DOS PEQUENOS AGRICULTORES DO ASSENTAMENTO GROAIRAS	SANTA QUITERIA	RIO	ABASTECIMENTO HUMANO	106602/2023	2693,70	0,0102%
ASSOCIAÇÃO DOS AGRICULTORES E CRIADORES DA FAZENDA SANTA CRUZ DE SANTA QUITERIA	SANTA QUITERIA	RIO	ABASTECIMENTO HUMANO	00537/20	24703,20	0,0933%
PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA QUITÉRIA	SANTA QUITERIA	RIO	ABASTECIMENTO HUMANO	295/2016	30309,60	0,1145%
PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA QUITÉRIA	SANTA QUITERIA	RIO	ABASTECIMENTO HUMANO	294/2016	8190,60	0,0309%
ASSOCIAÇÃO DOS AGRICULTORES E CRIADORES DA FAZENDA SANTA CRUZ DE SANTA QUITERIA	SANTA QUITERIA	RIO	ABASTECIMENTO HUMANO	00547/20	25331,00	0,0957%
ASSOCIAÇÃO DOS AGRICULTORES E CRIADORES DA FAZENDA SANTA CRUZ DE SANTA QUITERIA	SANTA QUITERIA	RIO	ABASTECIMENTO HUMANO	103702/2022	4927,50	0,0186%
FRANCISCO NILSON RODRIGUES VASCONCELOS	SANTA QUITERIA	RIO	AQUICULTURA	104762/2023	39060,00	0,1476%
ANTÔNIO CLARO DE SOUZA	SANTA QUITERIA	RIO	AQUICULTURA	01372/19	37683,53	0,1424%
ROGERIO RODRIGUES DE SOUSA MERCEARIA-ME	SANTA QUITERIA	POÇO	DEMAIS USOS	100239/2022	14600,00	0,0552%

REQUERENTE	MUNICIPIO	TIPO MANANCIAL	TIPO USO	N° OUTORGA	VOLUME OUTORGADO (m³)	
CONSORCIO SANEAR CUMBUCO CETC	CATUNDA	RIACHO	DEMAIS USOS	102028/2022	10950,00	0,0414%
ANTONIO EDVANDO RODRIGUES AGUIAR	SANTA QUITERIA	RIO	DEMAIS USOS	101300/2022	365,00	0,0014%
ANTONIA DE MARIA RIBEIRO DE SOUSA	CATUNDA	AÇUDE	DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAL	104314/2023	235,06	0,0009%
FRANCISCO ROBERTO ROCHA FREIRE	SANTA QUITERIA	AÇUDE	DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAL	105735/2023	1305,97	0,0049%
JOSE BARBOSA BARROS	CATUNDA	POÇO	DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAL	104252/2023	638,75	0,0024%
DANIEL GUERRA ALVES	SANTA QUITERIA	POÇO	DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAL	106339/2023	1095,00	0,0041%
DANIEL GUERRA ALVES	SANTA QUITERIA	POÇO	DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAL	106341/2023	1095,00	0,0041%
DANIEL GUERRA ALVES	SANTA QUITERIA	POÇO	DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAL	106338/2023	1095,00	0,0041%
DANIEL GUERRA ALVES	SANTA QUITERIA	POÇO	DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAL	106340/2023	1095,00	0,0041%
GRANISTONE AMAZON MINERACAO LTDA	SANTA QUITERIA	AÇUDE	INDUSTRIAL	103821/2022	730,00	0,0028%
INDUSTRIA NUCLEARES DO BRASIL S.A.INB	SANTA QUITERIA	AÇUDE	INDUSTRIAL	100712/2022	8322000,00	31,4442%
INDUSTRIA NUCLEARES DO BRASIL S.A.INB	SANTA QUITERIA	AÇUDE	INDUSTRIAL	104218/2023	402500,10	1,5208%
FRANCISCA DE JESUS MACIEL VASCONCELOS - ME	SANTA QUITERIA	POÇO	INDUSTRIAL	105210/2023	1971,00	0,0074%
ANIBAL MATERIAIS DE CONSTRUCAO LTDA MICROEMPRESA	SANTA QUITERIA	POÇO	INDUSTRIAL	107681/2023	3817,90	0,0144%
DEMOCRATA CALCADOS E ARTEFATOS DE COURO LTDA	SANTA QUITERIA	POÇO	INDUSTRIAL	104206/2023	365,00	0,0014%
DIST DE IRRIG DO PER IRRIGADO ARARAS NORTE	SANTA QUITERIA	AÇUDE	IRRIGAÇÃO	103171/2022	16320981,70	61,6679%
JOSE DE SOUZA MELO	SANTA QUITERIA	AÇUDE	IRRIGAÇÃO	104539/2023	7347,19	0,0278%
ANTONIO REGIS DE SOUZA FERREIRA	SANTA QUITERIA	AÇUDE	IRRIGAÇÃO	104312/2023	3536,24	0,0134%
ANTONIO REGIS DE SOUZA FERREIRA	SANTA QUITERIA	AÇUDE	IRRIGAÇÃO	104688/2023	2357,50	0,0089%
JOSE BARBOSA BARROS	CATUNDA	POÇO	IRRIGAÇÃO	104255/2023	7964,44	0,0301%
JOAO ANIBAL OLIVEIRA MAGALHAES	SANTA QUITERIA	POÇO	IRRIGAÇÃO	107671/2023	5618,30	0,0212%
VALDEMIR MESQUITA DE SOUSA	SANTA QUITERIA	POÇO	IRRIGAÇÃO	99821/2022	26792,37	0,1012%
ASSOCIAÇÃO COMUNITÁRIA DO ASSENTAMENTO ROSELI NUNES	SANTA QUITERIA	POÇO	IRRIGAÇÃO	99819/2022	16312,91	0,0616%
ASSOCIAÇÃO COMUNITÁRIA JOSE RIBEIRO DE SOUSA DO ASSENTAMENTO JUÁ MATA FRESCA	SANTA QUITERIA	POÇO	IRRIGAÇÃO	99840/2022	14273,79	0,0539%
ISOELSON ALBUQUERQUE CORREIA	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	104315/2023	13844,93	0,0523%
ANTONIO SERGIO GOMES UCHOA	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	104536/2023	11688,78	0,0442%
FRANCISCO ELDO BEZERRA MONTE	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	00046/21	23937,44	0,0904%
ANTONIO NILDO BELARMINO RODRIGUES	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	104449/2023	31821,08	0,1202%
LUIZ FILHO ARAGÃO	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	106619/2023	13522,77	0,0511%
ROGÉRIO RODRIGUES DE SOUSA	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	00586/21	28038,30	0,1059%
RAIMUNDO VASCONCELOS DE LIMA	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	01077/21	3264,20	0,0123%
IVONE GOMES OLIVEIRA	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	102532/2022	4766,62	0,0180%
FRANCISCO ERISMAR MARTINS DE OLIVEIRA	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	00806/20	11968,72	0,0452%
MARDONIO GONZAGA DE MESQUITA	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	104310/2023	11178,08	0,0422%
PEDRO PAULO DE CASTRO	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	104330/2023	11178,08	0,0422%
JOELINA ALVES RODRIGUES	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	109244/2023	25543,01	0,0965%

REQUERENTE	MUNICIPIO	TIPO MANANCIAL	TIPO USO	N° OUTORGA	VOLUME OUTORGADO (m³)	
ISMAEL MARTINS DE NASCIMENTO	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	01470/21	5440,33	0,0206%
FRANCISCO DAS CHAGAS DOS SANTOS CORREIA	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	104328/2023	19557,68	0,0739%
JOSE MARIA RODRIGUES	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	109373/2023	2565,51	0,0097%
FRANCISCO DAS CHAGAS DOS SANTOS CORREIA	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	01067/21	14829,72	0,0560%
ANTONIO NETO XIMENES	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	104316/2023	16885,04	0,0638%
FRANCISCO JOSE FERREIRA DUARTE	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	105629/2023	13744,31	0,0519%
DIMAR SANTIAGO MESQUITA	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	104693/2023	5844,39	0,0221%
ANTONIO EDILSON VASCONCELOS DUARTE	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	104329/2023	17273,73	0,0653%
ANTONIO RAIMUNDO FEIJAO	SANTA QUITERIA	RIO	IRRIGAÇÃO	104710/2023	12073,25	0,0456%
SUPERMERCADO DIONISIO LTDA	SANTA QUITERIA	POÇO	SERVIÇO E COMERCIO	109566/2023	365,00	0,0014%
JOSE HAROLDO CAETANO ME	SANTA QUITERIA	POÇO	SERVIÇO E COMERCIO	107668/2023	730,00	0,0028%
RAIMUNDO NONATO BRAGA MUNIZ	SANTA QUITERIA	POÇO	SERVIÇO E COMERCIO	108297/2023	1460,00	0,0055%

Fonte: Cogerh, 2023.

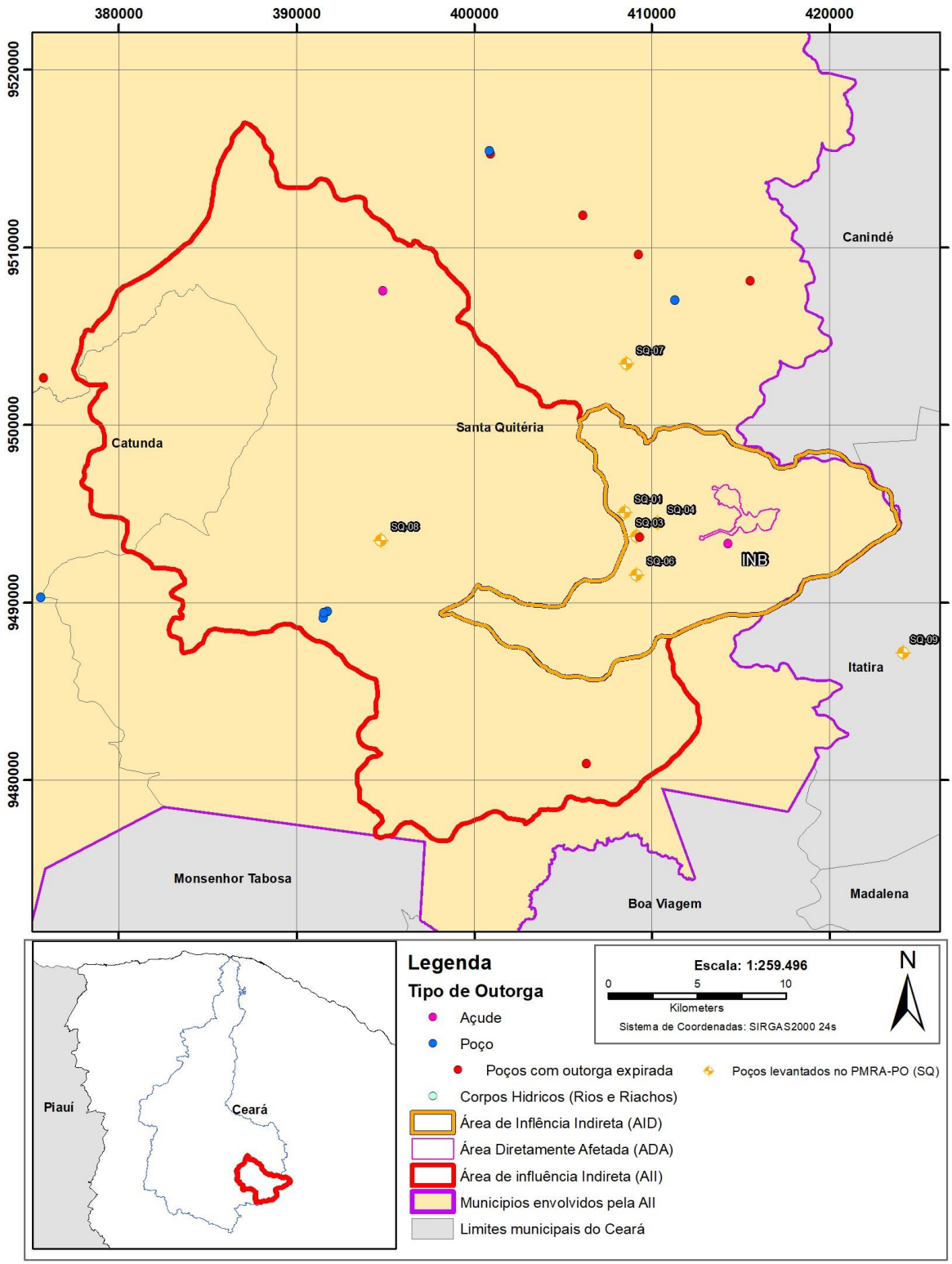


Figura 11.1-246: Outorgas em vigência dentro dos municípios da AII.

Fonte: COGERH (Acesso em 14-11-2023).

Tendo como foco o rio Groaíras, principal curso d'água na AII do PSQ, a pesquisa das outorgas vigentes concedidas pela COGERH (2023) para os usos superficiais mostrou 19 outorgas, a maioria destinada à irrigação, que representa o principal uso, seguido do abastecimento público destinado ao município de Santa Quitéria, reproduzindo usos similares aos verificados no contexto mais amplo da bacia do Acaraú (Figura 11.1-247).

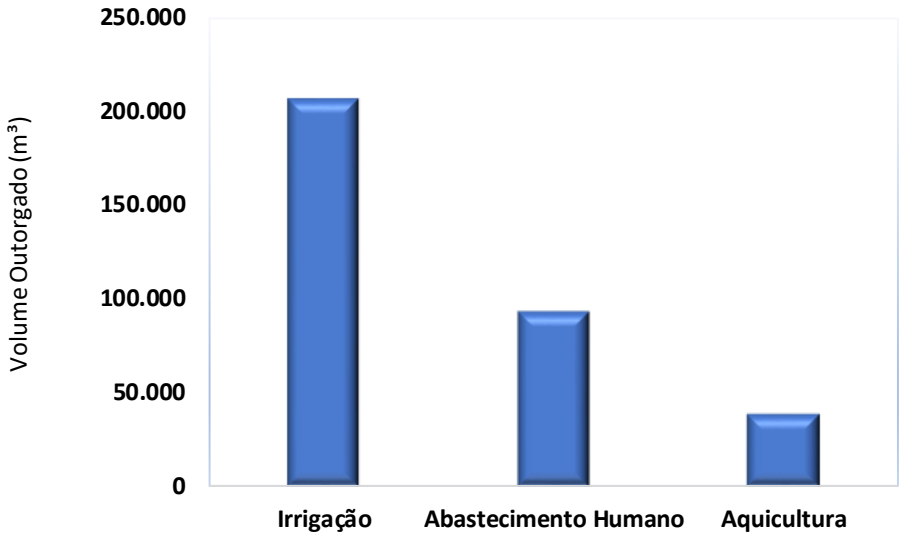


Figura 11.1-247: Outorgas vigentes no rio Groaíras por tipologia e vazão outorgada.
Fonte: Elaborado com base em Cogerh (2023).

Cabe indicar que no rio Groaíras, na área de abrangência da AII, não foram detectados usos das águas superficiais outorgados, estando todas as outorgas a jusante desta área. Contudo, vale indicar que na AII constam duas outorgas vigentes em açudes destinadas ao uso industrial, conforme detalhado no Quadro 11.1.10-4.

Quadro 11.1.10-4: Usos das águas superficiais considerando as outorgas vigentes na AII com base na Cogerh (2023)

REQUERENTE	MANANCIAL	TIPO USO	N° PORTARIA	N° OUTORGA	N° PROCESSO	VIGÊNCIA	COORD. (SIRGAS 2000/M)	VOLUME OUTORGADO (m³)
Granistone Amazon Mineração	Açude Caraúba	Industrial	3371/2022/OUT/SRH/CE	103821/2022	11690992/2022	13/12/2022-13/12/2032	394.882 / 9.507.536	730
Indústria Nucleares do Brasil - INB (1)	Açude do Riacho Caramutim	Industrial	3771/2023/OUT/SRH/CE	104218/2023	00441122/2023	13/01/2023-13/01/2033	414.312 / 9.493.313	402.500,10

Fonte: Elaborado com base em Cogerh (2023). Nota: 1 = outorga na AII e AID.

Durante as inspeções realizadas para as campanhas de qualidade da água e dos sedimentos (novembro/2020 a abril de 2023) e, posteriormente, os levantamentos conduzidos por meio de entrevistas em pontos estratégicos do município de Santa Quitéria,

na AII, detalhados no diagnóstico da socioeconomia (item 11.3 – Volume IIB), evidenciam que os usos das águas superficiais na AII estão restritos aos açudes, os quais são destinados principalmente aos múltiplos usos rurais difusos (doméstico, dessedentação animal, recreação, aquicultura e irrigação).

Adicionalmente em abril/2023, foi realizada pelo empreendedor a prospecção de 12 açudes (atualmente todos sem outorgas) os quais estão distribuídos, em sua maioria, dentro da área de influência indireta do meio físico, conforme apresentado no Quadro 11.1.10-5 e ilustrado na sequência no Mapa 11.1-24, no qual constam ainda os pontos outorgados vigentes.

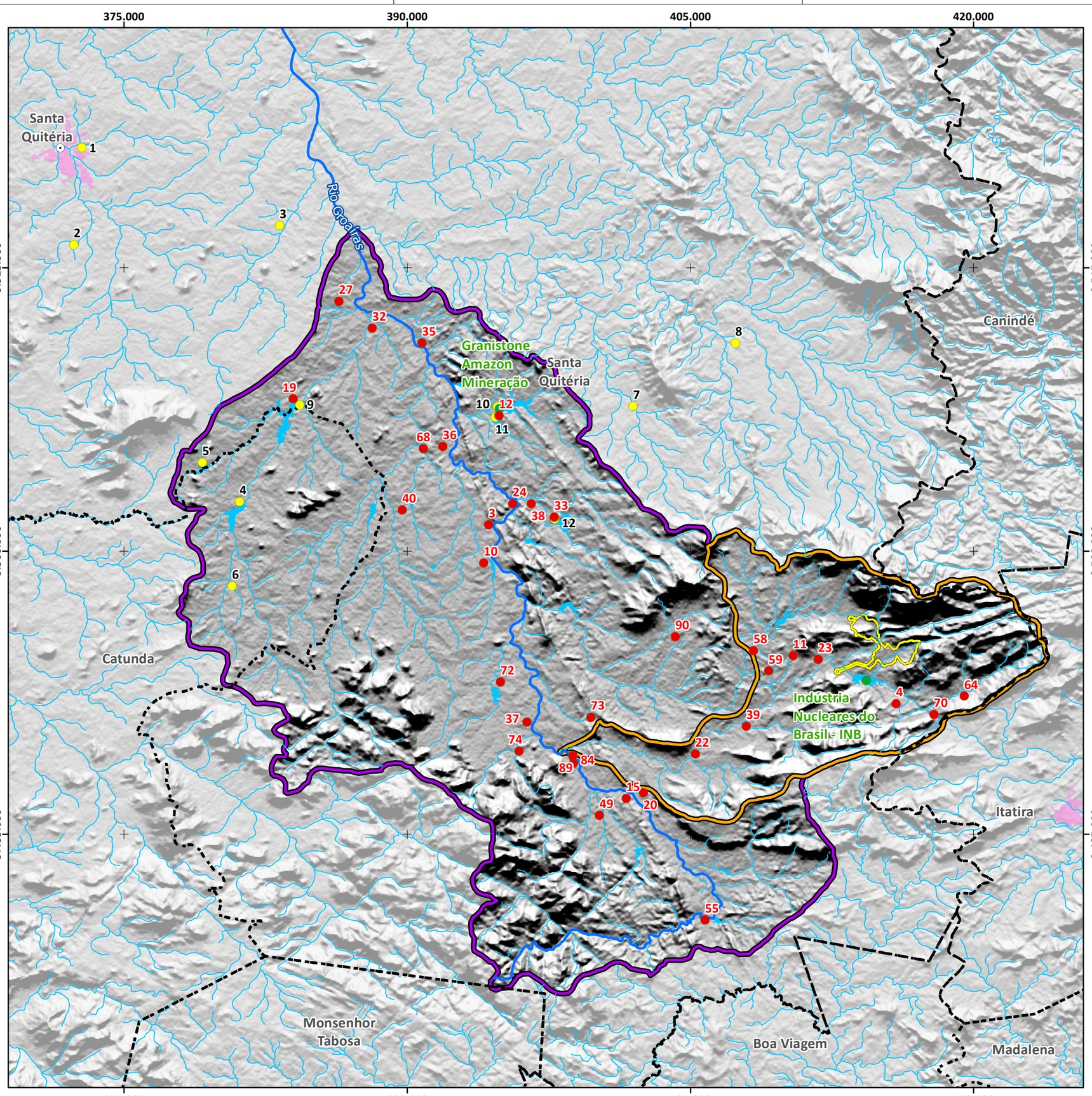
A maioria dos referidos açudes é de uso privado e, segundo levantamentos realizados em julho de 2023 para o diagnóstico de socioeconomia, são destinados às atividades rurais das fazendas no entorno. Dentre os açudes mapeados, o açude Caraúbas 1, formado pelo riacho do Desterro, afluente da margem direita do rio Groaíras, representa o manancial com maior volume de água.

Quadro 11.1.10-5: Açudes prospectados.

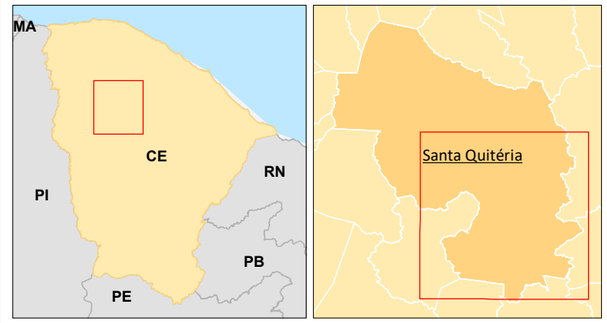
Identificação no mapa	Nome	Domínio do Açude	Curso Hídrico Barrado	Ano da Construção	Volume do Barramento (m^3)	Longitude	Latitude
1*	Açude Caio Prado	Privado	Riacho Cascavel	1912	2.215.000	-40,146572	-4,32944
2*	Açude Santa Quitéria Velha	Privado	Riacho Salgado	1927	4.000.000	-40,150457	-4,375908
3*	Açude Não me Deixe	Privado	Riacho Jatobá	2015	1.500.000	-40,05221	-4,36683
4#	Açude Riacho dos Pintos (conhecido localmente como da Laje	Privado	Riacho dos Pintos	1965	400.000	-40,071385	-4,499198
5#	Açude Pé da Serra	Privado	Riacho dos Porcos	2000	Não informado	-40,089147	-4,480253
6#	Açude Aroeiras	Privado	Riacho dos Pintos	1970	5.000.000	-40,07512	-4,539562
7*	Açude da Santa Tereza	Privado	Riacho afluente Margem direita do rio Groaíras	1956	2.000.000	-39,883585	-4,453712

Identificação no mapa	Nome	Domínio do Açude	Curso Hídrico Barrado	Ano da Construção	Volume do Barramento (m^3)	Longitude	Latitude
8*	Açude da Varjota	Público	Riacho do Belém	1980	100.000	-39,834642	-4,423567
9#	Açude Boa Vista dos Mirandas	Privado	Riacho dos Miranda	1980	25.000.000	-40,04278	-4,452759
10#	Açude Caraúbas 1	Privado	Riacho do Desterro	1970	30.000.000	-39,94839	-4,453943
11#	Açude Caraúbas 2	Privado	Riacho do Desterro	1980	1.000.000	-39,949445	-4,458878
12#	Açude Santa Luzia	Privado	Riacho dos Macacos	1980	1.500.000	-39,921147	-4,507835

*Legenda:# situado na All e * fora dos limites da All. Fonte: Galvani (2023).*



Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional

- Sede Municipal

Referência Locacional

- Limite Municipal
- Áreas Urbanizadas/Edificadas

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)
- Área de Influência Indireta (AII)

Hidrografia

- Rio Groaíras
- Cursos d'água
- Massas d'água

Usos das Águas Superficiais e/ou Subterrâneas

- Outorgas vigentes (Uso Industrial)
- Açudes Inspecionados em Abril/2023
- Pontos Inspecionados em Julho/2023

Fonte:
COGERH, 2023. Outorgas de uso superficial.
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:206.327
0 2 4 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Usos das Águas Superficiais e/ou Subterrâneas

Formato	Escala	Folha
A3	1:206.327	Única

Data	Localização
22/11/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Jéssica Costa	Cristina Poggiali Almeida

De acordo com o documentado por Nascimento *et al*. (2008), um dos padrões que sobressai na bacia do rio Acaraú é o escoamento superficial com rios de padrões dendríticos e intermitente sazonal. Tendo em vista que os rios são predominantemente intermitentes, isso impede sua utilização contínua como mananciais de abastecimento público de água, dessedentação de animais, irrigação, insumo para indústrias, entre outros usos. Considerando que nessa região o clima é semiárido, a produtividade hídrica é limitada, o que resulta em escassez ou baixa disponibilidade dos recursos hídricos, restringindo assim os usos principalmente aos açudes.

Deste modo, uma das alternativas para abastecimento de água na região, são as águas subterrâneas, as quais são gerenciadas na região pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Acaraú (www.cbhacarau.com.br) subordinada à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH.

A seguir serão apresentados os dados no contexto geral da Bacia do Acaraú, e na sequência os dados específicos da AII, conforme ilustrado na Figura 11.1-254.

Segundo dados governamentais oficiais disponibilizados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH (2023), (disponível em https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2021/11/DIAGNOSTICO_ACARAU_versaocorrigida.pdf), a análise da distribuição temporal das captações das águas subterrâneas ao longo de 103 anos mostra que o maior interesse pela captação das águas subterrâneas está associado aos longos períodos de estiagem (secas), decaindo com o retorno das chuvas, gerando variação de demanda sazonal de acordo com a disponibilidade hídrica das águas superficiais.

A Figura 11.1-248 apresenta a relação entre o número de captações de águas subterrâneas e o volume dos reservatórios (monitorados) na Bacia do Acaraú. Na Figura 11.1-249, a distribuição com o indicativo dos períodos de seca. Segundo dados da COGERH (2022), o aumento da construção de captações de águas subterrâneas está relacionado à redução do volume dos reservatórios e não apenas com a redução dos índices pluviométricos.

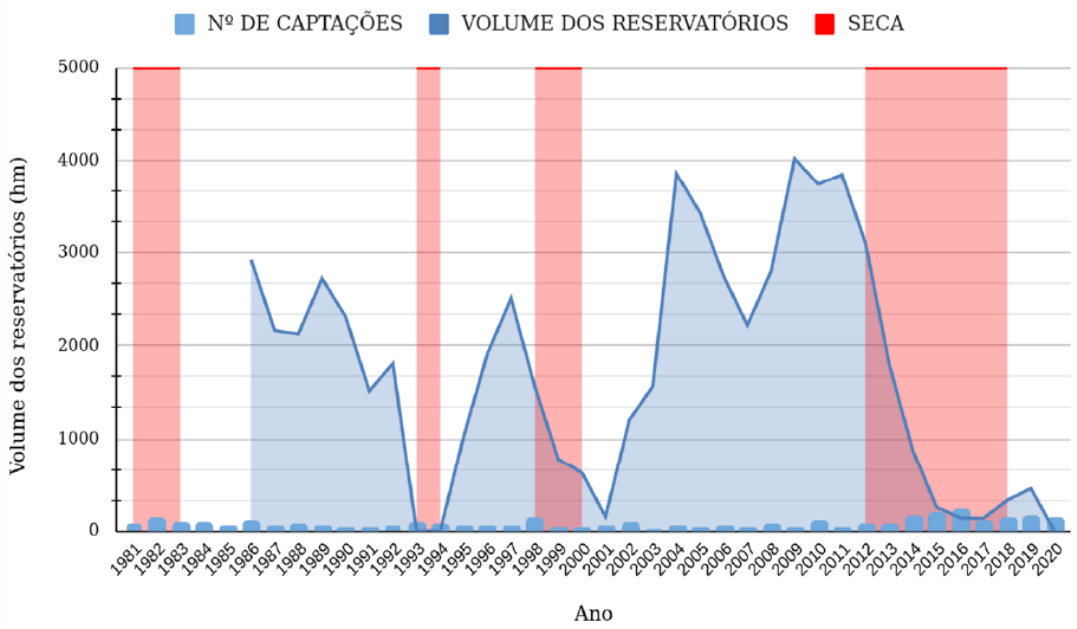


Figura 11.1-248: Distribuição temporal das captações de águas subterrâneas e do volume de reservatórios monitorados da bacia do Acaraú.

Fonte: COGERH, 2022.

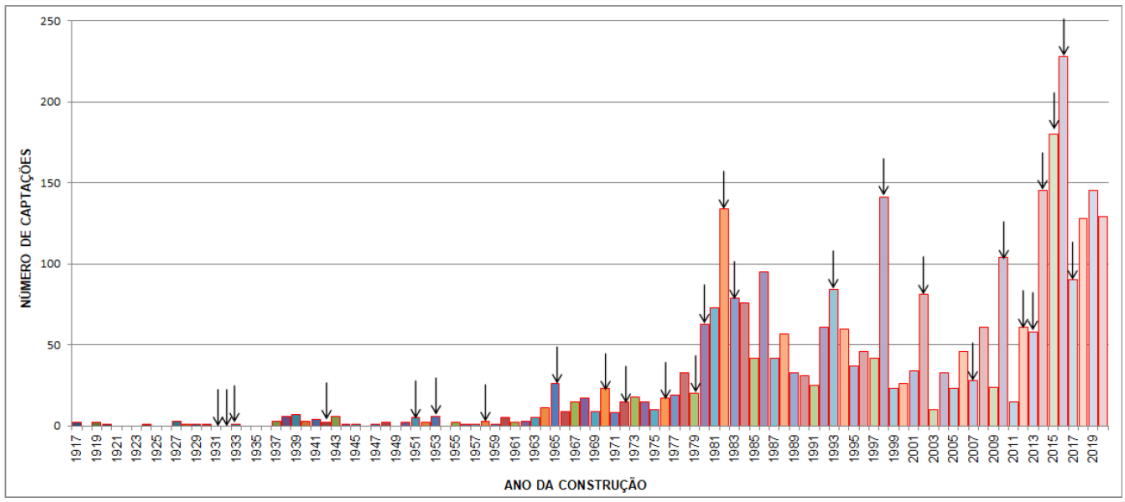


Figura 11.1-249: Distribuição temporal das captações de águas subterrâneas da bacia do Acaraú com indicativo dos anos de seca (setas).

Fonte: COGERH, 2022.

Segundo a COGERH (2022), a quantificação e caracterização das captações de água subterrânea na Bacia do Acaraú, geradas a partir da sistematização dos dados das captações de águas subterrâneas da CPRM (SIAGAS), FUNCEME, SOHIDRA, COGERH e SDA, até 2020, mostram a existência de 4.152 captações d'água em toda Bacia do Acaraú, sendo: 3.965 poços tubulares; 180 poços amazonas e 7 fontes naturais (Figura 11.1-250 e Figura 11.1-251), captando água em rochas sedimentares, carbonáticas, sedimentos aluviais e em rochas

cristalinas. A grande maioria das captações (95,50%) da Bacia do Acaraú é representada por poços tubulares.

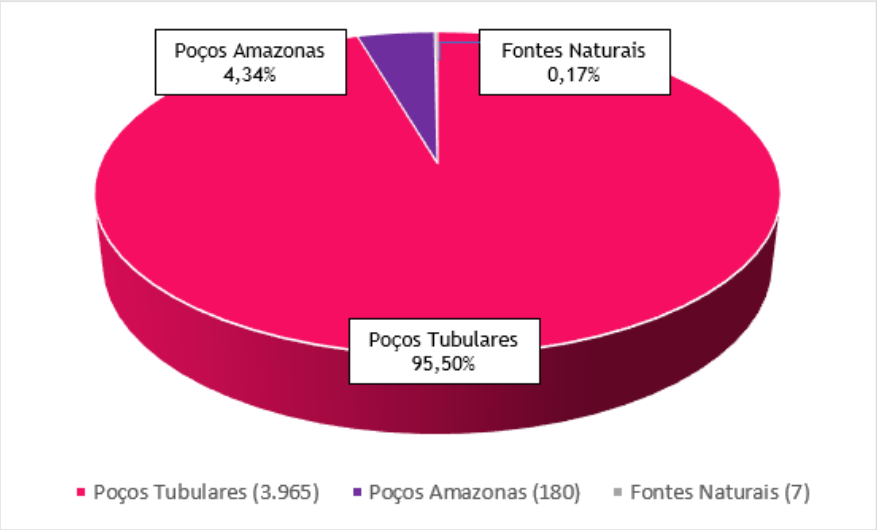


Figura 11.1-250: Tipos de Captação de águas subterrâneas cadastradas na Bacia do Acaraú.
Fonte: COGERH, 2022.

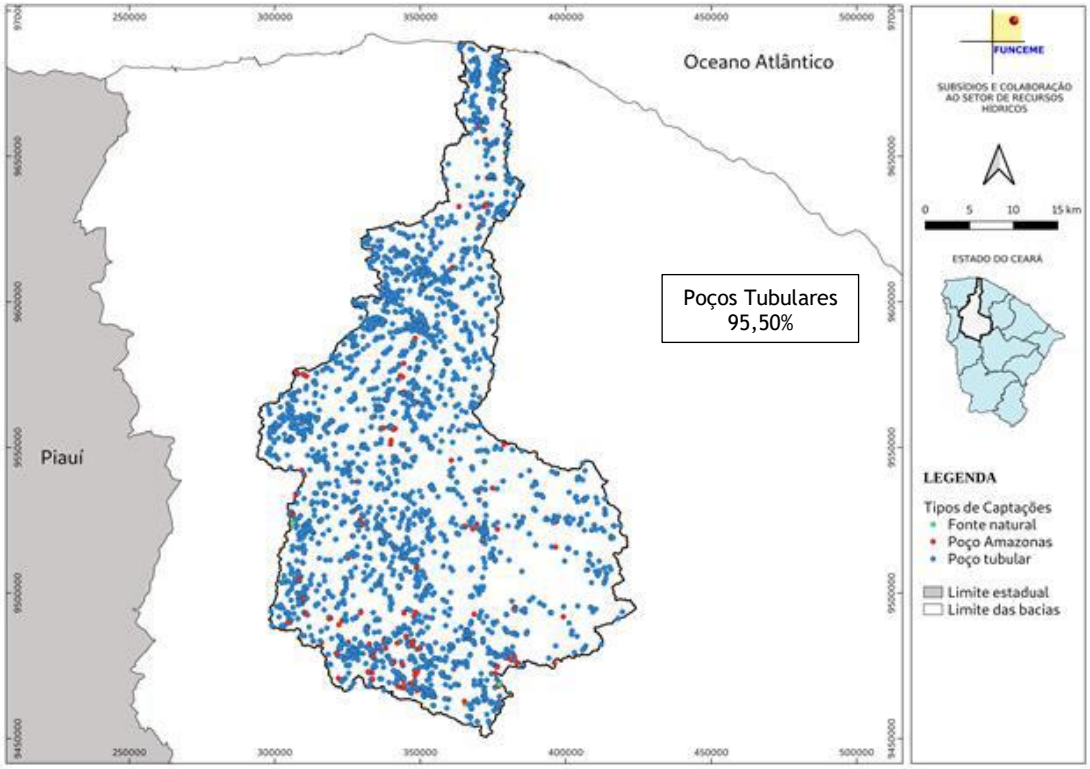


Figura 11.1-251: Distribuição dos tipos de Captação de águas subterrâneas na Bacia do Acaraú.
Fonte: COGERH, 2022.

O município de Santa Quitéria detém 502 das captações de águas subterrâneas e representa o município com maior número de captações da Bacia do Acaraú (12,09%), seguido de Sobral com 421 (10,14%). Apesar de Santa Quitéria deter o maior número de captações subterrâneas na Bacia do Acaraú, é o quinto em relação a densidade das captações por Km², com apenas 0,731. O Quadro 11.1.10-6 apresenta a quantidade de captações por tipo e município e a densidade (número de captações divididas pela área do município).

Quadro 11.1.10-6: Distribuição das captações por tipo e por município.

Município	Poços Tubulares	Poços Amazonas	Fontes Naturais	Total	%	Densidade
Santana do Acaraú	147	9		156	3,76	0,038
Varjota	30	1		31	0,75	0,171
Forquilha	109			109	2,62	0,193
Marco	54	2		56	1,35	0,204
Guaraciaba do Norte	1	2		3		0,215
Catunda	182	3		185	4,45	0,234
Cariré	187	9		196	4,72	0,257
Ipu	146	12	3	161	3,88	0,28
Monsenhor Tabosa	25	12	2	39	0,94	0,281
Hidrolândia	271	2		273	6,57	0,292
Ipueiras	126	13	1	140	3,37	0,306
Reriutaba	114	1		115	2,77	0,306
Mucambo	37	7		44	1,06	0,335
Graça	88	2		90	2,17	0,344
Nova Russas	227	20		247	5,95	0,365
Bela Cruz	74	3		77	1,85	0,371
Pires Ferreira	92	2		94	2,26	0,381
Alcântaras	12			12	0,29	0,443
Groaíras	65	5		70	1,69	0,446
Morrinhos	95	3		98	2,36	0,447
Tamboril	311	38	1	350	8,43	0,464
Sobral	408	13		421	10,14	0,471
Massapê	262			262	6,31	0,485
Santa Quitéria	**483**	**19**		**502**	**12,09**	**0,731**
Acaraú	189			189	4,55	0,779
Meruoca	101	2		103	2,48	0,8

Município	Poços Tubulares	Poços Amazonas	Fontes Naturais	Total	%	Densidade
Pacujá	72			72	1,73	0,808
Cruz	56			56	1,35	1,12
Ararendá	1			1		2,976
Total Geral	**3.966**	**180**	**7**	**4.152**	**100**	

Fonte: COGERH, 2022.

As 4.152 captações de águas subterrâneas estão distribuídas por toda Bacia do Acaraú e captam água dos seguintes aquíferos: porosos (15,78%), aluviais (8,02%), cársticos (0,17%) e fissurais (76,04%), segundo COGERH (2022) e explicado a seguir:

- Os aquíferos fissurais ou fraturados contêm 3.157 captações, são representados por rochas metamórficas do embasamento cristalino, ocupam 94,70% da área da Bacia do Acaraú. A análise dos dados das 3.157 captações construídas nestes aquíferos mostra que em relação à profundidade, 92,21% têm esta informação, sendo a média igual a 69,14 m e 77,98% das captações são de profundidade maior ou igual a 60,00 m. Em relação à vazão, 84,07% têm informação e os valores médios são da ordem de 2,89 m^3/h, vazões superiores 2,00 m^3/h ocorrem em 37,15% dos casos e inferiores a 0,30 m^3/h em 21,59%.

- Os aquíferos porosos (655 captações) estão representados na bacia do Acaraú, principalmente pelos arenitos das Formações Pacujá e Ipu e conglomerados da Formação Massapê, sedimentos arenosos da Formação Barreiras e das Dunas/Paleodunas. Do total destas captações 77,86% possuem informação sobre profundidade, com uma média de 65,81 m e 56,80% têm profundidade menor ou igual 60,00 m. Os dados de vazão existem para 67,18% destas captações, com valores médios de 6,10 m^3/h. Em 60,68% dos casos ocorrem vazões superiores a 2,00 m^3/h e em apenas 9,75% inferiores a 0,30 m^3/h. Cabe destacar que segundo dados levantados, este aquífero não é explorado na AII.

- Os aquíferos cársticos (7 captações) estão representados pelos metacalcários da Formação Frecheirinha do Grupo Ubajara. Com 100,00% de captações com informação de profundidade, com valor médio de 57,31 m, sendo que 28,57% têm profundidade menor ou igual a 60,00 m. Quanto à vazão, tem-se uma média de 7,77 m^3/h para os 100,00% de captações com dados e 85,71% possuem vazões superiores a 2,00 m^3/h e somente 14,29% inferiores a 1,00 m^3/h.

- Os aquíferos aluviais (333 captações) estão representados por depósitos sedimentares arenosos e argilosos recentes ao longo dos rios e riachos da Bacia do Acaraú os quais, mesmo ocupando uma pequena fatia da área da Bacia, representam os seus principais aquíferos tendo uma importância relativamente alta do ponto de vista hidrogeológico e social, principalmente para o abastecimento das populações difusas e até mesmo da irrigação. A profundidade das captações com informação (78,08%) é em média 10,28 m e 62,31% destes têm profundidade inferior a 10,00 m. As captações que possuem dados de vazão representam 54,95%, com valores médios de 16,24 m^3/h e 85,25% possuem vazões acima de 2,00 m^3/h. Cabe destacar que segundo dados levantados, este aquífero não é explorado na AII.

As captações na Bacia do Acaraú, com base nas informações encontradas nos cadastros das captações outorgadas que estão em uso ou passíveis de serem usadas, apresentam as seguintes condições:

- Sem informações: 36,54%;
- Secos: 5,39%;
- Abandonados: 4,89%;
- Em uso ou passíveis de uso: 53,18%.

Quanto ao domínio público ou privado, das 4.152 captações na Bacia do Acaraú, 4.112 (99,04%) apresentam informação, sendo 2.846 (69,21%) públicas e 1.266 (30,79%) privadas e, das captações em uso ou passíveis de uso 2.196 têm essa informação, com 1.272 (57,92%) públicas e 924 (42,08%) privadas (Figura 11.1-252).

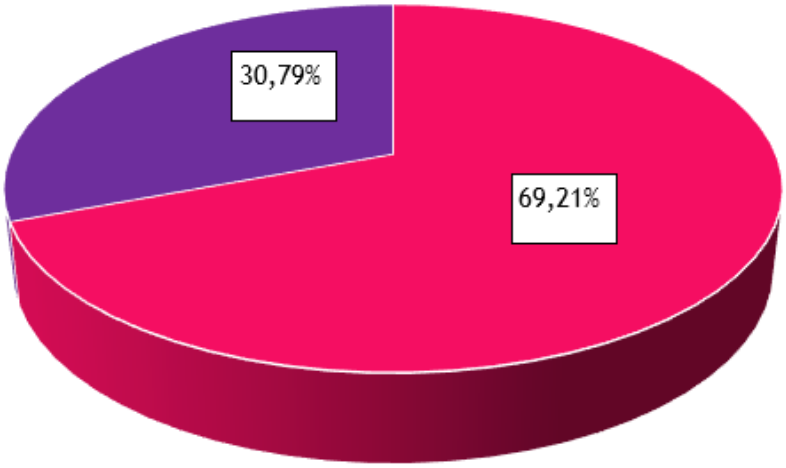


Figura 11.1-252: Domínio das captações de águas subterrâneas na Bacia do Acaraú.
Fonte: COGERH, 2022 e adaptado por BTB Explorers (2023).

Os 2.310 registros dos usos das águas subterrâneas da Bacia do Acaraú foram subdivididos em classes de uso, tomando como base as classes de "Uso da água". As classes de uso aqui adotadas estão apresentadas na Figura 11.1-253, com destaque para os múltiplos usos (56,49%), abastecimento humano (25,93%) e irrigação (6,67%).

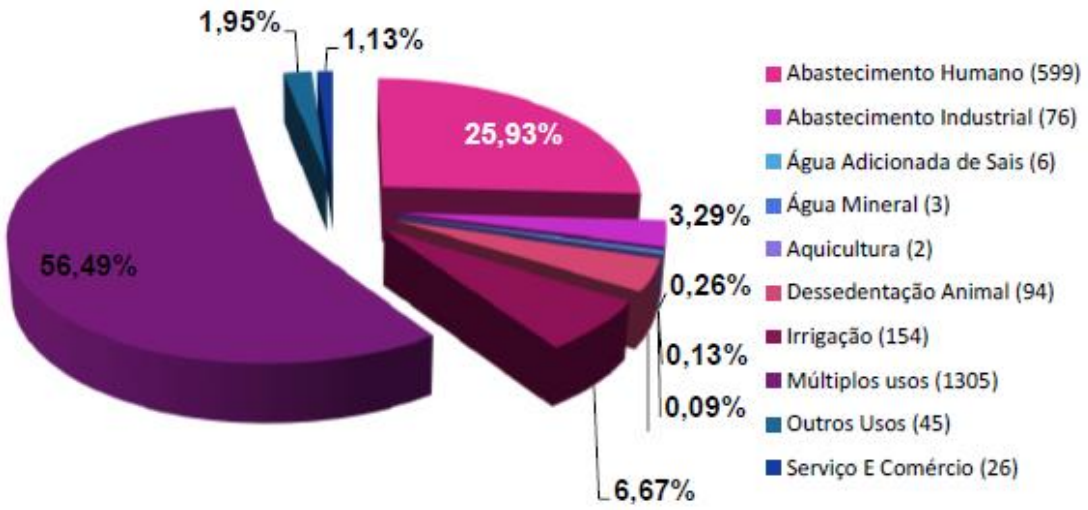


Figura 11.1-253: Classes de uso das águas subterrâneas na Bacia do Acaraú.
Fonte: COGERH, 2022.

Quanto à oferta das águas subterrâneas na Bacia do Acaraú, a disponibilidade efetiva calculada a partir dos dados de vazão das captações em uso ou passíveis de uso é de 32,15 milhões de m^3/ano para bombeamento de 8 horas/dia (Quadro 11.1.10-7).

Quadro 11.1.10-7: Cálculo da Disponibilidade Efetiva Instalada.

AQUÍFERO	Qm (m^3/h)	P	T (h/ano)	De (m^3/ano)
Porosos	7,03	289	2920	5.932.476,40
Cársticos	4,7	4	2920	54.896,00
Aluviais	17,64	255	2920	13.134.744,00
Fissurais	4,09	1091	2920	13.029.594,80
TOTAL				32.151.711,20

Qm = Vazão Média; P = nº de captações com dados de vazão; T = Período de Operação; De= Disponibilidade efetiva.

Fonte: FUNCEME, 2021 in COGERH 2021.

Em relação à AII, os dados obtidos das outorgas para uso das águas subterrâneas disponíveis pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH (https://portal.cogerh.com.br), referem-se a uma única outorga expirada para abastecimento humano, e quatro outorgas concedidas a um mesmo requerente em junho de 2023, e que estão vigentes até junho de 2033, com a finalidade de dessedentação animal. O Quadro 11.1.10-8 apresenta o resumo das outorgas de água subterrânea existentes na AII. A Figura 11.1-254 apresenta a localização dos poços outorgados na AII.

Quadro 11.1.10-8: Relação de outorgas de águas subterrâneas na All.

REQUERENTE	TIPO	SITUAÇÃO	TIPO_USO	N° OUTORGA	N° PROCESSO	VIGÊNCIA	COORD_X	COORD_Y	VOLUME OUTORGADO (m3)
Assoc. Com. Dos Peq. Prod. Rurais do Assentamento A. Tatajuba	POÇO	Outorga Expirada	Abastecimento Humano	334/15	7587158/2014	03/03/2015 a 03/03/2019	406.329	9480.940	13.359
Daniel Guerra Alves	POÇO	Outorga Concedida	Dessedentação Animal	106341/2023	05959596/2023	19/06/2023 a 19/06/2033	391.756	9489.485	1.095
Daniel Guerra Alves	POÇO	Outorga Concedida	Dessedentação Animal	106339/2023	05959545/2023	19/06/2023 a 19/06/2033	391.547	9489.377	1.095
Daniel Guerra Alves	POÇO	Outorga Concedida	Dessedentação Animal	106338/2023	05959502/2023	19/06/2023 a 19/06/2033	391.501	9489.149	1.095
Daniel Guerra Alves	POÇO	Outorga Concedida	Dessedentação Animal	106340/2023	05959588/2023	19/06/2023 a 19/06/2033	391.545	9489.429	1.095

Fonte: COGERH, 2023.

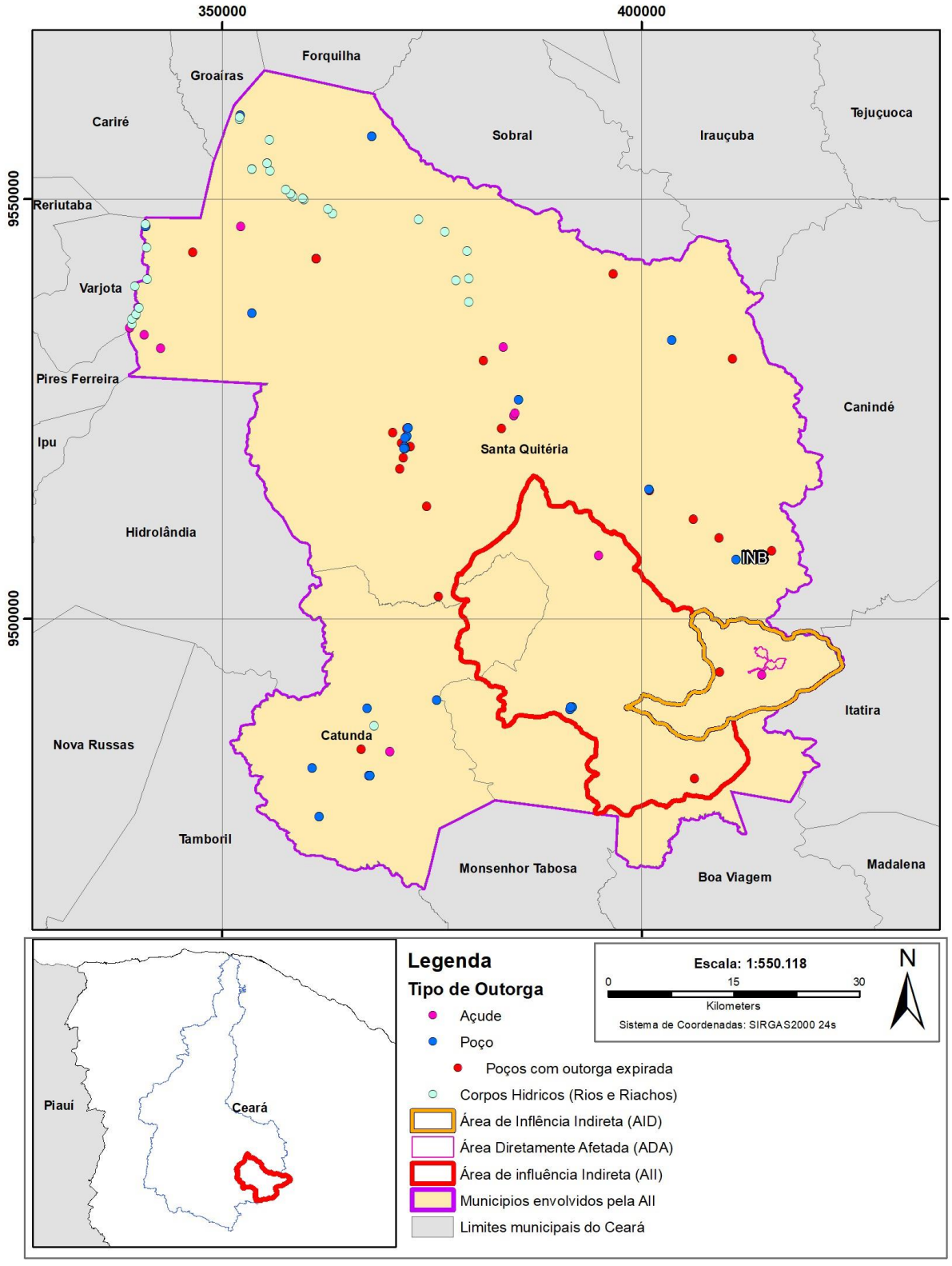


Figura 11.1-254: Localização das outorgas na AII.

Fonte: COGERH, 2023.

11.1.10.3 Caracterização da Área de Influência Direta (AID) e da Área Diretamente Afetada (ADA)

Na AID e ADA, a população é essencialmente rural, sendo assim os usos das águas são dispersos nesta área de abrangência e voltados às demandas rurais difusas, incluindo o doméstico, a dessedentação animal, a recreação, a aquicultura e a irrigação. O núcleo urbano de Santa Quitéria se situa a jusante dos limites das áreas de influência. Considerando que os riachos na AID e ADA são predominantemente intermitentes isso impede sua utilização contínua como mananciais de abastecimento público de água, dessedentação de animais, irrigação, insumo para indústrias, entre outros usos, conforme citado.

Nos assentamentos rurais da AID e ADA (Morrinhos e Queimadas), a população é suprida por cisternas, poços e caminhões pipas.

Morrinhos possui um açude formado a partir do aporte de águas do riacho da Gangorra, o qual estava seco durante a realização das duas primeiras campanhas de amostragem da qualidade das águas (novembro/2020, fevereiro/2021), porém, em abril/2023 foi restabelecido o fluxo d'água nesse açude no período chuvoso. Segundo Ribeiro (2016) neste assentamento há ainda um poço profundo que tem vinculado a ele um projeto de dessalinização, mas encontra dificuldades na instalação junto ao Governo do Estado e, enquanto isso, o abastecimento de água está sendo suprido através de caminhões pipa. As casas em Morrinhos já possuem as cisternas e a comunidade recebeu o projeto de instalação de 11 cisternas de enxurrada com capacidade de 52 mil litros (RIBEIRO, 2016).

Com relação ao abastecimento de água, o assentamento Queimadas possui cisternas e há também dois poços em funcionamento, mas assim como nas demais comunidades rurais da região, o abastecimento de água vem sendo garantido por meio de caminhões pipa que trazem água do açude Edson Queiroz (RIBEIRO, 2016).

No município de Santa Quitéria, fora dos limites da AID e ADA, as irrigações de pequenas lavouras de subsistências se fazem principalmente no final da estação chuvosa, ficando restritas à utilização das várzeas fluviais e das margens dos açudes, onde dominam as culturas de ciclo curto. Assim, é comum a prática das chamadas culturas de vazante, as quais, à medida que o nível das águas vai baixando, vão-se deslocando, progressivamente, do leito maior para o leito menor dos cursos d'água. Através dessa prática, largamente utilizada ao longo do canal principal do rio Acaraú e dos seus afluentes, os agricultores aproveitam as reservas de umidade da subsuperfície (SOBRINHO, 2006 *apud* SALES, 2020).

Segundo dados governamentais oficiais disponibilizados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH (2023), (disponível em https://portal.cogerh.com.br/wp-

content/uploads/2021/11/DIAGNOSTICO_ACARAU_versaocorrigida.pdf), na AID consta uma outorga expirada em 03/03/2019, para uso das águas subterrâneas para abastecimento humano, da requerente Associação Comunitária Nossa Senhora Aparecida, que corresponde ao poço de captação SQ-03 levantado nos estudos do PMRA-PO, o qual ainda identificou a existência de três outros poços de captação que não constam dos registros oficiais. Ocorre ainda na AID o poço da INB que se encontra desativado. Na ADA não constam nos registros oficiais nem em inspeções de campo, a existência de poços de abastecimento, outorgados ou não. A Figura 11.1-255 apresenta a localização dos poços de captação ativos e inativos que constam na AID.

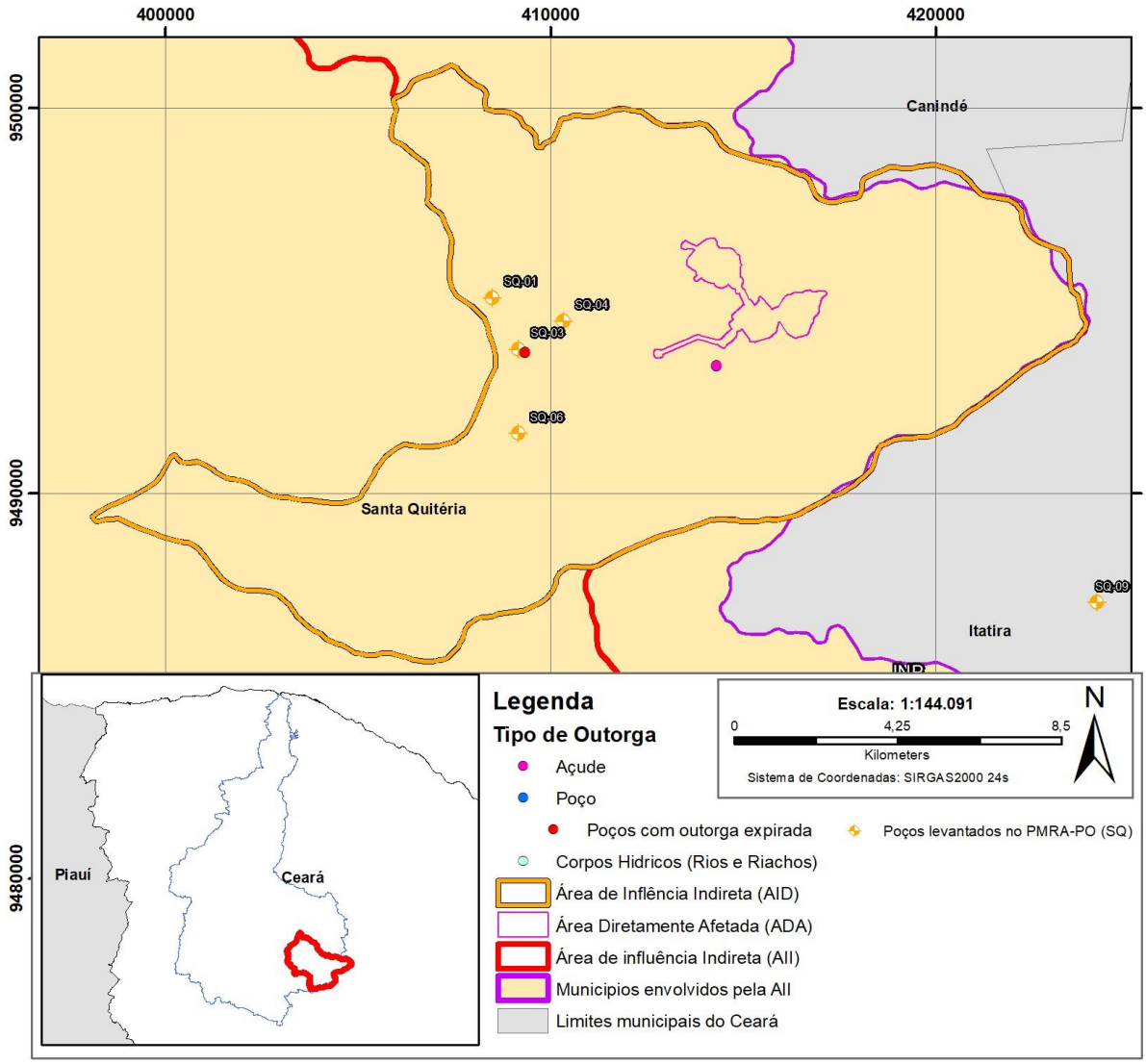


Figura 11.1-255: Localização dos poços de captação ativos e inativos na AID.

Fonte: COGERH, 2021.

11.1.10.4 Considerações Finais

Foram localizadas 67 outorgas de captação nos municípios que compreendem a AII, sendo desses 8 em Catunda e o restante em Santa Quitéria. Desses, a maior parte e destinada a irrigação, totalizando 30 outorgas 63,12% do volume de água outorgado (5 poços, 4 açudes e 21 rios e riachos), seguido de abastecimento humano com 16 outorgas e 3,47% do volume d'agua outorgado (8 poços, 1 açude e 6 rios e riachos). A indústria apresenta 6 outorgas, sendo 3 açudes e 3 poços, totalizando 31,44% do volume de água outorgado, cerca de 8.731.384 m^3. Tanto a irrigação quanto a indústria, têm a maior parte de seu volume relacionado aos açudes, onde apenas o Açude do Distrito de Irrigação do Perímetro Irrigado Araras Norte, responsável por 61,6% de todo o volume outorgado dentro dos municípios de Santa Quitéria e Catunda.

Dentro da AII, apenas os Açudes Caraúba e Caramutim foram localizados, sendo o segundo outorga da INB, porém durante etapas de campo foram levantados outros 12 açudes de uso privado, mas sem outorgas.

Segundo os estudos da COGERH (2022) existem 4.152 pontos de captações d'água subterrânea em toda Bacia do Acaraú, sendo: 3.965 poços tubulares; 180 poços amazonas e 7 fontes naturais. O município de Santa Quitéria detém 502 das captações de águas subterrâneas e representa o município com maior número de captações da Bacia do Acaraú (12,09%), seguido de Sobral com 421 (10,14%). As 4.152 captações de águas subterrâneas estão distribuídas por toda Bacia do Acaraú e captam água dos seguintes aquíferos: porosos (15,78%), aluviais (8,02%), cársticos (0,17%) e fissurais (76,04%). Dentro da AII há 5 poços com outorgas vigentes, sendo apenas 1 para abastecimento humano e o restante para dessedentarão animal.

Na AID e ADA, a população é essencialmente rural, sendo assim os usos das águas são dispersos nesta área de abrangência e voltados às demandas rurais difusas, incluindo o doméstico, a dessedentação animal, a recreação, a aquicultura e a irrigação. na AID consta uma outorga expirada em 03/03/2019, para uso das águas subterrâneas para abastecimento humano, da requerente Associação Comunitária Nossa Senhora Aparecida, que corresponde ao poço de captação SQ-03 levantado nos estudos do PMRA-PO, o qual ainda identificou a existência de três outros poços de captação que não constam dos registros oficiais.

Conforme os estudos da COGERH, a procura por captação de águas subterrâneas vem aumentando durante os anos, havendo um maior incentivo a construção em anos de seca. Porém, mesmo em anos sem presença de tais eventos, a construção de poços e outorgas estão em aumento. Esse fenômeno está pode estar ligado aos processos de mudança do

clima, onde cada vez mais há um processo de desertificação do semiárido brasileiro, conforme apresentado no capítulo de Clima e Meteorologia (11.1.1) desse EIA.

11.1.11 Hidrogeologia

11.1.11.1 Considerações Metodológicas

As informações apresentadas são compostas de dados primários obtidos em trabalhos de campo e por dados secundários existentes na literatura técnico-científica, estudos ambientais pretéritos, em bancos de dados governamentais e sistemas de informações. A caracterização do ambiente hidrogeológico do PSQ foi realizada sobre uma base geral de informação geográfica constituída por um mosaico ortorretificado, com a integração de dados geológico e estruturais, geomorfológicos e topográficos, geotécnicos, pedológicos, hidrográficos e dados de clima para geração de cartas temáticas

A caracterização da AII quanto aos seus aspectos hidrogeológicos, foi realizada a partir da descrição das unidades aquíferas definidas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2001) e pelo cadastro nacional de poços tubulares, obtidos no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e a companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), em 15/11/2023.

Estes dados permitiram a definição dos domínios e subdomínios hidrogeológicos, assim como dos seus principais aspectos hidrodinâmicos e de qualidade e uso das águas subterrâneas.

A caracterização da forma de ocorrência e compartimentação dos aquíferos foi realizada com base nos tipos litológicos, sua distribuição e geometria espacial condicionada pelas estruturas e delineamentos geotectônicos.

Os dados primários para caracterização hidrogeológica da ADA, foram obtidos a partir dos dez poços de monitoramento instalados nas dez sondagens realizadas em fevereiro de 2011, apresentadas em ARCADIS LOGOS, 2014. Em 2022, para a ampliação da rede de monitoramento da qualidade da água subterrânea foi realizada uma nova campanha pela GeoHidro, onde foram utilizados 21 poços para os estudos, nos quais dois já pertenciam ao levantamento de 2011 e 19 poços novos construídos.

Os primeiros ensaios hidrogeológicos em poços de monitoramento foram realizados em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), nos poços que apresentaram água no seu interior, pelo método *slug test* (FREEZE & CHERRY, 1979), e os cálculos para obtenção da condutividade hidráulica foram executados com o auxílio do aplicativo *Aquifer Test* da *Waterloo Hydrogeologic Inc*. Em quatro poços de monitoramento sem coluna d'água (secos), foram realizados ensaios de

infiltração, adicionando água no seu interior, e monitorado o rebaixamento com transdutor de pressão instalado a cerca de 10 cm acima do fundo, por um período de 24 horas, com objetivo de avaliar a condutividade hidráulica do maciço rochoso no local.

Em 2022, com a nova rede de monitoramento instalada, foram realizados um total de 765 metros de sondagem com descrição das litologias pela INB, além dos testes de bombeamento com ensaios de recuperação usando dupla porosidade através da metodologia de Warren & Root e Moench com Simplificação de Coopee&Jacob, *slug test* com a obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos com os métodos de Hvorslev e Bouwer & Rice. Foi utilizado nos levantamentos de 2022 o programa *AquiferTest Pro* (v9.0) ©. Os métodos estão descritos no Relatório da Construção de Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas na Área do Projeto Santa Quitéria entregue pela GeoHidro 2022 (Anexo 11.1.7-1).

Com objetivo de identificar as variações sazonais no nível d'água subterrânea, foram realizadas medições do nível estático, ao longo de um ciclo hidrogeológico completo em 2011 e nas estações seca de 2020 e na chuvosa em 2021. Estas medições foram realizadas com medidor de nível elétrico, com precisão de 0,5 mm. As medições contínuas com transdutores de pressão abril a agosto de 2011, foram utilizadas para avaliar a recuperação dos poços após os eventos de amostragem.

Durante os anos de 2022 e 2023, foi realizado quatro campanhas para a medição dos níveis estáticos da nova rede de monitoramento, a primeira entre os meses de setembro e outubro de 2022, a segunda entre dezembro de 2022 a janeiro de 2023, a terceira campanha durante os meses de março e abril de 2023 e a quarta no mês de julho de 2023. Os trabalhos de 2011 são apresentados em ARCADIS LOGOS, 2014. Os dados primários obtidos com o monitoramento foram analisados e cruzados com os dados pluviométricos da região, permitindo avaliar o comportamento dos aquíferos em resposta aos principais eventos de pluviosidade.

Os dados de disponibilidade efetiva de água subterrânea para o Município de Santa Quitéria são derivados dos dados do Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH (COGERH, 2002), do projeto Elaboração do Diagnóstico dos Estudos Básicos e dos Estudos de Viabilidade do Eixo de Integração da Ibiapaba (Secretaria do Desenvolvimento Local e Regional – SDLR, 2000) e do Levantamento de Poços Construídos de 2004 a 2016 da SOHIDRA – Superintendência de Obras Hidráulicas (COGERH, 2016).

A definição para as áreas de recarga, adotou critérios técnicos, as diferenças geomorfológicas, geologia estrutural, geotecnia, pedologia, clima e espeleologia, como fatores condicionantes para definição de áreas mais propensas a recarga de aquíferos.

O conceito de análise de vulnerabilidade de aquíferos pode ser definido como o conjunto de características intrínsecas dos estratos entre a zona saturada e a superfície do solo, que determinam sua suscetibilidade a sofrer os efeitos adversos de uma carga contaminante aplicada na região acima do nível freático (FOSTER, 1987).

A metodologia GOD utilizada, estabelece um índice de vulnerabilidade natural do aquífero, que é resultado de uma combinação de procedimentos propostos por Foster e Hirata (1988), e considerada uma metodologia empírica.

Para este estudo foi utilizada a versão de 2006, com modificações em relação à de 1998, decorrentes de ajustes através da experiência da aplicação deste método pelos próprios autores. O método GOD baseia-se na mensuração de três fatores:

Índice **G** (*ground water occurrence*): Identifica o tipo e grau de confinamento hidráulico da água subterrânea, com indexação numa escala de 0,0 a 1,0;

Índice **O** (*overall litology of aquifer*): Caracteriza a geologia da zona não saturada, quanto ao grau de consolidação e tipo de litologia, representado numa escala de 0,4 a 1,0; e

Índice **D** (*depth of water*): Se refere a profundidade do nível da água, com índice numa escala de 0,6 a 1,0.

Índice **GOD**: Índice máximo de vulnerabilidade do aquífero à contaminação proposto pelo método, correspondente a 1, representa a vulnerabilidade extrema; enquanto o mínimo 0 (zero), corresponde à vulnerabilidade insignificante. Todos os parâmetros possuem o mesmo nível de importância. Sendo assim, o índice de vulnerabilidade é determinado como a multiplicação dos valores obtidos em cada fator.

O modelo hidrogeológico conceitual da ADA (MHC-ADA), integra as informações de hidrogeologia, geologia, geotecnia, geomorfologia, pedologia e espeleologia. O MHC-ADA das áreas Mineiro Industrial e da Unidade de Urânio, integrou dados primários das sondagens de reconhecimento e dos poços de monitoramento rasos (< 25,0 metros instalados em 2011 e 2022), levantamentos geofísicos (2016 e 2021), e etapas de mapeamento de campo ao longo de 2011, 2020, 2021 e 2023.

Para a área da Jazida o MHC-ADA, utilizaram-se os dados secundários das seções geológicas de detalhe fornecidas pelo INB (1979), levantamentos geofísicos (2002), dados dos estudos hidrogeológicos de Alcantara e Silva (2003), e análises de raio x em amostras de solo da Formação Alcantil de Lopes (2018), elaborados especificamente em estudos anteriores para o profundo conhecimento dos corpos mineralizados, e que tem um nível de detalhamento maior que os dados primários obtidos ao longo das campanhas de campo, face

ao grande número de sondagens (250), atingindo profundidades superiores a 450 metros (abaixo da cota 100 m).

Para obtenção do mapa potenciométrico, as medidas de nível d'água ao longo das campanhas de monitoramento, foram convertidas em carga hidráulica, através da diferença da cota do poço (em metros) pela medida do nível d'água (em metros).

A determinação das direções de fluxo foi realizada a partir da análise integrada dos dados geomorfológicos de relevo e hidrografia, dados geofísicos, dados geológicos obtidos em campo, ensaios hidrogeológicos, medições de nível d'água e cálculo de cargas hidráulicas, assim como a configuração do mapa potenciométrico elaborado por Alcantara e Silva (2003).

Os poços instalados em 2022 chegaram a uma média de 40,5 metros de perfuração (relativamente mais profundos que os anteriores), sendo possível a medição no nível estático em todos os pontos. Porém, devido às condições climáticas severas nos anos de 2020 a 2021, apenas 3 dos 10 poços de monitoramento instalados em 2011, apresentaram água no seu interior e que permitiram a obtenção de dados para cálculo da carga hidráulica. Em 2011 eram 6 de 10 poços com água apenas. Os poços de 2011 e 2022, estão concentrados na área da fazenda Itataia e principalmente no entorno do complexo Mínero-industrial. Por estes motivos, para elaboração do mapa potenciométrico da AID, não foi possível utilizar apenas os dados dos poços para sua confecção. Assim, foi adotada uma extrapolação empírica dos dados existentes, para regiões próximas com características semelhantes, com base nos seguintes critérios.

Dados atuais de cargas hidráulicas;

Gradiente hidráulico e o escoamento subterrâneo refletindo o relevo;

Condicionantes para o escoamento do fluxo da água subterrânea;

Análise de dados secundários.

Para caracterização das zonas de recarga, foi realizada uma análise integrada de dados de geologia, geotecnia, geomorfologia, pedologia, hidrografia e clima. O resultado é um indicador de maior ou menor favorabilidade a recarga, resultante da relação entre parâmetro e causa.

O modelo hidrogeológico conceitual da ADA (MHC-ADA) foi elaborado a partir da análise integrada de todas as informações apresentadas nos capítulos de Geomorfologia (11.1.4), Pedologia (11.1.5), Geotecnia (11.1.6), Geologia (11.1.7) e Espeleologia (11.1.13).

11.1.11.2 Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII)

11.1.11.2.1 Unidades Aquíferas

Na área de estudo a ocorrência da água subterrânea está condicionada aos meios, fissural e cárstico, uma vez que, durante as campanhas de campo realizadas em novembro/2020 e junho/2021, setembro e outubro/2022, março a abril/2023 e julho de 2023 para composição do PMRA-PO, não foi observado acúmulo de água nas camadas de solos superficiais da área avaliada, o que a caracteriza este meio como uma zona de condução que não promove o armazenamento de água.

No **meio poroso**, a migração da água, está relacionada à porosidade primária dos sedimentos inconsolidados e solos do manto de intemperismo. Os baixos índices pluviométricos associados a longos períodos de estiagem, típicos do clima semiárido da região, controlam a intermitência da água subterrânea no meio poroso, da mesma forma que, nas águas superficiais, cuja relação é de caráter influente, ou seja, as águas superficiais das drenagens, contribuem para a migração da água pelo meio poroso.

O **aquífero fraturado** é anisotrópico, com a condutividade hidráulica diretamente relacionada às estruturas representantes da porosidade secundária, tais como falhas e fraturas, distribuídas heterogeneamente em toda a unidade, com parâmetros como altitude, frequência, amplitude, abertura, rugosidade, material de preenchimento, diretamente relacionados a capacidade de armazenamento e de transmissividade do aquífero, e é representativo das unidades IM1, MS1 e MS2.

O **aquífero cárstico** é caracterizado pelas rochas metacarbonática e suas descontinuidades geradas por dissolução em fraturas, falhas e contatos. Os principais fatores condicionantes ao armazenamento e da transmissividade da água subterrânea estão relacionados, principalmente, às configurações geométricas das cavidades, e à frequência de ocorrência e das demais estruturas. É representativo da Unidade MC1, que nas zonas de falhas e fraturas, e demais áreas onde não ocorre dissolução cárstica, apresenta comportamento de aquífero fraturado.

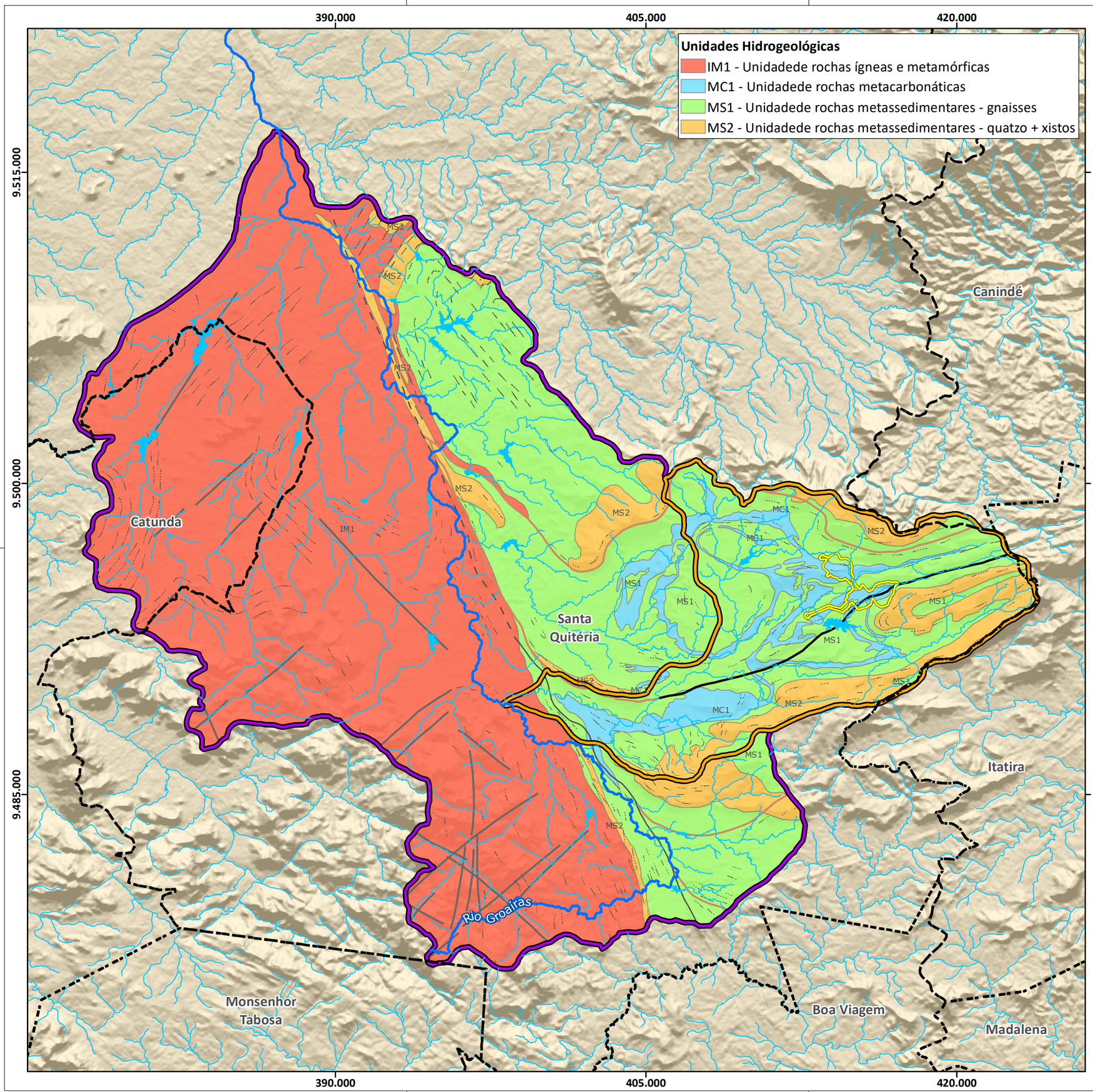
A configuração da forma de ocorrência e compartimentação dos aquíferos fraturados e cársticos na AII, é caracterizada pelos diferentes tipos litológicos e tem sua distribuição e geometria espacial condicionada pelas estruturas e delineamentos geotectônicos. A sua disponibilidade hídrica é limitada pelo arcabouço permeável (porosidades primárias e secundárias).

Na AII ocorrem quatro unidades hidrogeológicas (Quadro 11.1.11-1), representadas por quatro tipos rochosos, as quais são correlacionadas principalmente ao Domínio 4 de Metassedimentos/Metavulcânicas e ao Domínio Cristalino (Domínio 6) do Mapa de Domínios/Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil (CPRM, 2001), ilustrado no Mapa 11.1-25.

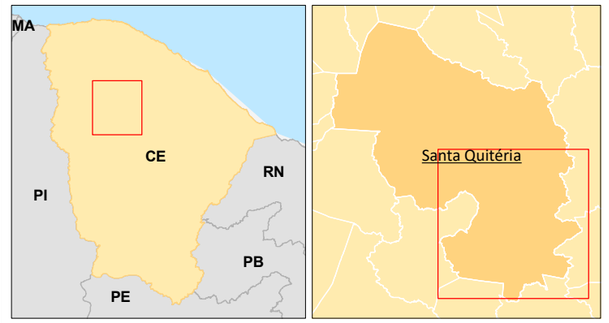
Quadro 11.1.11-1: Unidades Hidrogeológicas

Sigla	Descrição unidade
IM1:	Unidade de rochas Ígneas e Metamórficas do Complexo Tamboril Santa Quitéria.
MS1:	Unidade de rochas metassedimentares representadas por Gnaisses da Formação Barrigas
MS2:	Unidade de rochas metassedimentares representadas por Quartizitos e Micaxistos da Unidade Independência do Complexo Ceará.
MC1:	Unidade de rochas metacarbonáticas da Formação Alcantil.

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Adaptado de: ARCADIS LOGOS, 2014.



Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional

- Limite Municipal

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)
- Área de Influência Indireta (AII)

Hidrografia

- Rio Groaíras
- Cursos d'água
- Massas d'água

Estruturas

- Falha e/ou Fratura
- Falha e/ou zona de cisalhamento
- Falha sinistral
- Lineamento estrutural
- Zona de Cisalhamento Contracional
- Falha geofísica

Fonte:
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
BTB Explorers, 2021. Estruturas.
CPRM, 2014. Mapa Hidrogeológico.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:185.000
0 2 4 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria

tetra+

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

Título:
Unidades Aquíferas na Área de Influência Indireta (AII)

Formato	Escala	Folha
A3	1:185.000	Única

Data	Localização
30/10/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Jéssica Costa	Cristina Poggiali Almeida

Conforme apresentado no Mapa 11.1-25, a Falha Groaíras, que atravessa a AII com direção NW-SE, define um contato abrupto de cunho regional, entre as unidades hidrogeológicas IM1 (a oeste) e a MS1 (a leste da falha).

Na unidade IM1 (rochas ígneas e metamórficas), que ocupa toda a porção oeste da AII, os aquíferos são, descontínuos, localizados e de pequenas dimensões, com vazões baixas e de águas salinas, devido à pouca ou nenhuma circulação subterrânea decorrente do expressivo grau de confinamento.

A unidade MS1 (rochas gnáissicas), representa a maior taxa de ocupação da AII a leste da Falha Groaíras, onde também ocorrem corpos estirados e deformados das unidades MS2 (quartzitos e micaxistos) e MC1 (metacarbonáticas).

Os quartzitos (MS2) e rochas metacarbonáticas (MC1) tem favorabilidade hidrogeológica diretamente relacionada à presença de estruturas e descontinuidades no maciço rochoso. A presença de foliações pronunciadas, falhas e fraturas em maior densidade, são favoráveis ao armazenamento e a transmissividade das águas subterrâneas.

As rochas da unidade MC1, têm como característica principal feições como condutos, cavernas e sumidouros, resultantes dos processos de dissolução em planos de falhas, fraturas e contatos. Essas feições conferem ao aquífero cárstico, uma porosidade secundária de relevância e favorável ao acúmulo de água subterrânea.

Devido às características anisotrópicas e composicionais da unidade MC1 (metacarbonatos) a condição de reservatório não se dá de maneira homogênea ao longo de toda a área de ocorrência (ARCADIS LOGOS, 2014), além do fator de risco de solapamento de solos devido à extração de água em ambientes cársticos, gerando vazios sujeitos a efeitos gravitacionais.

A água subterrânea na MC1, está associada às fraturas que eventualmente, podem ou não, ter sofrido processos de dissolução, ocasionando seu alargamento e favorecendo a transmissão e armazenamento da água (ARCADIS LOGOS, 2014). Se as fraturas e falhas sofreram dissolução, nestes locais prevalece o comportamento cárstico no aquífero, se não sofreram dissolução, o comportamento é de aquífero fraturado.

11.1.11.2.2 Dados de Poços Cadastrados na Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (Cogerh) e SIAGAS (CPRM)

A consulta realizada na Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH) e no Sistema de Águas Subterrâneas (SIAGAS) da CPRM em novembro de 2023, indicou que na área dos municípios de Santa Quitéria e Catunda, existem 58 poços pela COGERH e 558 poços pelo

SIAGAS. Considerando a área da AII, os poços ficaram restritos a 6 poços pela COGERH, todos no município de Santa Quitéria e 34 poços pelo SIAGAS, sendo 29 em Santa Quitéria e 5 em Catunda. Dentre todos os poços, apenas 2 coincidem as coordenadas, podendo ser interpretado que se trata do mesmo poço (Quadro 11.1.11-2).

Quadro 11.1.11-2: Relação dos poços de captação de água subterrânea locados dentro dos limites da All.

Dados do COGERH										
Requerente/Localização	**Município**	**Situação da outorga**	**Tipo de Uso**	**n° do Processo**	**Profundidade**	**Nível Dinâmico**	**Nível Estático**	**SIRGAS 2000 (X)**	**SIRGAS 2000 (Y)**	**Volume outorgado (m³)**
Daniel Guerra Alves	Santa Quitéria	Concedida	Dessedentação Animal	05959545/2023	n.i	n.i	n.i	391547	9489377	1095
Daniel Guerra Alves	Santa Quitéria	Concedida	Dessedentação Animal	05959596/2023	n.i	n.i	n.i	391756	9489485	1095
Daniel Guerra Alves	Santa Quitéria	Concedida	Dessedentação Animal	05959502/2023	n.i	n.i	n.i	391501	9489149	1095
Daniel Guerra Alves	Santa Quitéria	Concedida	Dessedentação Animal	05959588/2023	n.i	n.i	n.i	391545	9489429	1095
Associação Comunitária Nossa Senhora Aparecida	Santa Quitéria	Expirada	Abastecimento Humano	7584590/2014	n.i	n.i	n.i	409347	9493661	4623
Associação Comunitária Dos Pequenos Produtores Rurais Do Assentamento A. Tatajuba	Santa Quitéria	Expirada	Abastecimento Humano	7587158/2014	n.i	n.i	n.i	406329	9480940	13359
Dados do SIAGAS										
Requerente/Localização	**Município**	**Situação do poço**	**Tipo de Uso**	**n° do Processo**	**Profundidade**	**Nível Dinâmico**	**Nível Estático**	**SIRGAS 2000 (X)**	**SIRGAS 2000 (Y)**	**Vazão Estabilizada (m³/h)**
Morrinhos	Santa Quitéria	n.i	Abastecimento urbano	n.i	60,00	45,30	13,00	384881	9493953	1,30
Fazenda Belém	Santa Quitéria	Fechado	Abastecimento múltiplo	n.i	n.i	n.i	n.i	385903	9494607	n.i
Raimundo Martins	Santa Quitéria	Fechado	Abastecimento múltiplo	n.i	n.i	n.i	n.i	385639	9494229	n.i
Raimundo Martins	Santa Quitéria	Abandonado	n.i	n.i	72,00	n.i	n.i	394770	9493300	n.i
Raimundo Martins	Santa Quitéria	Fechado	Abastecimento múltiplo	n.i	42,00	n.i	n.i	392470	9495725	n.i
Raimundo Martins	Santa Quitéria	Fechado	Abastecimento múltiplo	n.i	n.i	n.i	n.i	401148	9489671	n.i
Fazenda Zipu - Dist, Rdo, Martins	Santa Quitéria	Equipado	Abastecimento múltiplo	n.i	19,00	n.i	n.i	404115	9495559	n.i
Raimundo Martins - Dist,	Santa Quitéria	Abandonado	n.i	n.i	65,00	n.i	n.i	394897	9493320	n.i
Raimundo Martins	Santa Quitéria	Equipado	Abastecimento múltiplo	n.i	60,00	n.i	n.i	405770	9480457	n.i
Alegre / Tatajuba	Santa Quitéria	Fechado	Abastecimento múltiplo	n.i	60,00	49,40	11,15	406834	9481805	n.i
Raimundo Martins	Santa Quitéria	Abandonado	n.i	n.i	n.i	n.i	n.i	402984	9479542	n.i
Raimundo Martins	Santa Quitéria	Abandonado	n.i	n.i	n.i	n.i	n.i	403013	9479431	n.i
Fazenda Ubatimba	Santa Quitéria	Abandonado	Abastecimento múltiplo	n.i	n.i	n.i	n.i	388733	9498402	n.i
Fazenda Belmar	Santa Quitéria	Fechado	Abastecimento múltiplo	n.i	n.i	n.i	n.i	387538	9497370	n.i
Fazenda Morrinhos - Assentamento	Santa Quitéria	Fechado	Abastecimento múltiplo	n.i	59,70	46,00	5,00	408470	9495071	0,85

Assentamento Queimadas	Santa Quitéria	Equipado	Abastecimento múltiplo	n.i	60,00	n.i	n.i	410322	9494477	n.i
Entre Morros	Santa Quitéria	Não instalado	Abastecimento urbano	n.i	72,00	54,00	28,00	402024	9485807	4,00
Oiticica	Santa Quitéria	Seco	Abastecimento urbano	n.i	60,00	n.i	n.i	396545	9481838	n.i
Cipó	Santa Quitéria	n.i	Abastecimento múltiplo	n.i	36,00	16,50	4,80	402164	9487050	9,20
Assentamento Alegre Tatajuba	Santa Quitéria	Bombeando	Abastecimento múltiplo	n.i	92,00	46,20	4,40	406361	9480941	7,83
Assentamento Queimados	Santa Quitéria	Bombeando	Abastecimento múltiplo	n.i	80,00	47,31	5,10	409307	9493519	1,13
Boa Vista dos Mirandas	Santa Quitéria	Seco	Sem uso	n.i	92,00	0,00	n.i	384895	9507413	n.i
Irapuá	Santa Quitéria	Não instalado	n.i	n.i	92,00	71,80	5,50	399261	9495293	0,80
Herval 2ª Op	Santa Quitéria	Seco	n.i	n.i	88,00	n.i	n.i	382585	9494006	n.i
Alegra Tatajuba	Santa Quitéria	Bombeando	Abastecimento múltiplo	n.i	92,00	46,20	4,40	406329	9480940	7,83
n.i	Santa Quitéria	Bombeando	n.i	n.i	80,00	47,31	5,10	409347	9493561	1,13
n.i	Santa Quitéria	Seco	n.i	n.i	108,00	n.i	0,00	396179	9489316	0,00
Faz, Xique-xique	Santa Quitéria	Bombeando	Abastecimento doméstico	n.i	70,00	38,20	6,70	398641	9488489	1,65
Faz, Boa vista	Santa Quitéria	Bombeando	Abastecimento doméstico	n.i	70,00	41,00	10,95	383933	9508080	2,09
HERVAL	Catunda	Equipado	Abastecimento múltiplo	n.i	0,00	0,00	n.i	382510	9494902	n.i
Herval	Catunda	Não instalado	Abastecimento múltiplo	n.i	72,00	54,40	5,00	382148	9494510	1,40
Fazenda Realeza	Catunda	Parado	Abastecimento múltiplo	n.i	80,00	65,00	30,00	381485	9497223	2,50
Herval 1ª Op	Catunda	Seco	n.i	n.i	88,00	n.i	n.i	382553	9494973	n.i
Herval	Catunda	Seco	n.i	n.i	88,00	n.i	n.i	382709	9495041	n.i
		Mesmo Poço		n.i	Dados Não Informado					

Fonte: SIAGAS-CPRM e COGERH (acessado em 15/11/2023).

Dos seis poços da COGERH, quatro estão com a situação da outorga concedida, para uso dessedentação animal e dois poços estão com a outorga expirada e com o uso destinada para abastecimento humano.

Em relação aos poços obtidos através do SIAGAS, a situação está resumida na Figura 11.1-256. Os dados dentro do sistema SIAGAS possui maior detalhamento em relação à construção e estado dos poços, auxiliando na compreensão do aquífero em seu entorno. De forma geral os poços têm média de profundidade de 70 m de profundidade, sendo o mais raso com 19 m (cerca de 3,2 km a oeste da AID) e o mais profundo com 108 m (cerca de 1,9 km ao sul da AID, próximo a voz do rio Mulungu).

As médias de nível dinâmico (n.d) e nível estático (n.e) são de 47,76 m e 9,94 m respectivamente, sendo o n.d de maior e menor profundidade com 71,80 m (região central da AII, ao lado do riacho Arapuã) e 16,50 m (ao sul da AID, dentro do vale do rio Groaíras), respectivamente. O n.e de maior e menor profundidade, possui 4,4 m (são dois poços no extremo sul da AII, próximo ao rio Groaíras) e 30 m (poço mais a oeste da AII, entre o riacho do Feijão e o riacho das Pintas), respectivamente.

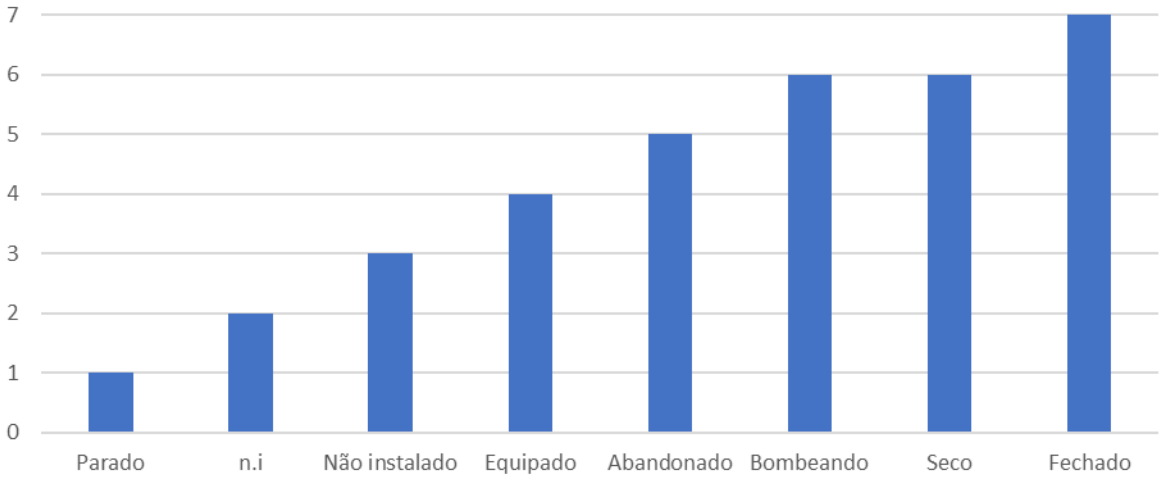


Figura 11.1-256: Situação dos poços cadastrados no SIAGAS até o dia 15/11/2023. No eixo Y, há a contagem de poços e em X o estado atual dos poços.

Fonte: SIAGAS (2023), n.i = dado não informado.

Dos 34 poços informados dentro da AII, apenas 14 apresentam vazões. O poço com maior vazão (9,2 m^3/h) é o mesmo anteriormente citado com o nível dinâmico mais superficial, esse poço está localizado a 200 metros do rio Groaíras, que está situado sobre a falha geológica deste rio e que divide as unidades hidrogeológicas IM1 (unidades constituídas por rochas ígneas e metamórficas) das unidades MC1, MS1 e MS2 (unidades constituídas por rochas metacarbonáticas e metassedimentares). Os outros poços com maiores vazões (7,83

e 4 m³/h) também estão localizados sobre ou muito próximos a essa descontinuidade geológica.

De forma geral quase todos os poços estão sobre ou localizados a distâncias próximas dos rios e riachos da região (Figura 11.1-257). Ao observar os padrões de drenagem da região, muitas apresentam padrões comuns a cursos d'agua encaixados sobre descontinuidades geológicas, sejam elas contatos litológicos ou falhas e fraturas. Esse é um importante indicativo para o padrão de recarga dos aquíferos, onde o fator estrutural (devido à baixa porosidade das rochas) é predominante. Assim, muitas das vezes as drenagens são indicativos da presença de descontinuidades e, por sua vez, com potencial de recarga e abastecimento de água.

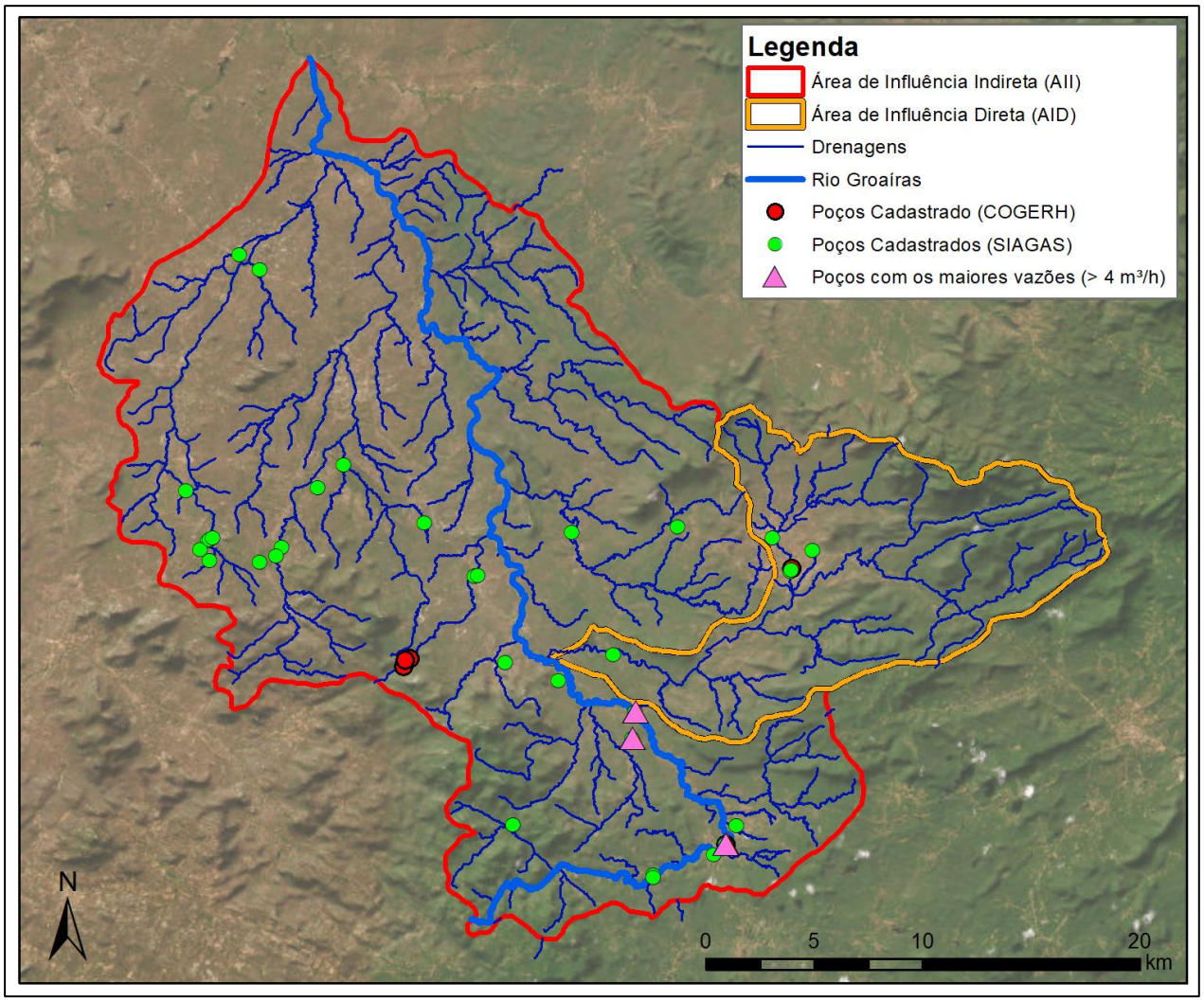


Figura 11.1-257: Localização dos poços cadastrados no SIAGAS e COGERH (15/11/2023).

Fonte: SIAGAS-CPRM e COGERH (acessado em 15/11/2023).

11.1.11.2.3 Unidades Aquíferas

As unidades aquíferas presentes na AID são as mesmas unidades IM1, MC1, MS1 e MS2 (Mapa 11.1-26), encontradas na AII. A unidade IM1, está representada apenas por uma porção de 2,588 km2 no canto oeste da AID, e representa apenas 1,44% da AID. As unidades aquíferas presentes na ADA são apenas as MC1 e MS1, onde a ocorrência da água subterrânea, assim como nas demais áreas, está condicionada aos meios fissural e cárstico, e ao meio poroso como zona de condução.

No **meio poroso** não foi observado acúmulo de água nas camadas de solos superficiais da área avaliada, o que a caracteriza este meio como uma zona de condução, e não de armazenamento de água.

O **aquífero fraturado** é caracterizado por falhas e fraturas, distribuídas heterogeneamente em toda a unidade, com parâmetros como altitude, frequência, amplitude, abertura, rugosidade, material de preenchimento, diretamente relacionados à capacidade de armazenamento e de transmissividade do aquífero, e é representativo das unidades IM1, MS1 e MS2. Segundo Botura (1982), este aquífero indica condições de confinamento das águas subterrâneas, devido provavelmente a zonas de pequena densidade de fraturamento da matriz rochosa.

O **aquífero cárstico** é caracterizado pela rocha carbonática e suas descontinuidades geradas por dissolução em fraturas, falhas e contatos. Os principais fatores condicionantes ao armazenamento e da transmissividade da água subterrânea estão relacionados principalmente às configurações geométricas das cavidades, e a frequência de ocorrência e das demais estruturas, e é representativo da Unidade MC1, que nas zonas de falhas e fraturas, e demais áreas onde não ocorre dissolução cárstica, apresenta comportamento de aquífero fraturado. Segundo Botura (1982), esta unidade indica que rochas mais alteradas (classe III) são menos permeáveis que as menos alteradas (classe II), provavelmente devido à presença de materiais de alteração preenchendo as fraturas, parcial ou totalmente. A partir de ensaios hidrogeológicos de curta duração, Botura (1982) sugere que rápido esgotamentoindica um aquífero cárstico limitado com reduzido armazenamento.

Ainda segundo Botura (1982), nas porções da jazida com intercalação de rochas da unidade MS1 (biotita gnaisses) e dos mármores da unidade MC1, apresentam permeabilidade superior à dos mármores com intercalações de colofanito.

A configuração da forma de ocorrência e compartimentação dos aquíferos fraturados e cársticos presentes na AID/ADA, assim como na AII, é caracterizada pelos diferentes tipos

litológicos e tem sua distribuição e geometria espacial condicionada pelas estruturas e delineamentos geotectônicos.

Neste capítulo será realizado um detalhamento das características e compartimentação das unidades aquíferas MS1 e MC1, que estão presentes em 100% da ADA e representam as principais unidades aquíferas da AID.

11.1.11.2.4 Poços de Monitoramento

Para a obtenção de dados primários sobre os aquíferos existentes no local, foram instalados 29 poços de monitoramento, sendo 10 em fevereiro de 2011, pela empresa CAGEO e acompanhadas pela equipe contratada da ARCADIS LOGOS (2014) e 19 em 2022 pela empresa GeoHidro, distribuídos de forma a interceptar as águas subterrâneas provindas das duas principais unidades aquíferas presentes na ADA.

Os poços de monitoramento atendem aos requisitos das normas técnicas ABNT NBR 15495-1 e NBR 15495-2 – Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares. e ABNT NBR 12212 – Projeto de Poços para Captação de Água Subterrânea, que apresenta critérios para instalação de poços tubulares profundos com objetivo específico de abastecimento.

Os poços PMs-07, 09 e 10 de 2011 foram instalados na unidade aquífera MC1 (Formação Alcantil), e os PMs 01, 02, 03, 04, 05, 06 e 08 na Unidade MS1 (Formação Barrigas). Cabe destacar que os poços PMs-01, 04, 06 e 08 não atingiram o aquífero. Já os poços PMs-02,04,05,06,08,09,10,11 e 18, de 2022, foram instalados na unidade aquífera MC1 (Formação Alcantil), enquanto os PMs-01, 03, 06, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21 e 22 na Unidade MS1 (Formação Barrigas). Dos 22 testes realizados em 2022/23, dois poços foram instalados em 2011 pela CAGEO (PMs-07 e 12 de 2022 correspondem aos PMs- 07 e 05 respectivamente). A localização dos poços de monitoramento é apresentada no Mapa 11.1-26. Os perfis construtivos são apresentados no Capítulo V – Anexos 11.1.8-2.

405.000

420.000

9.500.000

9.485.000

Unidades Aquíferas

- IM1 - Unidadede rochas ígneas e metamórficas
- MC1 - Unidadede rochas metacarbonáticas
- MS1 - Unidadede rochas metassedimentares - gnaisses
- MS2 - Unidadede rochas metassedimentares - quatzo + xistos

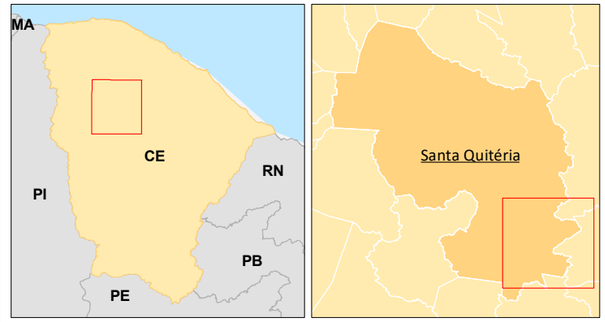
PM-19
PM-18
PM-21
PM-20
PM-13
INB
PM-17
PM-23
PM-14

Santa Quitéria

Rio Groaíras

PM-12
PM-11
PM-08
PM-08B
PM-08A
PM-15
PM-05
PM-09
PM-07
PM-04
PM-02A
PM-02
PM-03A
PM-10
PM-06
PM-03
PM-16
PM-01
PM-06A
PM-22
PM-01A

Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional

- Limite Municipal

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)
- Área de Influência Indireta (AII)

Hidrografia

- Rio Groaíras

Estruturas

- Falha e/ou zona de cisalhamento
- Lineamento estrutural
- Zona de Cisalhamento Contracional
- Falha geofísica

Monitoramento

- Poços de Monitoramento

Fonte:
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
BTB Explorers, 2021. Estruturas.
CPRM, 2014. Mapa Hidrogeológico.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:112.000
0 2 4 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria

tetra+

Projeto: **Projeto Santa Quitéria**

Título: Unidades Aquíferas das Áreas de Influência (AID/ADA)

Formato	Escala	Folha
A3	1:112.000	Única

Data	Localização
22/08/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Jéssica Costa	Cristina Poggiali Almeida

As principais características observadas durante as perfurações são apresentadas no Quadro 11.1.11-3 e Quadro 11.1.11-4. No Quadro 11.1.11-5 são apresentadas as informações sobre a espessura do manto de alteração (solos), profundidade de penetração na rocha, além do grau de fraturamento e entradas de água, com base em dados empíricos. As fotografias dos poços podem ser observadas no relatório fotográfico do Capítulo V – Anexo 11.1.8-2.

Quadro 11.1.11-3: Características dos poços de monitoramento instalados em 2011.

Poço	Coordenadas UTM *		Cota da Boca (m)	Prof. (m)	Cota de Fundo (m)	N.A. (m)	Carga Hidráulica (m)	Selo Cimento (m)	Solo	Rocha Formação Unidade
PM01	414606	9493925	449,80	20,89	428,91	seco	seco	3,0	Argilo arenoso	Gnaisse Barrigas MS1
PM02	414700	9494739	444,00	20,88	423,12	seco	seco	6,0	Argilo arenoso	Gnaisse Barrigas MS1
PM03	415227	9494667	454,00	20,71	433,29	19,5	434,50	8,0	Argilo arenoso	Gnaisse Barrigas MS1
PM04	415654	9494864	460,00	20,82	439,18	seco	seco	18,0	Argilo arenoso	Gnaisse Barrigas MS1
PM05	415257	9494945	449,00	20,60	428,40	16,29	432,71	9,0	Argilo arenoso	Gnaisse Barrigas MS1
PM06	415029	9494595	457,00	24,91	432,09	22,88	434,12	14,0	Areno Argiloso	Gnaisse Barrigas MS1
PM07	414991	9495523	449,00	15,57	433,43	8,41	440,59	11,0	Ausente	Metacarbonática

Poço	Coordenadas UTM *		Cota da Boca (m)	Prof. (m)	Cota de Fundo (m)	N.A. (m)	Carga Hidráulica (m)	Selo Cimento (m)	Solo	Rocha Formação Unidade
										Alcantil MC1
PM08	414213	9496052	480,00	20,67	459,33	seco	seco	3,0	Areno Siltoso	Gnaisse Barrigas MS1
PM09	414756	9495379	445,60	21,02	424,58	8,53	437,07	3,0	Argiloso c/ pouca areia	Metacarbonática Alcantil MC1
PM10	413112	9494603	430,00	21,00	409,00	17,94	412,06	3,0	Argiloso c/ pouca areia	Metacarbonática Alcantil MC1

N.a = nível d'água

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Adaptado de: ARCADIS LOGOS, 2014.

Quadro 11.1.11-4: Características dos poços de monitoramento instalados em 2022.

Poço	Coordenadas UTM *		Cota da Boca (m)	Prof. (m)	N.E. (m)	Carga Hidráulica	Selo Cimento	Solo	Rocha
1	413.496	9.496.109	465,71	49,00	25,38	440,33	9,20	Solo orgânico no topo e solo areno argiloso	Gnaisse Barrigas MS1
2	413.539	9.496.232	459,81	31,50	21,32	438,49	9,00	Areno argiloso	Metacarbonática Alcantil MC1
3	413.289	9.496.394	453,79	29,50	15,94	437,85	3,30	Areno argiloso	Gnaisse Barrigas MS1
4	412.472	9.496.785	439,84	56,00	11,33	428,51	8,15	Argilo arenoso com matéria orgânica	Metacarbonática Alcantil MC1
5	412.468	9.496.653	440,88	60,00	12,18	428,70	9,00	Solo orgânico	Metacarbonática Alcantil MC1
6	414.827	9.496.014	467,50	65,50	23,16	444,34	4,00	Solo de alteração de gnaisse	Gnaisse Barrigas MS1
8	414.730	9.495.337	444,98	65,00	6,96	438,02	6,00	Areno argiloso com fragmentos de mármore	Metacarbonática Alcantil MC1
9	415.164	9.495.490	447,82	45,00	4,01	443,81	4,00	Areno argiloso com fragmentos de mármore	Metacarbonática Alcantil MC1
10	413.748	9.494.834	430,48	42,00	29,24	401,24	5,00	Solo orgânico no topo e solo de alteração de mármore	Metacarbonática Alcantil MC1
11	413.080	9.494.561	429,34	40,00	36,26	393,08	2,00	Solo orgânico	Metacarbonática Alcantil MC1
13	415.966	9.494.728	454,72	23,50	17,72	437,00	3,00	Argilo/Silte arenoso	Gnaisse Barrigas MS1
14	415.979	9.494.423	456,97	31,50	22,64	434,33	3,00	Solo orgânico	Gnaisse Barrigas MS1
15	415.126	9.494.026	438,18	29,50	18,36	419,82	3,00	Solo orgânico	Gnaisse Barrigas MS1

Poço	Coordenadas UTM *		Cota da Boca (m)	Prof. (m)	N.E. (m)	Carga Hidráulica	Selo Cimento	Solo	Rocha
17	414.275	9.493.008	424,28	26,50	9,22	415,06	12,80	Argilo arenoso	Gnaisse Barrigas MS1
18	413.445	9.493.329	418,66	25,00	13,87	404,79	4,00	Argilo arenosso com matéria orgânica	Metacarbonática Alcantil MC1
19	411.864	9.494.272	397,89	25,50	7,08	390,81	7,00	argilo arenosso	Gnaisse Barrigas MS1
20	412.316	9.493.864	410,96	33,00	19,56	391,40	4,40	argiloso	Gnaisse Barrigas MS1
21	413.916	9.493.536	430,29	29,50	17,63	412,66	9,00	Solo de alteração de gnaisse	Gnaisse Barrigas MS1
22	410.111	9.493.159	401,49	41,00	26,79	374,70	8,50	Solo de alteração de gnaisse	Gnaisse Barrigas MS1

N.e = nível estático.

Elaboração: BTB Explorers, 202. Adaptado de: GeoHidro, 2022.

Quadro 11.1.11-5: Manto de alteração, fraturas e entradas de água.

Poço	Manto (m)	Solo	Perfuração na rocha (m)	Fraturamento	Entradas de Água	Unidades
Perfurações realizadas em 2011						
PM01	4	Argilo arenoso	16,89	muito fraturado no topo tende a maciço na base	não interceptadas poço seco	MS1
PM02	6	Argilo arenoso	14,88	pouco fraturada	não interceptadas poço seco	
PM03	8	Argilo arenoso	12,71	medianamente a muito fraturado	recuperação extremamente lenta	

Poço	Manto (m)	Solo	Perfuração na rocha (m)	Fraturamento	Entradas de Água	Unidades
PM04	18	Argilo arenoso	2,82	medianamente fraturado	não interceptadas poço seco	
PM05	9	Argilo arenoso	11,6	medianamente fraturado	recuperação extremamente lenta	
PM06	14	Areno Argiloso	10,91	medianamente fraturado	C/ água em 2011. Seco 2020 e 2021	
PM08	3	Areno Siltoso	17,67	muito fraturado	não interceptadas poço seco	
PM07	0	Ausente	15,57	interceptou uma fratura com registro de perda de água	Rápida recuperação	
PM09	<1,0	Argiloso c/pouca areia	20,02	pouco fraturado	Rápida recuperação	MC1
PM10	<1,0	Argiloso c/pouca areia	20	pouco fraturado	Rápida recuperação	
Perfurações realizadas em 2022						
PM02	3,5	Areno argiloso	32,00	Pouco fraturado	---	
PM04	1,0	Argilo arenoso com matéria orgânica	57,00	Mediamente fraturado	---	
PM05	0,7	Solo orgânico	60,00	Pouco fraturado	---	MC1
PM08	2,0	Areno argiloso com fragmentos de mármore	60,00	Pouco fraturado	---	
PM09	1,0	Areno argiloso com fragmentos de mármore	45,00	Pouco fraturado	---	

Poço	Manto (m)	Solo	Perfuração na rocha (m)	Fraturamento	Entradas de Água	Unidades
PM10	3,5	Solo orgânico no topo e solo de alteração de mármore	42,00	Maciço no topo com muitas fraturas a partir de 11 metros	---	
PM11	1,0	Solo orgânico	42,00	Sem fraturas	---	
PM18	2,0	Argilo arenosso com matéria orgânica	25,00	Maciço no topo com muitas fraturas a partir dos 21 metros	---	
PM01	9,0	Solo orgânico no topo e solo areno argiloso	55,00	Muito fraturado entre 25 e 28 metros com preenchimento de calcita	---	
PM03	6,5	Areno argiloso	30,00	Maciço no topo com fraturas ao aprofundar	---	
PM06	10,5	Solo de alteração de gnaisse	60,00	Maciço no topo com muitas fraturas a partir dos 23 metros	---	
PM13	2,5	Argilo/Silte arenoso	24,00	Mediamente fraturado	---	
PM14	3,5	Solo orgânico	32,00	Maciço no topo com fraturas a partir de 11 metros	---	MS1
PM15	1,0	Solo orgânico	30,00	Sem descrição	---	
PM17	4,0	Argilo arenoso	27,00	Muito fraturado entre 25 e 28 metros com preenchimento de calcita	---	
PM19	2,0	argilo arenoso	26,00	Mediamente fraturado, maciço no topo e base	---	
PM20	3,5	argiloso	33,00	Mediamente fraturado, maciço no topo com rocha alterada na base	---	

Poço	Manto (m)	Solo	Perfuração na rocha (m)	Fraturamento	Entradas de Água	Unidades
PM21	3,5	Solo de alteração de gnaisse	30,00	Mediamente fraturado	---	
PM22	4,5	Solo de alteração de gnaisse	60,00	Muito fraturado e maciço na base	---	

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Fonte: ARCADIS LOGOS (2014) e GeoHidro (2022).

Com os testemunhos obtidos dos poços construídos da rede de monitoramento de 2022, foi confeccionada a Figura 11.1-258. Nela é possível identificar interdigitação entre as unidades MS1 e MC1, padrões de alteração e nível de fraturamento.

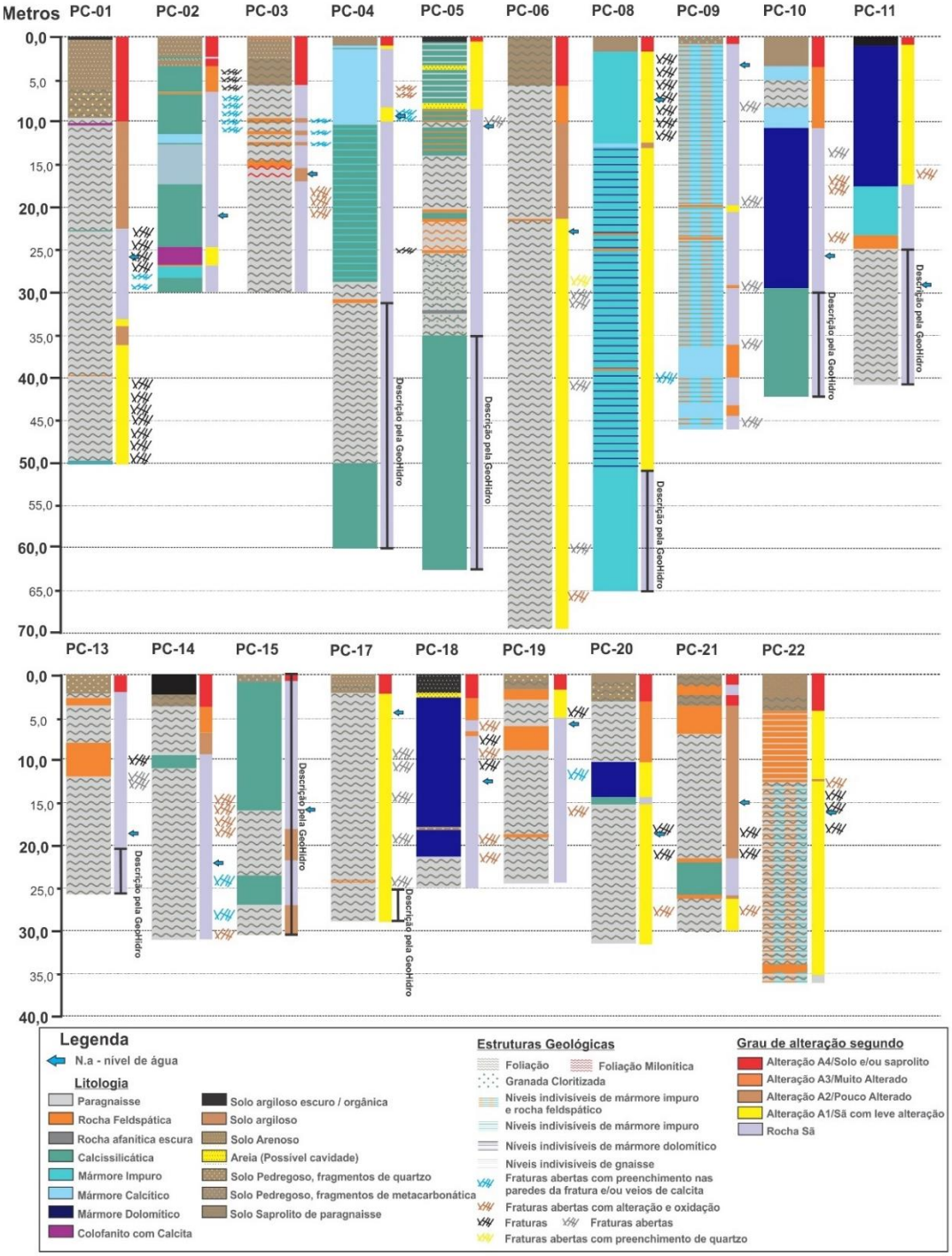


Figura 11.1-258: Perfil ilustrativo das litologias de cada um dos poços e nível de alteração. Os poços foram perfurados em 2022 e descritos pela INB para maior detalhamento.

Fonte: GeoHidro (2022) elaborado por BTB Explorers (2023).

11.1.11.2.5 Ensaios para Obtenção da Condutividade Hidráulica e Transmissividade

Para caracterização da condutividade hidráulica da área de estudo foram realizados ensaios de permeabilidade do tipo *slug test* em quatro dos seis poços de monitoramento de 2011 que apresentavam água, e em 2022 o mesmo ensaio foi realizado em 10 dos 21 poços. A localização dos pontos de ensaio é apresentada no Mapa 11.1-26.

Os quatro ensaios de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014) do tipo *slug test* (FREEZE & CHERRY, 1979) foram realizados com transdutores de pressão instalados a cerca de 30 cm do fundo de cada poço, com medições automáticas da variação dos níveis d'água, promovida pela introdução de um tarugo de um volume conhecido em nylon com 1,5m de altura e 2'' de diâmetro. Os dados foram armazenados diretamente no transdutor e, posteriormente, transferidos para o computador para realização das análises.

Já para os ensaios de 2022, foram utilizados os modelos de Warren & Root (1963) e Moench (1984). Esses modelos foram os mesmos aplicados nesta pesquisa com o auxílio do programa *AquiferTest Pro* (v9.0)©. Nesse levantamento, foi empregado um tarugo com diâmetro de 2'' por 2 metros de comprimento, com exceção do PT.12 em que foi empregado um tarugo com diâmetro de 3,5'' por 0,80 metros de comprimento. Esses ensaios quando são realizados em aquíferos de baixa condutividade, condição mais usual do aquífero fissural, as medidas de variação do nível da água podem ser aferidas por meio de medidores de nível eletrônicos sonoros. Entretanto, quando se tratar de aquíferos de alta condutividade hidráulica elétrica, essas médias deverão ser executadas através de transdutores de pressão. Os métodos de Hvorslev e Bouwer & Rice foram aplicados para os ensaios de 2022 com o auxílio do programa *AquiferTest Pro* (v9.0)©.

A unidade aquífera MS1, teve a condutividade hidráulica caracterizada através do ensaio no PM-06 de 2011 e os PMs-03,12,13,14,17 e 20 de 2022; e a unidade Metacarbonáticas MC1 através dos ensaios nos PMs 07, 09 e 10 de 2011 e nos PMs-03,04,05,07 e 11 de 2022.

A Figura 11.1-259 apresenta as curvas de variação do nível d'água, e o Quadro 11.1.11-6, os resultados da condutividade e transmissividade hidráulica dos ensaios dos poços de 2011.

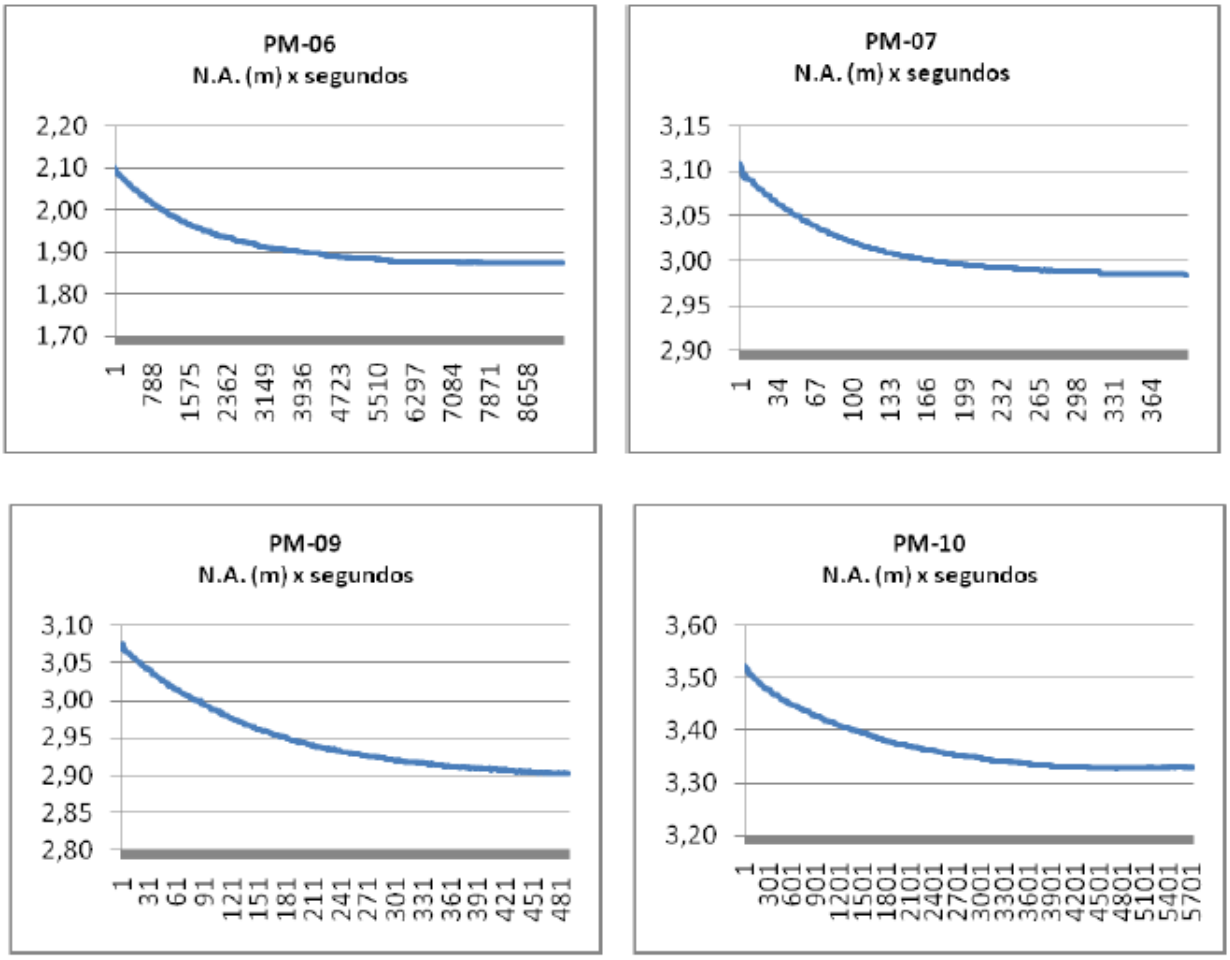


Figura 11.1-259: Curvas de variação do nível d'água nos *slugs tests*.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Quadro 11.1.11-6: Condutividade Hidráulica e Transmissividade – *Slug Test* em Poços.

Poço	Unidade	Condutividade (m/s)	Condutividade (cm/s)	Coluna d'água (m)	Transmissividade (m^2/s)
PM06 (2011)	MS1	$9,62^{E-09}$	$9,62^{E-07}$	2,021	$1,944^{E-08}$
PM07 (2011)	MC1	$3,45^{E-08}$	$3,45^{E-06}$	7,159	$2,469^{E-07}$
PM09 (2011)	MC1	$3,60^{E-08}$	$3,60^{E-06}$	12,485	$4,494^{E-07}$
PM10 (2011)	MC1	$3,11^{E-09}$	$3,11^{E-07}$	3,063	$9,525^{E-09}$

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Adaptado de: ARCADIS LOGOS, 2014.

Em 2022, a GeoHidro executou nos 21 poços da rede de monitoramento os testes de bombeamento com recuperação e ensaios *slug test* descritos no Quadro 11.1.11-7. Após a etapa de campo foram aplicados cálculos para a obtenção dos parâmetros de condutividade hidráulica (K) e transmissividade (T) através do Método de Warren & Root e Moench, Simplificação de Cooper/Jacob, além da utilização dos métodos de Hvorslev e Bouwer/Rice para os dados obtidos pelo *Slug Test*, de tal forma que as estimativas fossem apresentadas como uma medida da máxima aproximação da realidade.

Quadro 11.1.11-7: Parâmetros hidrodinâmicos dos poços de monitoramento.

POÇOS DE MONITORAMENTO					
POÇO	**TESTE**	**PROFUNDIDADE (m)**	**NE (m)**	**ND (m)**	**VAZÃO (m³/h)**
1	Teste de bombeamento	49,00	25,38	35,74	0,837
2	Teste de bombeamento	31,50	21,32	22,68	2,000
3	*Slug test*	29,50	15,94		
4	*Slug test*	56,00	11,33		
5	*Slug test*	60,00	12,18		
6	Teste de bombeamento	65,50	23,16	32,84	0,240
7	*Slug test*	14,73	12,19		
8	Teste de bombeamento	65,00	6,96	19,51	2,278
9	Teste de bombeamento	45,00	4,01	9,39	4,285
10	Teste de bombeamento	42,00	29,24	35,29	0,380
11	*Slug test*	40,00	36,26		
12	*Slug test*	20,40	19,03		
13	*Slug test*	23,50	17,72		
14	*Slug test*	31,50	22,64		
15	Teste de bombeamento	29,50	18,36	20,47	0,390
17	*Slug test*	26,50	9,22		
18	Teste de bombeamento	25,00	13,87	14,43	1,000
19	Teste de bombeamento	25,50	7,08	19,71	1,010
20	*Slug test*	33,00	19,56		

21	Teste de bombeamento	29,50	17,63	26,52	0,553
22	Teste de bombeamento	41,00	26,79	29,80	0,800

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Adaptado de: GeoHidro, 2022.

Os testes de bombeamento para a obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos condutividade hidráulica e transmissividade exigem a manutenção constante das taxas de vazão durante toda sua execução, permitindo variação máxima de 10%. Por essa razão, foram realizados pré-testes de bombeamento nos poços calibrando-se o sistema bombeador/registro e assim, estabelecer uma vazão que pudesse variar o mínimo possível com relação a vazão do teste, e verificou-se que somente 11 dos 21 poços de monitoramento, conforme o Quadro 11.1.11-7, atenderam a esta condição da vazão constante.

A aferição do nível dinâmico foi executada de forma manual, fazendo uso de medidor de nível de água eletrônico de fita com sinal sonoro. Essas medidas foram obtidas usando um padrão de tempo pré-estabelecido, conforme o Quadro 11.1.11-8. As medidas de vazão foram obtidas por meio do método volumétrico.

Quadro 11.1.11-8: Tempo e intervalo de medição em minutos do teste de bombeamento.

Tempo (min.)	Intervalo (min.)
1 - 6	1
8 - 10	2
10 - 30	5
30 - 80	10
80 - 120	20
120 - 180	30
180 - 960	60
960 - 1440	120

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Adaptado de: GeoHidro, 2022.

Quanto as medidas da recuperação após o bombeamento, as leituras do nível d'água tiveram uma duração de 1/3 do tempo do bombeamento ou, no mínimo, até que a recuperação atingisse 90% do rebaixamento total.

Para os ensaios de *Slug Test*, as medidas do nível da água imediatamente após sua elevação nos poços de monitoramento, após a introdução do *slug* (tarugo) de dimensões conhecidas foram também obtidas da forma manual com o mesmo medidor empregado nos testes de bombeamento. Os tempos para o ensaio estão descritos no Quadro 11.1.11-9 a seguir:

Quadro 11.1.11-9: Tempo e intervalo de medição em minutos do *Slug Test*.

Tempo (min.)	Intervalo (min.)
0 - 10	0,5
10 - 20	1
20 - 30	2
30 - 80	5
80 - 120	10
120 - 180	30
180 - 480	60

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Adaptado de: GeoHidro, 2022.

Por fim, após a realização dos testes em campo, a Geohidro elaborou um relatório para a caracterização dos parâmetros hidráulicos dos poços de monitoramento e por consequência dos aquíferos, com a obtenção da condutividade hidráulica (K) e transmissividade (T). Primeiro foram aplicadas as fórmulas ao modelo de dupla porosidade (intergranular/fraturado) a meios rochosos, onde ainda persista porosidade intergranular primária residual, associada à porosidade secundária, com elevada ocorrência de planos de fraturas através dos Método de Warren & Root e Moench, Simplificação de Cooper/Jacob com ajuste das curvas de rebaixamento produzidas durante o bombeamento e durante a recuperação após o bombeamento, finalizando com os ensaios de campo, conhecidos com *slug test*, com o emprego dos métodos de Hvorslev e Bouwer/Rice.

No relatório da GeoHidro é apresentado que a espessura saturada considerada seguiu a seguinte relação: se 1/3 da espessura é superior ao comprimento dos filtros, o valor de L foi considerado o comprimento da seção filtrante, caso contrário L foi considerado igual a 1/3 da espessura saturada. Esta relação foi empregada para todos os métodos. Os resultados estão apresentados do Quadro 11.1.11-10 ao Quadro 11.1.11-12.

Quadro 11.1.11-10: Parâmetros hidrodinâmicos determinados - Dupla Porosidade.

ID	Q (m^3/h)	NE (m)	ND (m)	Sw (m)	Filtro (m)	Esp. (m)	Warren-Root		Moench	
							T (m^2/s)	K (m/s)	T (m^2/s)	K (m/s)
PM01	0,84	25,38	35,85	10,47	04,00	23,62	$1,34\times10^{-5}$	$3,35\times10^{-5}$	$1,34\times10^{-5}$	$3,35\times10^{-5}$
PM02	2,00	21,32	22,68	1,36	04,00	07,98	$8,27\times10^{-5}$	$3,11\times10^{-5}$	$8,27\times10^{-5}$	$3,11\times10^{-5}$
PM06	0,24	23,16	32,84	9,68	02,00	42,34	$2,68\times10^{-6}$	$1,34\times10^{-6}$	$2,68\times10^{-6}$	$1,34\times10^{-6}$
PM08	2,28	6,96	19,51	12,55	08,00	58,04	$9,84\times10^{-5}$	$1,23\times10^{-5}$	$4,06\times10^{-5}$	$5,08\times10^{-6}$
PM09	4,29	4,01	9,39	5,38	06,00	40,99	$3,57\times10^{-4}$	$5,94\times10^{-5}$	$2,93\times10^{-4}$	$4,89\times10^{-5}$
PM10	0,37	29,24	35,29	6,05	04,00	03,04	$1,09\times10^{-5}$	$3,59\times10^{-6}$	$1,31\times10^{-5}$	$4,31\times10^{-6}$
PM15	0,39	18,36	20,47	2,11	04,00	11,14	$3,62\times10^{-5}$	$9,06\times10^{-6}$	$3,62\times10^{-5}$	$9,06\times10^{-6}$
PM18	1,00	13,87	14,43	0,56	04,00	11,13	$3,04\times10^{-4}$	$7,61\times10^{-5}$	$3,04\times10^{-4}$	$7,61\times10^{-5}$

PM19	1,12	7,08	19,71	12,63	04,00	18,42	$2,21\times10^{-5}$	$5,54\times10^{-6}$	$2,30\times10^{-5}$	$5,76\times10^{-6}$
PM21	0,55	17,63	26,52	8,89	02,00	11,87	$7,71\times10^{-6}$	$3,85\times10^{-6}$	$7,67\times10^{-6}$	$3,84\times10^{-6}$
PM22	0,80	26,79	29,80	3,01	04,00	14,21	$7,62\times10^{-5}$	$1,90\times10^{-5}$	$4,35\times10^{-5}$	$1,09\times10^{-5}$
Média							**$9,19\times10^{-5}$**	**$2,32\times10^{-5}$**	**$7,82\times10^{-5}$**	**$2,09\times10^{-5}$**

ID=Identificação do poço; Q=Vazão; NE= Nível estático; ND=Nível dinâmico; Sw=Rebaixamento; Esp. Saturada= Espessura saturada; T=Transmissividade; K=Condutividade hidráulica.

Elaboração: BTB Explorers 2023 adaptado de GeoHidro, 2022.

Quadro 11.1.11-11: Parâmetros hidrodinâmicos determinados - Simplificação de Cooper/Jacob.

	Q (m3/h)	T (m^2/s)		T (m^2/s) Valor médio	Espessura saturada (m)	k (m/s)
		Cooper&Jacob	Recuperação			
Poço-01	0,837	1,51E-05	1,59E-05	1,55E-05	4	3,87E-06
Poço-02	2,000	2,76E-04	8,00E-04	5,38E-04	2,66	2,02E-04
Poço-06	0,240	3,83E-06	2,53E-05	1,46E-05	2	7,28E-06
Poço-08	2,278	3,99E-05	6,43E-05	5,21E-05	8	6,51E-06
Poço-09	4,285	4,40E-04	8,12E-05	2,61E-04	6	4,34E-05
Poço-10	0,380	1,48E-05	1,94E-05	1,71E-04	3,04	5,63E-05
Poço-15	0,385	4,30E-05	3,84E-05	4,07E-05	4	1,02E-05
Poço-18	1,000	5,36E-04	8,73E-04	7,04E-04	4,21	1,67E-04
Poço-19	1,010	2,11E-05	1,53E-05	1,82E-05	3,47	5,24E-06
Poço-21	0,553	9,66E-06	4,98E-06	7,32E-06	2	3,66E-06
Poço-22	0,800	7,61E-05	3,20E-04	1,98E-04	4	4,95E-05
					Média	**5,05E-05**

Elaboração: BTB Explorers 2023 adaptado de GeoHidro, 2022.

Quadro 11.1.11-12: Parâmetros hidrodinâmicos determinados - *Slug Test*.

ID	NE (m)	ND (m)	Sw (m)	Filtro (m)	Esp. (m)	Hvorslev	Bouwer-Rice
						K (m/s)	K (m/s)
PM03	16,44	15,94	-0,05	02,00	13,06	$2,03\times10^{-6}$	$1,56\times10^{-6}$
PM04	11,83	11,34	-0,04	12,00	44,17	$1,77\times10^{-7}$	$1,38\times10^{-7}$

PM05	12,68	12,21	-0,02	06,00	45,32	$1,27\times10^{-7}$	$9,79\times10^{-8}$
PM07	12,82	12,67	-0,03	-	01,91	$5,98\times10^{-7}$	$4,38\times10^{-7}$
PM11	36,76	36,26	-0,26	02,00	01,08	$3,18\times10^{-9}$	$2,38\times10^{-9}$
PM12	19,53	19,26	-0,25	-	00,29	$1,27\times10^{-8}$	$8,98\times10^{-9}$
PM13	17,72	17,23	-0,04	02,00	05,78	3,97x10-7	3,02x10-7
PM14	22,64	22,24	-0,04	02,00	08,86	2,71x10-7	2,38x10-7
PM17	9,72	9,28	-0,01	04,00	16,78	$1,52\times10^{-6}$	$1,17\times10^{-6}$
PM20	20,06	19,58	-0,08	06,00	12,94	$4,55\times10^{-8}$	$3,51\times10^{-8}$
Média						**$5,18x10^{-7}$**	**$3,99x10^{-7}$**

*ID=Identificação do poço; Q=Vazão; NE= Nível estático; ND=Nível dinâmico; Sw=Rebaixamento; Esp. Saturada= Espessura saturada; T=Transmissividade; K=Condutividade hidráulica. *Os dados de ND são referentes ao nível deslocado logo após a inserção do tarugo no interior do poço.*

Elaboração: BTB Explorers 2023 adaptado de GeoHidro, 2022.

Os dados da condutividade hidráulica (K) e transmissividade (T) obtidos, calculados através dos métodos aplicados, com suas determinações, apresentados nos quadros acima, constam nos Anexo 11.1.7-1 (Warren&Root), VII (Moench), VIII (Cooper&Jacob), IX (Hvorslev) e X (Bouwer&Rice) do Relatório da Construção de Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas na Área do Projeto Santa Quitéria, elaborado pela GeoHidro.

No ano de 2011, o poço PM-06 foi o único a ser submetido a ensaios de permeabilidade na zona saturada das rochas Gnáissicas da Formação Barrigas. Foi registrado nesse poço a menor condutividade hidráulica dentre os poços ensaiados, com valor na ordem de 9,62 x 10^{-9} m/s. Para o ano de 2022, os poços PMs – 01, 03, 06, 13, 14, 17, 19, 20, 21 e 22 foram instalados sobre as rochas dessa mesma formação, apresentando valores de condutividade média, variando a depender do método, de 10^{-5} (Warren&Root, Moench e Cooper&Jacob) a 10^{-7} (Hvorslev e Bouwer&Rice), sendo o valor mais baixo registrado no PM-12 (antigo PM-05 de 2011), com condutividade de $8,98x10^{-9}$ pelo método de Bouwer-Rice, seguido do PM-20 com (K) de $3,51x10^{-8}$, pelo mesmo método.

Com relação às unidades MC1, os três poços de 2011, apresentaram valores de (K) na ordem de 10^{-8}, com exceção do PM-10 (com valores próximos ao do PM-06 de 2011) $3,11^{E-09}$. No caso dos poços de 2022, destaca-se o poço PM-11, que apresentou o maior valor de condutividade hidráulica pelo método de Hvorslev, com valor (K) na ordem de $3,18x10^{-9}$. Os demais poços avaliados nessa campanha apresentaram valores na faixa de 10^{-7}.

Ambas as unidades apresentaram valores semelhantes conforme o Quadro 11.1.11-13 a seguir.

Quadro 11.1.11-13: Resultados das Transmissividades e Condutividade por unidades.

	Warren-Root		Moench		Cooper/Jacob		Hvorslev	Bouwer-Rice	Unidades
	Teste de Bombeamento e Recuperação						*Slug Test*		
	T (m^2/s)	K (m/s)	T (m^2/s)	K (m/s)	T (m^2/s)	K (m/s)	K (m/s)	K (m/s)	
PM01	1,34E-05	3,35E-05	1,34E-05	3,35E-05	1,55E-05	3,87E-06	----	----	MS1
PM03	----	----	----	----	----	----	2,03E-06	1,56E-06	
PM06	2,68E-06	1,34E-06	2,68E-06	1,34E-06	1,46E-05	7,28E-06	----	----	
PM13	----	----	----	----	----	----	3,97E-07	3,02E-07	
PM14	----	----	----	----	----	----	2,71E-07	2,38E-07	
PM12	----	----	----	----	----	----	1,27E-08	8,98E-09	
PM17	----	----	----	----	----	----	1,52E-06	1,17E-06	
PM19	2,21E-05	5,54E-06	2,30E-05	5,76E-06	1,82E-05	5,24E-06	----	----	
PM20	----	----	----	----	----	----	4,55E-08	3,51E-08	
PM21	7,71E-06	3,85E-06	7,67E-06	3,84E-06	7,32E-06	3,66E-06	----	----	
PM22	7,62E-05	1,90E-05	4,35E-05	1,09E-05	1,98E-04	4,95E-05	----	----	
média	2,64E-05	1,20E-05	2,11E-05	1,07E-05	4,91E-05	1,33E-05	7,13E-07	5,52E-07	
PM02	8,27E-05	3,11E-05	8,27E-05	3,11E-05	5,38E-04	2,02E-04	----	----	MC1
PM04	----	----	----	----	----	----	1,77E-07	1,38E-07	
PM05	----	----	----	----	----	----	1,27E-07	9,79E-08	
PM07	----	----	----	----	----	----	5,98E-07	4,38E-07	
PM08	9,84E-05	1,23E-05	4,06E-05	5,08E-06	5,21E-05	6,51E-06	----	----	
PM09	3,57E-04	5,94E-05	2,93E-04	4,89E-05	2,61E-04	4,34E-05	----	----	
PM10	1,09E-05	3,59E-06	1,31E-05	4,31E-06	1,71E-04	5,63E-05	----	----	
PM11	----	----	----	----	----	----	3,18E-09	2,38E-09	
PM15	3,62E-05	9,06E-06	3,62E-05	9,06E-06	4,07E-05	1,02E-05	----	----	
PM18	3,04E-04	7,61E-05	3,04E-04	7,61E-05	7,04E-04	1,67E-04	----	----	
média	1,71E-04	3,65E-05	1,47E-04	3,31E-05	3,45E-04	9,50E-05	9,05E-07	6,76E-07	

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Adaptado de: GeoHidro, 2022.

Com relação à transmissividade, nos ensaios de 2011 o poço PM-10 apresentou o menor valor dentre os 4 poços avaliados, seguido pelo PM-06, com ordens de grandeza, respectivamente, de 10-9 e 10-8 m^2/s. Os poços PM-07 e PM-09 também apresentaram valores maiores, com ordem de grandeza de 10-7 m^2/s.

Já para os ensaios de 2022 a transmissividade (T) apresentou valores médios de 10-05 m^2/s nas rochas MS1 e 10-04 m^2/s nas rochas MC1. O poço que apresentou o maior valor foi o PM-22 pelo método de Cooper/Jacob de $1{,}98x10^{-04}$.

11.1.11.2.6 Ensaios de Perda D'água em Poços de Monitoramento – Zona Vadosa

Em 2011 foram realizados ensaios de perda d'água apresentados neste item, os quais viabilizaram a identificação das propriedades hidrodinâmicas da zona vadosa na unidade

MS1. Os três poços instalados nas rochas metacarbonáticas da unidade MC1 (PM-06, PM-09 e PM-10) apresentaram coluna d'água em 2011 e tiveram suas propriedades hidráulicas caracterizadas através do método *slug test*, e por este motivo, não foram realizados ensaios de perda d'água na zona vadosa nestes poços.

A avaliação da permeabilidade da zona vadosa (condutividade hidráulica dos diversos ambientes na AID), cujos ensaios foram realizados em parcelas previamente planejadas e distribuídas em função das características pedológicas e geomorfológicas, espessura, estruturação, textura etc., são apresentados detalhadamente nos capítulos de Pedologia (11.1.5) e Geotecnia (11.1.6).

Os ensaios de perda d'água em poços de monitoramento na zona vadosa da Unidade MS1, foram realizados em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), em poços de monitoramento que não interceptaram água, (PMs-01, 02 e 04). Exclusivamente no PM-04 foram realizados dois ensaios (A e B), com diferente volume de água adicionado em cada teste. A Figura 11.1-260 apresenta os resultados destes ensaios.

As curvas dos gráficos indicam que num período de 3,6 horas, ocorreu um rebaixamento de 3,0 cm no PM-01 e de 2,5 cm no PM-02.

Os resultados antagônicos referentes ao rebaixamento do nível d'água durante os ensaios PM-04A (2,0 m) e PM-04B (nulo), se dá pela diferença da espessura da coluna d'água dentro do poço PM-04, decorrente da quantidade de água utilizada em cada um dos ensaios.

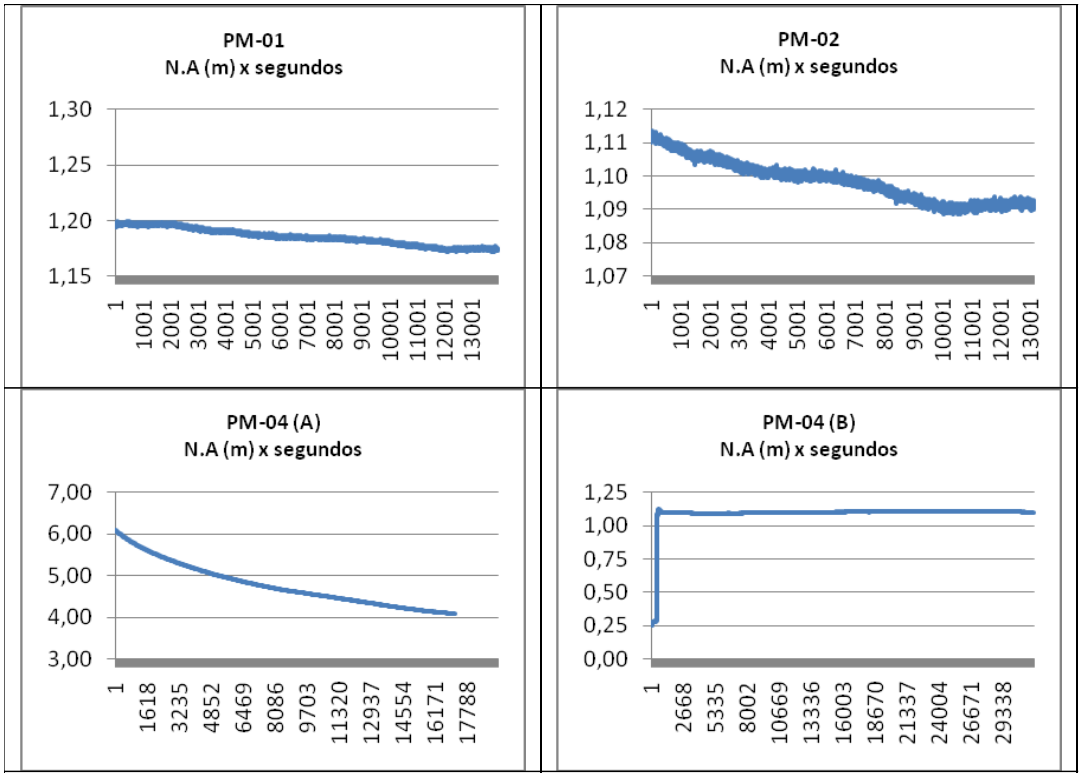


Figura 11.1-260: Curvas de variação nos ensaios de perda d'água em poços.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

No ensaio PM-04 (B), foi gerado 1,1 m de altura de coluna d'água a partir do fundo, e não foi observado rebaixamento da coluna num período aproximadamente 8,0 horas, o que sugere a ausência de fraturas do fundo até 1,1 m acima do fundo do poço.

No ensaio PM-04 (A) foi gerado 6,0 m de altura de coluna d'água, a qual rebaixou 2,0 m em cerca de 4,0 horas. Esses dados sugerem uma perda de água, ou pela base da cimentação na interface solo e rocha, ou pela eventual presença de fraturas ou falhas capazes de transmitir água. O Quadro 11.1.11-14 apresenta os valores obtidos para a condutividade hidráulica a partir dos ensaios de perda d'água.

Quadro 11.1.11-14: Condutividade hidráulica a partir do ensaio de perda d'água em poços.

Poço	Unidade	Condutividade (m/s)	Condutividade (cm/s)
PM-01	MS1	$6,81^{E-11}$	$6,81^{E-09}$
PM-02	MS1	$1,02^{E-10}$	$1,02^{E-08}$
PM-04 (A)	MS1	$1,51^{E-09}$	$1,51^{E-07}$

Elaboração BTB Explorers, 2021. Adaptado de: ARCADIS LOGOS, 2014.

11.1.11.2.7 Níveis D'água Sazonais nos Poços de Monitoramento

Com objetivo de identificar as variações sazonais no nível d'água subterrânea, foram realizadas medições do nível estático ao longo de um ciclo hidrogeológico completo em 2011, e nas estações seca de 2020, e na chuvosa em 2021, além de complementações através dos poços de monitoramento instalados em 2022, com levantamentos dos níveis estáticos em 2022 e 2023, com uso de medidor de nível elétrico.

Os dados apresentados no Quadro 11.1.11-15 são os resultados das medições realizadas em campo durante a instalação dos poços (fev/11), das duas campanhas de campo (nov/20 e jun/21) e nas 06 campanhas de amostragem das águas subterrâneas.

Quadro 11.1.11-15: Níveis estáticos da água subterrânea ao longo do tempo, nos poços de monitoramento instalados em 2011.

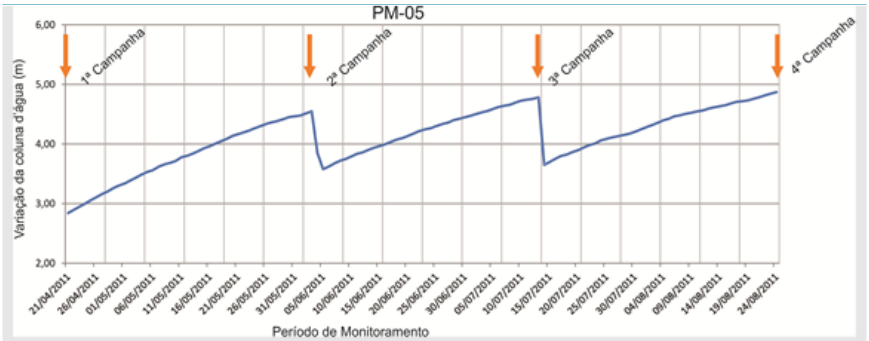
Poço	Prof. Total	fev/11	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	out/20	nov/20	fev/21	jun/21
PM-01	20,89	s	s	s	s	s	s	s	s	s
PM-02	20,88	s	s	s	s	s	s	s	s	s
PM-03	20,71	19,50	20,06	18,64	19,33	20,00	18,50	18,05	19,26	19,44
PM-04	20,82	s	s	s	s	s	s	s	s	s
PM-05	20,60	16,29	16,97	16,25	16,01	15,92	18,95	18,88	o	19,56
PM-06	24,91	22,88	22,84	22,86	22,88	22,96	s	s	s	s
PM-07	15,57	8,41	8,66	8,22	8,27	8,50	12,20	13,85	12,61	12,29
PM-08	20,67	s	s	s	s	s	s	s	s	s
PM-09	21,02	8,53	9,50	7,71	8,29	8,64	s	s	s	s
PM-10	21,00	17,94	17,90	17,91	17,91	18,04	o	o	o	o

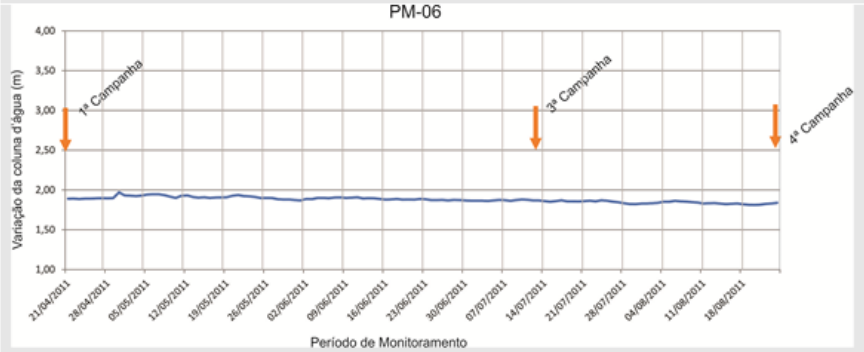
Legenda: n.e. = nível estático da água subterrânea. Prof = profundidade. (s) seco (o) obstruído, provavelmente galhos.
Elaboração: BTB Explorers, 2021. Adaptado de: ARCADIS LOGOS, 2014.

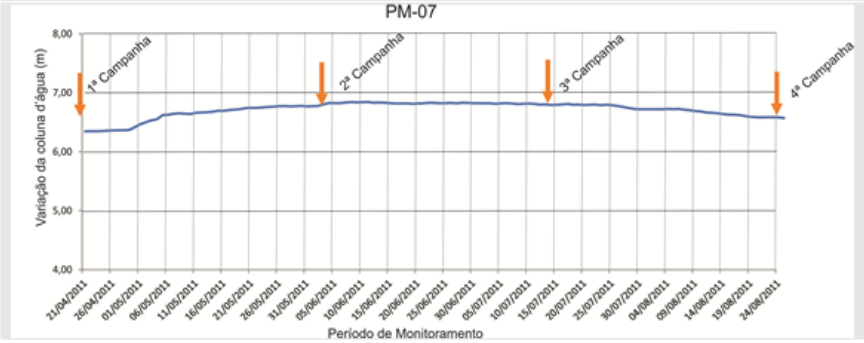
Com objetivo de identificar as variações sazonais no nível d'água subterrânea e avaliar a recuperação dos poços após os eventos de amostragem, foram realizadas em 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), medições do nível estático com uso de transdutores de pressão, no período que compreende as quatro primeiras campanhas de amostragem, entre abril e agosto de 2011, nos poços PM-05, PM-06, PM-07, PM-09 e PM-10. Os dados armazenados no próprio equipamento foram transportados para o banco de dados após a última campanha de amostragem. Visando eliminar as interferências da variação na pressão atmosférica, foi realizado, o monitoramento com transdutor *Barologger*, mantido em campo fixado em uma cota conhecida.

Os dados primários obtidos com o monitoramento foram analisados e cruzados com os dados pluviométricos da região, no mesmo período, permitindo avaliar o comportamento dos aquíferos em resposta aos principais eventos de pluviosidade.

A Figura 11.1-261 mostra a evolução dos dados obtidos com o uso dos transdutores de pressão para todo o período em que os poços foram monitorados de abril a agosto de 2011. Estes dados foram corrigidos com os dados do *barologger*, cuja função é compensar as variações na pressão atmosférica. A Figura 11.1-262 demonstra a evolução pluviométrica na região durante os monitoramentos no referido período.


PM-05
Variação da coluna d'água (m)
1ª Campanha
2ª Campanha
3ª Campanha
4ª Campanha
Período de Monitoramento


PM-06
Variação da coluna d'água (m)
1ª Campanha
3ª Campanha
4ª Campanha
Período de Monitoramento


PM-07
Variação da coluna d'água (m)
1ª Campanha
2ª Campanha
3ª Campanha
4ª Campanha
Período de Monitoramento

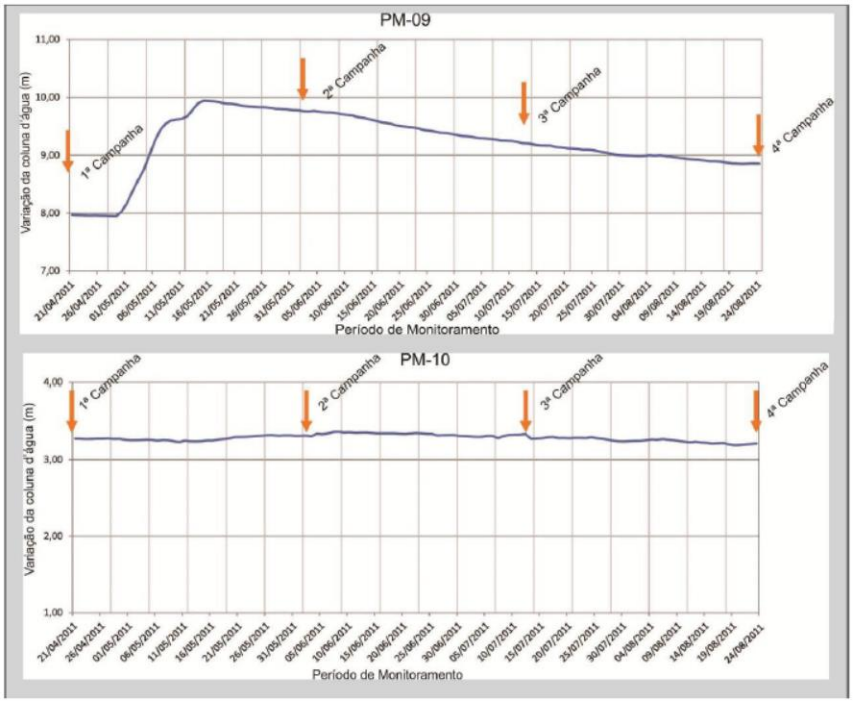

PM-09
Variação da coluna d'água (m)
1ª Campanha
2ª Campanha
3ª Campanha
4ª Campanha
Período de Monitoramento
PM-10
Variação da coluna d'água (m)
1ª Campanha
2ª Campanha
3ª Campanha
4ª Campanha
Período de Monitoramento

Figura 11.1-261: Variação do N.A. de abril a agosto de 2011.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Os índices pluviométricos do posto de monitoramento Lagoa do Mato para os meses de abril a julho de 2011 (FUNCEME, em 26/08/2011), quando foram realizados os monitoramentos com o uso dos transdutores de pressão, são apresentados na Figura 11.1-262.

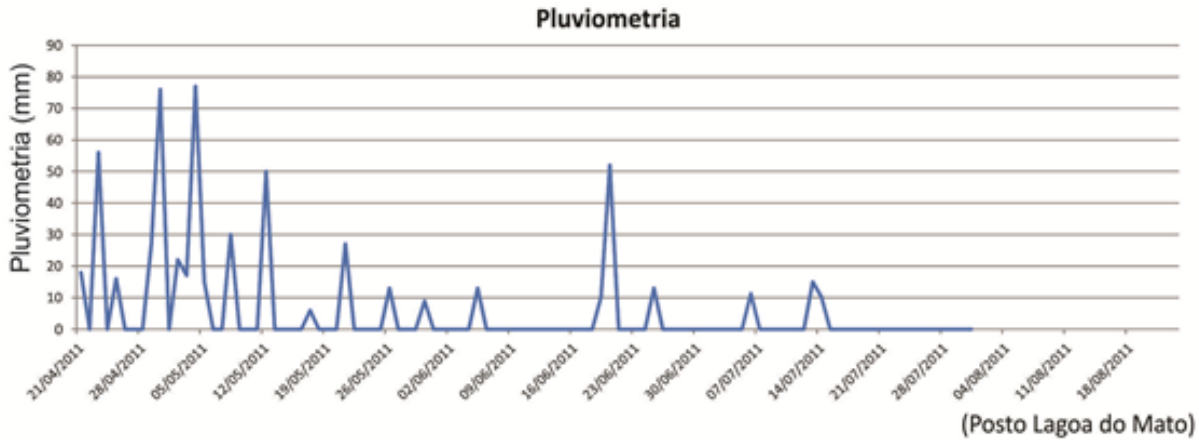


Figura 11.1-262: Variação do índice pluviométrico entre abril e julho de 2011.

Fonte: ARCADIS LOGOS, 2014.

Os gráficos apresentados permitem analisar a resposta do nível d´água dos aquíferos MS1 e MC1, sob estresses impostos aos poços pelas amostragens, bem como a variação de longo prazo em função dos regimes pluviométricos.

O PM-05 na unidade aquífera MS1, apresentou a recuperação mais lenta, demorando cerca de 30 dias para atingir o nível estático. Este poço também apresenta resposta bastante sutil com relação aos eventos pluviométricos de maior intensidade, com um aumento gradativo da coluna d'água entre os meses de abril e agosto.

O PM-06, também na unidade aquífera MS1, apresentou recuperação do nível d´água após a amostragem rápida a ponto de se tornar imperceptível no gráfico; e resposta bastante sutil a eventos chuvosos, com pequena variação ascendente na curva registrada no final do mês de abril, mês mais chuvoso do ano avaliado (2011). A partir do mês de maio ocorrem pequenas flutuações no nível d'água, com tendência de queda registrada até o final de agosto, sendo que a partir do final de julho esta queda é um pouco mais acentuada

O PM-07 na formação Alcantil unidade aquífera MC1, apresentou resposta rápida aos eventos chuvosos de maior intensidade ocorridos no final do mês de abril e início do mês de maio, com curva em ascensão acentuada neste período até o início do mês de junho, quando

estabilizou. A partir de 20/07/11 ocorre uma queda gradual na curva até o final de agosto, período correspondente ao início da estiagem na região. A recuperação nos períodos de amostragem é imperceptível na figura, sendo praticamente instantânea à medida que a água vai sendo retirada do poço.

O PM-09 também na formação na Formação Alcantil unidade aquífera MC1, foi o poço que apresentou variação mais acentuada com relação às chuvas ocorridas na região. Pode-se notar um rápido salto na curva (aumento de cerca de 2 m no nível d´água) no período de chuvas mais intensas ocorridas no final do mês de abril e início do mês de maio, com pico no dia 15/05/11. Nos meses subsequentes, a curva tende a descender acompanhando a diminuição no índice pluviométrico até o final do monitoramento. Da mesma forma que no poço PM-07, a recuperação nos períodos de amostragem é imperceptível no gráfico, sendo praticamente instantânea.

O PM-10, na formação na Formação Alcantil unidade aquífera MC1, apresenta ascensão pouco acentuada na curva a partir do dia 16/05/11. Este fato reflete um atraso na resposta da coluna d'água em relação ao período mais chuvoso. A partir daí, a curva se mantém praticamente estável até a 2ª campanha de amostragem, quando é possível perceber um pequeno rebaixamento, demonstrando que a recuperação após a amostragem pode levar algumas horas. A partir do dia 13/07/11, a curva começa a declinar vagarosamente até o final de agosto, apresentando uma pequena queda abrupta, coincidente com a 3ª campanha de amostragem.

Para as campanhas de 2022 e 2023, foi realizada coleta de amostras d'água no âmbito do Programa de Monitoração Radiológica Ambiental Pré-Operacional (PMRA-PO). A Campanha 01 foi realizada entre os dias 13 de setembro a 28 de novembro de 2022, a Campanha 02 foi realizada entre os dias 12 de dezembro de 2022 a 06 de fevereiro de 2023, a Campanha 03 foi realizada entre os dias 13 de março de 2023 a 24 de abril de 2023 e a Campanha 04 entre os dias 05 e 27 de julho pelos técnicos da CPEA. Os resultados dessas campanhas são apresentados resumidamente no Quadro 11.1.11-16.

Quadro 11.1.11-16: Níveis estáticos da água subterrânea ao longo do tempo, nos poços de monitoramento levantados em 2022 e 2023.

Poço	Unidade	Prof Total	Set/Out de 2022	Dez de 2022 a Jan de 2023	Mar/Abr de 2023	Jul de 2023
PC-02	MC1	32,00	21,78	22,50	21,81	21,82
PC-04	MC1	55,47	11,91	10,55	10,51	9,63
PC-05	MC1	60,40	13,05	11,94	10,51	10,84
PC-07	MC1	14,64	13,13	12,83	12,60	11,77
PC-08	MC1	65,67	7,57	7,40	6,31	7,37

Poço	Unidade	Prof Total	Set/Out de 2022	Dez de 2022 a Jan de 2023	Mar/Abr de 2023	Jul de 2023
PC-09	MC1	45,57	4,62	4,65	4,43	3,89
PC-10	MC1	41,97	29,76	20,07	25,50	26,22
PC-11	MC1	40,04	35,19	34,52	33,41	27,12
PC-15	MS1	30,14	18,81	18,66	18,30	16,42
PC-18	MC1	25,28	14,83	14,13	13,57	12,94
PC-01	MS1	49,00	26,27	16,38	26,39	26,35
PC-03	MS1	30,03	16,43	16,41	16,46	16,36
PC-06	MS1	65,87	23,50	23,62	26,70	23,77
PC-12	MS1	20,60	19,62	20,25	----	----
PC-13	MS1	24,18	18,12	18,17	13,57	18,28
PC-14	MS1	32,14	22,87	22,93	22,99	22,84
PC-17	MS1	27,18	10,02	6,52	----	4,84
PC-19	MS1	26,05	8,36	5,60	6,87	5,52
PC-20	MS1	33,28	20,17	14,25	17,12	17,02
PC-21	MS1	30,03	18,56	18,70	18,00	15,00
PC-22	MS1	41,70	27,41	27,39	27,40	26,63

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Adaptado de GeoHidro, 2022 e CPEA, 2022 / Tetra Mais, 2023 e PMRA-PO.

De forma geral, os poços pertencentes a unidade MC1 apresentaram pouca variação durante os períodos chuvosos e de seca. As precipitações na região apresentam valores anuais abaixo de 800 mm, inserindo a região no polígono das secas. Nas estações e postos pluviométricos analisados e explanados no capítulo de Clima (11.1.1), verificou-se que as variações pluviométricas anuais, estão entre 355,7 mm e 712,8 mm. Foi levantado o acúmulo de chuvas desde o ano de 1994 até 2023, onde a região passou por diferentes eventos de secas, como demostrado na Figura 11.1-263 a seguir:

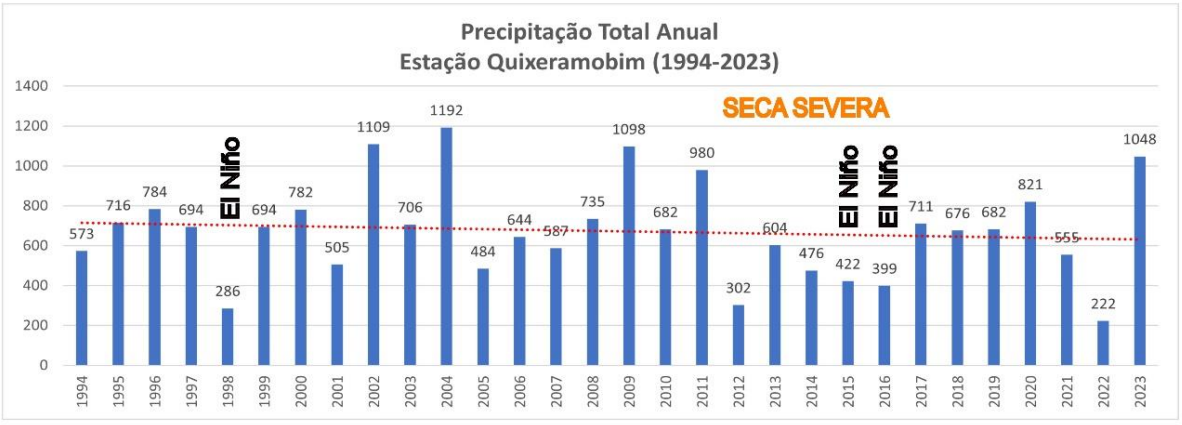


Figura 11.1-263: Precipitação total anual da série histórica de 29 anos (1994-2023).

Fonte: INMET, 2023. Organizado por Tetra Mais, 2023.

As ocorrências de episódios de El Niño, geralmente começam a se desenvolver próximo ao meio do ano, atingindo sua intensidade máxima no final do mesmo ano e se dissipam cerca de seis meses depois. Isso resulta em diminuição do total de chuvas justamente durante a estação chuvosa no semiárido nordestino (dezembro a maio).

É possível observar nas medições realizadas nos meses de dezembro 2022 e janeiro de 2023 que houve o processo de recarga do aquífero, com sua estabilização nos meses seguintes de março a abril de 2023, assemelhando-se aos padrões iniciais de setembro e outubro de 2022. Essas variações são muito visíveis nos poços instalados no aquífero compostos pelas rochas MS1, onde a variação beira os 10 metros como no PM-01. Já em outros casos a variação é praticamente nula, como nos poços PMs-03,14,21 e 22, constituído principalmente por rochas gnáissicas, porém todos os poços estão localizados próximos a áreas de drenagem, fraturamento e/ou contatos geológicos, indicando uma possível área de intensa recarga aquífera.

11.1.11.2.8 Mapa Potenciométrico

Para obtenção do mapa potenciométrico, as medidas de nível d'água ao longo das campanhas de monitoramento foram convertidas em carga hidráulica, através da diferença da cota do poço (em metros) pela medida do nível d'água (em metros).

Para a rede de monitoramento implantada no ano de 2011, os resultados são apresentados no Quadro 11.1.11-17, indicando os resultados separados por unidade aquífera, MS1 e MC1.

Quadro 11.1.11-17: Tabela de Cargas hidráulicas nos poços ao longo dos monitoramentos de 2011/2020 e 2021.

Poço	Cota Boca (m)	Cota Fundo (m)	Cargas Hidráulicas em metros - Unidade Aquífera MS1								
			fev/11	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	out/20	nov/20	fev/21	jun/21
PM-01	449,8	428,9	<428,9	<428,9	<428,9	<428,9	<428,9	<428,9	<428,9	<428,9	<428,9
PM-02	444,0	423,1	<423,1	<423,1	<423,1	<423,1	<423,1	<423,1	<423,1	<423,1	<423,1
PM-03	454,0	433,3	434,5	433,9	435,4	434,7	434,0	435,5	436,0	434,7	434,6
PM-04	460,0	439,2	<439,2	<439,2	<439,2	<439,2	<439,2	<439,2	<439,2	<439,2	<439,2
PM-05	449,0	428,4	432,7	432,0	432,8	433,0	433,1	430,1	430,1	o	429,4
PM-06	457,0	432,1	434,1	434,2	434,1	434,1	434,0	<432,1	<432,1	<432,1	<432,1
PM-08	480,0	459,3	<459,3	<459,3	<459,3	<459,3	<459,3	<459,3	<459,3	<459,3	<459,3
Poço	**Cota Boca (m)**	**Cota Fundo (m)**	**Cargas Hidráulicas em metros - Unidade Aquífera MC1**								
			fev/11	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	out/20	nov/20	fev/21	jun/21
PM-07	449,0	433,4	440,6	440,3	440,8	440,7	440,5	436,8	435,2	436,4	436,7
PM-09	445,6	424,6	436,5	435,5	437,3	436,7	436,4	<424	<424	<424	<424
PM-10	430,0	409,0	412,1	412,1	412,1	412,1	412,0	o	o	o	o

Legenda: (<) cota acima da qual não foi interceptado o nível d'água; (o) obstruído, provavelmente galhos de vegetação.
Elaboração: BTB Explorers, 2021 adaptado de ARCADIS LOGOS, 2014.

Para a rede de monitoramento implantada em 2022 e 2023, os resultados são apresentados no Quadro 11.1.11-18, indicando os resultados separados por unidade aquífera, MS1 e MC1.

Quadro 11.1.11-18: Tabela de Cargas hidráulicas nos poços ao longo dos monitoramentos de 2022 e 2023.

	Poço	Cota do Poço	Prof Total	Cargas Hidráulicas			
				Set/Out (2022)	Dez (2022) /Jan (2023)	Mar/Abr (2023)	Jul (2023)
MC1	PC-02	459,81	428,31	438,03	437,31	438,00	450,18
	PC-04	439,84	383,84	427,93	429,29	429,33	428,07
	PC-05	440,88	380,88	427,83	428,94	430,37	433,51
	PC-07	447,88	433,15	434,75	435,05	435,28	421,66
	PC-08	444,98	379,98	437,41	437,58	438,67	417,86
	PC-09	447,82	402,82	443,20	443,17	443,39	431,40
	PC-10	430,48	388,48	400,72	410,41	426,05	417,54
	PC-11	429,34	408,94	394,15	394,82	403,84	402,99
	PC-15	438,18	408,68	419,37	419,52	419,88	419,90
	PC-18	418,66	393,66	403,83	404,53	405,09	413,82
MS1	PC-01	465,71	416,71	439,44	449,33	439,32	443,89
	PC-03	453,79	424,29	437,36	437,38	437,33	442,95
	PC-06	467,50	402,00	444,00	443,88	440,80	463,61
	PC-12	448,70	408,70	429,08	428,45	415,29	432,34
	PC-13	454,72	431,22	436,60	436,55	441,15	430,95
	PC-14	456,97	425,47	434,10	434,04	433,98	---
	PC-17	424,28	397,78	414,26	417,76	----	401,44
	PC-19	397,89	372,39	389,53	392,29	391,02	392,37
	PC-20	410,96	377,96	390,79	396,71	393,84	393,94
	PC-21	430,29	400,79	411,73	411,59	412,29	415,29
	PC-22	401,49	360,49	374,08	374,10	374,09	374,86

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Adaptado de GeoHidro, 2022 e CPEA, 2022 e 2023.

Os resultados das cargas hidráulicas do levantamento de 2011 indicaram uma diminuição no volume dos aquíferos, quando comparados com os resultados da primeira medição em fevereiro de 2011 e em junho de 2021. Conforme citado na Figura 11.1-263, o ano de 2011 teve precipitações atípicas para a região, ultrapassando os 900 mm, já nos anos seguintes houve uma forte seca na região, junto a dois grandes eventos de El Ninõ que podem ter sido os agentes responsáveis por essa diminuição. Na unidade aquífera de rochas metassedimentares - MS1, o PM-05 apresentou redução de 3,3 m no nível d'água; o PM-06 uma redução maior que 2,0 metros e secou. Na unidade aquífera de rochas metacarbonáticas - MC1, o PM-7 apresentou uma redução de 3,9 m, e o PM-09 apresentou a maior redução de carga hidráulica entre 2011 e 2021, com

mais de 11,9 metros de rebaixamento, passando a ficar seco, conforme identificado como seco em novembro de 2020. Já para as medições realizadas nos anos de 2022 e, em especial, para 2023, houve novas chuvas atípicas, superando os 1000 mm, ocorrendo uma nova recarga do aquífero e atingindo patamares próximos ao medidos em 2011.

A unidade aquífera de metacarbonáticas MC1, quando avaliada no ano de 2011, bem como nas medições posteriores em 2020 e 2021, demostrou variação relevante na carga hidráulica. O poço PM-07, registrou o maior valor de carga hidráulica, atingindo 440,6 m, enquanto o PM-10 apresentou o menor valor 412,0 m. Além disso, foi identificado o maior rebaixamento de carga hidráulica no poço PM-09, com uma redução de mais de 11,9 metros. Estas informações corroboram com o apresentado por Botura (1982), que sugere um rápido esgotamento reflexo de um aquífero cárstico limitado com reduzido armazenamento. Porém, esse mesmo fenômeno não ocorre nas medições de 2022 e 2023, quando o MC1 apresenta maior estabilidade e menor rebaixamento do seu aquífero. De forma geral, o aquífero MS1 apresentou variações mais condizentes com a sazonalidade da região ocorrendo recargas nos meses de dezembro a maio, comumente a época das chuvas da região.

Alcântara e Silva (2003), avaliou a estrutura hidrogeológica da área da jazida, detalhadamente, quanto a sua extensão, profundidade, e propriedades hidráulicas; como em medidas de nível d'água em furos de sondagem; interpretação geológica de superfície e subsuperfície; descrição litoestrutural e características geotécnicas dos tipos de rochas, através de testemunhos de sondagens; e sondagem geofísica e perfis eletromagnéticos. As medidas de nível d'água iniciaram em 1984 com 18 furos (7 na zona elevada e 11 na baixada), finalizando em 1988 com medidas em 28 furos (8 na zona elevada e 20 na baixada).

Apesar do grande detalhamento das informações destes levantamentos na área da jazida no que se refere a unidade MC1, os dados e informações são representativos do período de 1984 a 2002. Apesar da caracterização das propriedades hidráulicas da unidade MC1 ainda serem condizentes com os dados levantados em 2011, através dos ensaios nos poços de monitoramento instalados na unidade MC1, devido ao rebaixamento de cargas hidráulicas maiores que 11,9 m, os dados das cargas hidráulicas da área da jazida, não são representativos do cenário durante a elaboração deste estudo em 2021.

A Figura 11.1-264 e a Figura 11.1-265, a seguir, apresentam a configuração do mapa potenciométrico e as cargas hidráulicas segundo os estudos de Alcântara e Silva (2003).

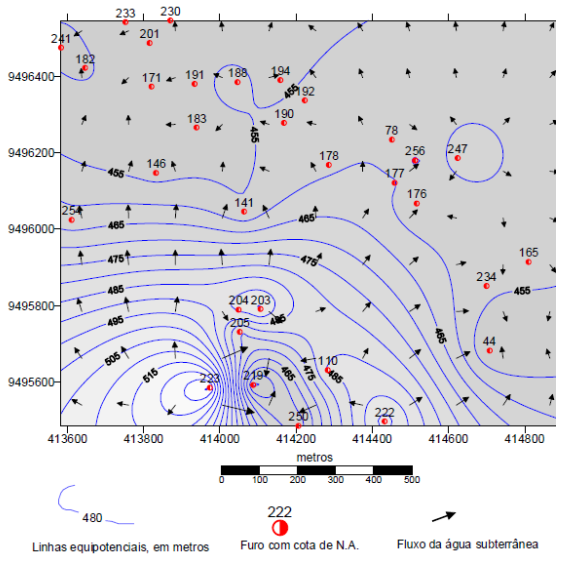


Figura 11.1-264: Mapa potenciométrico.
Fonte: Alcântara e Silva (2003).

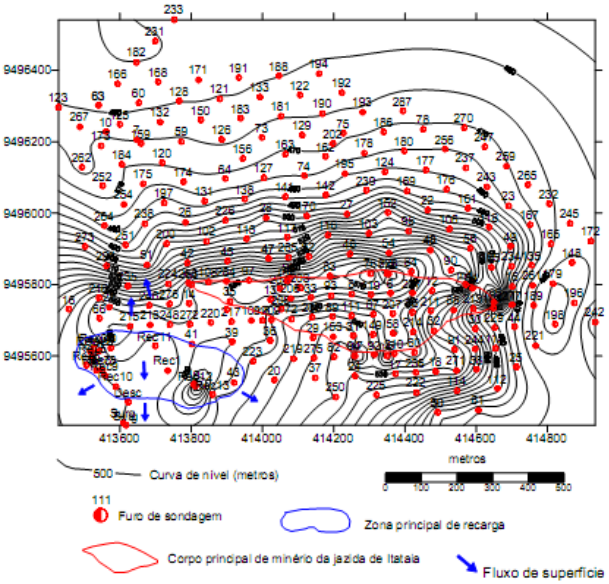


Figura 11.1-265: Mapa topográfico.
Fonte: Alcântara e Silva (2003).

Com base no estudo de Alcântara e Silva (2003), foram identificadas cargas hidráulicas em torno de 455 mnas áreas baixas, e de 515 m no topo da serra que contém o corpo do minério (Figura 11.1-264 e Figura 11.1-265).

Considerando que a cota topográfica no topo da serra é de 560 m e 470 m nas partes baixas, o estudo indica uma profundidade do nível d'água de 45 metros no topo e de 15 metros nas partes baixas, segundo dados de 1986 a 2002.

Para compensar a ausência de informações sobre o nível d'água, a seguir é apresentada uma abordagem da verificação dos indícios de níveis onde a água subterrânea não está presente, estabelecendo assim um parâmetro para verificação da ocorrência de água na cava durante os processos de exploração no local.

Segundo o perfil geológico apresentado por Veríssimo *et al.* (2016) com a indicação da Galeria 01 (Figura 11.1-266), que foi escavada na cota 480 m durante os processos de pesquisa mineral, e que adentra e atravessa a serra na região onde está prevista a cava, fornecendo uma janela de inspeção pelo interior do corpo rochoso, e ainda segundo identificado durante os trabalhos de remoção de estruturas de sustentação para desativação da Galeria 01 em junho de 2021, foi verificado que a mesma não apresenta surgências de águas, ou qualquer sinal que indique a presença de nível d'água subterrânea no interior da galeria.

Considerando que o PM-08 de 2011 está instalado na frente da Galeria 01, também na cota 480 m, com a base na cota 459,3 metros e seco, o que indica que o nível d'água

subterrânea na área da cava, deve ocorrer abaixo dos 459 metros, cota próxima as cargas hidráulicas de 455 metros identificadas por Alcantara e Silva (2003) nas áreas baixas da jazida.

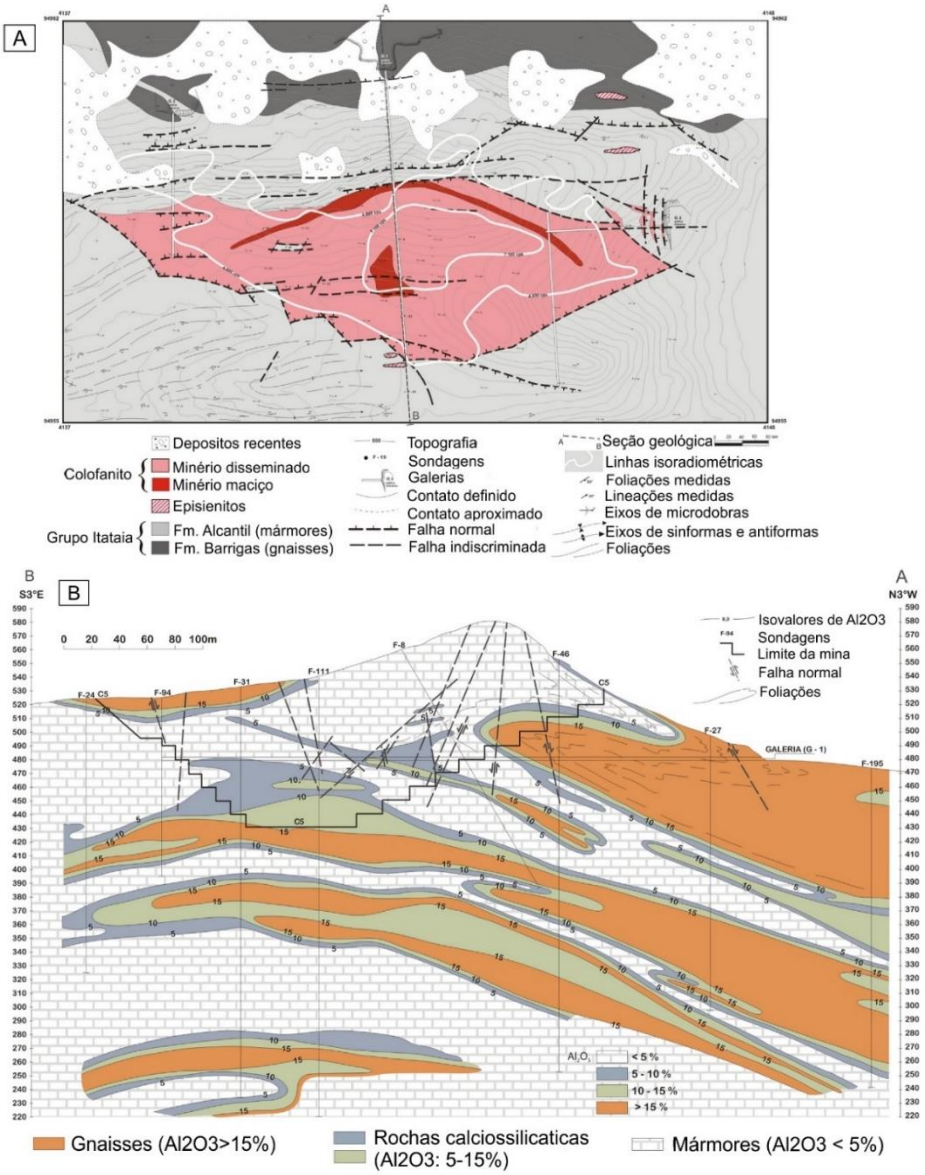


Figura 11.1-266: (A) Mapa geológico do depósito de fosfato-urânio de Itataia, ilustrando o corpo principal de minério e sua associação com planos de falha; (B) Seção transversal através da zona mineralizada com curvas de isovalores de Al2O3. A seção AB está desenhada em (A) e mostra as principais estruturas dúcteis e rúpteis em (B); (linha vermelha) seção da Galeria G1 na cota 480m. (linha verde) Cota 459 de fundo no PM-08 sem água subterrânea. (linha preta) Cota 400 referente ao nível de base da cava.

Fonte: BTB Explorers, 2023. Adaptado de Veríssimo et al. (2016).

Os demais poços de monitoramento instalados nas áreas baixas, no entorno da jazida, são os PMs 07, 09 e 10 de 2011, instalados respectivamente nas cotas 449, 445 e 430 metros. As últimas medições de n.a. realizadas nestes poços, indicam cargas hidráulicas de 436

metros (PM-07 e 09) e de 412 metros no PM-10. Já para os anos de 2022 e 2023 os PMs-01,02,06,08,09 e 10 apresentam cotas respectivas de 465,71 m, 459,81 m, 467,50 m, 444,98 m, 447,82 m e 430,48 m e cargas hidráulicas médias próximas aos 433 m, sendo a menor de 400,72 m no PM-10 e a maior de 444 m no PM-06 nos meses de setembro/outubro de 2022. Já para o mês de julho de 2023 a carga hidráulica apresentou médias um pouco maiores (437,41 metros), sendo os maiores e menores valores nos mesmos poços de 2020 (PM-10 e 06 respectivamente). Vale ressaltar que os poços medidos em 2022 e 2023 estão a aproximadamente 1 km de distância do PM08 de 2011.

Com base nas informações das cargas hidráulicas de 2022 e 2023 de aproximadamente 433 metros em setembro de 2022 e 437,41 metros em julho de 2023 dos PMs mais próximos aos próximos da cava e com água no seu interior; e da ausência de água no interior do corpo rochoso na cota 459 metros, segundo dados do PM-08 de 2011 (medido em 2021); é inferido que o nível d'água na área da futura cava esteja posicionado entre as cotas de 433 e 459 m, segundo esta análise empírica com dados de junho de 2021, setembro de 2022 e julho de 2023. Isso sugere que entre estas cotas e o nível de base da futura cava na cota 400 metros deve ocorrer a presença de água subterrânea referente a Unidade Aquífera MC1.

O levantamento geofísico, realizado em 2002, identificou profundidades do nível de água com valores entre um mínimo de 5 metros e um máximo de 60 metros. Estes valores mínimos podem estar relacionados a um aumento de resistividade em áreas úmidas e não propriamente relacionados com nível d'água subterrâneo.

O levantamento geofísico realizado em 2021, complementando áreas da ADA, identificou através de contornos, estruturas verticalizadas associadas aos falhamentos. Além destas estruturas, descontinuidades litológicas compõem o grupo de feições mapeadas, sendo possível através dos resultados fornecidos extrair a profundidade, extensão e posição em linha de cada corpo ou anomalia.

Dados de resistividade elétrica obtidos em 2021 identificaram três zonas geoelétricas principais. A zona 1 classificou zonas úmidas e rochas alteradas em porções mais rasas, entre elas regolito e perfil de solo, os quais podem reter água nas frações mais argilosas. A zona 2 se refere a rochas pouco fraturadas, enquanto a zona 3 abrange rochas do embasamento, como rochas cristalinas inalteradas (rocha sã).

Os mesmos padrões de anomalias foram observados em diferentes seções geoelétricas e tiveram concordância em diversas situações. Foi encontrada correlação entre as quebras de resistividade de diferentes perfis, e identificadas unidades do mapa geológico local.

Tanto a espessura da camada 1 (*layer1*) referente ao solo e a camada 2 (*layer2*) referente aos locais mais propensos à água subterrânea apresentaram boa estimativas de profundidade entre os limites traçados para cada *layer* e os resultados das sondagens.

Integrando dados geomorfológicos de relevo e hidrografia, dados geofísicos, dados geológicos obtidos em campo, ensaios hidrogeológicos, medições de nível d'água e cálculo de cargas hidráulicas, foi traçado o mapa potenciométrico da ADA (Mapa 11.1-28), com extrapolação empírica dos dados para regiões próximas a base de dados, com características semelhantes, com base nos critérios a seguir.

Considerando que os dados atuais de cargas hidráulicas se referem a dados de apenas 3 poços de monitoramento (PMs 03, 05 e 07), foi interpolada a carga hidráulica de 435 metros.

A comparação entre o mapa potenciométrico e o mapa topográfico de Alcantara e Silva (2003) permite identificar um fluxo de escoamento subterrâneo, refletindo a superfície do relevo, ou seja, curvas equipotenciométricas, em configuração semelhante as curvas topográficas. Com base neste comportamento da água subterrânea, foi traçada a curva equipotenciométrica calculada de 435 metros e extrapolada pela AID, seguindo o contorno da curva topográfica coincidente.

Considerando que as condicionantes para o escoamento do fluxo da água subterrânea são as estruturas geológicas (falhas e fraturas) e a forma do relevo, foram traçados três indicadores de direção de fluxo da água subterrânea no mapa potenciométrico (Mapa 11.1-27). As setas identificadas azul claro (medidas através do mapeamento de direção de fluxo através de geoprocessamento) e azul escuro (direção preferencial dos canais de drenagem) para a condicionante do relevo com influência direta no gradiente hidráulico; e em vermelho as direções de fluxo sob condicionantes estruturais, ainda assim, considerando que mesmo contidas nas estruturas, seu fluxo também é influenciado pelo gradiente hidráulico imposto pelo relevo.

Com base nestes critérios é observada uma direção de fluxo da água subterrânea, similar ao fluxo da água superficial, prevalecendo as resultantes finais das direções de fluxo impostas pelas condicionantes estruturais e refletidas tanto para as águas subterrâneas como para as águas superficiais, devido ao aquífero ser condicionado pelas estruturas geológicas dos aquíferos fraturados.

Tanto as águas superficiais como as subterrâneas tendem a se deslocar condicionadas principalmente pelos efeitos gravitacionais das diferenças de potencial hidráulico, com

deslocamento da maior para menor carga hidráulica, o que caracteriza uma direção de fluxo predominante de NE para SW, de forma encaixada entre planos de fraquezas da zona de cisalhamento da Falha do Riacho Guaribas.

Seguindo este fluxo NE para SW da zona de cisalhamento do Riacho Guaribas, as águas superficiais e subterrâneas do domínio geomorfológico A.2.2, tendem a desaguar no domínio geomorfológico A.1.1., representado por um relevo de colinas alongadas, declividade inferior a 5°, condição favorável a infiltração; que recebe os incrementos hídricos de montante da bacia hidrográfica, e ainda, no entroncamento entre as falhas Guaribas e Groaíras, as duas principais zonas de cisalhamento da AII condicionantes da condução e acumulação de águas subterrâneas.

Cabe ressaltar que os levantamentos espeleológicos não identificaram água no interior das cavidades mapeadas e por isso não foram considerados para elaboração do mapa potenciométrico (Mapa 11.1-27).

Para a região da ADA e seu entorno, foi elaborado o mapa potenciométrico utilizando os dados obtidos pelos poços de monitoramento instalados em 2022 pela GeoHidro, com os dados descritos no Quadro 11.1.11-18. O Mapa 11.1-28 apresenta as características do aquífero da ADA e seu entorno, utilizando as 4 campanhas de coletas.

405.000

420.000

9.500.000

9.485.000

Canindé

Santa Quitéria

Itatira

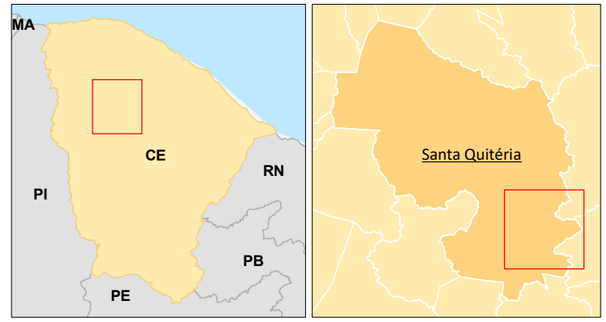
Rio Groaíras

PM07

PM03

PM05

Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional

- Limite Municipal

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)
- Área de Influência Indireta (AII)

Hidrografia

- Rio Groaíras
- Cursos d'água

Estruturas

- Estruturas Geológicas

Potenciometria e Direção de Fluxo de Água Subterrânea

- Poços
- Linhas de Fluxo
- Linhas de Fluxo (estruturas)

Linha Equipotencial

- (435) Carga Hidráulica em Jun/21

Fonte:
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
BTB Explorers, 2021. Estruturas.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:98.000
0 1 2 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Projeto:
Projeto Santa Quitéria

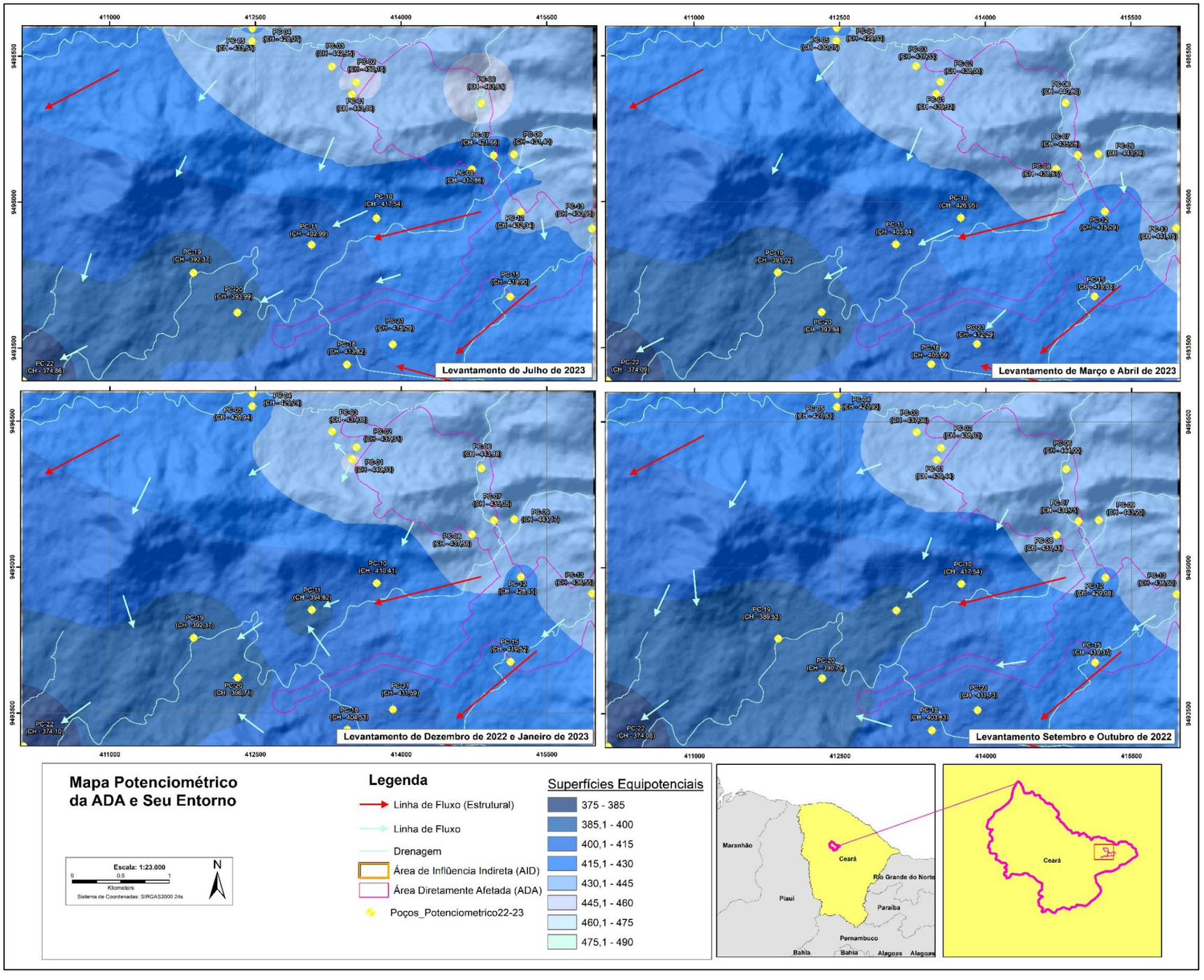
Título:
Mapa Potenciométrico e de Direções de Fluxo da Água Subterrânea das Áreas de Influência (AID/ADA)

Formato	Escala	Folha
A3	1:98.000	Única

Data	Localização
30/10/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Jéssica Costa	Cristina Poggiali Almeida

Mapa 11.1-28: Mapas Potenciométricos com os dados das quatro campanhas de 2022 a 2023.



Fonte: BTB Explorers (2023).

Como é possível visualizar no detalhamento do Mapa Potenciométrico da ADA, é possível afirmar que o fluxo corresponde de maneira geral ao fluxo estrutural, como descrito anteriormente para a confecção do mapa da AID (Seguindo de NE para SW), além de secundariamente seguir a topografia e o relevo da região.

De forma geral há poucas variações das cargas hidráulicas em toda área, ocorrendo localmente em alguns topos de morro próximo a entrada da mina, onde ocorrem algumas cavidades mapeadas. Essas áreas são mais susceptíveis a recarga do aquífero, e esse fenômeno é notado principalmente no levantamento de julho de 2023 (após a época das chuvas). Outra região com mudanças no vale do riacho Guaribas, onde há predominâncias de áreas planas e lineamentos estruturais que tornam a região passiveis para ocorrência de recarga do aquífero.

11.1.11.2.9 Áreas de Recarga e Descarga

Os critérios técnicos utilizados de cada área de conhecimento, para estabelecer as áreas mais propensas a recarga de aquíferos são apresentados a seguir no Quadro 11.1.11-19.

Quadro 11.1.11-19: Critérios técnicos para definição das zonas favoráveis a recarga.

Área	Parâmetros		Efeito
Geologia	Reologia	MC1 e MC2	Positivo
		MS1	Neutro
	Estrutural	Presença	Positivo
		Ausência	Negativa
Espeleologia	Zona Cársticas	Fora	Neutro
		Dentro	Positivo
	Cavidade	Presença	Positivo
		Ausência	Negativa
Pedologia	Profundidade do solo	menor que 5 metros	Positivo
		maior que 5 metros	Neutro
Relevo (Geotecnia e Geomorfologia)	Declividade	(0-20°)	Positivo
		(20-45°)	Neutro
		>45°	Negativa
Hidrografia	Drenagem	Presença	Positivo
		Ausência	Neutro

Elaboração: BTB Explorers, 2023.

O resultado da análise integrada é um indicador de maior ou menor favorabilidade a recarga, resultante da relação entre parâmetro e causa. O efeito positivo ou negativo desta está diretamente relacionado à favorabilidade da recarga dos aquíferos. Ou em alguns casos em que a presença de um dos parâmetros foi considerada neutro pela baixa influência ou até mesmo inexistência da efeitos para a contribuição da recarga.

A temperatura do ar, apesar da relação direta com a taxa de evaporação, em linhas gerais apresenta distribuição quase homogênea sobre a área avaliada e, portanto, foi desconsiderada da análise. Porém a sazonalidade das chuvas é um fator importante para a recarga dos aquíferos. No item anterior (Mapa Potenciométrico) é possível verificar uma maior taxa durante os meses finais e iniciais do ano como fator positivo.

A temperatura do terreno e a cobertura vegetal, também foram consideradas pouco significativas, frente aos demais parâmetros avaliados, uma vez que na presença de vegetação, o fator absorção pelas raízes reduz a disponibilidade para infiltração. Por outro lado, áreas sem cobertura vegetal possuem maior temperatura devido à exposição solar direta, o que acarreta num maior escoamento superficial e maior evaporação.

A presença de argila no solo tem relação direta com a diminuição da capacidade da água em se mobilizar, face a sua baixa porosidade, e ainda a interação de forças intermoleculares entre a superfície da argila e a tensão superficial da água, causando a retenção de pequenas frações de água, e principalmente, pela menor porosidade específica dos solos argilosos, em relação à porosidade de granulações maiores de solo. Assim, com os resultados dos ensaios granulométricos realizados nos anos de 2011 e 2022, foi possível amostrar a tendência dos solos de alteração da Formação Barrigas com características mais arenosas, enquanto na formação Alcantil mais argilosos. Porém, os resultados da condutividade hidráulica obtidos através dos ensaios descritos no capítulo de Pedologia (11.1.5), em geral estão na ordem de 10-04, e por este motivo, os tipos pedológicos não foram considerados quanto a sua classificação, e sim quanto a espessura de suas camadas. Assim, a espessura da camada representará o potencial da recarga do solo, sendo as mais espessas menor e as menos espessas maior.

Uma vez que os padrões de relevo geomorfológicos são estabelecidos basicamente sobre critérios de formas de relevo que tem uma influência direta da declividade, estes parâmetros foram avaliados de forma integrada partindo do princípio de que as águas superficiais tendem a se infiltrar em terrenos com menores declividades e escoar em terrenos com maiores declividades para áreas com menor declividade e maior porosidade, com maior favorabilidade de infiltração e percolação pelo solo. Através do mapa de domínios geomorfológicos da AII (Item 11.1.4.2) sobreposto ao MDE, é possível identificar que as principais áreas de morros estão localizadas no Planalto Sertanejo, enquanto as áreas com menor declividade na Depressão Sertaneja Setentrional.

Junto aos dados Geomorfológicos são integrados os dados de cavidades mapeados pela equipe da Carste, além de integrar com dados do ICMBio das áreas de ocorrência de

cavidade, que ocorrem principalmente nas regiões nordeste e norte da AID, sobre as cristas e morros do planalto sertanejo.

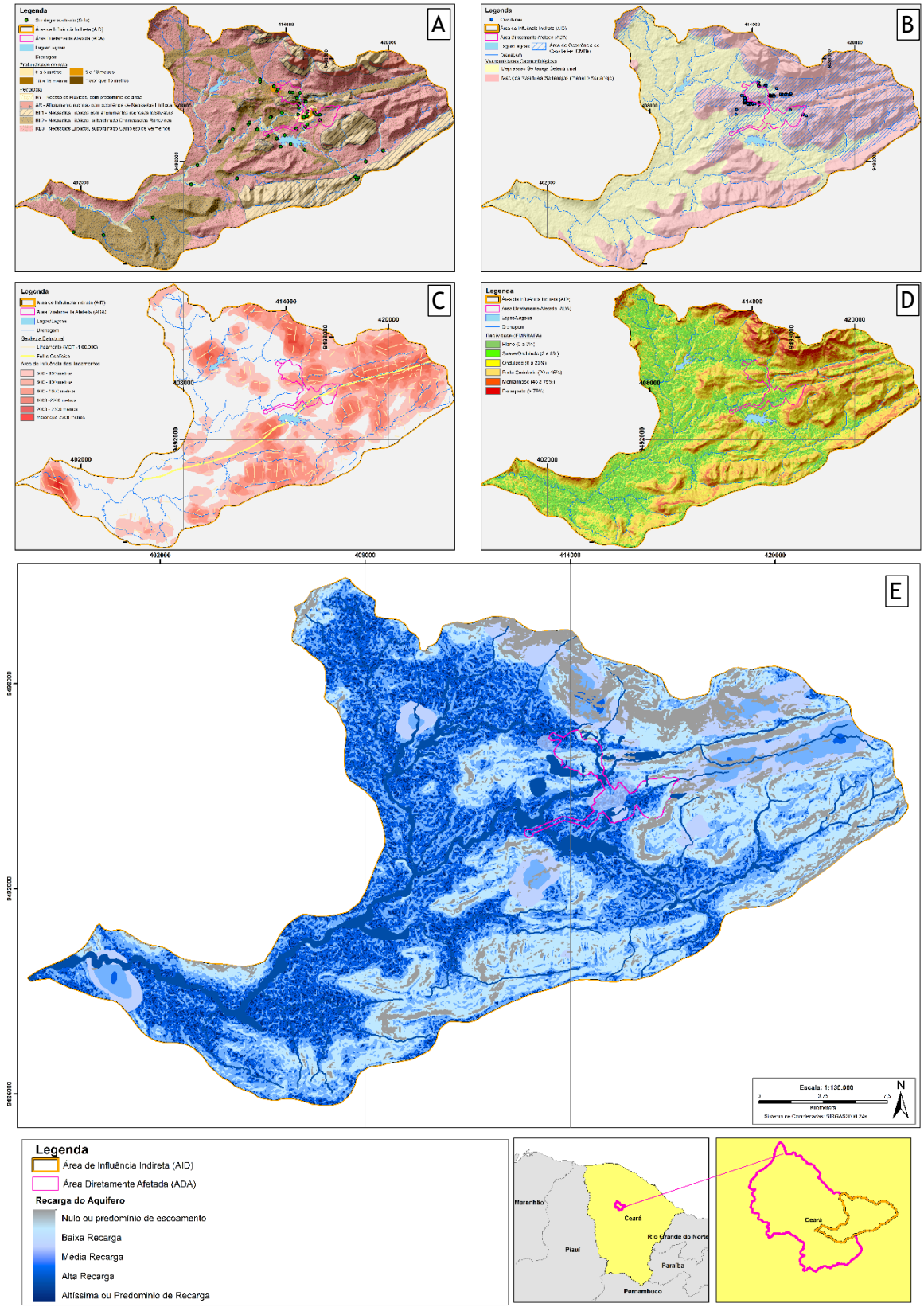
Outro fator importante para a recarga dos aquíferos é a estrutural. Assim, foi mapeado na escada de 1:60.000 com o uso de MDT (*Alaska Satellite Facility* – 11,5 metros de precisão do pixel), todos os lineamentos da AID e integrados com os dados de mapeamento geofísico para obter as falhas e fraturas sotopostas a camadas sedimentares do quaternário. Através do geoprocessamento foi calculada a área de influência dos lineamentos de acordo com sua extensão, gerando um mapa de calor para os lineamentos de menor para maior importância.

Seguindo este fluxo NE para SW da zona de cisalhamento do Riacho Guaribas, as águas superficiais e subterrâneas do domínio geomorfológico A.2.2 tendem a migrar para o domínio geomorfológico A.1.1., representado por um relevo de colinas alongadas, declividade inferior a 5°, condição favorável a infiltração; que recebe os incrementos hídricos de montante da bacia hidrográfica, e ainda, no entroncamento entre as falhas Guaribas e Groaíras, as duas principais zonas de cisalhamento da AII condicionantes da condução e acumulação de águas subterrâneas. Para melhor detalhamento do comportamento do relevo, foi gerado o mapa de declividade com o uso de MDT junto a classificação da EMBRAPA (1979). Assim os relevos com declividades inferiores a 20° foram considerados de maior potencial de recarga, enquanto os de 20° a 45° possuem pouca influência, sendo uma zona de transição para as áreas de maior declividade (acima de 45°), onde o efeito de escoamento está mais presente que a infiltração e recarga.

Tanto as águas superficiais como as subterrâneas tendem a se deslocar condicionadas principalmente pelos efeitos gravitacionais das diferenças de potencial da maior para menor carga hidráulica, com direção de fluxo de NE para SW, encaixados em planos de fraquezas da zona de cisalhamento da Falha do Riacho Guaribas.

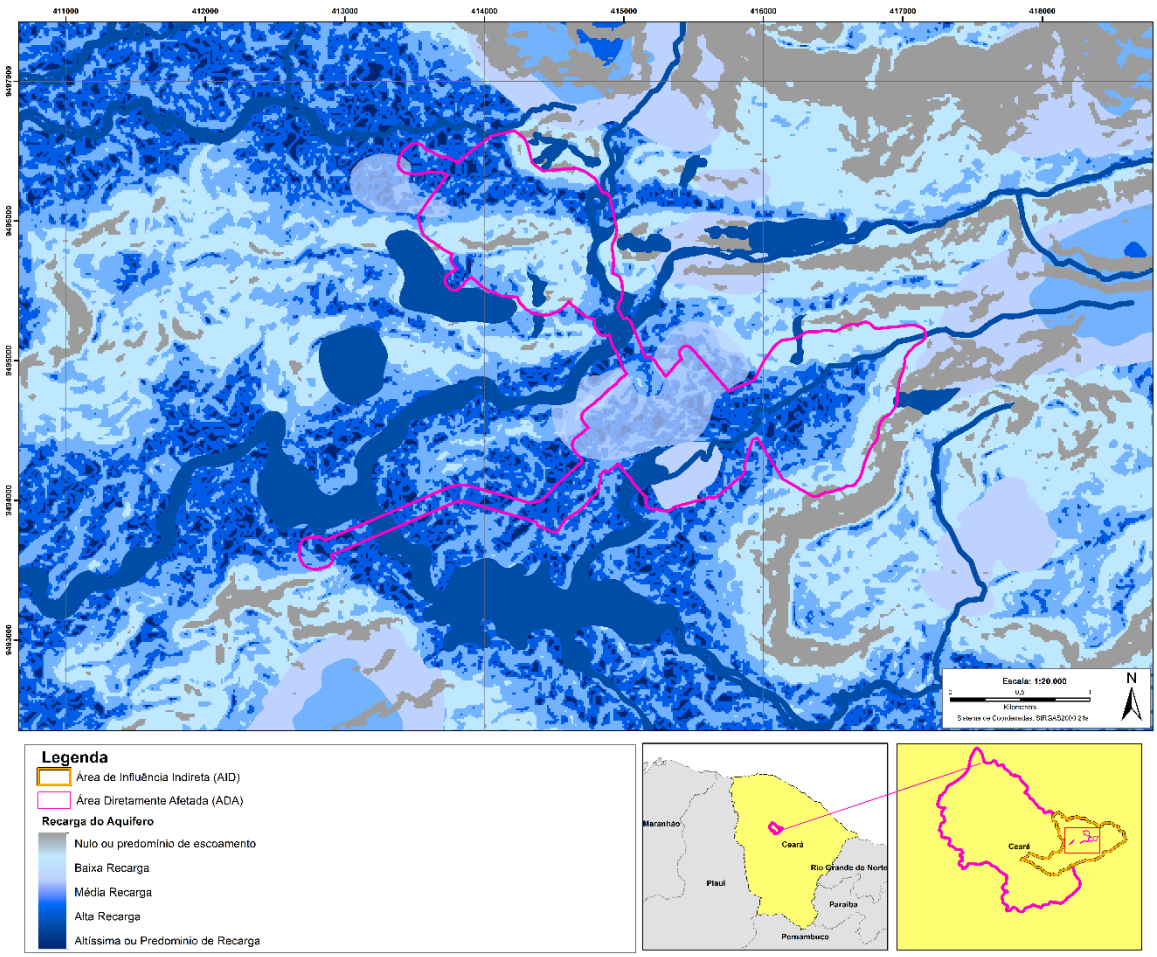
Com base nas colocações apresentadas neste capítulo, identifica-se que as zonas de recargas principais dos aquíferos subterrâneos na AID/ADA são dependentes do aporte superficial através do escoamento e infiltração ao longo das estruturas geológicas, cavidades e principalmente nas drenagens intermitentes, quase que restritas às áreas de baixa declividade, face à favorabilidade ao escoamento superficial de promover uma menor taxa de infiltração em encostas com maiores declividades. Assim, foram elaborados o Mapa 11.1-29 e Mapa 11.1-30, das zonas de recarga na AID/ADA.

Mapa 11.1-29: Zona de recarga da AID. A) Mapa de solos e localização dos ensaios de permeabilidade e sondagens para ensaios realizados na AID. B) Mapa Geomorfológico do empreendimento sotoposto as áreas de ocorrência de cavernas, cavidades mapeadas e solos mais profundos que 5 m. C) Mapa de densidade das principais estruturas geológicas da AID extraídos através da geofísica e MDT na escala de 1:60.000. A densidade é calculada através da interpolação dos dados do tamanho dos segmentos de retas dos lineamentos, assim as zonas mais escuras, apresentam maior potencial de recarga. D) Mapa de declividade segundo EMBRAPA. E) Integração dos mapas A, B, C e D. Foram desconsideradas as declividades superiores a 20% devido à baixa ou nula influência na infiltração das águas pluviométricas, servindo principalmente como zona de escoamento. Às áreas das vertentes dos córregos (buffer de 20 m), foram reunidas aos sedimentos quaternários mapeados, como áreas preferenciais para recarga devida a baixa declividade, solos arenosos e forte controle estrutural. Por fim, a região conta com diversas rochas metacarbonáticas (área propicia a existência de cavidades), foi utilizado o mapeamento do ICMBio para área propicias para cavidades como fator de mapeamento das possíveis áreas cársticas.



Fonte: BTB Explorers (2023).

Mapa 11.1-30: Zona de recarga da ADA. Foi utilizado a base de dados construída para os mapas da AID, porém com o maior detalhamento do entorno da ADA, o dado do ICMBio foi substituído por um Buffer das cavidades mapeadas pela equipe da Carste, além da utilização dos dados de sondagem rotativas e SPT para investigação das áreas com solos mais profundos que 5 metros (áreas em marrom). Essas áreas podem apresentar menor grau de recarga devido a barreira criada dos sedimentos até o aquífero fraturado.



Fonte: BTB Explorers (2023).

Vale ressaltar, que como o fluxo do aquífero segue preferencialmente os canais de drenagens e estruturas geológicas, os principais pontos de descargas ocorrem principalmente na região de desague do Riacho Mulungu com o Rio Groaíras, no extremo oeste da AID. Como a região está limitada pelas serras e colinas, quase em um formato de pinça (Figura 11.1-267), o fluxo é “aprisionado” as condições topografia e estruturas geológicas.

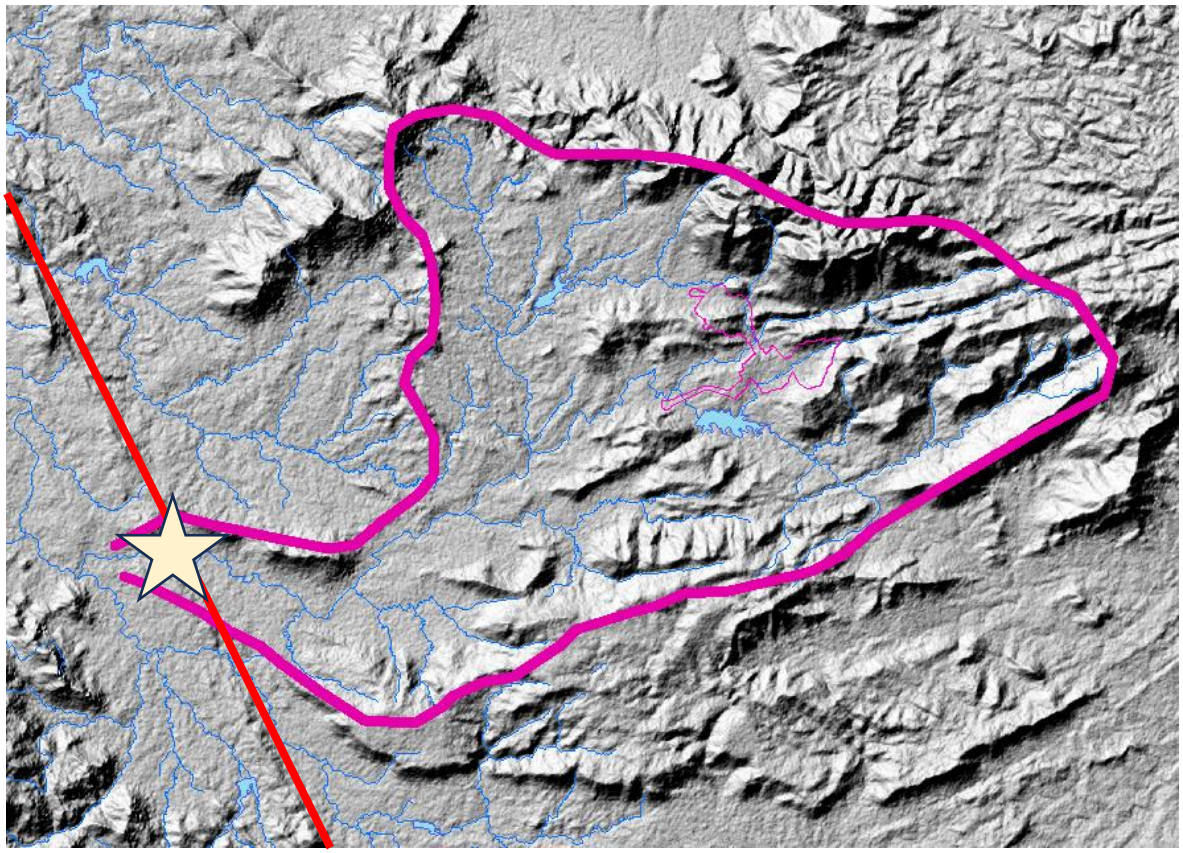


Figura 11.1-267: Em rosa estão delimitados, aproximadamente, os divisores de água no entorno da ADA. Marcado com uma estrela branca, está o encontro da bacia hidrográfica do Mulungu com o Rio Groíaras, principal ponto de descarga do aquífero.

Elaborado por BTB Explorers (2023).

Outro ponto de importante é a presença da Falha do Rio Groaíras, que delimita o contato entre as rochas ígneas e metamórficas das metassedimentares que predominam em toda AID. Devido a sua grande extensão, a falha atua como um canal para o fluxo aquífero seguir sentido NW, delimitando o sentido do ponto de descarga do aquífero em relação a AID.

11.1.11.2.10 Análise da Vulnerabilidade dos Aquíferos

A análise da vulnerabilidade dos aquíferos na AID e ADA, adotaram a metodologia GOD que estabelece um índice de vulnerabilidade natural do aquífero, o qual se baseia na mensuração de três fatores, que resultam em um índice de vulnerabilidade:

- Índice **G** (*ground water occurrence*): Identifica o tipo e grau de confinamento hidráulico da água subterrânea, com indexação numa escala de 0,0 a 1,0.
- Índice **O** (*overall litology of aquifer*): Caracteriza a geologia da zona não saturada, quanto ao grau de consolidação e tipo de litologia, representado numa escala de 0,4 a 1,0.
- Índice **D** (*depth of water*): Se refere a profundidade do nível da água, com índice numa escala de 0,6 a 1,0.
- Índice **GOD**: O índice máximo de vulnerabilidade do aquífero à contaminação proposto pelo método correspondente a 1,0, enquanto o índice mínimo de 0,0 corresponde à vulnerabilidade insignificante.

Sendo assim, o índice de vulnerabilidade é determinado como a multiplicação dos valores obtidos em cada fator, na Figura 11.1-268, com o fluxograma de análise do índice GOD. Todos os parâmetros possuem o mesmo nível de importância.

Para melhor adaptação do método a realidade física da área do empreendimento, os parâmetros adotados são os utilizados no mapeamento das áreas de recarga, exemplificado no Quadro 11.1.11-20, onde foi atribuído valores de 0,0 a 1,0 para cada um dos parâmetros e depois dividido para obtenção da média.

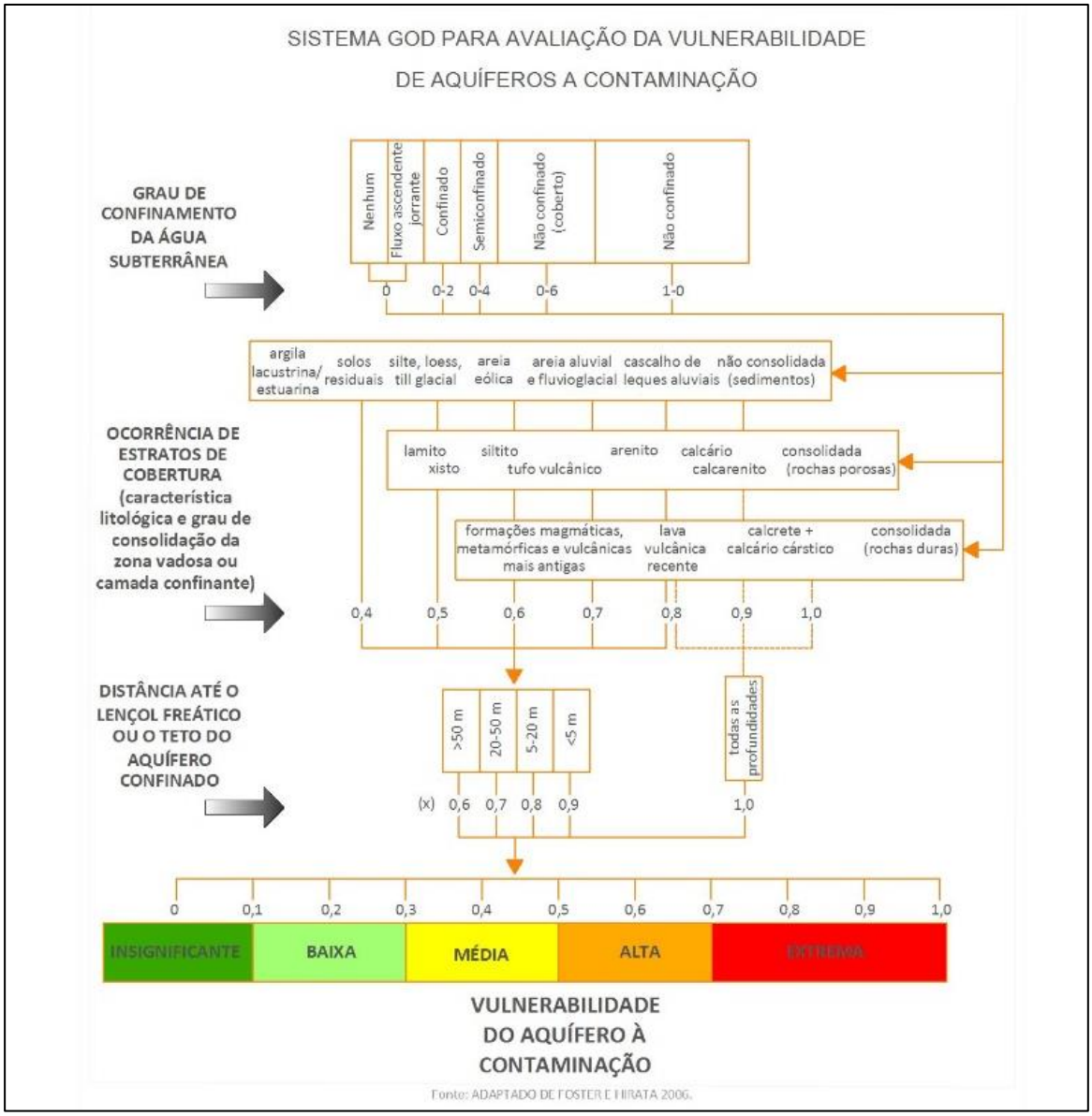


Figura 11.1-268: Fluxograma do funcionamento do sistema GOD.

Fonte: Adaptado de Foster e Hirata (2006).

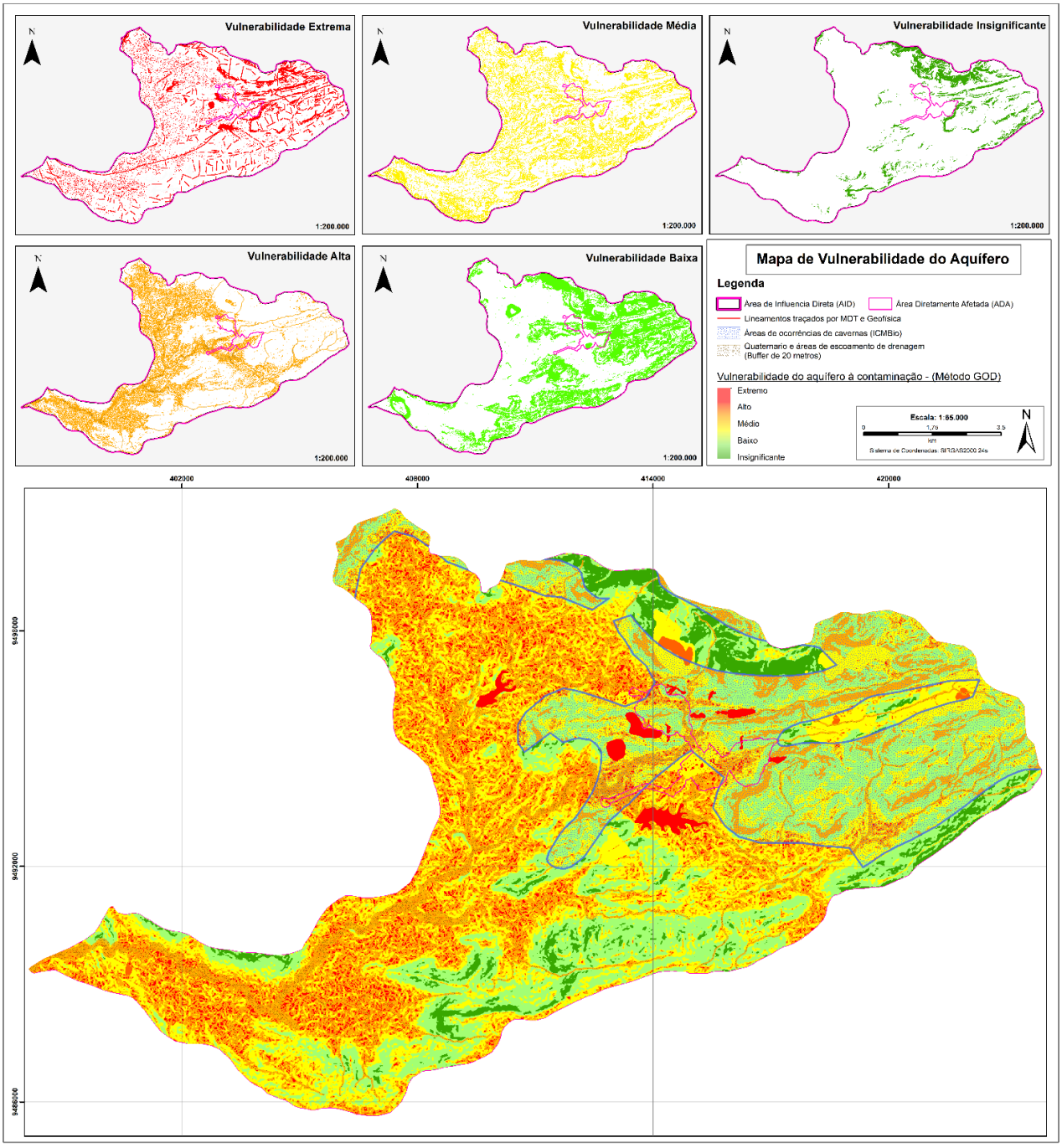
Quadro 11.1.11-20: Sistema de valorização dos parâmetros físicos do empreendimento (adaptação do sistema GOD).

Área	Parâmetros		Vulnerabilidade
Geologia	Reologia	Cristalino	Média
		Cárstico	Extrema
	Estrutural	Ausência ou até 1000 metros	Insignificante
		até 1600 metros	Baixa
		até 2200 metros	Média
		maior que 2700	Alta
Espeleologia	Cavidades	Ausência	Insignificante
		Presença	Extrema
Pedologia	Profundidade do solo em áreas com baixa declividade	< 5 metros	Alta
		> 5 metros	Média
Geotecnia e Geomorfologia	Relevo (EMBRAPA)	0 - 3 % de declividade	Extrema
		3 - 8 % de declividade	Alta
		8 - 20 % de declividade	Média
		20 - 45 % de declividade	Baixa
		> 45 % de declividade	Insignificante
Hidrografia	Sedimentos Aluvionares	Ausência	Insignificante
		Presença	Alto
	Corpo Hídrico	Ausência	Insignificante
		Presença	Extrema
Valores: Insignificante (0,0); Baixa (0,3); Média (0,5); Alta (0,7); Extrema (1,0)			

Fonte: Adaptado de Foster e Hirata (2006).

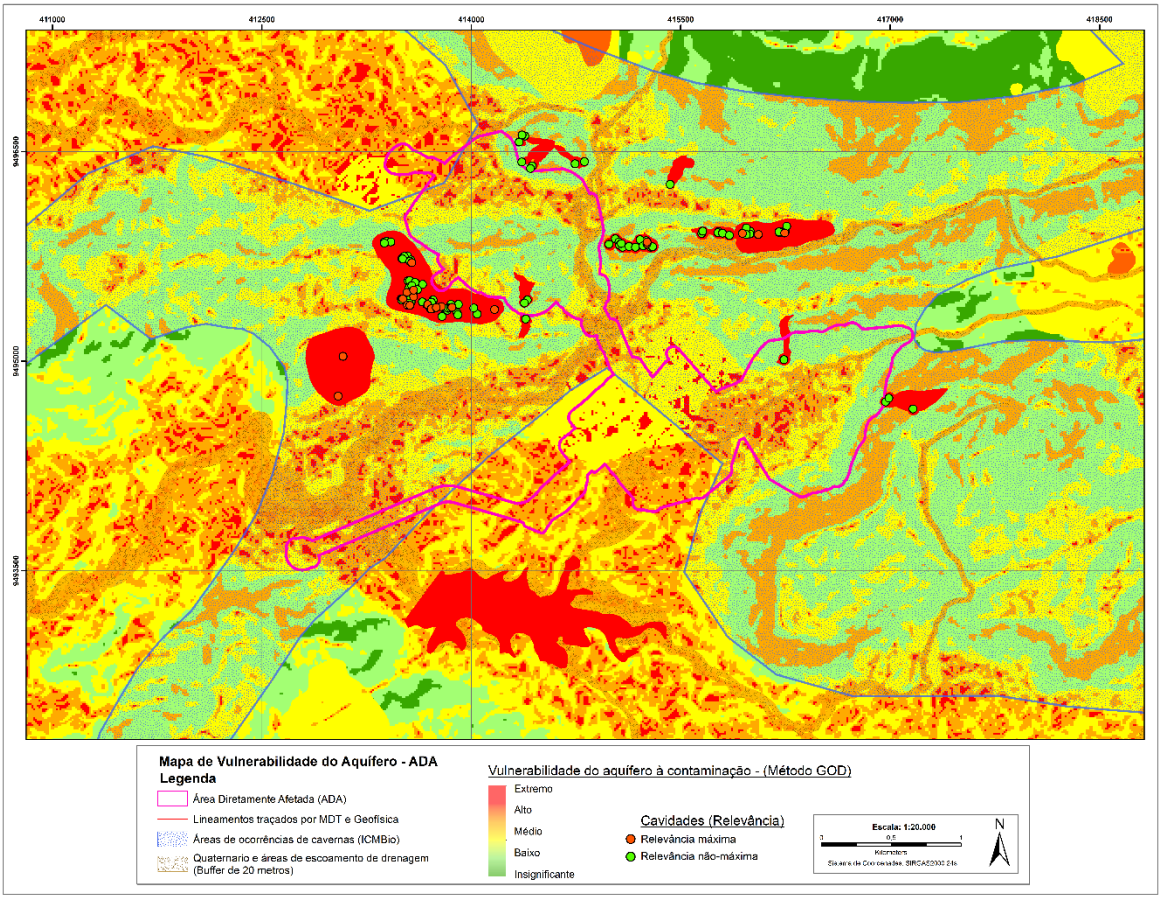
Para a integração das áreas de estudo levantadas durante o estudo, foram caracterizados os principais parâmetros com capacidade de influenciar a vulnerabilidade do aquífero. Assim, estabelecendo os valores, foi possível a confecção do Mapa 11.1-31 da AID, e do Mapa 11.1-32 da ADA, demonstrando as porções com maior e menor vulnerabilidade, segundo os padrões de classificação do método GOD.

Mapa 11.1-31: Mapa de Vulnerabilidade do Aquífero na AID.



Elaboração: BTB Explorers, 2023.

Mapa 11.1-32: Mapa de Vulnerabilidade do Aquífero na ADA.



Elaboração: BTB Explorers, 2023.

A região conta com dois lagos, que foram considerados de extrema vulnerabilidade para o aquífero, devido à susceptibilidade para recarga do aquífero. Porém, as áreas de maior vulnerabilidade estão concentradas nas regiões próximas a áreas planas (entre 0 e 8 % de declividade), essas, em sua maioria estão localizadas principalmente nas unidades geomorfológicas da Depressão Sertaneja. Porém, as regiões com alta declividade na porção norte-nordeste, por mais que em sua maioria representem baixa vulnerabilidade, estão inseridas em regiões com intenso controle estrutural com lineamentos (falhas e fraturas) mapeáveis por MDT e Geofísica, propiciando a formação de cavidades, principalmente nas litologias metacarbonáticas.

Com os mapeamentos do patrimônio espeleológico, foram levantadas 124 cavidades com mais de 5 metros na região da ADA e seu entorno. Inseridas especialmente no terço médio e superior dos morros residuais que formam Inselbergs da Depressão Sertaneja ou remanescentes do Planalto Sertanejo, possuem como substrato as rochas carbonáticas (89%) e os gnaisses (11%). Assim, devido ao alto índice de vulnerabilidade do sistema Cárstico, foi gerado um *buffer* do entorno das cavidades com índice de vulnerabilidade extrema. Como as rochas carbonáticas da região, em sua maioria, apresentam comportamento de condutividade semelhante aos paragnaisses, foi adotado como zona cársticas apenas as regiões com cavidades mapeadas e as áreas inseridas no polígono de Áreas de Ocorrências de Cavernas no Brasil (Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas – CANIE, 2018).

Como a maior parte das cavidades estão inseridas nas regiões de morros residuais, as áreas com declividade superiores a 45% e que estivessem inseridas no polígono da CANIE, foi considerado aquífero Cárstico e seu patamar elevado para extrema vulnerabilidade.

De forma geral, a região conta com baixa espessura da cobertura pedológica, em sua maioria contando com camadas associados ao manto de alteração da rocha. Os solos em sua maioria apresentaram condutividade semelhantes, e sua composição areno argilosa. Em quase toda AID as camadas estão abaixo dos 5 metros, com média de 1 metro de profundidade durante as sondagens para ensaios de permeabilidade e a trado. Próximo à área da mina e instalação do complexo industrial, foram encontradas as maiores profundidades, chegando em torno de 18 metros em alguns furos. Assim, para as regiões com solo acima de 5 metros e com declividade superior a 3 %, foi considerado como média vulnerabilidade.

Os resultados apontam para uma condição de vulnerabilidade extrema para a Unidade Aquífera MC1 (Formação Alcantil) onde há afloramentos rochosos nos Inselbergs da Depressão Sertaneja ou remanescentes do Planalto Sertanejo, e vulnerabilidade média a alta para Unidade Aquífera MS1 (Formação Barrigas) e o meio poroso nas áreas com baixa declividade.

Vulnerabilidade extrema significa que o aquífero é vulnerável à maioria dos contaminantes, com impacto rápido. Já a vulnerabilidade média a alta significa que o aquífero e o meio poroso são vulneráveis a alguns contaminantes quando continuamente lançados ou lixiviados.

Cabe ressaltar que na área da jazida as Unidades MS1 e MC1 (Formações e Barrigas Alcantil) estão interdigitadas, com mergulhos de até 30 graus e espessuras que variam de cerca de 20 m a até maiores que 100 m. As espessuras e geometrias de ambas as unidades são variáveis. Nestes locais a vulnerabilidade é considerada como extrema, assim como para a Formação Alcantil.

11.1.11.3 Modelo Hidrogeológico Conceitual - ADA

O modelo hidrogeológico conceitual da ADA (MHC-ADA), foi elaborado a partir da análise integrada das informações apresentadas nos capítulos de Clima (11.1.1), Geomorfologia (11.1.4), Pedologia (11.1.5) Geotecnia (11.1.6), Geologia (11.1.7), e Espeleologia (11.1.13) na ADA e no seu entorno na AID.

O modelo apresentado segue os preceitos do ciclo hidrológico tradicional, de modo a caracterizar a dinâmica das águas com origem intempérica que abastecem os sistemas hidrográficos superficiais e os hidrogeológicos subterrâneos, integrando dados locais levantados neste trabalho, das precipitações pluviométricas, do balanço hídrico, do meio poroso representado por depósitos quaternários e mantos de alteração (solo de alteração) que compõe as camadas superficiais de cobertura das unidades aquíferas representadas pelas unidades aquíferas fraturadas e cársticas existentes na ADA/AID. Para melhor apresentação, o modelo foi subdivido em tópicos, conforme abaixo:

11.1.11.3.1 *Clima e Hidrografia*

Segundo dados de pluviosidade apresentados no capítulo de Clima (11.1.1), as estações e postos avaliados mostraram diferença entre si, mas com um mesmo comportamento no que se refere a distribuição das chuvas ao longo do ano, verificando-se a concentração de chuvas entre os meses de dezembro a maio (maiores índices entre março e abril) e queda dos índices pluviométricas entre os meses de agosto e novembro. Os dados da estação Itataia da Funceme, localizada na propriedade da INB, foram exceção. Naquele local os índices de chuva em janeiro são bem próximos aos observados nos meses de seca, com aumento das precipitações a partir do mês de fevereiro.

Em todas as estações e postos pluviométricos analisados, nos meses de março e abril, são registrados os maiores índices pluviométricos, onde os totais mensais oscilam entre 173,1 mm (estação Quixeramobim) e 71,4 mm (estação Itataia). Tal cenário é influenciado por

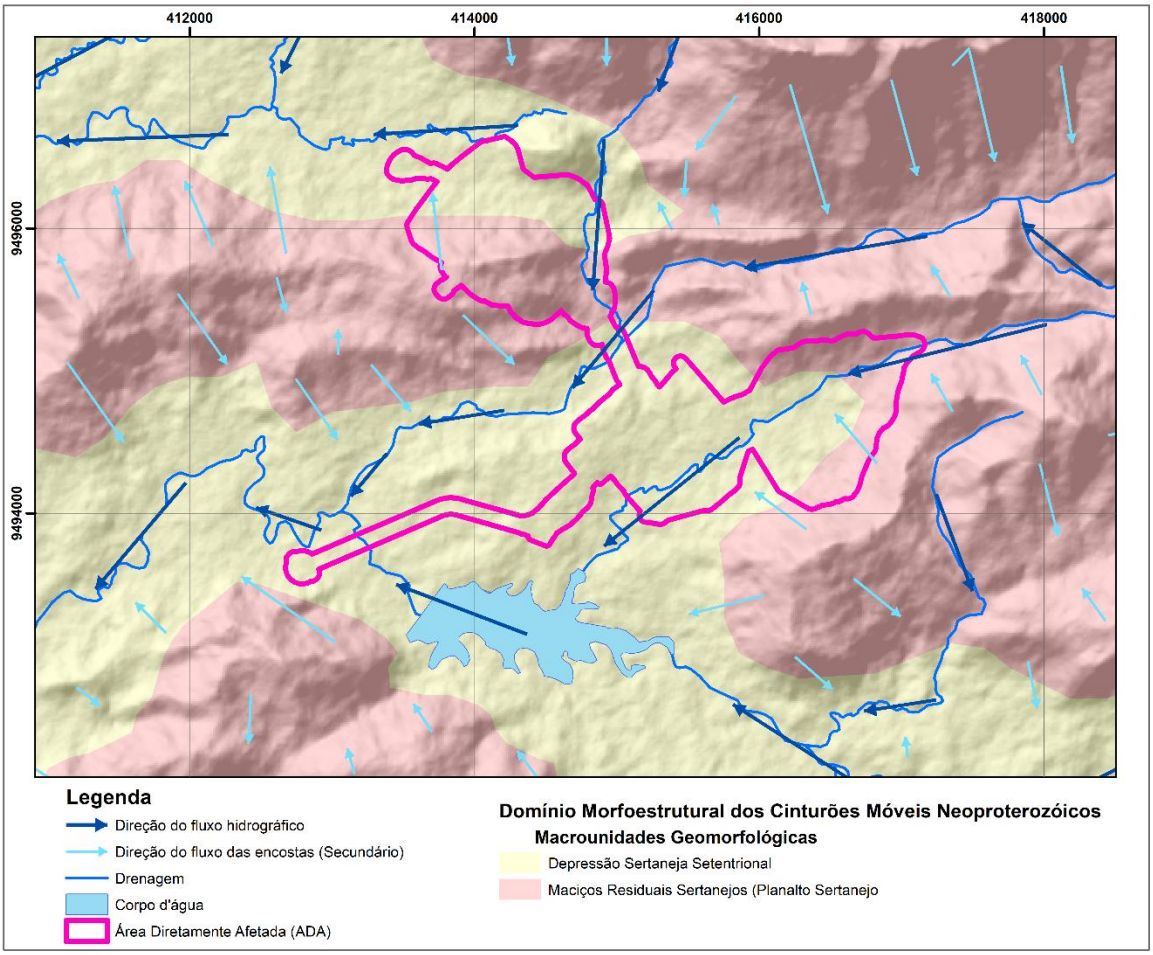
alguns sistemas atmosféricos, com destaque para a ZCIT, que neste período intensifica a atuação sobre a região e favorece o aumento da precipitação. Com o recuo da atuação da ZCIT, os menores índices pluviométricos são registrados entre os meses de setembro e outubro, quando os totais mensais ficam abaixo de 5 mm.

Os dados relativos ao balanço hídrico calculados com a ferramenta denominada Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (SISDAGRO), vinculada ao próprio INMET, e os dados das Normais (1992-2023) da estação Quixeramobim, apresentados no item de Balanço Hídrico (11.1.1.3.5), indicam que a região se caracteriza por balanço hídrico significantemente negativo, típico do semiárido brasileiro, cuja evapotranspiração real (ETR) ultrapassa a precipitação na maior parte do ano. Mesmo nos meses de março e abril, quando os valores de precipitação são maiores do que a evapotranspiração real (ETR) e evapotranspiração potencial (ETP), o excedente hídrico na região é muito baixo, sendo inferior a 20 mm. Este valor não é superado em nenhum outro período do ano, o que indica a predominância de um ambiente de déficit hídrico durante o ciclo climatológico anual.

Os dados relativos às águas superficiais, apresentados no capítulo de Hidrologia (11.1.8), indicam fatores que limitam o fluxo dos recursos hídricos superficiais, tais como: topografia desfavorável com rápido escoamento superficial, intensa evaporação, pequena infiltração e grande variabilidade de deflúvios; os levantamentos de campo identificaram ausência de água em riachos de padrões dendríticos e intermitente. Não foram observadas áreas assoreadas ou de maior probabilidade de assoreamento ou de ocorrência de enchentes, veredas, lagoas marginais ou regiões de baixio e saturadas.

A partir das precipitações pluviométricas que ocorrem na região, as drenagens provindas do escoamento superficial intermitente do Planalto Residual Sertanejo, desaguam no Domínio Geomorfológico A.2.2c da Depressão Sertaneja, promovendo um incremento hídrico superficial com deslocamento condicionado principalmente pelos efeitos gravitacionais, com direção de fluxo de NE para SW, de forma encaixada entre planos de fraquezas da zona de cisalhamento da Falha do Riacho Guaribas, com infiltração para o subsolo através do meio poroso. Seguindo este fluxo NE para SW da zona de cisalhamento do Riacho Guaribas, as águas superficiais do domínio geomorfológico A.2.2, tendem a desaguar no domínio A.1.1., representado por um relevo de colinas alongadas, declividade inferior a 5°, condição favorável a infiltração; que recebe os incrementos hídricos de montante da bacia hidrográfica, e ainda, no entroncamento entre as falhas Guaribas e Groaíras, as duas principais zonas de cisalhamento da AII condicionantes da condução e acumulação de águas subterrâneas. O Mapa 11.1-33 apresenta o mapa com as direções de fluxo das águas superficiais da ADA.

Mapa 11.1-33: Direção do fluxo das águas superficiais e do sentido das vertentes das encostas, sotopostos ao mapa dos domínios morfoestruturais da área da ADA.



Elaboração: BTB Explorers, 2023.

Em todas as etapas de levantamento de campos envolvendo sondagens e levantamentos geofísicos, não foi identificado acúmulo de água no meio poroso, justificado pelo balanço hídrico significantemente negativo, típico do semiárido brasileiro, onde o excedente hídrico na região é muito baixo, sendo inferior a 20 mm.

11.1.11.3.2 Meio Poroso – Coberturas Superficiais

A recarga promovida pela água superficial para a água subterrânea, está diretamente relacionada à ocorrência de chuvas e a infiltração pelo solo superficial e depósitos quaternários. A relação entre as águas subterrâneas e superficiais, é de caráter influente, onde as águas superficiais contribuem para o abastecimento do meio poroso, que só ocorrem nos momentos das chuvas. Cessando o aporte do regime pluvial, não ocorre abastecimento perene das drenagens a partir do meio poroso.

O meio poroso é representado principalmente por solos do manto de intemperismo das rochas das Formações Alcantil e Barrigas, e, secundariamente, por pequenas porções de sedimentos quaternários inconsolidados de ambiente pluvial ao longo das drenagens. A circulação da água neste meio, está relacionada à porosidade primária dos sedimentos, decorrente da infiltração de águas superficiais, onde o regime hídrico bem definido entre estação seca e chuvosa, com baixos índices pluviométricos anuais, típicos do clima semiárido da região, controlam a intermitência da água subterrânea neste meio, normalmente restrita a este como zona de condução até os aquíferos rochosos sotopostos (Quadro 11.1.11-21).

Quadro 11.1.11-21: Características do meio poroso na AID/ADA.

CARACTERÍSTICA	FORMAÇÃO BARRIGAS	FORMAÇÃO ALCANTIL
Espessura manto alteração (I)	1,0 a 18,0 m	<1,0m
Composição (II)	Areno siltosa c/ argila	Argilo Arenoso c/ silte
Densidade dos grãos (II)	2,5 a 2,6 (g/cm^3)	2,4 a 2,5 (g/cm^3)
Densidade do solo (II)	1,3 a 1,8 (g/cm^3)	1,3 a 1,4(g/cm^3)
Porosidade total (II)	24 a 32%	41 a 45%
Porosidade específica (II)	3 a 7%	10 e 13%
Classe de permeabilidade (II)	Média a alta	Baixa a média
Condutividade hidráulica (II)	10 $^{-04}$ cm/s	10 $^{-04}$ a 10^{-06}cm/s
Classificação pH (II)	Ácido (médio a forte)	Alcalino (fraco)
Fração de Carbono Orgânico (II)	0,11 a 0,22%	0,32 a 1,17%
Matéria Orgânica (II)	0,55 a 2,0%	0,19 a 0,38%
Condutividade elétrica (III)	0,14 a 0,49%	0,21 a 0,56%

CARACTERÍSTICA	FORMAÇÃO BARRIGAS	FORMAÇÃO ALCANTIL
Umidade natural (IV)	15 a 23%	29 a 33%
Conteúdo de água (IV)	5 a 7%	9 a 10
Água disponível (IV)	8 a 9 %	13%

I -Furos de sondagem rotativas (ARCADIS 2014 e GeoHidro 2022); II – Ensaios de permeabilidade com amostragem para análise laboratorial (ARCADIS 2014 e BTB Explorers 2021 e 2023) e sondagens a trado com análise laboratorial (ARCADIS 2014 e GeoHidro 2022); III – Levantamento Geofísico (2021). IV Parâmetros Físico-Químicos do solo (ARCADIS, 2014)

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Adaptado de ARCADIS, 2014.

A condutividade hidráulica na ordem de 10^{-4} a 10^{-6} cm/s para os solos de alteração da Formação Alcantil, enquanto para os solos de alteração da Formação Barrigas, estão na ordem de 10^{-4} cm/s, o que sugere um fluxo mais rápido nos solos de alteração da Formação Barrigas, a depender do fator gradiente hidráulico.

Os maiores índices de matéria orgânica e pH mais alcalino, e maior concentração de alumínio nos resultados das análises químicas, estão relacionados aos solos de alteração da Formação Alcantil. A ausência de processos de laterização significativos nos horizontes de solo de alteração da região é indicativo de uma capacidade de migração iônica relativamente pequena (ARCADIS LOGOS, 2014).

A condutividade elétrica dos solos apresenta correlação direta com a presença de sais, devendo ser considerada um fator relevante na capacidade de corrosão de estruturas metálicas, juntamente com o pH, potencial de redução, aeração, e teor de umidade.

A condutividade elétrica significativamente maior nos solos associados à Formação Alcantil, apresentou valores máximos de 0,56 dS/m, equivalendo a uma resistividade de 188 ohms.m. Este valor classifica o solo como levemente corrosivo, sendo que os demais, incluindo todas as amostras coletadas no domínio dos gnaisses, apresentam caráter fracamente corrosivos (ARCADIS LOGOS, 2014).

A umidade natural dos solos relativamente elevada, com maiores teores nos solos da Formação Alcantil, está relacionada a capacidade de retenção de umidade de argilas presentes no solo do meio poroso da AID/ADA.

O meio poroso da AID/ADA, não acumula água em volume, portanto, não se trata de aquíferos freáticos do tipo livre em meios porosos e, deste modo, considerado apenas como zona de condução, onde a migração da água ocorre por percolação principalmente por efeito da gravidade, para os aquíferos rochosos que suportam os solos residuais, e a evaporação para o ambiente atmosférico.

Os resultados de geofísica em 2016 e 2021, identificaram camadas superficiais do manto de alteração de solos, com baixa resistividade, que pode ser influenciada pela presença de níveis mais argilosos, ou ainda, a presença de umidade no solo subsuperficial, cuja ocorrência á favorável pela capacidade de retenção de umidade das argilas.

Os difratogramas dos resultados das análises de Raio-X em solos da área da jazida de Lopes (2018), indicam a presença de montmorilonita, caulinita e vermiculita. O índice de atividade das argilas (IA) obtido por meio de Ensaios de Limites de Atterberg, foi entre 0,27 e 0,43, valores característicos de argilas inativas, o que sugere uma baixa expansividade (ARCADIS LOGOS, 2014).

Os solos da AID/ADA, tem maior capacidade de infiltração em terrenos com baixa declividade, e com composição mais arenosa da Formação Barrigas, favorecendo a percolação por gravidade para níveis mais profundos até atingir o topo rochoso, e por vezes, migrar horizontalmente até atingir estruturas de foliações, falhas e fraturas.

As formas de ocorrência da água subterrânea na AID/ADA, estão condicionadas aos meios fraturado e cárstico. As unidades aquíferas presentes na ADA são a MC1 que corresponde as rochas da formação Alcantil e a MS1 que corresponde as rochas da formação Barrigas. Na área da jazida estas unidades estão interdigitadas, com mergulhos de até 30 graus e espessuras que variam de cerca de 20 m a até maiores que 100 m. As espessuras e geometrias de ambas as unidades são variáveis.

A configuração da forma de ocorrência e compartimentação dos aquíferos fraturados e cársticos presentes na AID/ADA, assim como na AII, é caracterizada pelos diferentes tipos litológicos e tem sua distribuição e geometria espacial condicionada pelas estruturas e delineamentos geotectônicos, conforme apresentado detalhadamente no capítulo de Geologia (11.1.7) e por meio dos mapas e perfis.

11.1.11.3.3 Meio fraturado

O meio fraturado é anisotrópico, com sua condutividade hidráulica diretamente relacionada às estruturas representantes da porosidade secundária, caracterizado por falhas e fraturas, distribuídas heterogeneamente tanto nas rochas das Formações Alcantil (Unidade Aquífera MC1) e Barrigas (Unidade Aquífera MS2).

Cabe ressaltar que na Formação Alcantil (Unidade Aquífera MC1), devido a sua composição carbonática apresenta, onde ocorre dissoluções, comportamento de Aquífero Cárstico, porém, nas zonas que não apresentam processos de dissolução nos planos da porosidade secundária, apresenta comportamento de aquífero fraturado com algumas

diferenciações, como a presença de material alterado no preenchimento de fraturas e falhas, que promovem uma condutividade hidráulica na ordem de 10^{-6} cm/s nestes meios preenchidos, quando comparados com resultados de condutividade hidráulica em meios fraturados não preenchidos por material de alteração, na ordem de 10^{-4} cm/s.

A Formação Alcantil (Unidade Aquífera MC1) é formada por mármore calcítico quase puro, mármore dolomítico e rocha cálcio-silicática, com espessura variando, em média, de 40 a 150 m. A Formação Barrigas (Unidade Aquífera MS1) é formada por biotita gnaisses com sillimanita e porfiroblastos de granada, espessura variando de 10 a 60 m, conforme observada em seções geológicas verticais (ALCÂNTARA & SILVA, 2003).

Os aquíferos fraturados da AID/ADA são do tipo livre com coberturas de manto de alteração de ordem métrica, ou até mesmo com rochas expostas sem cobertura de solo na Formação Alcantil e na ordem de 20 m na Formação Barrigas (Quadro 11.1.11-22).

Quadro 11.1.11-22: Características do meio fraturado na AID/ADA.

FORMAÇÃO	COMPOSIÇÃO	K* (CM/S) (IV)	MECANISMO DE RECARGA	CONDICIONANTE	
				PRINCIPAL	SECUNDÁRIO
Barrigas	Gnaisse	10^{-06} a **10^{-09}	Percolação via meio poroso	Estruturas Geológicas	Abertura Preenchimento Frequência
Alcantil	Mármore	10^{-06}	Percolação via meio poroso	Porosidade Secundária	

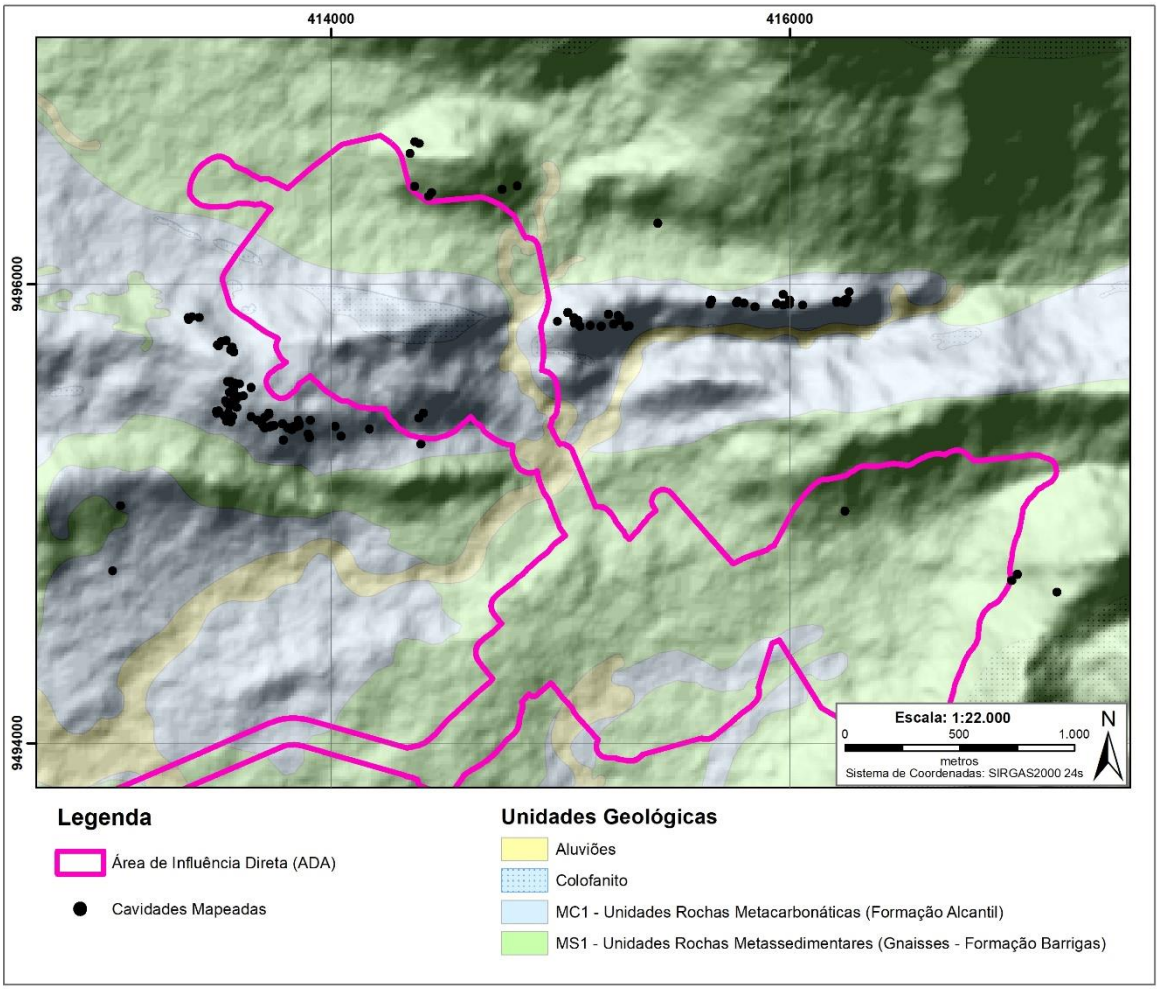
**(K) Condutividade hidráulica; ** Em menores quantidades. IV – Ensaios de Permeabilidade (ARCADIS 2014 e BTB Explorers 2021 e 2023).*

Elaboração: BTB Explorers, 2023.

11.1.11.3.4 Meio Cárstico

O aquífero cárstico é típico dos Mármores da Formação Alcantil (Unidade Aquífera MC1) e ocorre apenas em zonas restritas inseridas especialmente no terço médio e superior dos morros residuais que formam Inselbergs da Depressão Sertaneja ou remanescentes do Planalto Sertanejo (Mapa 11.1-34). Secundariamente, ocorrem cavidades na Formação Alcantil (Unidade Aquífera MS1), devido ao interdigitamento das camadas metacarbonáticas do MC1, com os paragnaisses do MS1, próximo ao contato entre as duas unidades. As descontinuidades geradas por dissolução, estão diretamente relacionadas as ocorrências de fraturas, falhas e contatos.

Mapa 11.1-34: Cavidades mapeadas pela Carste. Das 124 cavidades, 89% estão sobre substrato de rochas carbonáticas e 11% sobre rochas paragnaissicas.



Elaboração: BTB Explorers, 2023.

Os principais fatores condicionantes do armazenamento e da transmissividade da água subterrânea neste tipo de aquífero, estão relacionados principalmente às configurações geométricas das cavidades, e à frequência de ocorrência das demais estruturas.

Segundo Botura (1982), esta unidade apresenta rochas mais alteradas (classe III) que são menos permeáveis que as menos alteradas (classe II), provavelmente devido à presença de materiais de alteração preenchendo as fraturas, parcial ou totalmente. Este fator pode explicar os resultados de condutividade menores na ordem de 10^{-6} cm/s obtidos nos ensaios hidrogeológicos desta unidade.

A partir de ensaios hidrogeológicos de curta duração, com rápido esgotamento, Botura (1982) sugere um aquífero cárstico limitado as zonas de dissolução, com reduzido armazenamento, e nas porções da jazida com intercalação de rochas da unidade MS1 (biotita gnaisses) e dos mármores da unidade MC1, apresentam permeabilidade superior à dos mármores com intercalações de colofanito.

Segundo o mapeamento realizado pelos estudos de cavidades, não foi identificada a presença de água em nenhuma das cavidades mapeadas na AID/ADA. Porém, alguns poços próximos a zona de influência cársticas, apresentaram água e carga hidráulica média de 405,68 metros (PM – 11) e 438,86 metros (PM-06), nas medições de 2022 e 2023 e com condutividade hidráulica de 10-9 m/s e 10-6 m/s respectivamente. Ambos os poços foram descritos pela INB, onde o PM-11 é formado por mármores dolomítico com níveis fraturados, enquanto o PM-06 é formado por granada biótica gnaisse com alteração A1, e 10 metros de manto de alteração de grau A3 com solo regolítico.

Quadro 11.1.11-23: Características principais do meio cárstico na AID/ADA.

MEIO	FORMAÇÃO	COMPOSIÇÃO	K* (CM/S)	MECANISMO DE RECARGA	CONDICIONANTE	
					PRINCIPAL	SECUNDÁRIO
Cárstico	Alcantil	Metacarbonática	Não avaliado cavidades sem água	Percolação	Dissolução em Estruturas Geológicas	Cavidade e Geometria

**(K) Condutividade hidráulica*

Elaboração: BTB Explorers, 2023.

11.1.11.3.5 *Escoamento e direção de fluxo*

Considerando que as condicionantes para o escoamento do fluxo da água subterrânea são as estruturas geológicas (falhas e fraturas) e a forma do relevo, foram traçados três

indicadores de direção de fluxo da água subterrânea no mapa potenciométrico (Mapa 11.1-27). As setas identificadas azul claro (medidas através do mapeamento de direção de fluxo através de geoprocessamento) e azul escuro (direção preferencial dos canais de drenagem) para a condicionante do relevo com influência direta no gradiente hidráulico; e em vermelho as direções de fluxo sob condicionantes estruturais, ainda assim, considerando que mesmo captadas nas estruturas, seu fluxo também é influenciado pelo gradiente hidráulico imposto pelo relevo.

Com base nestes critérios é observada uma direção de fluxo da água subterrânea, similar ao fluxo da água superficial, prevalecendo as resultantes finais das direções de fluxo impostas pelas condicionantes estruturais e refletidas tanto para as águas subterrâneas como para as águas superficiais, devido ao aquífero ser condicionado pelas estruturas geológicas dos aquíferos fraturados.

Tanto as águas superficiais como as subterrâneas, tendem a se deslocar condicionadas principalmente pelos efeitos gravitacionais das diferenças de potencial hidráulico, com deslocamento da maior para menor carga hidráulica, o que caracteriza uma direção de fluxo predominante de NE para SW, de forma encaixada entre planos de fraquezas da zona de cisalhamento da Falha do Riacho Guaribas.

Vale ressaltar que a confecção do mapa potenciométrico da ADA (Mapa 11.1-28), foi utilizado como base apenas a carga hidráulica obtida dos poços de monitoramento, durante as quatro etapas de campo (setembro de 2022 a julho de 2023) do PMRA. O mapa demostrou que o fluxo preferencial NE para SW também se reflete na ADA e consequentemente nos poços monitorados, respeitando a topografia local e as estruturas geológicas.

11.1.11.3.6 Nível d'água x Sazonalidades

Quanto ao nível d'água subterrânea, é observado ao longo dos anos na antiga rede de poços de monitoramento instalada em 2011, a diminuição natural do volume de água nos aquíferos subterrâneos até 2021, o que sugere um balanço hídrico subterrâneo negativo na região.

As medições de nível d'água realizadas nos meses de dezembro de 2022 e janeiro de 2023 na nova rede de poços de monitoramento, indicam alguma recarga do aquífero, com sua estabilização nos meses seguintes de março a abril de 2023, assemelhando-se aos padrões iniciais de setembro e outubro de 2022.

De forma geral, os poços pertencentes a unidade MC1 apresentaram pouca variação de nível d'água durante os períodos chuvosos e de seca. Por outro lado, essas variações são

muito visíveis nos poços instalados no aquífero compostos pelas rochas MS1 com maiores variações no PM-01. Já em outros poços da unidade MS1, a variação é praticamente nula, como nos poços PMs-03,14, 21 e 22, constituído principalmente por rochas gnáissicas. Cabe ressaltar que todos os poços estão localizados próximos a áreas de drenagem, fraturamento e/ou contatos geológicos, sugerindo uma possível área de intensa recarga aquífera.

Estes dados indicam que o nível d'água dos aquíferos subterrâneos, refletem em alguns pontos as condições de pluviosidade ano hidrológico, com aumento do nível d'água em períodos com condições pluviométricas favoráveis a recarga dos aquíferos e diminuição do nível d'água em períodos prolongados de seca. Esses dados refletem principalmente com os estudos do clima, que apresentaram uma crescente das chuvas no ano de 2023.

11.1.11.3.7 Interceptação do nível d'água pela cava

Considerando que o pit final de escavação está previsto na cota 400 metros, e que os poços PC-01, PC-02, PC-06, PC-08 e PC-10 (Quadro 11.1.11-24), instalados em 2022 no entorno próximo da área da mina, apresentam valores de carga hidráulica acima de 400,00 metros em todas as medições realizadas ao longo de 02 estações secas e 02 estações chuvosas, deve ser prevista a interceptação do nível d'água na área da cava, o que torna necessário prever um sistema de rebaixamento e controle do nível d'água subterrâneo, específico para área da cava de modo a evitar o alagamento da mesma.

Quadro 11.1.11-24: Poços do mais próximos do entorno da área da cava.

Poço	Cota do Poço	Cargas Hidráulicas			
		Set/Out (2022)	Dez (2022) /Jan (2023)	Mar/Abr (2023)	Jul (2023)
PC-01	465,71	416,71	439,44	449,33	439,32
PC-02	459,81	438,03	437,31	438,00	450,18
PC-06	467,50	444,00	443,88	440,80	463,61
PC-08	444,98	437,41	437,58	438,67	417,86
PC-10	430,48	400,72	410,41	426,05	417,54
Média	453,70	427,37	433,72	438,57	437,70

Elaboração: BTB Explorers, 2023.

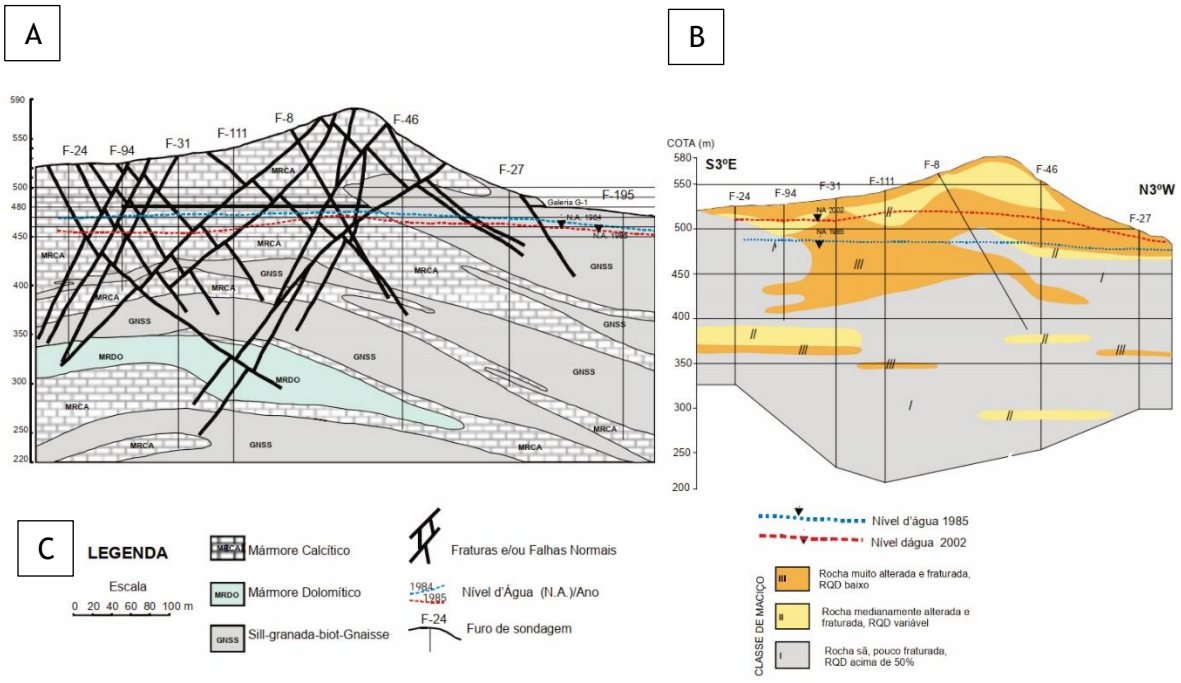
11.1.11.3.8 Compartimentação estrutural e litológica

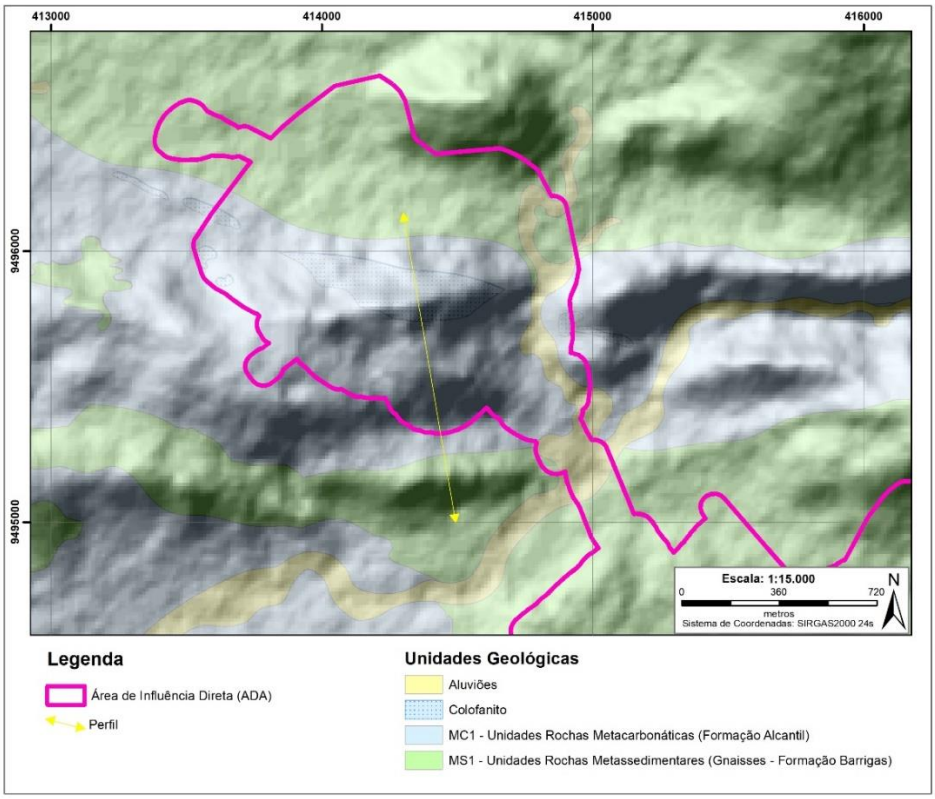
A identificação da compartimentação estrutural e litológica na área da cava, pode ser observada no Capítulo de Geologia (11.1.7), que contém diversos perfis confeccionados a partir dos 250 furos de sondagens com média de 450 metros de profundidades, realizados pela INB entre 1979 e 2002. As duas falhas normais, uma na porção central do perfil (entre os furos F-226 e F-40) e a outra mais a SE (entre os furos F-92 e F-12), atravessam todos os

diferentes extratos interdigitados das rochas das Formações Barrigas e Alcantil, indicando que o regime de fluxos e intercomunicações entre os pacotes aquíferos é preferencialmente controlado pela condicionante estrutural.

Outros dois perfis importantes estão representados na Figura 11.1-269, que apresenta com maior detalhamento as fraturas do maciço rochoso, por onde há uma facilitação de percolação de águas pluviométricas para o aquífero (Perfil A). Já a figura no perfil B, apresenta o grau de alteração das rochas da região da cava, onde indica alteração do topo para a base, principalmente próximo as regiões mais fraturadas.

Figura 11.1-269: Perfis litológicos (A) e geotécnicos (B) da área da Mina e sua localização. (C)





Além dos diversos perfis geológicos, no Capítulo de Geologia (11.1.7), é apresentado o mapa de detalhamento 1:10.000 da ADA e seu entorno, onde é possível ver os locais de carstificação e áreas com falhas e fraturas mapeáveis. Junto a esses dados a região da cava, área industrial e pilha de fosfogesso apresenta diversos perfis geofísicos que contribuem para o entendimento do substrato rochoso da região. Por fim, a construção de um novo sistema de poços de monitoramento auxiliou para a compreensão do comportamento do aquífero na AID e a heterogeneidade das Formações Alcantil e Barrigas, que se apresentam no perfil de forma interdigitada, com mergulhos de até 30 graus e espessuras que variam de cerca de 20 m a até maiores que 100 m, explanado no item 11.1.11.3 - Modelo Hidrogeológico Conceitual - ADA.

Estas interdigitações de níveis da Formação Barrigas, que tem um comportamento fraturado, em meio a Formação Alcantil (Unidade Aquífera MC1), que também tem um comportamento de fraturado (onde não ocorreu dissolução) e cárstico (nos locais com dissolução), permitem adotar o comportamento da unidade aquífera MC1 (fraturado +cárstico) para a região onde ocorrem estas interdigitações de formações geológicas.

Com base nestes dados, parte-se da premissa que após a infiltração superficial, o fluxo vertical das águas subterrâneas é controlado principalmente pelas feições estruturais subverticais, e o fluxo horizontal pelas foliações e estruturas secundárias presentes nos

diferentes litotipos da formação Alcantil e Barrigas, e nos contatos sub-horizontais entre as diferentes bandas ou camadas interdigitadas.

11.1.11.3.9 Vulnerabilidade e Áreas de Recarga e Descargas

Os resultados apontam para uma condição de vulnerabilidade extrema para a Unidade Aquífera MC1 (Formação Alcantil), ao norte e leste da ADA, onde há afloramentos rochosos nos Inselbergs e presença de cavidades, concentrado acima do terço médio da Depressão Sertaneja ou remanescentes do Planalto Sertanejo, e vulnerabilidade média a alta para Unidade Aquífera MS1 (Formação Barrigas), principalmente nas regiões com alta densidade de fratura ou com baixa declividade junto ao meio poroso.

Vulnerabilidade extrema significa que o aquífero é vulnerável à maioria dos contaminantes, com impacto rápido. Já a vulnerabilidade média a alta significa que o aquífero e o meio poroso são vulneráveis a alguns contaminantes quando continuamente lançados ou lixiviados.

As áreas fontes de contaminação do solo e das águas superficiais e subterrânea, são as próprias atividades mineiro industriais e da unidade de urânio, a serem desenvolvidas no local.

11.1.11.3.10 Favorabilidade a inundações

Quanto à favorabilidade a inundações, a área não apresenta histórico favorável a eventos de cheia, frente aos baixos índices pluviométricos que dificilmente ultrapassam as médias de 800 mm (média do Brasil 1800 mm) ao ano, característicos do clima semiárido da região, e nos casos de ocorrência de alta densidade de precipitações pluviométricas, o solo apresenta alta taxa de condutividade, absorvendo rapidamente parte das águas pluviais. Junto a capacidade de absorção do solo, os corpos hídricos ficam restritos aos canais de drenagem bem definidos e escavados no relevo de morros e serras, configurando redes de drenagem encaixadas em planos de fraquezas decorrentes das estruturas resultantes dos processos reológicos da rocha, em fundos de vales escavados pela própria ação intempérica dos escoamentos superficiais.

Durante os levantamentos pluviométricos de 1992 a 2023, as médias de chuvas ficaram abaixo dos 700mm, com menor média em 2022, com 222mm, e maior em 2004, de 1192 mm. Vale ressaltar, que a região sofre com duras secas em períodos de El Niño, passando por três durante 1992 a 2023.

11.1.11.3.11 Resumo do Modelo Hidrogeológico

O Quadro 11.1.11-25 a seguir apresenta um resumo das principais informações utilizadas para a confecção do Modelo Hidrogeológico Conceitual, as metodologias e levantamentos de campo. Foram utilizados os dados do EIA de 2014, 2021 e os dados de 2022 e 2023 para a atualização, além de dados de secundários.

Por fim, com todos os dados obtidos, foi possível gerar o bloco diagrama do modelo conceitual hidrogeológico (Figura 11.1-270).

Quadro 11.1.11-25: Resumo das principais informações do Modelo Hidrogeológico.

Aquífero	Formação Alcantil (Unidade Aquífera MC1)	Formação Barrigas (Unidade Aquífera MS1)	Temas integrados	Capítulos do EIA
Clima	- Estações chuvosas: dezembro a maio, com os maiores índices de março a abril. - Estações secas: agosto a novembro. - Influência marcante do El Niño (seca).		- Clima.	- Capítulo 11.1.
Balanço Hídrico	- Balanço hídrico significativamente negativo. - Excedente hídrico da região é inferior a 20 mm.		- Hidrogeologia e clima.	- Capítulo 11.1.1
Hidrologia	- Sub-bacia do rio Guaribas (drenagem principal da ADA). - Fluxos limitados pela topografia desfavorável com o rápido escoamento superficial. - Direção de fluxo preferencial de NE para SW. - Rios influentes e intermitentes. - Ausência de risco de enchentes.		- Hidrologia e clima.	- Capítulo 11.1.8
Cobertura de solo (zona de condução da água de superfície)	- Manto de alteração de rocha com espessura em média 1,0 m. - Argilo arenoso com silte. - Alcalino. - Baixa a média permeabilidade. - Condutividade hidráulica baixa a média (10^{-4} a 10^{-6} cm/s).	- Manto de alteração com espessuras entre 2,0 a 18,0 m. - Areno-siltoso com argila. - Ácido. - Média a alta permeabilidade. - Condutividade hidráulica média a alta (10^{-4} cm/s).	- Pedologia e geologia.	- Capítulo 11.1.5 - - Capítulo 11.1.7
Propriedades geotécnicas do solo	- Densidade dos grãos: 2,4 a 2,5 (g/cm^3) - Densidade do solo: 1,3 a 1,4(g/cm^3) - Porosidade total: 41 a 45% - Porosidade específica: 10 a 13%	- Densidade dos grãos: 2,5 a 2,6 (g/cm^3) - Densidade do solo: 1,3 a 1,8 (g/cm^3) - Porosidade total: 24 a 32% - Porosidade específica: 3 a 7%	- Geotecnia e pedologia.	- Capítulo 11.1.5 - - Capítulo 11.1.6
Constituição dos aquíferos	- Rochas metacarbonáticas com interdigitações de metasedimentares, não representáveis na escala mapeada.	- Rochas metasedimentares com interdigitações de metacarbonáticas, não representáveis na escala mapeada.	- Geologia, hidrogeologia e geofísica.	- Capítulo 11.1.7 - - Capítulo 11.1.11
Tipo do aquífero	- Cárstico / fraturado, livres.	- Fraturado, livre.	- Geologia, hidrogeologia, geofísica, pedologia e espeleologia.	
Tipo de porosidade	- Secundária (cavidades e fraturas).	- Secundária (fraturas).	- Geologia, hidrogeologia e geofísica.	
Cavidades	- Ocorrência de 89% das cavidades mapeadas. - Cavidades ocorrem de maneira geral no terço médio a superior dos Ingelberg das unidades geomorfológicas.	- Ocorrência de 11% das cavidades mapeadas. - Cavidades ocorrem de maneira geral no terço médio a superior dos Ingelberg das unidades geomorfológicas.	- Geologia, hidrogeologia, geofísica, geomorfologia e espeleologia.	
Recarga e Vulnerabilidade	- Na região norte e leste da ADA há o predomínio de recarga através de fraturas e cavidades (zona cárstica) e aumento de vulnerabilidade localizada. - Na região oeste da ADA há predomínio de recarga em áreas planas, baixa densidade de fraturas e vulnerabilidade média a alta. - Na região sul da AID há predomínio de escoamento e baixa vulnerabilidade.		- Geologia, hidrogeologia, geofísica, pedologia, geomorfologia e espeleologia.	- Capítulo 11.1.7 - Capítulo 11.1.11
Nível d'água sazonal (m)	- Entre 2011 e 2021: diminuição média de nível d'água. - Entre 2022 e 2023: elevação média do nível d'água. - Variação de nível d'água: pouco significativas.	- Entre 2011 e 2021: diminuição média de nível d'água. - Entre 2022 e 2023: elevação média do nível d'água. - Variação de nível d'água: expressivas.	- Hidrogeologia e clima.	- Capítulo 11.1.1 - Capítulo 11.1.11

Elaboração: BTB Explorers, 2023.

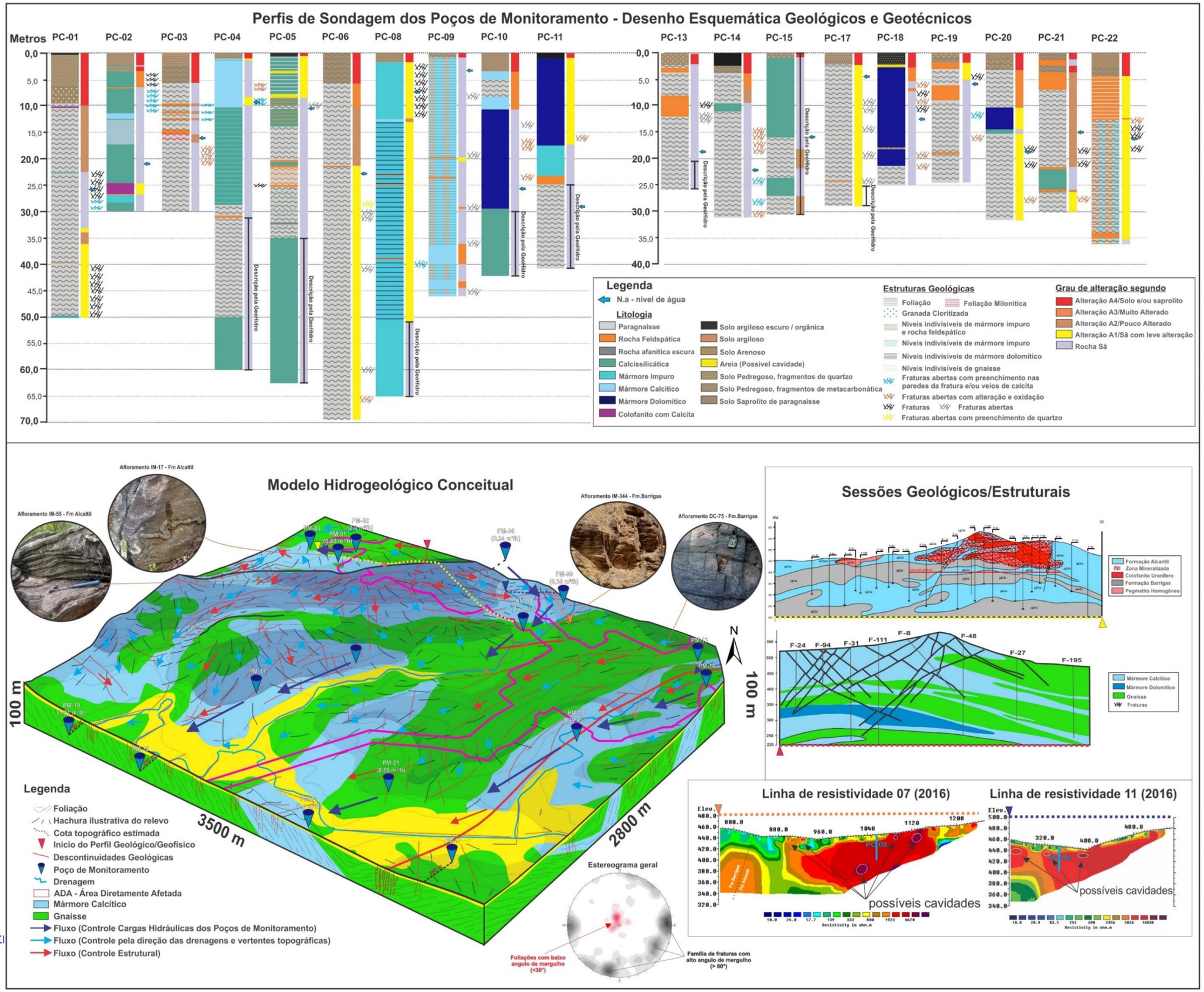


Figura 11.1-270: Modelo Hidrogeológico Conceitual.

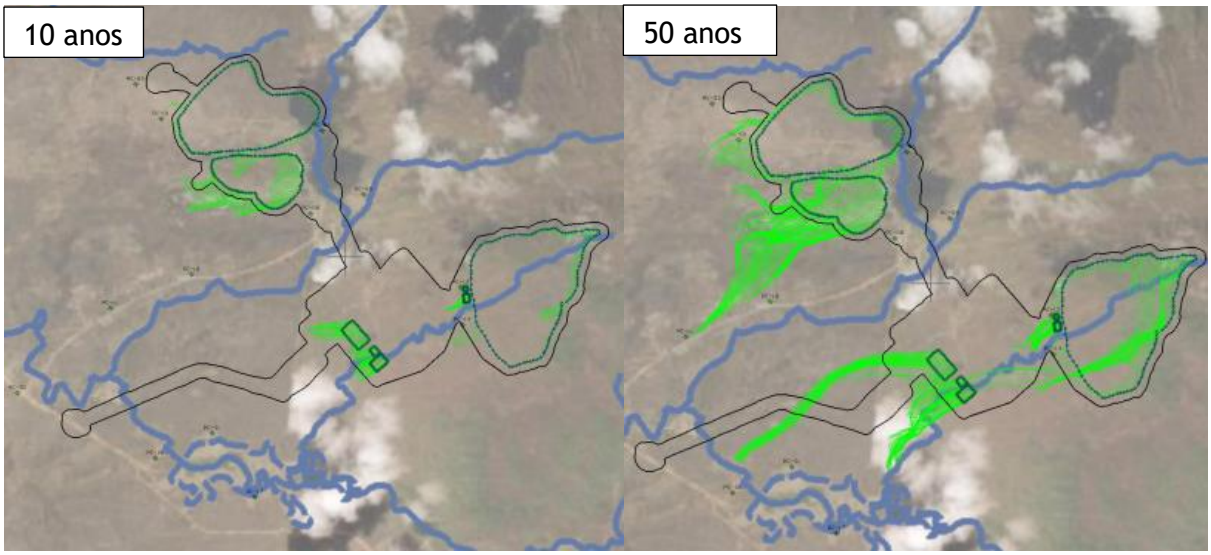
Elaboração: BTB Explorers, 2023.

Para melhor compreensão dos dados utilizados no bloco diagrama e quais dados é possível obter dele, foi optado pela construção de um quadro conceitual, trazendo os dados de maior relevância ao modelo. Com ele é possível visualizar as estruturas geológicas predominantes, litologias, fluxos hidrogeológicos, entre outros dados.

O Bloco diagrama está proposto em uma escala 1H:3V, para melhor visualização do relevo e as camadas. Porém, essa escala causa distorções, principalmente nas camadas litoestratigráficas, que em média apresentam valores entre 10° e 30° de ângulo de mergulho.

Outro ponto a ressaltar é a grande presença de descontinuidades geológicas próximas aos morros ao norte, porém como a região ao sul apresenta uma grande quantidade de riachos sobre sedimentos quaternários, que por sua vez "camuflam" e dificultam a identificação dessas estruturas. Porém, como é possível observar os canais apresentam um padrão controlado e muitas vezes retilíneo, indicando um controle estrutural.

Alguns estudos preliminares, realizados através de modelamento com o *LeapFrog* (Figura 11.1-271) apontam para o fluxo do aquífero é de NE para SW, na área da ADA o riacho do Guaribas e riacho Cunha Moti. Vale ressaltar que ambos estão sobrepostos a um grande lineamento geofísico e descontinuidades regionais. O estudo foi realizado com rastreamento de partículas a partir da pilha de fosfogesso, estéril, jazida e complexo industrial.



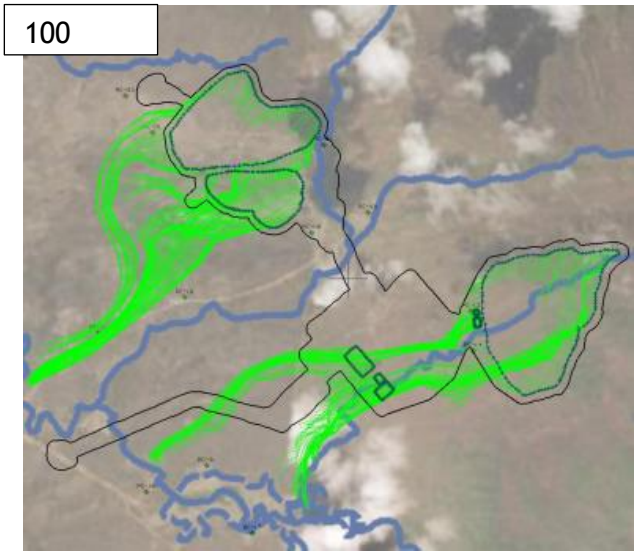


Figura 11.1-271: Modelamento *leapfrog* de direção de fluxo de partículas nos pontos de interesse da ADA.

Fonte: Fosnor, 2023.

Para a construção do modelo, foi utilizado como base a geologia e as unidades geológicas, assim como as principais estruturas de falhamento na área, indicando uma preferência do fluxo em seguir a geometria das unidades geológicas, principalmente da Fm. Alcantil, além das falhas regionais, funcionarem como barreiras e mudança brusca na direção do fluxo.

O estudo está em fase inicial, não contando até o momento com a presença de condutos cársticos. O objetivo é construir um modelo matemático que compreenda melhor a direção e o comportamento do fluxo do aquífero.

11.1.11.4 Considerações Finais

Os aquíferos na região da ADA e AID, ocorrem principalmente na forma de meio fraturado e secundariamente cárstico. Há presença de duas principais unidades na ADA, a MS1 composta por metassedimentos da Formação Barrigas e MC1 que corresponde as metacarbonáticas da Formação Alcantil. Devido à baixa espessura do meio poroso, corresponde aos sedimentos aluvionares e pluviais, foi optado por não o subdividir em uma unidade aquífera, funcionando apenas como uma zona de condução até os aquíferos rochosos, não havendo acúmulo de água freática.

O meio fraturado é anisotrópico, com sua condutividade hidráulica diretamente relacionada às estruturas representantes da porosidade secundária, representada por falhas e fraturas, distribuídas heterogeneamente tanto nas rochas das Formações Alcantil (Unidade Aquífera MC1) e Barrigas (Unidade Aquífera MS2). Cabe ressaltar que a unidade MC1, devido

à composição carbonática é propicia a formação de cavidades por dissolução, dificilmente formando camadas de solo.

Com o adensamento dos dados obtidos de 2022 a 2023, foi possível compreender de maneira mais detalhada o comportamento hidrogeológico da região. Foi construído uma nova rede de poços de monitoramento, totalizando 21 poços distribuídos na ADA e seu entorno. Com eles, foram realizados teste para obtenção da transmissividade (T) e condutividade hidráulica (K), através dos métodos de bombeamento e recuperação e *slug test*. Através dos ensaios realizados em 2022 foi obtido valores médios através de todos os métodos para a unidade metassedimentares (MS1) de (K) de $6,57^{E-06}$ m/s e (T) $3,11^{E-05}$ m^2/s. Já as unidades metacarbonáticas, apresentaram valores de (T) $1,90^{E-04}$ m^2/s e (K) $2,37^{E-05}$ m/s. De forma geral, onde não ocorrem os padrões cárstico na MC1 o aquífero irá se comportar como no meio fraturado, de forma a apresentar padrões de K e T semelhantes aos do MS1. Conforme os dados obtidos ambos os meios em média apresentam o mesmo comportamento, indicando que a maior parte do aquífero ocorre em meio fraturado.

Tanto as águas superficiais como as subterrâneas, tendem a se deslocar condicionadas principalmente pelos efeitos gravitacionais das diferenças de potencial da maior para menor carga hidráulica, com direção de fluxo de NE para SW, de forma encaixada entre planos de fraquezas da zona de cisalhamento, e tendem a desaguar nos relevos de colinas alongadas com declividade inferior a 5º, condição esta favorável a infiltração. Foi observado ao longo dos anos uma diminuição natural do volume de água nos aquíferos subterrâneos, o que sugere um balanço hídrico subterrâneo negativo na região.

Os resultados da análise de Vulnerabilidade pelo método GOD indicam uma condição de vulnerabilidade extrema para a Unidade Aquífera MC1 (Formação Alcantil), onde ocorrem as zonas certificadas, e alta para o restante de sua unidade, devido à baixa espessura dos solos. Já para a Unidade Aquífera MS1 (Formação Barrigas) e consideravelmente média sua vulnerabilidade e alta para o meio poroso (Aluviões), nas áreas de baixa declividade principalmente. A Vulnerabilidade extrema significa que é vulnerável à maioria dos contaminantes, com impacto rápido, em função de ocorrerem rochas aflorantes principalmente ou zonas carstificadas. Assim, integrando esses dados, junto aos demais, principalmente a declividade foi possível obter o mapa da Figura 11.1.11-18. As regiões com maior declividade indicam baixa ou insignificância para contaminação, mesmo que as rochas tenham baixa espessura de solo, o ambiente favorece o escoamento a infiltração. As potenciais fontes de contaminação do solo, das águas superficiais e subterrânea, poderão ser as próprias atividades Mínero-industriais e da instalação de urânio, a serem desenvolvidas no local.

A hidrogeologia é um conceito multidisciplinar, onde todos os conhecimentos do meio físico interagem, para seu controle e formação. Para melhor compreender essa interação foi elaborado o infográfico (Figura 11.1-272) a seguir:

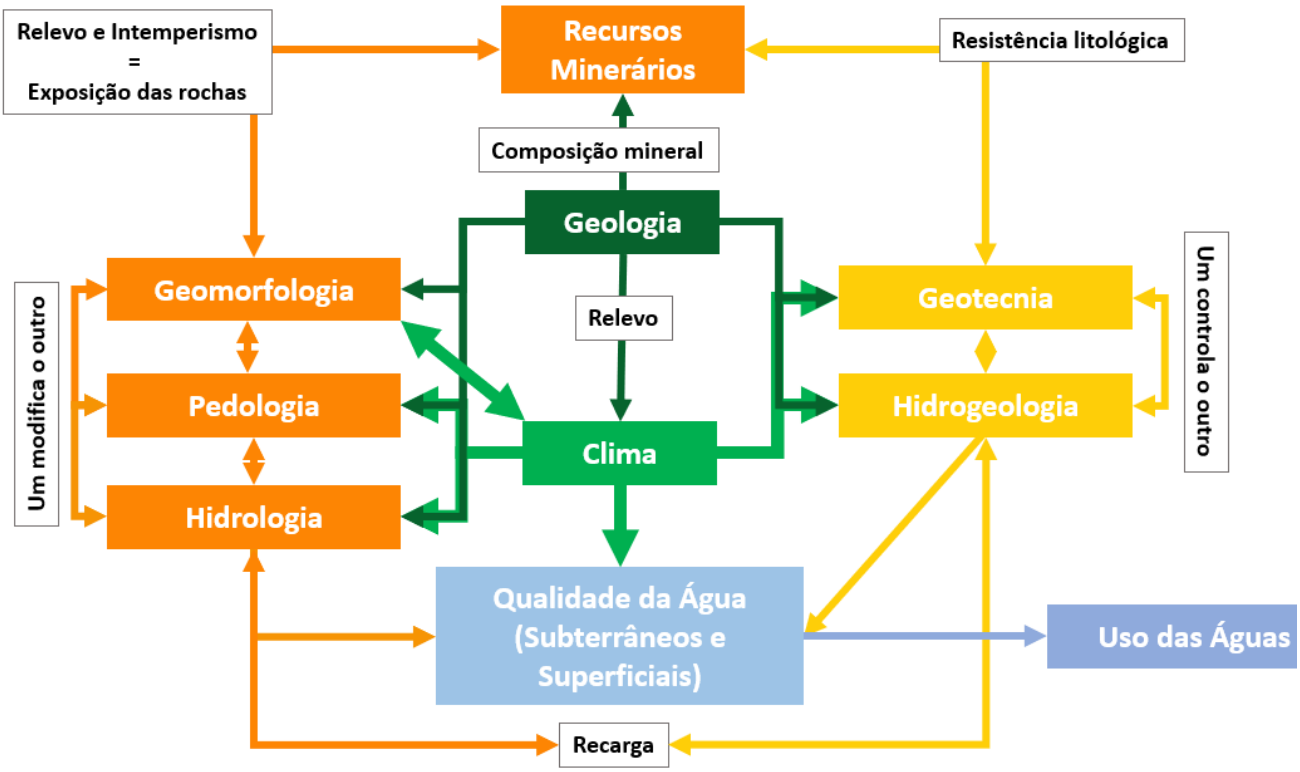


Figura 11.1-272: Infográfico da interação dos estudos.
Elaboração: BTB Explorers, 2023.

11.1.12 Qualidade das Águas Subterrâneas

11.1.12.1 Considerações Metodológicas

Para caracterização hidroquímica das águas subterrâneas a nível regional na AII, foram utilizados os dados disponíveis no Diagnóstico da Região Hidrográfica do Acaraú (COGERH, 2022), que apresenta apenas análise de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT).

Os dados primários para caracterização hidroquímica a nível local na AID/ADA, foram coletados a partir de amostras de água subterrânea do poço INB e de outros 06 poços de monitoramento (PM) instalados em 2011 pela empresa CAGEO. Os poços PM-01, PM-04, PM-06 e PM-08 se encontravam sem coluna d'água (secos) em todas as campanhas realizadas. Essas amostras foram coletadas em seis campanhas realizadas pelo laboratório Merieux NutriSciences. Dessas campanhas, quatro ocorreram ao longo do ano de 2011 (ARCADIS LOGOS, 2014), enquanto as duas restantes foram conduzidas entre os anos de 2020 e 2021, com o objetivo de atualizar as condições hidroquímicas das unidades aquíferas MC1 e MS1.

Cumpre mencionar que todas as campanhas realizadas no período de 2011 a 2021, abrangeram variações sazonais e temporais que possibilitam a avaliação das condições nas estações seca e chuvosa.

Do Quadro 11.1.12-1 ao Quadro 11.1.12-4, são apresentados os parâmetros analisados nas campanhas (de 2011 a 2021) de coleta de amostras realizadas pela CAGEO no poço INB.

Quadro 11.1.12-1: Parâmetros Inorgânicos analisados nas campanhas de 2011 a 2021 coletados pela CAGEO – Poço INB

Parâmetros Inorgânicos	Campanha					
	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	nov/20	fev/21
Alumínio	A	A	A	A	A	A
Alumínio D*	A	A	A	A	A	A
Antimônio	A	A	A	A	A	A
Antimônio D*	A	A	A	A	A	A
Arsênio	A	A	A	A	A	A
Arsênio D*	A	A	A	A	A	A
Bário	A	A	A	A	A	A
Bário D*	A	A	A	A	A	A
Berílio	A	A	A	A	A	A
Berílio D*	A	A	A	A	A	A
Boro	A	A	A	A	A	A
Boro D*	A	A	A	A	A	A
Cádmio	A	A	A	A	A	A
Cádmio D*	A	A	A	A	A	A
Chumbo	A	A	A	A	A	A
Chumbo D*	A	A	A	A	A	A
Cianeto Total	A	A	A	A	A	A
Cloreto	A	A	A	A	A	A
Cobalto	A	A	A	A	A	A
Cobalto D*	A	A	A	A	A	A
Cobre	A	A	A	A	A	A
Cobre D*	A	A	A	A	A	A
Cromo	A	A	A	A	A	A
Cromo D*	A	A	A	A	A	A
Ferro	A	A	A	A	A	A
Ferro D*	A	A	A	A	A	A
Fluoreto	A	A	A	A	A	A
Lítio	A	A	A	A	A	A
Lítio D*	A	A	A	A	A	A
Manganês	A	A	A	A	A	A
Manganês D*	A	A	A	A	A	A
Mercúrio	A	A	A	A	A	A
Mercúrio D*	A	A	A	A	A	A
Molibdênio	A	A	A	A	A	A
Molibdênio D*	A	A	A	A	A	A
Níquel	A	A	A	A	A	A
Níquel D*	A	A	A	A	A	A
Nitrogênio Nitrato	A	A	A	A	A	A
Nitrogênio Nitrito	A	A	A	A	A	A
Prata	A	A	A	A	A	A
Prata D*	A	A	A	A	A	A
Selênio	A	A	A	A	A	A
Selênio D*	A	A	A	A	A	A
Sódio	A	A	A	A	A	A

Parâmetros Inorgânicos	Campanha					
	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	nov/20	fev/21
Sódio D*	A	A	A	A	A	A
Sólidos Totais D*	A	A	A	A	A	A
Sulfato	A	A	A	A	A	A
Urânio	A	A	A	A	A	A
Urânio D*	A	A	A	A	A	A
Vanádio	A	A	A	A	A	A
Vanádio D*	A	A	A	A	A	A
Zinco	A	A	A	A	A	A
Zinco D*	A	A	A	A	A	A
Cálcio Total	N/A	N/A	N/A	N/A	A	A
Fósforo Total	N/A	N/A	N/A	N/A	A	A
Enxofre	N/A	N/A	N/A	N/A	A	A

A = Analisado; N/A = Não analisado; N/C = Não coletado; MS = Meta-sedimentar; MC = Meta-carbonática; D = Dissolvido.*

Quadro 11.1.12-2: Parâmetros Orgânicos analisados nas campanhas de 2011 a 2021 coletados pela CAGEO - Poço INB

Parâmetros Orgânicos	Campanha					
	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	nov/20	fev/21
Acrilamida	A	A	A	A	A	A
Benzeno	A	A	A	A	A	A
Benzo(a)antraceno	A	A	A	A	A	A
Benzo(b) fluoranteno	A	A	A	A	A	A
Benzo(a)pireno	A	A	A	A	A	A
Benzo(K)fluoranteno	A	A	A	A	A	A
Cloreto de Vinila	A	A	A	A	A	A
Clorofórmio	A	A	A	A	A	A
Criseno	A	A	A	A	A	A
1,2-Diclorobenzeno	A	A	A	A	A	A
1,4-Diclorobenzeno	A	A	A	A	A	A
1,2-Dicloroetano	A	A	A	A	A	A
1,1-Dicloroeteno	A	A	A	A	A	A
Cis-1,2-Dicloroeteno	A	A	A	A	A	A
Trans-1,2-Dicloroeteno	A	A	A	A	A	A
1,2-Dicloroeteno (cis+trans)	A	A	A	A	A	A
Dibenzo antraceno	A	A	A	A	A	A
Diclorometano	A	A	A	A	A	A
Estireno	A	A	A	A	A	A
Etilbenzeno	A	A	A	A	A	A
Fenóis	A	A	A	N/A	A	A
Indeno(1,2,3-cd)pireno	A	A	A	A	A	A
PCBs (Somatoria 7)	A	A	A	A	A	A
PCB 28	A	A	A	A	A	A
PCB 52	A	A	A	A	A	A

Parâmetros Orgânicos	Campanha					
	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	nov/20	fev/21
PCB 101	A	A	A	A	A	A
PCB 118	A	A	A	A	A	A
PCB 138+158	A	A	A	A	A	A
PCB 153	A	A	A	A	A	A
PCB 180	A	A	A	A	A	A
Tetracloreto de Carbono	A	A	A	A	A	A
1,2,3-Triclorobenzeno	A	A	A	A	A	A
1,2,4-Triclorobenzeno	A	A	A	A	A	A
1,3,5-Triclorobenzeno	N/A	A	A	A	A	A
Triclorobenzenos	A	A	A	A	A	A
Tetracloroeteno	A	A	A	A	A	A
Tricloroeteno	A	A	N/A	A	A	A
Tolueno	A	A	A	A	A	A
m,p Xilenos	A	A	A	A	A	A
o-Xilenos	A	A	A	A	A	A
Xilenos	A	A	A	A	A	A

A = Analisado; N/A = Não analisado; N/C = Não coletado.

Quadro 11.1.12-3: Parâmetros Agrotóxicos analisados nas campanhas de 2011 a 2021 coletados pela CAGEO - Poço INB.

Agrotóxicos	Campanha					
	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	nov/20	fev/21
Alaclor	A	A	A	A	A	N/C
Aldicarbe	A	A	A	A	A	N/C
Aldicarbesulfona	A	A	A	A	A	N/C
Aldicarbesulfóxido	A	A	A	A	A	N/C
Aldicarb+Sulfona+Sulfóxido	A	A	A	A	A	N/C
Aldrin	A	A	A	A	A	N/C
Dieldrin	A	A	A	A	A	N/C
Aldrin + Dieldrin	A	A	A	A	A	N/C
Atrazina	A	A	A	A	A	N/C
Bentazona	A	A	A	A	A	N/C
Carbofurano	A	A	A	A	A	N/C
Clordano (cis)	A	A	A	A	A	N/C
Clordano (trans)	A	A	A	A	A	N/C
Clordano (cis + trans)	A	A	A	A	A	N/C
Clorotalonil	A	A	A	A	A	N/C
Clorpirifos	A	A	A	A	A	N/C
2,4 - D	A	A	A	A	A	N/C
p,p`-DDT	N/A	A	N/A	N/A	A	N/C
p,p`DDE	N/A	A	N/A	N/A	A	N/C
p,p`-DDD	N/A	A	N/A	N/A	A	N/C

Agrotóxicos	Campanha					
	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	nov/20	fev/21
DDT(p,p`-DDT+p,p`-DDD+DDE)	A	A	A	A	A	N/C
Endossulfan Alfa	A	A	A	A	A	N/C
Endossulfan Beta	A	A	A	A	A	N/C
Endossulfan Sulfato	A	A	A	A	A	N/C
Endossulfan(a+b+Sulfato)	A	A	A	A	A	N/C
Endrin	A	A	A	A	A	N/C
Glifosato + AMPA	A	A	A	A	A	N/C
Heptacloro	A	A	A	A	A	N/C
Heptacloro Epóxido	A	A	A	A	A	N/C
Heptacloro Epóxido + Heptacloro	A	A	A	A	A	N/C
Hexaclorobenzeno	A	A	A	A	A	N/C
Lindano (g-HCH)	A	A	A	A	A	N/C
Malation	A	A	A	A	A	N/C
Metolacloro	A	A	A	A	A	N/C
Metoxicloro	A	A	A	A	A	N/C
Molinato	A	A	A	A	A	N/C
Pendimetalina	A	A	A	A	A	N/C
Pentaclorofenol	A	A	A	A	A	N/C
Permetrina	A	A	A	A	A	N/C
Propanil	A	A	A	A	A	N/C
Simazina	A	A	A	A	A	N/C
Trifluralina	A	A	A	A	A	N/C

A = Analisado; N/A = Não analisado; N/C = Não coletado.

Quadro 11.1.12-4: Parâmetros Microrganismos analisados nas campanhas de 2011a 2021 coletados pela CAGEO - Poço INB.

Microrganismos	Campanha					
	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	nov/20	fev/21
Coliformes Termotolerantes	A	A	A	A	A	A
Escherichia coli	A	A	A	A	A	A
Enterococcus	A	A	A	A	A	A

A = Analisado.

Do Quadro 11.1.12-5 ao Quadro 11.1.12-8, estão apresentados os parâmetros analisados nas campanhas (de 2011 a 2021) de coleta de amostras realizadas pela CAGEO nos poços de monitoramento PM. Vale lembrar que os poços PM-01, PM-04, PM-06 e PM-08 se encontravam sem coluna d'água (secos) em todas as campanhas realizadas.

Quadro 11.1.12-5: Parâmetros Inorgânicos analisados nas campanhas de 2011 a 2021 coletados pela CAGEO - Poços de monitoramento PM.

Ponto	Unidade Hidrogeológica	Campanha	Alumínio	Alumínio D*	Bário	Bário D*	Boro	Boro D*	Cloreto	Ferro	Ferro D*	Fluoreto	Lítio	Lítio D*	Manganês	Manganês D*	Molibdênio	Molibdênio D*	Níquel	Níquel D*	Nitrato	Nitrito	Sódio	Sódio D*	SDT	Sulfato	Vanádio	Vanádio D*	Zinco	Zinco D*	Índice de Fenóis	Cálcio Total	Fósforo Total	Glifosato + AMPA
PM-03	MS1	abr/11	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
PM-03	MS1	jun/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	A
PM-03	MS1	jul/11	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
PM-03	MS1	ago/11	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
PM-03	MS1	nov/20	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PM-03	MS1	fev/21	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PM-05	MS1	abr/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	A
PM-05	MS1	jun/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	A
PM-05	MS1	jul/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	A
PM-05	MS1	ago/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	N/A	A
PM-05	MS1	nov/20	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PM-05	MS1	fev/21	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PM-06	MS1	abr/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	A
PM-06	MS1	jun/11	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
PM-06	MS1	jul/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	A
PM-06	MS1	ago/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	A
PM-06	MS1	nov/20	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
PM-06	MS1	fev/21	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
PM-07	MC1	abr/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	A
PM-07	MC1	jun/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	A
PM-07	MC1	jul/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	A

Ponto	Unidade Hidrogeológica	Campanha	Alumínio	Alumínio D*	Bário	Bário D*	Boro	Boro D*	Cloreto	Ferro	Ferro D*	Fluoreto	Lítio	Lítio D*	Manganês	Manganês D*	Molibdênio	Molibdênio D*	Níquel	Níquel D*	Nitrato	Nitrito	Sódio	Sódio D*	SDT	Sulfato	Vanádio	Vanádio D*	Zinco	Zinco D*	Índice de Fenóis	Cálcio Total	Fósforo Total	Glifosato + AMPA
PM-07	MC1	ago/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	N/A	A
PM-07	MC1	nov/20	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	A	A	A
PM-07	MC1	fev/21	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PM-09	MC1	abr/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	A
PM-09	MC1	jun/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	A
PM-09	MC1	jul/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	A
PM-09	MC1	ago/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	N/A	A
PM-09	MC1	nov/20	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
PM-09	MC1	fev/21	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
PM-10	MC1	abr/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	A
PM-10	MC1	jun/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	A
PM-10	MC1	jul/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	A
PM-10	MC1	ago/11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	N/A	A
PM-10	MC1	nov/20	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
PM-10	MC1	fev/21	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C

A = Analisado; N/A = Não analisado; N/C = Não coletado; MS = Meta-sedimentar; MC = Meta-carbonática; D = Dissolvido.*

Quadro 11.1.12-6: Parâmetros Orgânicos analisados nas campanhas de 2011 a 2021 coletados pela CAGEO – Poços de monitoramento PM.

Parâmetros	PM-03	PM-03	PM-03	PM-05	PM-05	PM-05	PM-05	PM-05	PM-05	PM-06	PM-06	PM-06	PM-07	PM-07	PM-07	PM-07	PM-07	PM-07	PM-09	PM-09	PM-09	PM-09	PM-10	PM-10	PM-10	PM-10
Unidade Hidrogeológica	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1
Campanha	jun/11	nov/20	fev/21	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	nov/20	fev/21	abr/11	jul/11	ago/11	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	nov/20	fev/21	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11
Acrilamida	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Benzeno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Benzo(a)antraceno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Benzo(b)fluoranteno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Benzo(a)pireno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Benzo(k)fluoranteno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Cloreto de vinila	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Clorofórmio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Criseno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1,2-Diclorobenzeno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1,4-Diclorobenzeno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1,2-Dicloroetano	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1,1-Dicloroeteno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
cis-1,2-Dicloroeteno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
trans-1,2-Dicloroeteno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1,2-Dicloroeteno (cis+trans)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Dibenzo(a,h)antraceno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Diclorometano	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Estireno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Etilbenzeno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Índice de Fenóis	A	A	A	A	A	A	N/A	A	A	A	A	N/A	A	A	A	N/A	N/A	A	A	A	A	N/A	A	A	A	N/A
Indeno(1,2,3,cd)pireno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PCB´s	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PCB 28	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PCB 52	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PCB 101	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PCB 118	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PCB 138 + PCB 158	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PCB 153	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PCB 180	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Tetracloreto de Carbono	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1,2,3-Triclorobenzeno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1,2,4-Triclorobenzeno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1,3,5-Triclorobenzeno	A	A	A	N/A	A	A	A	A	A	N/A	A	A	N/A	A	A	A	A	A	N/A	A	A	A	N/A	A	A	A
Triclorobenzenos	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Tetracloroeteno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Parâmetros	PM-03	PM-03	PM-03	PM-05	PM-05	PM-05	PM-05	PM-05	PM-05	PM-06	PM-06	PM-06	PM-07	PM-07	PM-07	PM-07	PM-07	PM-07	PM-09	PM-09	PM-09	PM-09	PM-10	PM-10	PM-10	PM-10
Tricloroeteno	A	A	A	A	A	N/A	A	A	A	A	N/A	N/A	A	A	N/A	A	A	A	A	A	N/A	A	A	A	N/A	A
Tolueno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
m,p-Xilenos	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
o-Xileno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Xilenos	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Enxofre	N/A	A	A	N/A	N/A	N/A	N/A	A	A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Cálcio Total	N/A	A	A	N/A	N/A	N/A	N/A	A	A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	A	A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Fósforo Total	N/A	A	A	N/A	N/A	N/A	N/A	A	A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	A	A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

A = Analisado; N/A = Não analisado; N/C = Não coletado; MS = Meta-sedimentar; MC = Meta-carbonática.

Quadro 11.1.12-7: Parâmetros Agrotóxicos analisados nas campanhas de 2011 a 2021 coletados pela CAGEO - Poços de monitoramento PM.

Ponto	PM-03	PM-03	PM-03	PM-05	PM-05	PM-05	PM-05	PM-05	PM-05	PM-06	PM-06	PM-06	PM-07	PM-07	PM-07	PM-07	PM-07	PM-07	PM-09	PM-09	PM-09	PM-09	PM-10	PM-10	PM-10	PM-10
Unidade Hidrogeológica	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1
Campanha	jun/11	nov/20	fev/21	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	nov/20	fev/21	abr/11	jul/11	ago/11	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	nov/20	fev/21	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11
Alaclor	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Aldicarb	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Aldicarb Sulfona	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Aldicarb Sulfóxido	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Aldrin	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Dieldrin	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Aldrin e Dieldrin	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Atrazina	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Bentazona	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Carbofurano	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Cis Clordano	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Trans Clordano	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Clordano (cis e trans)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Clorotalonil	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Clorpirifós	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
2,4-D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
p,p-DDT	A	A	A	N/A	A	N/A	N/A	A	A	N/A	N/A	N/A	N/A	A	N/A	N/A	A	A	N/A	A	N/A	N/A	N/A	A	N/A	N/A
p,p-DDE	A	A	A	N/A	A	N/A	N/A	A	A	N/A	N/A	N/A	N/A	A	N/A	N/A	A	A	N/A	A	N/A	N/A	N/A	A	N/A	N/A
p,p-DDD	A	A	A	N/A	A	N/A	N/A	A	A	N/A	N/A	N/A	N/A	A	N/A	N/A	A	A	N/A	A	N/A	N/A	N/A	A	N/A	N/A
DDT(p,p'DDT,p,p´DDE e p,p´DDD)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Endossulfan - ALFA	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Endossulfan - BETA	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Endossulfan (a, b e sulfato)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Endossulfan Sulfato	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Endrin	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Glifosato + AMPA	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Heptacloro	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Heptacloro Epóxido	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Hexaclorobenzeno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Lindano (g-HCH)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Malation	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Metolacloro	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Metoxicloro	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Molinato	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Pendimetalina	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Pentaclorofenol	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Permetrina	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Ponto	PM-03	PM-03	PM-03	PM-05	PM-05	PM-05	PM-05	PM-05	PM-05	PM-06	PM-06	PM-06	PM-07	PM-07	PM-07	PM-07	PM-07	PM-07	PM-09	PM-09	PM-09	PM-09	PM-10	PM-10	PM-10	PM-10
Unidade Hidrogeológica	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1
Campanha	jun/11	nov/20	fev/21	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	nov/20	fev/21	abr/11	jul/11	ago/11	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	nov/20	fev/21	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11
Propanil	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Simazina	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Trifluralina	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

A = Analisado; N/A = Não analisado; N/C = Não coletado; MS = Meta-sedimentar; MC = Meta-carbonática.

Quadro 11.1.12-8: Parâmetros Microrganismos analisados nas campanhas de 2011 a 2021 coletados pela CAGEO - Poços de monitoramento PM.

Ponto	PM-03	PM-03	PM-03	PM-05	PM-05	PM-05	PM-05	PM-05	PM-05	PM-06	PM-06	PM-06	PM-07	PM-07	PM-07	PM-07	PM-07	PM-07	PM-09	PM-09	PM-09	PM-09	PM-10	PM-10	PM-10	PM-10
Unidade Hidrogeológica	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MS1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1	MC1
Campanha	jun/11	nov/20	fev/21	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	nov/20	fev/21	abr/11	jul/11	ago/11	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	nov/20	fev/21	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	abr/11	jun/11	jul/11	ago/11
Coliformes Termotolerantes (E. coli)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Coliformes Fecais	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Enterococcus	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

A = Analisado; N/A = Não analisado; N/C = Não coletado; MS = Meta-sedimentar; MC = Meta-carbonática.

Dados recentes da qualidade da água subterrânea para a caracterização hidroquímica a nível local na AID/ADA foram obtidos do Programa de Monitoração Radiológica Ambiental Pré-Operacional (PMRA-PO) (INB, 2023). Esses dados foram obtidos a partir de três campanhas conduzidas nos anos de 2022 e 2023 pela empresa CPEA, e as análises foram realizadas pelo Laboratório GLP. Estas três campanhas envolveram a coleta de amostras de água subterrânea em 21 poços, PC-01 a PC-15 e PC-17 a PC-22, localizados nos limites do empreendimento. Também foram utilizados os dados das amostras coletadas a partir de nove poços, SQ-01, SQ-03, SQ-04, SQ-06, SQ-07, SQ-08, SQ-09, SQ-11 e SQ-12, que são poços de captação e abastecimento às comunidades, localizados no entorno do PSQ (INB, 2023).

Para a instalação dos poços de monitoramento de água subterrânea no âmbito do PMRA-PO (INB, 2023), localizados no interior da Fazenda Itataia, o Consórcio Santa Quitéria contratou os serviços da empresa Geohidro, para realizar em 2022 a perfuração e estruturação de 19 poços (PC-01 a PC-06, PC-08 a PC-11, PC-13 a PC-15 e PC-17 a PC-22); a execução de proteção sanitária em 02 poços pré-existentes (PC-07, antes identificado como PM-07 e o PC-12, antes identificado como PM-05). Os poços identificados originalmente como PM-07, atual PC-07, e PM-05, atual PC-12, foram instalados pela empresa CAGEO em 2011. O PC-16 não existe, pois o poço originalmente previsto com essa identificação não foi instalado (INB, 2023). O poço PC-19 foi instalado a fim de substituir o poço denominado como INB nas amostragens seguintes. Assim, a antiga malha de poços de monitoramento foi substituída, reestruturada (dois poços) e ampliada (INB, 2023).

O Quadro 11.1.12-9 apresenta os parâmetros analisados nas três campanhas (de 2022 a 2023) de coleta de amostras realizadas no âmbito do PMRA-PO.

Quadro 11.1.12-9: Parâmetros dissolvidos analisados nas três campanhas (de 2022 a 2023) no âmbito do PMRA-PO - Poços de monitoramento PC e poços de abastecimento SQ.

Ponto	Coordenada X	Coordenada Y	Coleta	Unidade hidrogeológica	Campanha	Data	NE (m)	pH	CE (µS/cm)	Alumínio (Al)	Cálcio (Ca)	Ferro (Fe)	Fluoreto (F^{-1})	Fosfato (PO_4^{-3})	Magnésio (Mg)	Manganês (Mn)	Sódio (Na)	Sulfato (SO_4^{-2})	Urânio Natural (U-nat)
PC-01	413.496	9.496.109	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	20/10/22	26,27	7,51	981	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-01	413.496	9.496.109	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	09/01/23	16,38	7,57	1.039	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-01	413.496	9.496.109	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	13/04/23	26,39	7,32	1.102	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-02	413.539	9.496.232	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	03/10/22	21,78	6,83	1.575	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-02	413.539	9.496.232	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	20/12/22	22,50	6,87	1.489	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-02	413.539	9.496.232	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	30/03/23	21,81	6,72	1.646	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-03	413.289	9.496.394	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	22/09/22	16,43	7,02	2.210	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-03	413.289	9.496.394	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	19/12/22	16,41	7,03	2.091	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-03	413.289	9.496.394	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	20/03/23	16,46	6,92	2.131	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-04	412.472	9.496.785	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	25/10/22	11,91	7,33	2.071	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-04	412.472	9.496.785	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	11/01/23	10,55	7,37	2.173	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-04	412.472	9.496.785	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	11/04/23	10,51	7,11	2.338	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-05	412.468	9.496.653	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	24/10/22	13,05	6,86	1.102	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-05	412.468	9.496.653	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	11/01/23	11,94	6,92	1.083	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-05	412.468	9.496.653	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	17/04/23	10,51	6,72	1.151	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-06	414.827	9.496.014	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	20/09/22	23,50	6,68	3.327	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-06	414.827	9.496.014	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	13/12/22	23,62	6,69	2.402	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-06	414.827	9.496.014	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	28/03/23	26,70	6,67	3.721	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-07	414.955	9.495.480	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	19/09/22	13,13	6,74	2.109	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-07	414.955	9.495.480	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	12/12/22	12,83	6,73	1.953	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-07	414.955	9.495.480	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	13/03/23	12,60	6,33	1.847	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-08	414.730	9.495.337	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	27/10/22	7,57	6,69	1.501	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-08	414.730	9.495.337	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	18/01/23	7,40	6,62	1.491	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-08	414.730	9.495.337	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	18/04/23	6,31	6,53	1.514	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-09	415.164	9.495.490	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	18/10/22	4,62	6,53	1.484	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Ponto	Coordenada X	Coordenada Y	Coleta	Unidade hidrogeológica	Campanha	Data	NE (m)	pH	CE (µS/cm)	Alumínio (Al)	Cálcio (Ca)	Ferro (Fe)	Fluoreto (F^{-1})	Fosfato (PO_4^{-3})	Magnésio (Mg)	Manganês (Mn)	Sódio (Na)	Sulfato (SO_4^{-2})	Urânio Natural (U-nat)
PC-09	415.164	9.495.490	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	04/01/23	4,65	6,74	1.619	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-09	415.164	9.495.490	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	04/04/23	4,43	6,63	1.755	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	A
PC-09	415.164	9.495.490	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	24/04/23	4,43	6,61	1.714	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-10	413.748	9.494.834	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	11/10/22	29,76	6,91	1.037	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-10	413.748	9.494.834	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	03/01/23	20,07	6,49	1.031	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-10	413.748	9.494.834	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	03/04/23	25,50	6,78	1.099	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-11	413.080	9.494.561	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	29/09/22	35,19	7,04	1.781	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-11	413.080	9.494.561	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	19/12/22	34,52	6,16	1.427	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-11	413.080	9.494.561	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	27/03/23	33,41	6,62	1.519	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-12	415.232	9.494.898	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	17/10/22	19,62	6,78	1.379	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	A
PC-12	415.232	9.494.898	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	03/01/23	20,25	5,88	848	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	A
PC-12	415.232	9.494.898	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
PC-13	415.966	9.494.728	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	01/11/22	18,12	6,76	2.493	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-13	415.966	9.494.728	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	10/01/23	18,17	6,73	2.445	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-13	415.966	9.494.728	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	17/04/23	13,57	6,48	1.945	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-14	415.979	9.494.423	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	31/10/22	22,87	6,89	1.587	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-14	415.979	9.494.423	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	12/01/23	22,93	6,90	1.596	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-14	415.979	9.494.423	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	11/04/23	22,99	6,69	1.642	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-15	415.126	9.494.026	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	31/10/22	18,81	6,75	1.993	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-15	415.126	9.494.026	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	16/01/23	18,66	6,59	2.062	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-15	415.126	9.494.026	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	13/04/23	18,30	6,60	2.170	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-17	414.275	9.493.008	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	05/10/22	10,02	6,79	2.037	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-17	414.275	9.493.008	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	20/12/22	6,52	6,86	1.936	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-17	414.275	9.493.008	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	30/03/23	N/A	6,68	2.722	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-18	413.445	9.493.329	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	24/10/22	14,83	6,65	2.151	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-18	413.445	9.493.329	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	04/01/23	14,13	6,77	2.129	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-18	413.445	9.493.329	CPEA	MC-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	18/04/23	13,57	6,71	2.655	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Ponto	Coordenada X	Coordenada Y	Coleta	Unidade hidrogeológica	Campanha	Data	NE (m)	pH	CE (µS/cm)	Alumínio (Al)	Cálcio (Ca)	Ferro (Fe)	Fluoreto (F^{-1})	Fosfato (PO_4^{-3})	Magnésio (Mg)	Manganês (Mn)	Sódio (Na)	Sulfato (SO_4^{-2})	Urânio Natural (U-nat)
PC-19	411.864	9.494.272	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	19/09/22	8,36	6,74	1.768	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-19	411.864	9.494.272	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	15/12/22	5,60	6,98	1.675	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-19	411.864	9.494.272	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	14/03/23	6,87	6,69	2.614	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-20	412.316	9.493.864	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	22/09/22	20,17	7,21	1.918	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-20	412.316	9.493.864	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	13/12/22	14,25	7,34	1.854	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-20	412.316	9.493.864	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	14/03/23	17,12	7,04	928	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-21	413.916	9.493.536	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	10/10/22	18,56	6,48	6.253	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-21	413.916	9.493.536	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	21/12/22	18,70	6,53	6.971	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-21	413.916	9.493.536	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	28/03/23	18,00	6,45	7.586	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-22	410.111	9.493.159	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	27/09/22	27,41	6,95	2.303	A	A	A	-	A	A	A	A	-	A
PC-22	410.111	9.493.159	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	14/12/22	27,39	6,82	2.290	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PC-22	410.111	9.493.159	CPEA	MS-1	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	15/03/23	27,40	6,55	2.221	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-01	408.499	9.495.085	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	19/10/22	N/A	7,06	996	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-01	408.499	9.495.085	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	16/01/23	N/A	7,61	1.027	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-01	408.499	9.495.085	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	04/04/23	N/A	7,92	975	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	A
SQ-01	408.499	9.495.085	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	24/04/23	N/A	8,05	1.143	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A
SQ-03	409.180	9.493.752	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	06/10/22	N/A	7,42	2.884	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-03	409.180	9.493.752	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	14/12/22	N/A	7,61	2.744	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-03	409.180	9.493.752	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	05/04/23	N/A	7,54	3.087	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	A
SQ-03	409.180	9.493.752	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	24/04/23	N/A	7,32	2.782	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A
SQ-04	410.342	9.494.486	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	06/10/22	N/A	7,13	1.426	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-04	410.342	9.494.486	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	14/12/22	N/A	7,20	1.350	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-04	410.342	9.494.486	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	27/03/23	N/A	6,86	1.333	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-06	409.172	9.491.572	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	13/10/22	N/A	6,92	2.281	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-06	409.172	9.491.572	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	05/01/23	N/A	7,08	2.537	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-06	409.172	9.491.572	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	29/03/23	N/A	7,68	2.309	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-07	408.598	9.503.451	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	28/09/22	N/A	7,24	1.493	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-07	408.598	9.503.451	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
SQ-07	408.598	9.503.451	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	12/04/23	N/A	6,97	2.151	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-08	394.783	9.493.520	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	26/10/22	N/A	6,92	2.130	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-08	394.783	9.493.520	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C

Ponto	Coordenada X	Coordenada Y	Coleta	Unidade hidrogeológica	Campanha	Data	NE (m)	pH	CE (µS/cm)	Alumínio (Al)	Cálcio (Ca)	Ferro (Fe)	Fluoreto (F^{-1})	Fosfato (PO_4^{-3})	Magnésio (Mg)	Manganês (Mn)	Sódio (Na)	Sulfato (SO_4^{-2})	Urânio Natural (U-nat)
SQ-08	394.783	9.493.520	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	04/04/23	N/A	6,75	3.208	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-09	424.199	9.487.182	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	21/09/22	N/A	6,90	2.563	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-09	424.199	9.487.182	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
SQ-09	424.199	9.487.182	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	12/04/23	N/A	6,86	2.766	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-11	430.944	9.499.383	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	13/09/22	N/A	6,68	6.537	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-11	430.944	9.499.383	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
SQ-11	430.944	9.499.383	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	10/04/23	N/A	6,83	5.131	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-12	373.905	9.518.507	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 1 - nov/22)	17/01/23	N/A	6,88	1.938	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SQ-12	373.905	9.518.507	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 2 - fev/23)	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
SQ-12	373.905	9.518.507	CPEA	N/I	PMRA-PO (Campanha 3 - mar/23)	19/04/23	N/A	6,86	1.835	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

A = Analisado; N/A = Não analisado; N/C = Não coletado; N/I = Não informado; NE = Nível Estático; MS = Meta-sedimentar; MC = Meta-carbonática; CPEA = Consultoria, Planejamento e Estudos Ambientais; PMRA-PO = Programa de Monitoração Radiológica Ambiental Pré-Operacional.

Adicionalmente, foram utilizados os dados da campanha conduzida em 2023 pela coordenação da empresa Tetra Mais, com coletas realizadas pela CPEA e as análises realizadas pelo laboratório Merieux NutriSciences, envolvendo apenas os poços nomeados com a sigla “PC”, também utilizados no âmbito do PMRA-PO. Nesta campanha, foi realizada a varredura dos parâmetros previstos pela Resolução CONAMA nº 396/2008. O Quadro 11.1.12-10 ao Quadro 11.1.12-13 apresentam o resumo das informações da campanha realizada pela Tetra Mais CPEA/Mérieux em julho de 2023 descrita acima.

Quadro 11.1.12-10: Parâmetros Inorgânicos analisados na amostragem realizada pela Tetra Mais - CPEA/Mérieux em julho de 2023 - Poços de monitoramento PC.

Parâmetros Inorgânicos	PC-01	PC-02	PC-03	PC-04	PC-05	PC-06	PC-07	PC-08	PC-09	PC-10	PC-11	PC-12	PC-13	PC-14	PC-15	PC-17	PC-18	PC-19	PC-20	PC-21	PC-22
Coordenada X	413.496	413.539	413.289	412.472	412.468	414.827	414.955	414.730	415.164	413.748	413.080	415.232	415.966	415.979	415.126	414.275	413.445	411.864	412.316	413.916	410.111
Coordenada Y	9.496.109	9.496.232	9.496.394	9.496.785	9.496.653	9.496.014	9.495.480	9.495.337	9.495.490	9.494.834	9.494.561	9.494.898	9.494.728	9.494.423	9.494.026	9.493.008	9.493.329	9.494.272	9.493.864	9.493.536	9.493.159
Unidade hidrogeológica	MS-1	MC-1	MS-1	MC-1	MC-1	MS-1	MC-1	MC-1	MC-1	MC-1	MC-1	MS-1	MS-1	MS-1	MC-1	MS-1	MC-1	MS-1	MS-1	MS-1	MS-1
Data da amostragem	13/07/23	26/07/23	25/07/23	06/07/23	11/07/23	20/07/23	27/07/23	24/07/23	19/07/23	26/07/23	25/07/23	N/C	05/07/23	10/07/23	12/07/23	18/07/23	20/07/23	19/07/23	27/07/23	17/07/23	24/07/23
Alumínio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Alumínio D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Antimônio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Antimônio D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Arsênio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Arsênio D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Bário	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Bário D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Berílio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Berílio D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Boro	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Boro D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Cádmio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Cádmio D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Chumbo	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Cádmio D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Chumbo	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Chumbo D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Cianeto	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Cloreto	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Cobalto	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Cobalto D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Cobre	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Cobre D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Cromo	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Cromo D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Ferro	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Ferro D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Fluoreto	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Fosfato	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Lítio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Lítio D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Magnésio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Manganês	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Manganês D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Mercúrio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Mercúrio D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Molibdênio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Molibdênio D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Parâmetros Inorgânicos	PC-01	PC-02	PC-03	PC-04	PC-05	PC-06	PC-07	PC-08	PC-09	PC-10	PC-11	PC-12	PC-13	PC-14	PC-15	PC-17	PC-18	PC-19	PC-20	PC-21	PC-22
Coordenada X	413.496	413.539	413.289	412.472	412.468	414.827	414.955	414.730	415.164	413.748	413.080	415.232	415.966	415.979	415.126	414.275	413.445	411.864	412.316	413.916	410.111
Coordenada Y	9.496.109	9.496.232	9.496.394	9.496.785	9.496.653	9.496.014	9.495.480	9.495.337	9.495.490	9.494.834	9.494.561	9.494.898	9.494.728	9.494.423	9.494.026	9.493.008	9.493.329	9.494.272	9.493.864	9.493.536	9.493.159
Unidade hidrogeológica	MS-1	MC-1	MS-1	MC-1	MC-1	MS-1	MC-1	MC-1	MC-1	MC-1	MC-1	MS-1	MS-1	MS-1	MC-1	MS-1	MC-1	MS-1	MS-1	MS-1	MS-1
Data da amostragem	13/07/23	26/07/23	25/07/23	06/07/23	11/07/23	20/07/23	27/07/23	24/07/23	19/07/23	26/07/23	25/07/23	N/C	05/07/23	10/07/23	12/07/23	18/07/23	20/07/23	19/07/23	27/07/23	17/07/23	24/07/23
Níquel	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Níquel D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Nitrato	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Nitrito	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Prata	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Prata D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Selênio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Selênio D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Sódio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Sódio D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SDT	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Sulfato	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Urânio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Urânio D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Vanádio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Vanádio D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Zinco	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Zinco D*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A

D= Dissolvido; A = Analisado; N/A = Não analisado; N/C = Não coletado; N/I = Não informado; MS = Meta-sedimentar; MC = Meta-carbonática; CPEA = Consultoria, Planejamento e Estudos Ambientais.*

Quadro 11.1.12-11: Parâmetros Orgânicos analisados na amostragem realizada pela Tetra Mais - CPEA/Mérieux em julho de 2023 - Poços de monitoramento PC.

Parâmetros Orgânicos	PC-01	PC-02	PC-03	PC-04	PC-05	PC-06	PC-07	PC-08	PC-09	PC-10	PC-11	PC-12	PC-13	PC-14	PC-15	PC-17	PC-18	PC-19	PC-20	PC-21	PC-22
Coordenada X	413.496	413.539	413.289	412.472	412.468	414.827	414.955	414.730	415.164	413.748	413.080	415.232	415.966	415.979	415.126	414.275	413.445	411.864	412.316	413.916	410.111
Coordenada Y	9.496.109	9.496.232	9.496.394	9.496.785	9.496.653	9.496.014	9.495.480	9.495.337	9.495.490	9.494.834	9.494.561	9.494.898	9.494.728	9.494.423	9.494.026	9.493.008	9.493.329	9.494.272	9.493.864	9.493.536	9.493.159
Unidade hidrogeológica	MS-1	MC-1	MS-1	MC-1	MC-1	MS-1	MC-1	MC-1	MC-1	MC-1	MC-1	MS-1	MS-1	MS-1	MC-1	MS-1	MC-1	MS-1	MS-1	MS-1	MS-1
Data da amostragem	13/07/23	26/07/23	25/07/23	06/07/23	11/07/23	20/07/23	27/07/23	24/07/23	19/07/23	26/07/23	25/07/23	N/C	05/07/23	10/07/23	12/07/23	18/07/23	20/07/23	19/07/23	27/07/23	17/07/23	24/07/23
Acrilamida	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Benzeno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Benzo(a)antraceno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Benzo(b)fluoranteno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Benzo(a)pireno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Benzo(k)fluoranteno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Cloreto de vinila	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Clorofórmio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Criseno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1,2-Diclorobenzeno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1,4-Diclorobenzeno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1,2-Dicloroetano	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1,1-Dicloroeteno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
cis-1,2-Dicloroeteno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
trans-1,2-Dicloroeteno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1,2-Dicloroeteno (cis+trans)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Dibenzo(a,h)antraceno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Diclorometano	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Estireno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Etilbenzeno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Índice de Fenóis	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Indeno(1,2,3,cd)pireno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PCB´s	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PCB 28	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PCB 52	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PCB 101	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PCB 118	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Parâmetros Orgânicos	PC-01	PC-02	PC-03	PC-04	PC-05	PC-06	PC-07	PC-08	PC-09	PC-10	PC-11	PC-12	PC-13	PC-14	PC-15	PC-17	PC-18	PC-19	PC-20	PC-21	PC-22
PCB 138 + PCB 158	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PCB 153	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PCB 180	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Tetracloreto de Carbono	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1,2,3-Triclorobenzeno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1,2,4-Triclorobenzeno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1,3,5-Triclorobenzeno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Triclorobenzenos	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Tetracloroeteno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Tricloroeteno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Tolueno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
m,p-Xilenos	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
o-Xileno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Xilenos	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A

A = Analisado; N/A = Não analisado; N/C = Não coletado; N/I = Não informado; MS = Meta-sedimentar; MC = Meta-carbonática; CPEA = Consultoria, Planejamento e Estudos Ambientais; PMRA-PO = Programa de Monitoração Radiológica Ambiental Pré-Operacional.

Quadro 11.1.12-12: Parâmetros Agrotóxicos analisados na amostragem realizada pela Tetra Mais - CPEA/Mérieux em julho de 2023 – Poços de monitoramento PC.

Agrotóxicos	PC-01	PC-02	PC-03	PC-04	PC-05	PC-06	PC-07	PC-08	PC-09	PC-10	PC-11	PC-12	PC-13	PC-14	PC-15	PC-17	PC-18	PC-19	PC-20	PC-21	PC-22
Coordenada X	413.496	413.539	413.289	412.472	412.468	414.827	414.955	414.730	415.164	413.748	413.080	415.232	415.966	415.979	415.126	414.275	413.445	411.864	412.316	413.916	410.111
Coordenada Y	9.496.109	9.496.232	9.496.394	9.496.785	9.496.653	9.496.014	9.495.480	9.495.337	9.495.490	9.494.834	9.494.561	9.494.898	9.494.728	9.494.423	9.494.026	9.493.008	9.493.329	9.494.272	9.493.864	9.493.536	9.493.159
Unidade hidrogeológica	MS-1	MC-1	MS-1	MC-1	MC-1	MS-1	MC-1	MC-1	MC-1	MC-1	MC-1	MS-1	MS-1	MS-1	MC-1	MS-1	MC-1	MS-1	MS-1	MS-1	MS-1
Data da amostragem	13/07/23	26/07/23	25/07/23	06/07/23	11/07/23	20/07/23	27/07/23	24/07/23	19/07/23	26/07/23	25/07/23	N/C	05/07/23	10/07/23	12/07/23	18/07/23	20/07/23	19/07/23	27/07/23	17/07/23	24/07/23
Alaclor	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Aldicarb	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Aldicarb Sulfona	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Aldicarb Sulfóxido	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Aldrin	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Dieldrin	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Aldrin e Dieldrin	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Atrazina	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Bentazona	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Carbofurano	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Cis Clordano	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Trans Clordano	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Agrotóxicos	PC-01	PC-02	PC-03	PC-04	PC-05	PC-06	PC-07	PC-08	PC-09	PC-10	PC-11	PC-12	PC-13	PC-14	PC-15	PC-17	PC-18	PC-19	PC-20	PC-21	PC-22
Coordenada X	413.496	413.539	413.289	412.472	412.468	414.827	414.955	414.730	415.164	413.748	413.080	415.232	415.966	415.979	415.126	414.275	413.445	411.864	412.316	413.916	410.111
Coordenada Y	9.496.109	9.496.232	9.496.394	9.496.785	9.496.653	9.496.014	9.495.480	9.495.337	9.495.490	9.494.834	9.494.561	9.494.898	9.494.728	9.494.423	9.494.026	9.493.008	9.493.329	9.494.272	9.493.864	9.493.536	9.493.159
Unidade hidrogeológica	MS-1	MC-1	MS-1	MC-1	MC-1	MS-1	MC-1	MC-1	MC-1	MC-1	MC-1	MS-1	MS-1	MS-1	MC-1	MS-1	MC-1	MS-1	MS-1	MS-1	MS-1
Data da amostragem	13/07/23	26/07/23	25/07/23	06/07/23	11/07/23	20/07/23	27/07/23	24/07/23	19/07/23	26/07/23	25/07/23	N/C	05/07/23	10/07/23	12/07/23	18/07/23	20/07/23	19/07/23	27/07/23	17/07/23	24/07/23
Clordano (cis e trans)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Clorotalonil	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Clorpirifós	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
2,4-D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
p,p-DDT	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
p,p-DDE	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
p,p-DDD	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
DDT(p,p'DDT,p,p´ DDE e p,p´DDD)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Endossulfan - ALFA	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Endossulfan - BETA	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Endossulfan (a, b e sulfato)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Endossulfan Sulfato	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Endrin	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Glifosato + AMPA	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Heptacloro	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Heptacloro Epóxido	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Hexaclorobenzeno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Lindano (g-HCH)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Malation	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Metolacloro	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Metoxicloro	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Molinato	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Pendimetalina	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Pentaclorofenol	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Permetrina	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Propanil	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Simazina	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Trifluralina	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Quadro 11.1.12-13: Parâmetros de Microrganismos analisados na amostragem realizada pela Tetra Mais - CPEA/Mérieux em julho de 2023 – Poços de monitoramento PC.

Microrganismos	PC-01	PC-02	PC-03	PC-04	PC-05	PC-06	PC-07	PC-08	PC-09	PC-10	PC-11	PC-12	PC-13	PC-14	PC-15	PC-17	PC-18	PC-19	PC-20	PC-21	PC-22
Coordenada X	413.496	413.539	413.289	412.472	412.468	414.827	414.955	414.730	415.164	413.748	413.080	415.232	415.966	415.979	415.126	414.275	413.445	411.864	412.316	413.916	410.111
Coordenada Y	9.496.109	9.496.232	9.496.394	9.496.785	9.496.653	9.496.014	9.495.480	9.495.337	9.495.490	9.494.834	9.494.561	9.494.898	9.494.728	9.494.423	9.494.026	9.493.008	9.493.329	9.494.272	9.493.864	9.493.536	9.493.159
Unidade hidrogeológica	MS-1	MC-1	MS-1	MC-1	MC-1	MS-1	MC-1	MC-1	MC-1	MC-1	MC-1	MS-1	MS-1	MS-1	MC-1	MS-1	MC-1	MS-1	MS-1	MS-1	MS-1
Data da amostragem	13/07/2023	26/07/2023	25/07/2023	06/07/2023	11/07/2023	20/07/2023	27/07/2023	24/07/2023	19/07/2023	26/07/2023	25/07/2023	N/C	05/07/2023	10/07/2023	12/07/2023	18/07/2023	20/07/2023	19/07/2023	27/07/2023	17/07/2023	24/07/2023
Coliformes Termotolerantes (E. coli)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Coliformes Fecais*	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/C	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Enterococcus	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/C	A	A	A	A	A	A	A	A	A

*A = Analisado; N/A = Não analisado; N/C = Não coletado; N/I = Não informado; MS = Meta-sedimentar; MC = Meta-carbonática; CPEA = Consultoria, Planejamento e Estudos Ambientais; PMRA-PO = Programa de Monitoração Radiológica Ambiental Pré-Operacional; * = Analisado caso Coliformes Termotolerantes (E. coli) estejam presentes.*

A Figura 11.1-273 a seguir mostra todos os pontos de coleta de amostras de água subterrânea, inseridos sobre o mapa das unidades hidrogeológicas.

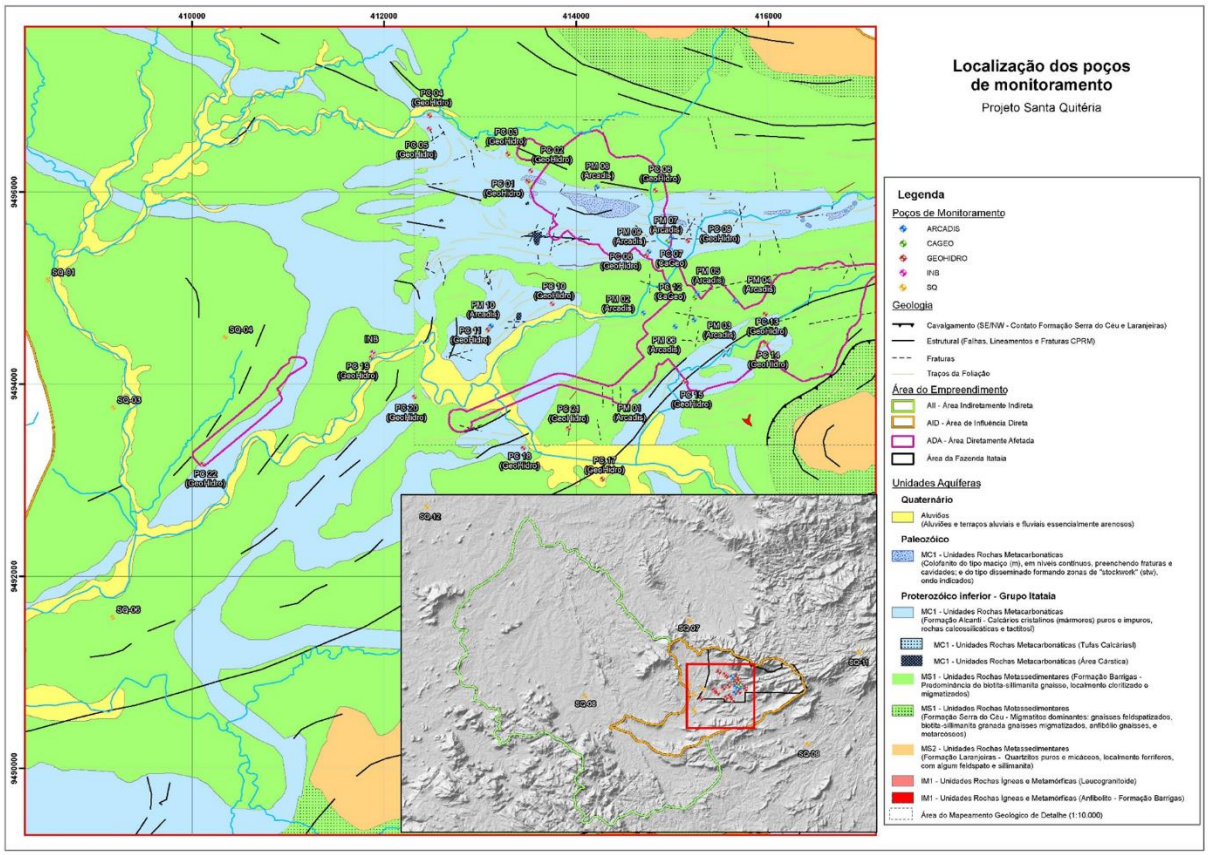


Figura 11.1-273: Pontos de coleta de amostras de água subterrânea (poços INB, PM, PC e SQ).

A caracterização hidroquímica e microbiológica da AID/ADA foi realizada por meio de análises laboratoriais conforme parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA n°396/2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Os padrões de qualidade adotados para a água subterrânea na referida resolução são para consumo humano, conforme padrões vigentes na data da sua promulgação em 2008.

Para a caracterização, os poços das unidades hidrogeológicas MS1 e MC1 serão agrupados, de acordo com a unidade em que a captação (entrada d'água) é realizada no poço.

Vale ressaltar que, em 4 de maio de 2021, passou a vigorar a Portaria GM/MS nº 888, que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Mas, considerando que a água subterrânea não será utilizada para consumo humano, e sim para atender ao termo de referência, neste

estudo, os Valores de Referência para o Padrão de Qualidade da Água Subterrânea adotados são os da Resolução CONAMA nº 396 de 03 de abril de 2008 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Esta Resolução dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas.

A aplicação dos valores da Resolução CONAMA nº 396 de 03 de abril de 2008, considera o contexto geoquímico natural, o uso e a ocupação atual e os tipos de fontes que poderão advir com a implantação e funcionamento do empreendimento.

Previamente às coletas das amostras de água subterrânea, foram observadas as informações construtivas dos poços de monitoramento, tais como, diâmetro do tubo, profundidade total, nível d'água estático, espessura da coluna d´água e volume de água contido em seu interior.

A coleta das amostras de água subterrânea foi realizada pelo método de baixa vazão, com base na norma ABNT NBR 15847/2010 - Amostragem de Água Subterrânea - Métodos de Purga; e com o *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23rd edition* em todas as campanhas.

Nas campanhas de 2020 e 2021, passou a ser acoplada a célula de fluxo uma sonda multiparâmetro de pH/ORP (Eh/CE/OD/T) e um medidor de turbidez, para medições in situ até a estabilização dentro de faixas de variação definidos na norma supracitada. Os certificados de calibração da sonda multiparâmetro emitidos pela rede metrológica são apresentados no Volume V – Anexos 11.1.12-1.

As amostras foram acondicionadas em frascos específicos a cada parâmetro avaliado, com a adição dos devidos preservantes. Para a análise de metais dissolvidos, foi realizada filtração em campo por membrana 0,45 µm.

A análise de metais totais em água subterrânea, avalia todos os metais presentes na amostra, ou seja, tanto os metais dissolvidos na água, como também, os presentes nos particulados sólidos em suspensão, que não fazem parte da composição química da água. Destaca-se que os dados obtidos a partir do PMRA-PO se referem apenas a metais dissolvidos.

A quantidade de particulados sólidos em suspensão, está diretamente relacionada com a presença de turbidez na água. A presença de turbidez, portanto, interfere nos resultados de metais totais na água.

Durante o processo de amostragem, para preservar a amostra e evitar a oxidação de metais, é realizada a acidificação até um pH <2, atendendo aos requisitos de preservação de amostras do *Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 23rd edition*. Esta acidificação, promove a dissolução dos coloides particulados em suspensão. Uma vez que a composição típica dos solos da região pode conter naturalmente a presença de metais, a alteração do pH para preservação da amostra, promove a migração de metais dos particulados sólidos para a fase dissolvida da água.

O ideal para analisar a hidroquímica das águas subterrâneas sem interferências de partículas sólidas, é analisar metais dissolvidos com a amostra filtrada ainda em campo. A filtração permite avaliar os metais dissolvidos que compreendem íons livres, e ainda complexos inorgânicos e complexos orgânicos de baixo peso molecular – Gonçalves (2008).

A filtração deve ser realizada para assegurar a integridade da amostra de água, evitando que ocorram reações de oxirredução por exposição ao ar, tornando o metal insolúvel (US EPA,1996). Segundo Windom *et al*. (1991), muitos dos dados históricos de metais já publicados estavam erroneamente mais altos devido à turbidez na amostragem.

Todas as amostras foram armazenadas em caixas termoplásticas sob refrigeração <6ºC, e transportadas imediatamente ao laboratório, acompanhadas das cadeias de custódia que se encontram no Volume V - Anexos 11.1.12-2.

Os laboratórios responsáveis pelas análises, Merieux NutriSciences (Campanhas de 2020, 2021 e 2023) e GLP (campanhas de 2022 e 2023 do PMRA-PO) são acreditados pelo CGCRE-INMETRO segundo os requisitos ABNT NBR ISO/IEC 17025 instituída a partir de 2017 e, portanto, estes critérios se aplicam apenas as campanhas realizadas a partir desse ano (2017). As referências metodológicas adotadas estão apresentadas no Quadro 11.1.12-14.

Quadro 11.1.12-14: Referencias metodológicas adotadas – Análises de 2020, 2021, 2022 e 2023.

PARÂMETRO	REFERÊNCIAS METODOLÓGICAS
Turbidez:	SMWW, 22ª Edição, 2012 - Método 2130 B
Nitrato:	POP PA 124 - Rev.12
Condutividade:	SMWW, 22ª Edição, 2012 - Método 2510 B
Sólidos:	SMWW, 22ª Edição, 2012 - Método 2540 A, B, C, D, E
pH:	SMWW, 22ª Edição, 2012 - Método 4500H+ B
Coliformes:	SMWW, 22ª Edição, 2012 - Método 9223 B
Enterococcus:	SMWW, 22ª Edição, 2012 - Método 9230 D

PARÂMETRO	REFERÊNCIAS METODOLÓGICAS
OD:	SMWW, 22ª Edição, 2012 - Método 4500O G
Potencial Redox:	SMWW, 22ª Edição, 2012 - Método 2580 B
Temperatura:	SMWW, 22ª Edição, 2012 - Método 2550 B
Nitrito:	SMWW, 22ª Edição, 2012 - Método 4500 NO2- B
SVOC por LC/MS/MS:	POP PA 188
VOC Determinação:	EPA 8260 D: 2018 / Preparo: EPA 5021A: 2014
SVOC Determinação:	EPA 8270 E-1:2018, POP PA 076/Preparo: EPA 3510 C:1996, 3535
Metais T e D	ICP-MS Det.: SMWW, 23ª Edição, 2017, Método 3125 B / Preparo: SMWW, 23ª Edição, 2017, Método 3030 E, EPA 3010 A: 1992 e EPA 3005: 1992
Enxofre (ICP-OES):	Determinação: EPA 6010 D-1 / Preparo: EPA 3051 A
Índice de Fenóis:	ISO 14402: 1999
Cianeto Total:	ISO 14403-2: 2012
Ânions:	EPA 300.0: 1993, 300.1: 1999, POP PA 032

Elaboração: BTB Explorers, 2023.

As Substâncias Químicas de Interesse (SQIs) identificadas neste estudo se referem às substâncias presentes na água subterrânea, antes da implantação do empreendimento, que caracterizam a assinatura hidroquímica das unidades hidrogeológicas MS1 e MC1, com base no escopo analítico avaliado.

Os valores basais das substâncias químicas de interesse nas águas subterrâneas foram definidos segundo os resultados analíticos das amostras de água dos poços de monitoramento e do poço INB coletadas antes do início do PMRA-PO, considerando também as concentrações das SQIs presentes nos resultados analíticos das amostras de solo, análises petrográficas e principais ocorrências minerais nas áreas AID e ADA.

Para avaliação estatística dos dados foi utilizado o software GSI Mann-Kendall Toolkit. Esse software é um sistema de planilha para analisar dados de monitoramento de águas subterrâneas de séries temporais, que determina quantitativamente se as concentrações medidas de um produto químico estão aumentando, diminuindo ou estáveis ao longo do tempo, com base no uso do método estatístico de Mann-Kendall. O software pode ser aplicado a dados de pontos de monitoramento para os quais foram realizados testes e amostragem de águas subterrâneas em vários episódios ao longo do tempo (ou seja,

amostragem de séries temporais) para avaliar a tendência de concentração de cada produto químico em cada local de medição. Para o uso desta ferramenta, é necessário que tenham sido realizadas no mínimo quatro campanhas, e no máximo, 40 campanhas. Assim, alguns dos poços x substâncias podem não apresentar resultados frente a esta avaliação.

O teste de Mann-Kendall para análise de tendências, conforme codificado neste Toolkit, depende de três métricas estatísticas (Aziz *et al.*, 2003) mostradas no Quadro 11.1.12-15, como segue:

- A estatística S: indica se a tendência de concentração x tempo é geralmente decrescente (valor S negativo) ou crescente (valor S positivo). Um valor de S maior que 0 indica uma tendência crescente, enquanto um valor de S menor que 0 indica uma tendência decrescente sujeita a modificações adicionais com base no fator de confiança (CF) e no coeficiente de variação (COV).

- A estatística S indica a direção da tendência (crescente ou decrescente), enquanto a força da tendência é caracterizada pelo CF. Além disso, se o grau de confiança em relação a uma tendência crescente ou decrescente for insuficiente (devido a uma variabilidade considerável nas concentrações em relação ao tempo ou a pouca alteração nas concentrações em relação ao tempo), o resultado da estatística S é reclassificado como "sem tendência".

- O Fator de Confiança (CF): O valor CF modifica o cálculo da Estatística S para indicar o grau de confiança no resultado da tendência, como em "Decrescente" vs. "Provavelmente diminuindo" ou "Aumentando" vs. "Provavelmente aumentando". Além disso, se o fator de confiança for bastante baixo, devido à variabilidade considerável nas concentrações versus tempo ou pouca mudança nas concentrações versus tempo, o CF é usado para aplicar uma classificação preliminar "Sem tendência", enquanto se aguarda a consideração do COV.

- O Coeficiente de Variação (COV): O COV é usado para distinguir entre um resultado “sem tendência” (dispersão significativa na tendência de concentração versus tempo) e um resultado “estável” (variabilidade limitada na concentração versus tempo) para conjuntos de dados com nenhuma tendência significativa de aumento ou diminuição (por exemplo, CF baixo).

Quadro 11.1.12-15: Métricas Estatísticas usadas no GSI Mann-Kendall Toolkit.

"S" Estatística	"CF" Confiança da tendência	Tendência
S > 0	CF > 95%	Crescente (Increasing)
S > 0	S > 0 95% ≥ CF ≥ 90%	Provavelmente crescente (Probably Increasing)
S > 0	S > 0 CF < 90%	Sem tendência (No Trend)
S ≤ 0	S ≤ 0 CF < 90% and COV ≥ 1	Sem tendência (No Trend)
S ≤ 0	S ≤ 0 CF < 90% and COV < 1	Estável (Stable)
S < 0	S < 0 95% ≥ CF ≥ 90%	Provavelmente decrescente (Probably Decreasing)
S < 0	S < 0 CF > 95%	Decrescente (Decreasing)

Observação: o usuário pode identificar duas outras categorias de dados: ND = Conjunto de dados em que todos os valores não são detectados e N/A = locais com < 4 resultados de amostra.

Fonte: Aziz et al. (2003).

Conjuntos de dados com menos de 4 resultados de amostra não devem ser incluídos no kit de ferramentas. Esses conjuntos de dados podem vir a ser sinalizados com um "N/A" em seus registros ou ao relatar resultados de tendências. Além disso, serão identificados locais que tenham todos resultados não detectados (ND) e não serão incluídos no Toolkit.

O conjunto de dados para um determinado produto químico em um determinado ponto de amostragem pode incluir "ND" ou resultados não detectados, ou seja, resultados laboratoriais que indicam que o produto químico não foi medido acima de um limite de concentração específico. Neste caso, conforme sugestão do Toolkit aplicado, será aplicado o valor de metade (50%) do limite de detecção em questão.

Para poços nos quais todos ou uma grande maioria dos resultados não são detectados para um produto químico, a verdadeira tendência de concentração para esse produto químico é estável em uma concentração abaixo do limite de detecção. Nesse caso, a análise de Mann-Kendall não será informativa sobre a verdadeira tendência da concentração, pois o método simplesmente indicará a tendência dos limites de detecção versus tempo. Para poços nos quais todos ou quase todos os resultados medidos são valores não detectados, é sugerido pelo desenvolvedor que simplesmente esses poços sejam designados como "estáveis" ou "ND".

11.1.12.2 Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII)

Segundo o relatório de Diagnóstico da Região Hidrográfica do Acaraú (COGERH, 2022), a avaliação regional da qualidade das águas subterrâneas, identificou que nos aquíferos cársticos existem duas captações (0,15% das captações avaliadas no diagnóstico), as quais produzem água potável, com valor médio de 493,35 mg/L de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), abaixo do VMP de 1.000.000 mg/L da Resolução CONAMA nº 396/2008. Nas rochas cristalinas (aquíferos fissurais), são verificadas a construção de 870 captações (65,46% das captações avaliadas), desse total 59,66% (519) produzem água potável com valor médio de 483,78mg/L e 40,34% (351) produzem água imprópria para consumo humano com concentrações superiores ao VMP CONAMA 396/2008.

Segundo as inspeções de campo, as interferências antrópicas mais comuns na AII estão relacionadas a esgotos domésticos, disposição inadequada de resíduos sólidos também de origem domésticas, e criação de animais. Estes fatores podem causar a contaminação das águas subterrâneas por bactérias e vírus patogênicos, parasitas, substâncias orgânicas e inorgânicas.

11.1.12.3 Contexto Local – Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA)

11.1.12.3.1 Amostragem e Parâmetros Físicos In Situ *das Águas Subterrâneas*

As coletas foram realizadas em diferentes campanhas, de modo a identificar variações sazonais através da realização de análises físico-químicas. As descrições metodológicas e procedimentos de amostragem estão detalhadamente descritos no capítulo de considerações metodológicas.

Conforme informado anteriormente, foram realizadas seis campanhas para coleta de amostras de água subterrânea em 10 poços de monitoramento (PM-01 a PM-10), abrangendo o período de 2011 a 2021. As amostras foram obtidas nos seguintes intervalos temporais:

- 1ª campanha - de 13 a 16de abril de 2011, no período chuvoso;
- 2ª campanha - de 30 de maio a 03 de junho de 2011, transição entre período chuvoso e seco;
- 3ª campanha - de 11 a 14 de julho de2011, transição entre período chuvoso e seco;
- 4ª campanha - de 22 a 26de agosto de 2011, período seco;

- 5ª campanha - 26 de novembro de 2020, no período seco; e
- 6ª campanha - 09 de fevereiro de 2021, no período chuvoso.

As campanhas de amostragem em novembro de 2020 e fevereiro de 2021, foram realizadas pelo Laboratório Merieux NutriScience com objetivo de atualizar as informações a respeito das características hidrogeoquímicas das unidades aquíferas MC1 e MS1. As campanhas realizadas em 2011 foram realizadas pelo Laboratório Bioagri (atual Merieux NutriScience) (ARCADIS, LOGOS, 2014).

Foram tomadas medidas para evitar os riscos de contaminação cruzada, utilizando-se luvas nitrílicas, filtros, mangueiras e bexigas descartáveis, assim como a descontaminação da bomba de bexiga em inox, com uso de sabão neutro não fosfatado de uso laboratorial e água deionizada. O Quadro 11.1.12-16, a seguir, apresenta a situação dos poços ao longo de cada campanha.

Quadro 11.1.12-16: Coleta de água subterrânea em cada poço por campanha

Poço	Campanha					
	01 (Abr/2011)	02 (Jun/2011)	03 (Jul/2011)	04 (Ago/2011)	05 (Nov/2020)	06 (Fev/2021)
PM-01	não amostrado*	não amostrado*	não amostrado*	não amostrado*	não amostrado*	não amostrado*
PM-02	não amostrado*	não amostrado*	não amostrado*	não amostrado*	não amostrado*	não amostrado*
PM-03	não amostrado	amostrado	não amostrado	não amostrado	amostrado	amostrado
PM-04	não amostrado*	não amostrado*	não amostrado*	não amostrado*	não amostrado*	não amostrado*
PM-05	amostrado	amostrado	amostrado	amostrado	amostrado	amostrado
PM-06	amostrado	não amostrado	amostrado	amostrado	não amostrado*	não amostrado*
PM-07	amostrado	amostrado	amostrado	amostrado	amostrado	amostrado
PM-08	não amostrado*	não amostrado*	não amostrado*	não amostrado*	não amostrado*	não amostrado*
PM-09	amostrado	amostrado	amostrado	amostrado	obstruído	não amostrado*
PM-10	amostrado	amostrado	amostrado	amostrado	obstruído	Não amostrado**

(*) poço sem coluna d'água (seco). (**) poço obstruído. Elaboração: BTB Explorers, 2021. Adaptado de: ARCADIS LOGOS, 2014.

Os resultados das medições dos parâmetros físicos das águas subterrâneas de Oxigênio Dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), pH, ORP (Eh), Temperatura (T) e nível d'água (N.A.), realizadas *in situ* e obtidas em cada campanha de monitoramento, estão apresentados no Quadro 11.1.12-17 (pontos localizados na Unidade MC1) e Quadro 11.1.12-18 (pontos localizados na Unidade MS1).

Quadro 11.1.12-17: Leituras dos parâmetros físicos medidos *in situ* nos PMs da Unidade MC1. Campanhas 5 e 6 executadas segundo requisitos ABNT NBR ISP/IEC ISO 17025

Campanha	1°	2°	3°	4°	5°	6°
PM-07	**abr/11**	**jun/11**	**jul/11**	**ago/11**	**nov/20**	**fev /21**
OD (%)*	1,3	0,05	34,4	4,6	0,42*	0,24*
CE (µs/cm)	3118	3128	4778	3026	2516	2113
pH	6,79	6,89	6,95	7,02	6,68	6,90
Eh (mV)	-176,5	-252,8	-68,5	-213,7	-93,7	157,7
N.A. (m)	8,685	8,267	8,285	8,525	13,85	12,61
T (ºC)	30,2	30,3	30,0	30,4	29,7	30,72
PM-09	**abr/11**	**jun/11**	**jul/11**	**ago/11**	**nov/20**	**fev/21**
OD (%)	8,5	29,6	20,6	11,9	obstruído	seco
CE (µs/cm)	1713	1092	1506	1578		
pH	6,81	6,99	6,99	7,03		
Eh (mV)	-37,1	-123,2	-96,9	174,6		
N.A. (m)	9,602	8,267	8,348	8,74		
T (ºC)	29,4	29,9	29	30,1		
PM-10	**abr/11**	**jun/11**	**jul/11**	**ago/11**	**nov/20**	**fev /21**
OD (%)	6,5	3,7	59,9	4,2	obstruído	obstruído
CE (µs/cm)	1089	1094	1092	1101		
pH	6,98	7,07	7,59	7,11		
Eh (mV)	-91,3	-192,2	-121	-160,4		
N.A. (m)	18,481	18,262	18,355	18,476		
T (ºC)	30,6	31,6	30,1	30,6		

*(*) OD em mg/L em nov/20 e fev/21. Elaboração: BTB Explorers, 2021. Adaptado de: ARCADIS LOGOS, 2014.*

Quadro 11.1.12-18: Leituras dos parâmetros físicos medidos *in situ* nos PMs da Unidade MS1. Campanhas 5 e 6 executadas segundo requisitos ABNT NBR ISP/IEC ISO 17025.

Campanha	1°	2°	3°	4°	5°	6°
PM-03	**abr/11**	**jun/11**	**jul/11**	**ago/11**	**nov/20**	**fev/21**
OD (%)*	n.a.	n.i.	n.a.	n.a.	0,32*	0,8*
CE (µs/cm)	n.a.	n.i.	n.a.	n.a.	934	1071
pH	n.a.	n.i.	n.a.	n.a.	6,07	6,54
Eh (mV)	n.a.	n.i.	n.a.	n.a.	70,8	1,3
N.A. (m)	n.a.	n.i.	n.a.	n.a.	18,8	19,26
T (ºC)	n.a.	n.i.	n.a.	n.a.	28,1	30,64
PM-05	**abr/11**	**jun/11**	**jul/11**	**ago/11**	**nov/20**	**fev/21**
OD (%)*	4,4	4,2	11,7	12,6	0,17*	0,45*
CE (µs/cm)	1200	1174	1173	1173	1800	1542
pH	7,22	7,31	7,39	7,53	6,73	6,78
Eh (mV)	-236,5	-163,8	-144	-222,2	-31,9	162,7
N.A. (m)	17,34	16,645	16,475	16,421	18,05	19,45
T (ºC)	30,1	29,2	29,3	29,9	29,6	31,17
PM-06	**abr/11**	**jun/11**	**jul/11**	**ago/11**	**nov/20**	**fev/21**
OD (%)	1,8	n.a.	4,6	1,1	Seco	Seco
CE (µs/cm)	1976	n.a.	629	1858		
pH	6,73	n.a.	7,08	6,94		
Eh (mV)	197,6	n.a.	155,4	290,9		
N.A. (m)	23,15	n.a.	23,155	23,305		
T (ºC)	26,6	n.a.	29,4	29,7		

*(*) OD em mg/L em nov/20 e fev/21. (n.a) não analisado. (n.i.) não informado. Elaboração: BTB Explorers, 2021. Adaptado de: ARCADIS LOGOS, 2014.*

Os resultados das leituras dos parâmetros físicos medidos in situ nas águas subterrâneas do poço INB, para as campanhas de 2020 e 2021, são apresentados no Quadro 11.1.12-19 a seguir.

Quadro 11.1.12-19: Parâmetros In Situ Poço INB (novembro/2020 e fevereiro/2021)

Parâmetros	5° Campanha (nov/20)	6ª Campanha (fev/21)
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	2,54	3,4

Parâmetros	5° Campanha (nov/20)	6ª Campanha (fev/21)
Condutividade Elétrica (µs/cm)	2000	1630
pH	7,07	7,36
Eh-ORP (mV)	188,8	157,2
Temperatura (ºC)	31,2	29,7
Turbidez (NTU)	<0,1	2,36

Elaboração: BTB Explorers, 2021.

O programa PMRA-PO contemplou até 2023 a realização de três campanhas (trimestrais) para coleta de amostras de água subterrânea, a partir de 21 poços, PC-01 a PC-15 e PC-17 a PC-22, localizados nos limites do empreendimento. Também foram coletadas amostras a partir de nove poços, SQ-01, SQ-03, SQ-04, SQ-06, SQ-07, SQ-08, SQ-09, SQ-11 e SQ-12, que são poços de captação e abastecimento às comunidades, localizados no entorno do PSQ:

- 1ª campanha PMRA-PO - de 13 de setembro de 2022 a 28 de novembro de 2022, período seco;
- 2ª campanha PMRA-PO - de 12 dezembro de 2022 a 06 de fevereiro 2023, transição entre período seco e chuvoso;
- 3ª campanha PMRA-PO - de 13 de março de 2023 a 24 de abril de 2023, período chuvoso;

Estas campanhas de amostragem (01, 02 e 03) foram conduzidas pela equipe técnica da Consultoria, Planejamento e Estudos Ambientais – CPEA e as análises realizadas pelo laboratório GLP. Foram amostrados 30 pontos de coleta de água subterrânea definidos no PMRA-PO (INB, 2023), sendo eles: PC-01 a PC-15 e PC-17 a PC-22, SQ-01, SQ-03, SQ-04, SQ-06, SQ-07, SQ-08, SQ-09, SQ-11 e SQ-12 amostrados em frequência trimestral. Os pontos SQ-07, SQ-08, SQ-09, SQ-11 e SQ-12 são amostrados no âmbito do PMRA-PO em frequência semestral.

Foram tomadas medidas para evitar os riscos de contaminação cruzada, utilizando-se luvas nitrílicas, filtros, mangueiras e bexigas descartáveis, assim como a descontaminação da bomba de bexiga em inox, com uso de sabão neutro não fosfatado de uso laboratorial e água deionizada.

O Quadro 11.1.12-20, a seguir, apresenta a situação dos poços ao longo de cada campanha do PMRA-PO.

Quadro 11.1.12-20: Coleta de água subterrânea em cada poço por campanha

Ponto	Campanha			Ponto	Campanha		
	01 (nov/22)	02 (fev/23)	03 (mar/23)		01 (nov/22)	02 (fev/23)	03 (mar/23)
PC-01	amostrado	amostrado	amostrado	PC-17	amostrado	amostrado	amostrado
PC-02	amostrado	amostrado	amostrado	PC-18	amostrado	amostrado	amostrado
PC-03	amostrado	amostrado	amostrado	PC-19	amostrado	amostrado	amostrado
PC-04	amostrado	amostrado	amostrado	PC-20	amostrado	amostrado	amostrado
PC-05	amostrado	amostrado	amostrado	PC-21	amostrado	amostrado	amostrado
PC-06	amostrado	amostrado	amostrado	PC-22	amostrado	amostrado	amostrado
PC-07	amostrado	amostrado	amostrado	SQ-01	amostrado	amostrado	amostrado
PC-08	amostrado	amostrado	amostrado	SQ-03	amostrado	amostrado	amostrado
PC-09	amostrado	amostrado	amostrado	SQ-04	amostrado	amostrado	amostrado
PC-10	amostrado	amostrado	amostrado	SQ-06	amostrado	amostrado	amostrado
PC-11	amostrado	amostrado	amostrado	SQ-07	amostrado		amostrado
PC-12	amostrado	amostrado		SQ-08	amostrado		amostrado
PC-13	amostrado	amostrado	amostrado	SQ-09	amostrado		amostrado
PC-14	amostrado	amostrado	amostrado	SQ-11	amostrado		amostrado
PC-15	amostrado	amostrado	amostrado	SQ-12	amostrado		amostrado

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Adaptado de: CPEA, 2023.

De maneira geral, ao longo das três Campanhas, os resultados das análises físico-químicas realizadas *in situ,* indicaram a presença de ambiente neutro e moderadamente oxidante, para as amostras coletadas nos pontos de monitoração (internos ao PSQ) e nos poços de captação (externos ao PSQ) (CPEA, 2023). Nas três campanhas dos poços nomeados com a sigla PC, a unidade MC-1 apresentou valores médios de pH de 6,7 próximos aos valores médios da unidade MS-1 de 6,83. Já a condutividade foi verificada média mais elevada na unidade MS-1, com valores de 2.438 µS/cm contra 1.698 µS/cm da unidade MC-1. Nas três campanhas dos poços de abastecimento nomeados com a sigla SQ, o valor médio de pH foi

de 7,18 e a condutividade elétrica de 2.359 µS/cm. Os valores médios obtidos a partir dos poços SQ estão mais próximos aos valores da unidade MS-1.

O Quadro 11.1.12-21 mostra as leituras de pH e condutividade elétrica obtidos durante as campanhas de amostragem nos poços de abastecimento SQ no âmbito do PMRA-PO. O Quadro 11.1.12-22 mostra as leituras de pH e condutividade elétrica obtidos durante as campanhas de amostragem nos poços de monitoramento PC no âmbito do PMRA-PO.

Quadro 11.1.12-21: Leituras dos parâmetros físicos medidos *in situ* nos poços de abastecimento SQs nas três campanhas realizadas no âmbito do PMRA-PO, segundo requisitos ABNT NBR ISP/IEC ISO 17025

Poços de Abastecimento SQ			
Ponto	**Campanha**	**pH**	**CE (µS/cm)**
SQ-01	1	7,06	996
SQ-01	2	7,61	1.027
SQ-01	3	7,92	975
SQ-01	3	8,05	1.143
SQ-03	1	7,42	2.884
SQ-03	2	7,61	2.744
SQ-03	3	7,54	3.087
SQ-03	3	7,32	2.782
SQ-04	1	7,13	1.426
SQ-04	2	7,20	1.350
SQ-04	3	6,86	1.333
SQ-06	1	6,92	2.281
SQ-06	2	7,08	2.537
SQ-06	3	7,68	2.309
SQ-07	1	7,24	1.493
SQ-07	3	6,97	2.151
SQ-08	1	6,92	2.130
SQ-08	3	6,75	3.208
SQ-09	1	6,90	2.563
SQ-09	3	6,86	2.766
SQ-11	1	6,68	6.537
SQ-11	3	6,83	5.131
SQ-12	1	6,88	1.938
SQ-12	3	6,86	1.835
Média	1+2+3	7,18	2.359

Quadro 11.1.12-22: Leituras dos parâmetros físicos medidos *in situ* nos poços de monitoramento PCs das Unidades MC-1 e MS-1 nas três campanhas realizadas no âmbito do PMRA-PO, segundo requisitos ABNT NBR ISP/IEC ISO 17025

Poços de Monitoramento PC Unidade Hidrogeológica MC-1				Poços de Monitoramento PC Unidade Hidrogeológica MS-1			
Ponto	**Campanha**	**pH**	**CE (µS/cm)**	**Ponto**	**Campanha**	**pH**	**CE (µS/cm)**
PC-02	1	6,83	1.575	PC-01	1	7,51	981
	2	6,87	1.489		2	7,57	1.039
	3	6,72	1.646		3	7,32	1.102
PC-04	1	7,33	2.071	PC-03	1	7,02	2.210
	2	7,37	2.173		2	7,03	2.091
	3	7,11	2.338		3	6,92	2.131
PC-05	1	6,86	1.102	PC-06	1	6,68	3.327
	2	6,92	1.083		2	6,69	2.402
	3	6,72	1.151		3	6,67	3.721
PC-07	1	6,74	2.109	PC-12	1	6,78	1.379
	2	6,73	1.953		2	5,88	848
	3	6,33	1.847	PC-13	1	6,76	2.493
PC-08	1	6,69	1.501		2	6,73	2.445
	2	6,62	1.491		3	6,48	1.945
	3	6,53	1.514	PC-14	1	6,89	1.587
PC-09	1	6,53	1.484		2	6,90	1.596
	2	6,74	1.619		3	6,69	1.642
	3	6,63	1.755	PC-17	1	6,79	2.037
	3	6,61	1.714		2	6,86	1.936
PC-10	1	6,91	1.037		3	6,68	2.722
	2	6,49	1.031	PC-19	1	6,74	1.768
	3	6,78	1.099		2	6,98	1.675
PC-11	1	7,04	1.781		3	6,69	2.614
	2	6,16	1.427	PC-20	1	7,21	1.918
	3	6,62	1.519		2	7,34	1.854
PC-15	1	6,75	1.993		3	7,04	928
	2	6,59	2.062	PC-21	1	6,48	6.253
	3	6,60	2.170		2	6,53	6.971
PC-18	1	6,65	2.151		3	6,45	7.586
	2	6,77	2.129	PC-22	1	6,95	2.303
	3	6,71	2.655		2	6,82	2.290
Média	**1+2+3**	**6,74**	**1.698**		3	6,55	2.221
				Média	**1+2+3**	**6,83**	**2.438**

Elaboração: BTB Explorers, 2023.

Em julho de 2023, foi realizada a campanha coordenada pela empresa Tetra Mais com amostragem conduzida pela CPEA e as análises realizadas pelo laboratório Merieux NutriSciences, envolvendo 20 poços PC-01 a PC11, PC-13 a PC-15 e PC-17 a PC-22, também utilizados no âmbito do PMRA-PO. Nesta campanha foram contemplados os parâmetros previstos pela Resolução CONAMA nº 396/2008. O Quadro 11.1.12-23, a seguir, apresenta a situação dos poços ao longo das campanhas realizadas em campo.

Quadro 11.1.12-23: Coleta de água subterrânea em cada poço por campanha

Ponto	Campanha Julho/2023	Ponto	Campanha Julho/2023
PC-01	amostrado	PC-12	
PC-02	amostrado	PC-13	amostrado
PC-03	amostrado	PC-14	amostrado
PC-04	amostrado	PC-15	amostrado
PC-05	amostrado	PC-17	amostrado
PC-06	amostrado	PC-18	amostrado
PC-07	amostrado	PC-19	amostrado
PC-08	amostrado	PC-20	amostrado
PC-09	amostrado	PC-21	amostrado
PC-10	amostrado	PC-22	amostrado
PC-11	amostrado		

Elaboração: BTB Explorers, 2023. Adaptado de: CPEA, 2023.

Os resultados das medições *in situ* dos parâmetros físicos das águas subterrâneas foram de Oxigênio Dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), pH, ORP (Eh), Temperatura (T) e nível d'água (N.A.), obtidos na campanha de julho de 2023, estão representados no Quadro 11.1.12-24 e Quadro 11.1.12-25. De maneira geral, os poços da unidade hidrogeológica MC-01 apresentam valores médios de 1.783,4 µS/cm de condutividade e 0,895‰ de salinidade, inferiores aos valores médios da unidade MS-1 que apresentaram resultados de 2.808,8 µS/cm para condutividade e salinidade de 1,46‰. Os valores médios de pH e temperatura da água subterrânea se encontravam, nesta campanha, em valores praticamente idênticos, na ordem de 6,7 e 30,8 ºC, respectivamente.

Quadro 11.1.12-24: Leituras dos parâmetros físicos medidos *in situ* nos poços de monitoramento PCs da Unidade MC-1. Campanha de julho de 2023 executada segundo requisitos ABNT NBR ISP/IEC ISO 17025

Unidade Hidrogeológica MC-1							
Amostra	Campanha	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade (µS/cm)	Salinidade ‰	Temperatura (°C)
PC-02	julho/23	0,35	-111	6,65	1.576	0,78	31,8
PC-04	julho/23	<0,30	-167	7,13	2.350	1,20	30,4
PC-05	julho/23	<0,30	63	6,73	1.169	0,57	30,9
PC-07	julho/23	<0,30	-57	6,61	1.941	0,98	30,8

Unidade Hidrogeológica MC-1							
Amostra	Campanha	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade (µS/cm)	Salinidade ‰	Temperatura (°C)
PC-08	julho/23	<0,30	130	6,56	1.532	0,76	30,7
PC-09	julho/23	<0,30	-5	6,57	1.709	0,85	30,4
PC-10	julho/23	0,39	-155	6,77	1.003	0,49	31,5
PC-11	julho/23	<0,30	-96	6,73	1.593	0,79	31,4
PC-15	julho/23	<0,30	-114	6,61	2.168	1,10	30,2
PC-18	julho/23	<0,30	78	6,71	2.793	1,43	30,1
Média	julho/23	0,37	-43,4	6,70	1.783,4	0,895	30,8

Elaboração: BTB Explorers, 2023.

Quadro 11.1.12-25: Leituras dos parâmetros físicos medidos *in situ* nos poços de monitoramento PCs da Unidade MS-1. Campanha de julho de 2023 executada segundo requisitos ABNT NBR ISP/IEC ISO 17025

Unidade Hidrogeológica MS-1							
Amostra	Campanha	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade (µS/cm)	Salinidade	Temperatura (°C)
PC-01	julho/23	< 0,30	-126	7,32	1.102	0,54	31,3
PC-03	julho/23	0,55	-125	6,39	2.195	1,11	31,5
PC-06	julho/23	<0,30	-84	6,57	3.717	1,94	30,3
PC-13	julho/23	0,33	-122	6,52	2.512	1,28	28,9
PC-14	julho/23	<0,30	-123	6,71	1.627	0,81	30,0
PC-17	julho/23	<0,30	-94	6,64	3.900	2,04	31,0
PC-19	julho/23	<0,30	-100	6,62	2.658	1,36	30,6
PC-20	julho/23	<0,30	43	6,90	941	0,46	31,4
PC-21	julho/23	<0,30	110	6,35	7.459	4,07	30,9

Unidade Hidrogeológica MS-1							
Amostra	**Campanha**	**OD (mg/L)**	**ORP (mV)**	**pH**	**Condutividade (µS/cm)**	**Salinidade**	**Temperatura (°C)**
PC-22	julho/23	0,98	109	6,55	1.977	0,99	32,1
Média	Julho/23	0,62	-51,2	6,66	2.808,8	1,46	30,8

Elaboração: BTB Explorers, 2023.

11.1.12.3.2 *Hidroquímica das Águas Subterrâneas*

A. Padrões de Qualidade para as Águas Subterrâneas

Os padrões de qualidade adotados para água subterrânea se referem aos Padrões para Consumo Humano estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Como referência, foram utilizados os valores do Anexos 11.1.12-6 desta resolução, que apresenta a lista de parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas, seus respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP) para cada um dos usos considerados como preponderantes e os limites de quantificação praticáveis (LQP), considerados como aceitáveis para aplicação desta Resolução.

A Resolução CONAMA nº 396/2008 define Valor de Referência de Qualidade - VRQ como a concentração ou valor de um determinado parâmetro que define a qualidade natural da água subterrânea. Além disso, define o Valor Máximo Permitido - VMP como o limite máximo permitido para os parâmetros legislados, o qual varia de acordo com o uso específico das águas subterrâneas. Neste estudo foram aplicados os VMP para o consumo humano como uso preponderante.

11.1.12.1 Os Considerações Metodológicas

Os laudos analíticos emitidos pelos laboratórios estão disponíveis no Volume V – Anexos 11.1.12-3 e abrangem os resultados originais das campanhas realizadas nos anos de 2011, 2020, 2021 (laboratórios Bioagri e Mérieux) e 2023 (laboratório Mérieux). Esses laudos contêm as análises de 53 parâmetros inorgânicos, 50 parâmetros orgânicos, varredura de 44 parâmetros agrotóxicos e 03 análises de microrganismos.

Com relação aos laudos analíticos emitidos pelo Laboratório GLP, os quais compreendem as campanhas de 2022 e 2023 realizadas no âmbito do PMRA-PO (INB, 2023), envolvem as análises de 06 radionuclídeos e 09 inorgânicos (espécies estáveis), além da leitura in situ de parâmetros físico-químicos. Os laudos analíticos da campanha de julho de

2023 (laboratório Mérieux) referem-se a análise de 53 parâmetros inorgânicos, 41 parâmetros orgânicos, 41 parâmetros agrotóxicos e 02 análises de microrganismos.

Os resultados analíticos das amostras de água subterrânea provenientes dos poços de monitoramento, com concentrações padronizadas em µg/L (micrograma/litro), e com destaque em vermelho para os resultados desenquadrados nos padrões de qualidade da Resolução CONAMA nº396/2008, são apresentados no Volume V - Anexos 11.1.12-4.

A. Resultados Analíticos de Água Subterrânea

A.1. Resultados não quantificados PM-INB

Os resultados analíticos das amostras de água subterrânea, proveniente do PM-INB, não quantificaram (não detectaram) os compostos listados no Quadro 11.1.12-26, em todas as amostras das campanhas avaliadas.

Quadro 11.1.12-26: Parâmetros não Quantificados no PM-INB

Inorgânicos	Orgânicos	Pesticidas
Antimônio	Acrilamida	Alaclor
Antimônio Dissolvido	Benzeno	Aldicarbe
Arsênio	Benzo(a)antraceno	Aldicarbesulfona
Arsênio Dissolvido	Benzo(b) fluoranteno	Aldicarbesulfóxido
Berílio	Benzo(a)pireno	Aldicarb+Sulfona+Sulfóxido
Berílio Dissolvido	Benzo(K)fluoranteno	Aldrin
Cádmio	Cloreto de Vinila	Dieldrin
Cádmio Dissolvido	Clorofórmio	Aldrin + Dieldrin
Chumbo	Criseno	Atrazina
Chumbo Dissolvido	1,2-Diclorobenzeno	Bentazona
Cianeto Total	1,4-Diclorobenzeno	Carbofurano
Cromo Dissolvido	1,2-Dicloroetano	Clordano (cis)
Mercúrio	1,1-Dicloroeteno	Clordano (trans)
Mercúrio Dissolvido	Cis-1,2-Dicloroeteno	Clordano (cis + trans)
Prata	Trans-1,2-Dicloroeteno	Clorotalonil
Prata Dissolvido	1,2-Dicloroeteno (cis+trans)	Clorpirifos
Selênio	Dibenzo antraceno	2,4 – D

Inorgânicos	Orgânicos	Pesticidas
Selênio Dissolvido	Diclorometano	p,p`-DDT
Fósforo	Estireno	p,p`DDE
	Etilbenzeno	p,p`-DDD
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	DDT(p,p`-DDT+p,p`-DDD+DDE)
	PCBs (Somatoria 7)	Endossulfan Alfa
	PCB 28	Endossulfan Beta
	PCB 52	Endossulfan Sulfato
	PCB 101	Endossulfan(a+b+Sulfato)
	PCB 118	Endrin
	PCB 138+158	Glifosato + AMPA
	PCB 153	Heptacloro
	PCB 180	Heptacloro Epóxido
	Tetracloreto de Carbono	Heptacloro Epóxido + Heptacloro
	1,2,3-Triclorobenzeno	Hexaclorobenzeno
	1,2,4-Triclorobenzeno	Lindano (g-HCH)
	1,3,5-Triclorobenzeno	Malation
	Triclorobenzenos	Metolacloro
	Tetracloroeteno	Metoxicloro
	Tricloroeteno	Molinato
	Tolueno	Pendimetalina
	m,p Xilenos	Pentaclorofenol
	o-Xilenos	Permetrina
	Xilenos	Propanil
		Simazina
		Trifluralina

Elaboração: BTB Explorers, 2021.

A.2. Resultados desenquadrados dos VMPs – Poço INB

Os resultados analíticos das amostras provenientes do Poço INB, apresentados no Volume V - Anexos 11.1.12-4, indicam alterações dos padrões de qualidade na forma de concentrações acima dos valores de referência para consumo humano da Resolução CONAMA nº 396/2008, as quais são listadas no Quadro 11.1.12-27.

Quadro 11.1.12-27: Substâncias quantificadas acima do VMP CONAMA 396/2008 - Poço INB

1°Campanha 04/2011	2° Campanha 06/2011	3°Campanha 07/2011	4°Campanha 08/2011	5°Campanha 11/2020	6° Campanha 02/2021
SDT Nitrato	Nenhuma substância	Coliformes Fecais E. Coli	SDT Coliformes Fecais E. Coli	SDT Coliformes Fecais E. Coli	Alumínio Cloreto Ferro Manganês

Elaboração: BTB EXPLORERS 2021.

A única ocorrência acima do VMP para alumínio total, em fevereiro de 2021, não se confirmou na forma dissolvida, onde são analisados apenas os compostos químicos dissolvidos na água, sem interferências da turbidez ou particulados na amostra.

O ferro e o manganês, nas formas total e dissolvida, foram quantificados em todas as campanhas no Poço INB, mas acima do valor de referência (VMP) apenas na última campanha em fevereiro de 2021. O cloreto foi quantificado em todas as seis campanhas, mas também, apenas na última em fevereiro de 2021, em concentração acima e próxima ao VMP. Este comportamento pode ser explicado pela interrupção do eventual bombeamento deste poço, que devido a presença de equipamentos de bombeamento metálicos, com a presença de sais representados pelos cloretos, podem promover a oxidação destes metais e transferência para a fase dissolvida na água subterrânea. A fim de sanar eventuais interferências ocasionadas em partes metálicas em contato com a água rica em sais, foi instalado em 2022 (Geohidro, 2022) um novo poço em PVC de acordo com normas da ABNT NBR 15.495-1 e NBR 15.495-2, denominado PC-19, ao lado (próximo) do poço INB. A partir das campanhas de 2022 (PMRA-PO) o poço PC-19 foi amostrado em substituição ao poço INB.

O parâmetro sólidos dissolvidos totais (SDT) foi quantificado em todas as seis campanhas realizadas em concentrações próximas do VMP. Em abril/2011, agosto/2011 e novembro/2020, a concentração deste parâmetro foi quantificada acima do VMP. Vale ressaltar que ele é naturalmente presente na região em concentrações acima dos valores de referência segundo COGERH (2016).

Os parâmetros Coliformes Termotolerantes e *E.coli* foram quantificados acima dos padrões de referência nas campanhas realizadas em julho e agosto de 2011, e também em novembro de 2020.

A.3. Resultados não quantificados – Campanhas de 2011, 2020 e 2021 – PMs

Os resultados analíticos das amostras provenientes dos Poços de Monitoramento, apresentados no Volume V - Anexos 11.1.12-4, indicam que dentre os 150 parâmetros avaliados ao longo das seis campanhas realizadas nos poços de monitoramento com coluna d'água e condições de amostragem suficientes, 53 destes parâmetros estão abaixo dos limites de quantificação do método analítico.

O Quadro 11.1.12-28 a seguir apresenta a lista destes parâmetros, com indicação em separado, por unidade aquífera.

Quadro 11.1.12-28: Parâmetros não quantificados nas Água Subterrâneas - Poços de Monitoramento (PM) – Campanhas de 2011, 2020 e 2021

Parâmetro	Unidade MS1	Unidade MC1	Parâmetro	Unidade MS1	Unidade MC1
Antimônio	x	x	Benzo(a)pireno	x	x
Antimônio D*	x	x	Benzo(k)fluoranteno	x	x
Arsênio D*	x		Cloreto de vinila	x	x
Berílio	x	x	Clorofórmio	x	x
Berílio D*	x	x	Criseno	x	x
Cádmio	x	x	1,2-Diclorobenzeno	x	x
Cádmio D*	x	x	1,4-Diclorobenzeno	x	x
Chumbo		x	1,2-Dicloroetano	x	x
Chumbo D*	x	x	1,1-Dicloroeteno	x	x
Cobalto		x	cis-1,2-Dicloroeteno	x	x
Cobalto D*		x	trans-1,2-Dicloroeteno	x	x
Cobre		x	1,2-Dicloroeteno (cis+trans)	x	x
Cobre D*		x	Dibenzo(a,h)antraceno	x	x
Cromo D*		x	Diclorometano	x	x
Mercúrio	x	x	Estireno	x	x
Mercúrio D*	x	x	Etilbenzeno	x	x

Parâmetro	Unidade MS1	Unidade MC1	Parâmetro	Unidade MS1	Unidade MC1
Prata	x	x	PCB´s	x	x
Prata D*	x	x	Tetracloreto de Carbono	x	x
Selênio	x	x	1,2,3-Triclorobenzeno	x	x
Selênio D*	x	x	1,2,4-Triclorobenzeno	x	x
Urânio	x	x	1,3,5-Triclorobenzeno	x	x
Urânio D*		x	Triclorobenzenos	x	x
Acrilamida	x	x	Tetracloroeteno	x	x
Benzeno	x	x	Tricloroeteno	x	x
Benzo(a)antraceno	x	x	Tolueno	x	x
Benzo(b)fluoranteno	x	x	Xilenos	x	x
			Enxofre	x	x

Elaboração: BTB Explorers, 2021.

A.4. Resultados não quantificados – Campanhas de 2022 e 2023 – PCs e SQs

Os resultados analíticos das amostras provenientes dos Poços de Monitoramento "PC", apresentados no Volume V - Anexos 11.1.12-4, indicam que dentre os parâmetros avaliados ao longo das quatro campanhas realizadas entre 2022 e 2023 (três pela CPEA/GLP no âmbito do PMRA-PO e uma pela Tetra Mais/CPEA/Mérieux), nos poços com coluna d'água e condições de amostragem suficientes, 80 destes parâmetros estão abaixo dos limites de quantificação do método analítico, não sendo quantificados tanto nos poços instalados na unidade MS-1 quanto na unidade MC-1.

Todas as espécies químicas analisadas no âmbito do PMRA-PO foram quantificadas na água subterrânea, nas três campanhas citadas acima (pela CPEA/GLP). Cumpre mencionar que a campanha conduzida pela Tetra+/CPEA/Merrieux, não contemplou a coleta de amostras de água subterrânea dos poços de abastecimento "SQ".

O Quadro 11.1.12-29 a seguir apresenta a lista dos parâmetros que não foram quantificados em nenhuma das campanhas dos poços PC, separados por unidade aquífera.

Quadro 11.1.12-29: Parâmetros não quantificados em todas as campanhas das Água Subterrâneas - poços de monitoramento "PC".

Grupo	Parâmetro	Unidade MS1 (poços PC)	Unidade MC1 (poços PC)	Grupo	Parâmetro	Unidade MS1 (poços PC)	Unidade MC1 (poços PC)
Inorgânicos	Antimônio D*	<LQ	>LQ	Agrotóxicos	Lindano (g-HCH)	<LQ	<LQ
Inorgânicos	Berílio	<LQ	>LQ	Agrotóxicos	Malation	<LQ	<LQ
Inorgânicos	Berílio D*	<LQ	>LQ	Agrotóxicos	Metolacloro	<LQ	<LQ
Inorgânicos	Cádmio	<LQ	>LQ	Agrotóxicos	Metoxicloro	<LQ	<LQ
Inorgânicos	Cádmio D*	<LQ	>LQ	Agrotóxicos	Molinato	<LQ	<LQ
Inorgânicos	Cromo D*	<LQ	>LQ	Agrotóxicos	Pendimetalina	<LQ	<LQ
Inorgânicos	Mercúrio	<LQ	<LQ	Agrotóxicos	Pentaclorofenol	<LQ	<LQ
Inorgânicos	Mercúrio D*	<LQ	<LQ	Agrotóxicos	Permetrina	<LQ	<LQ
Inorgânicos	Prata	<LQ	<LQ	Agrotóxicos	Propanil	<LQ	<LQ
Inorgânicos	Prata D*	<LQ	<LQ	Agrotóxicos	Simazina	<LQ	<LQ
Inorgânicos	Selênio	<LQ	>LQ	Agrotóxicos	Trifluralina	<LQ	<LQ
Inorgânicos	Selênio D*	<LQ	<LQ	Orgânicos	Acrilamida	<LQ	<LQ
Microorganismos	Coliformes Termotolerantes (E. coli)	<LQ	<LQ	Orgânicos	Benzo(a)pireno	<LQ	<LQ
Microorganismos	Coliformes Fecais	<LQ	<LQ	Orgânicos	Benzo(k)fluoranteno	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Alaclor	<LQ	<LQ	Orgânicos	Clorofórmio	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Aldicarb	<LQ	<LQ	Orgânicos	1,2-Diclorobenzeno	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Aldicarb Sulfona	<LQ	<LQ	Orgânicos	1,4-Diclorobenzeno	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Aldicarb Sulfóxido	<LQ	<LQ	Orgânicos	1,1-Dicloroeteno	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Aldrin	<LQ	<LQ	Orgânicos	cis-1,2-Dicloroeteno	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Dieldrin	<LQ	<LQ	Orgânicos	trans-1,2-Dicloroeteno	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Aldrin e Dieldrin	<LQ	<LQ	Orgânicos	1,2-Dicloroeteno (cis+trans)	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Atrazina	<LQ	<LQ	Orgânicos	Dibenzo(a,h)antraceno	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Bentazona	<LQ	<LQ	Orgânicos	Diclorometano	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Carbofurano	<LQ	<LQ	Orgânicos	Indeno(1,2,3,cd)pireno	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Cis Clordano	<LQ	<LQ	Orgânicos	PCB´s	<LQ	<LQ

Grupo	Parâmetro	Unidade de MS1 (poços PC)	Unidade de MC1 (poços PC)	Grupo	Parâmetro	Unidade de MS1 (poços PC)	Unidade de MC1 (poços PC)
Agrotóxicos	Trans Clordano	<LQ	<LQ	Orgânicos	PCB 28	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Clordano (cis e trans)	<LQ	<LQ	Orgânicos	PCB 52	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Clorotalonil	<LQ	<LQ	Orgânicos	PCB 101	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Clorpirifós	<LQ	<LQ	Orgânicos	PCB 118	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	2,4-D	<LQ	<LQ	Orgânicos	PCB 138 + PCB 158	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	p,p-DDT	<LQ	<LQ	Orgânicos	PCB 153	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	p,p-DDE	<LQ	<LQ	Orgânicos	PCB 180	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	p,p-DDD	<LQ	<LQ	Orgânicos	Tetracloreto de Carbono	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	DDT(p,p'DDT,p,p´ DDE e p,p´DDD)	<LQ	<LQ	Orgânicos	1,2,3-Triclorobenzeno	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Endossulfan - ALFA	<LQ	<LQ	Orgânicos	1,2,4-Triclorobenzeno	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Endossulfan - BETA	<LQ	<LQ	Orgânicos	1,3,5-Triclorobenzeno	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Endossulfan (a, b e sulfato)	<LQ	<LQ	Orgânicos	Triclorobenzenos	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Endossulfan Sulfato	<LQ	<LQ	Orgânicos	Tetracloroeteno	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Endrin	<LQ	<LQ	Orgânicos	Tricloroeteno	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Glifosato + AMPA	<LQ	<LQ	Orgânicos	Tolueno	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Heptacloro	<LQ	<LQ	Orgânicos	m,p-Xilenos	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Heptacloro Epóxido	<LQ	<LQ	Orgânicos	o-Xileno	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Heptacloro e Heptacloro Epóxido	<LQ	<LQ	Orgânicos	Xilenos	<LQ	<LQ
Agrotóxicos	Hexaclorobenzeno	<LQ	<LQ				

D: dissolvido. <LQ: menor que o limite de quantificação (não quantificado). Fonte: BTB Explorers, 2023.*

A.5. Resultados desenquadrados dos VMPs - Campanhas de 2011, 2020 e 2021 - PMs

Os resultados analíticos das amostras de água subterrânea provenientes dos Poços de Monitoramento, disponíveis no Volume V - Anexos 11.1.12-4, quando comparados com os VMPs da Resolução CONAMA nº 396/2008, indicaram as seguintes concentrações acima dos padrões de qualidade apresentadas do Quadro 11.1.12-30 ao Quadro 11.1.12-32.

Destaca-se que a Resolução CONAMA nº 396/2008, em seu Anexos 11.1.12-6, apresenta os valores máximo permitidos (VMP) para metais sem a distinção quanto a forma de ocorrência, total ou dissolvida. Assim, nas avaliações dos resultados obtidos das amostras de água subterrânea, o mesmo VMP foi aplicado para cada metal analisado nas duas formas.

Quadro 11.1.12-30: Parâmetros Inorgânicos Acima dos Valores Máximos Permitidos (VMP) na Água Subterrânea (µg/L) - Unidade MS1 - Campanhas de 2011, 2020 e 2021

Parâmetro	VMP CONAMA 396	PM-03			PM-05		PM-06		
		jun/11	nov/20	fev/21	nov/20	fev/21	abr/11	jul/11	ago/11
Alumínio	200	1.362,50	1.780	522	<1,0	61,3	243,2	1.296	62,9
Alumínio Dissolvido	200	31,3	<1	81,7	<1	<1	<0,1	13,4	46,4
Cloreto	250.000	165.000	59.900	64.200	109.000	114.000	430.700	112.750	402.670
Ferro	300	1.951	7.870	10.900	2.140	2.130	292,2	1.028	48,1
Ferro Dissolvido	300	98,9	7.050	7.990	1.090	1.200	5,1	71,3	39,0
Manganês	100	433,9	768	1.350	415	489	33,8	14,6	72,1
Manganês Dissolvido	100	413	756	1.240	378	435	31,4	11	69
Níquel	20	23,1	13,1	12,1	11,8	4,8	1,95	1,46	1,06
Níquel Dissolvido	20	18	8,4	7,6	7,6	3	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrato	10.000	16.300	2.740	<100	640	<100	3.360	594	1.500
SDT	1.000.000	803.000	513.000	540000	847.000	792000	1.048.000	380.000	1.211.000
Índice de Fenóis	3,0	1,4	5,0	5,0	<0,001	< 1,0	<1,0	1,6	Não analisado

Legenda: Resultado em vermelho referem-se àqueles que ultrapassaram o VMP. Elaboração: BTB Explorers, 2021.

Quadro 11.1.12-31: Parâmetros Inorgânicos Acima dos Valores Máximos Permitidos (VMP)na Água Subterrânea (µg/L) -Unidade MC1 - Campanhas de 2011, 2020 e 2021

Parâmetros	VMP CONAMA 396	PM-07						PM-09	
		abr/11	jun/11	jul/11	ago/11	nov/20	Fev/21	abr/11	jun/11
Alumínio	200	3,74	86	38	128,2	117	210	1,36	373,3
Cloreto	250.000	710.100	672.400	679.560	623.900	240.000	402.000	233.920	77.335
Ferro	300	69	115,6	38,1	131,7	3.240	2.910	53	1.254,30
Ferro Dissolvido	300	60,9	41,8	0,586	49,9	2.970	2.580	34,6	95,4
Manganês	100	23,6	20,3	13	21,1	341	291	3,8	1,77
Manganês Dissolvido	100	17,8	15,6	9	14	338	290	1,1	<0,1
Sódio	200.000	215.225	299.713	267.580	245.190	185.000	187000	192.638	75.880
Sódio Dissolvido	200.000	211.880	288.398	258.898	211.898	175.000	174000	137.098	74.188
SDT	1.000.000	2.185.000	2.243.000	1.870.000	1.674.000	1.201.000	1.027.000	1.197.000	623.000

Elaboração: BTB Explorers, 2021.

Quadro 11.1.12-32: Resultados Analíticos em NMP/100mL - Microrganismos na Água Subterrânea – PMs – Campanhas de 2011, 2020 e 2021

Microrganismos	VMP CONAMA 396	PM-03		PM-05		PM-07	PM-10
		nov/20	fev/21	jun/11	ago/11	ago/11	abr/11
Coliformes Termotolerantes (*E. coli*)	Ausente	43.520	112.000	Presente	Presente	Presente	Presente
Coliformes Fecais	Ausente	43.520	112.000	Presente	Presente	Presente	Presente

Elaboração: BTB Explorers 2021. VMP: Valores Máximos Permitidos.

As elevadas concentrações de sólidos dissolvidos totais (SDT) estão coerentes com o cenário regional apresentado no Relatório de Diagnóstico da Região Hidrográfica do Acaraú (COGERH, 2022) e comentado no capítulo 11.1.8.2 - Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII). A unidade MC1 apresenta concentrações mais elevadas de STD em relação à unidade MS1.

Em relação aos parâmetros inorgânicos analisados nas duas fases de ocorrência, total e dissolvida, vale ressaltar que as concentrações nas amostras não filtradas para análises da fração total, podem representar falsos positivos relacionados à presença de turbidez na água; enquanto a utilização de filtração 0,45µm para a amostragem da fase dissolvida, como adotado na presente amostragem, elimina as partículas sólidas presentes na água, produzindo resultados mais representativos da hidroquímica da água subterrânea sem interferência de particulados sólidos.

A realização das análises nas duas fases (total e dissolvida) é importante para avaliar as condições hidroquímicas do meio. De um modo geral, amostras representativas das águas subterrâneas devem apresentar uma turbidez baixa, uma vez que a representatividade de fluxos subterrâneos é do tipo laminar (sem turbulência) com turbidez incipiente devido à baixa energia do meio, que resultam em concentrações na fase dissolvida e total próximas, com leve tendência de superioridade na fase total.

Conforme comentado anteriormente, a Resolução CONAMA nº 396/2008, em seu Anexos 11.1.12-6, apresenta os valores máximo permitidos (VMP) para metais sem a distinção quanto a forma de ocorrência, total ou dissolvida. Assim, nas avaliações dos resultados obtidos das amostras de água subterrânea, o mesmo VMP foi aplicado para cada metal analisado nas duas formas e as análises e apontamentos ao longo do capítulo vão considerar as frações total e dissolvida (filtradas), envolvendo a apresentação de gráficos e análises estatísticas.

As alterações dos padrões de qualidade em relação ao ferro, manganês e alumínio são mais marcantes na Unidade Aquífera MS1, que apresenta maior frequência de concentrações acima dos valores máximos permitidos (VMP), assim como maiores concentrações.

Nas duas unidades aquíferas (MC1 e MS1), o alumínio na forma dissolvida não apresenta nenhum resultado acima do valor de referência. Por outro lado, as concentrações de ferro em algumas amostras se apresentam acima do valor de referência, tanto na forma total como na forma dissolvida, em outras acima do VMP apenas na forma total o que pode ser efeito da turbidez na água, e em outras, abaixo dos VMPs tanto na forma dissolvida como na

forma total. Em todas as amostras as concentrações de metais dissolvidos são menores que as de metais totais.

As alterações de padrões de qualidade para manganês estão restritas a unidade MS1, tanto na fase total, como na fase dissolvida.

A anomalia de níquel total, identificada exclusivamente na unidade MS1, apenas na primeira campanha em junho de/2011 no PM-03, não se confirmou na análise de níquel dissolvido realizada para este ponto na mesma campanha, e nem nas campanhas posteriores de novembro de 2020 e fevereiro de 2021, tanto para níquel total como dissolvido. Em nenhuma outra amostra dos demais poços o níquel foi quantificado acima do VMP nas campanhas realizadas de abril de 2011 a fevereiro de 2021.

Assim como ocorreu com o níquel, o parâmetro nitrato, também foi identificado exclusivamente na unidade MS1 acima do VMP CONAMA 396/2008 na amostra realizada no ponto PM-03 apenas na primeira campanha, não se confirmando, portanto, nas campanhas posteriores até fevereiro de 2021 em nenhuma outra amostra de nenhum outro poço.

Nas duas unidades aquíferas ocorrem concentrações de cloreto acima do VMP, porém, em maior frequência na unidade MC1, que também apresenta concentrações mais elevadas para este parâmetro, quando comparados com os resultados analíticos para a unidade MS1.

Os resultados de cloretos indicaram uma frequência de ocorrência em 100% das análises nas unidades hidrogeológicas MS1 e MC1. Os resultados da unidade metassedimentar (MS1- Formação Barrigas) tem concentrações mínima de 59.900 µg/L e máxima de 430.700 µg/L, enquanto os resultados da unidade metacarbonática (MC1 – Formação Alcantil) apresentam um range com concentrações entre 22.920 µg/L e 710.100 µg/L.

O sódio tem 100% de frequência de ocorrência em todas as amostras provenientes das duas Unidades Aquíferas, mas tem maiores concentrações na unidade MC1, que inclusive é a única que apresenta alterações de qualidade para este parâmetro.

Índice de fenóis foi identificado no PM-03 (MS1) nas campanhas de novembro/2020 e fevereiro de 2021 em concentração de 5,0 µg/L acima do VMP, porém, próxima ao valor de referência de 3,0 µg/L.

Os resultados de coliformes termotolerantes e *E.coli,* apresentaram alterações de padrões de qualidade recentes e crescentes no PM-03, e em 2011 nos PMs 05, 07 e 10. As únicas fontes ativas para este tipo de contaminante observadas nas áreas avaliadas são a urina e fezes de origem animal, visto que se trata de material facilmente encontrado pelos

solos da região advindos de criações que são mantidas soltas e que vagueiam livremente nessas áreas.

A.6. Resultados desenquadrados dos VMPs - Campanhas de 2022 e 2023 – PCs

Os resultados analíticos das amostras de água subterrânea provenientes dos poços de Monitoramento “PC”, apresentados no Volume V - Anexos 11.1.12-4, quando comparados com os Valores Máximos Permitidos (VMP) da Resolução CONAMA 396/2008, indicam as seguintes concentrações acima dos padrões de qualidade apresentadas do Quadro 11.1.12-33 ao Quadro 11.1.12-40.

As substâncias, quando quantificadas acima do VMP (somente nestes casos) nas amostras filtradas ou não filtradas serão apresentadas nos quadros nas duas formas, mesmo se apenas a concentração de uma se encontrar acima do VMP. O poço que apresentar ao menos um parâmetro acima do VMP em ao menos uma campanha terá todos os resultados apresentados.

Quadro 11.1.12-33: Parâmetros Inorgânicos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Monitoramento PC - Unidade MS1.

Parâmetro	VMP CONAMA 396/2008	PC-01				PC-03				PC-06			
		01-PMRA-PO 11/2022	02-PMRA-PO 02/2023	03-PMRA-PO 03/2023	Mérieux 01/2023	01-PMRA-PO 11/2022	02-PMRA-PO 02/2023	03-PMRA-PO 03/2023	Mérieux-01/2023	01-PMRA-PO 11/2022	02-PMRA-PO 02/2023	03-PMRA-PO 03/2023	Mérieux-01/2023
Alumínio	200	N/A	N/A	N/A	6,70	N/A	N/A	N/A	1240,00	N/A	N/A	N/A	208,000
Alumínio D*	200	<10,000	28,000	20,000	3,23	39,000	17,000	17,000	7,18	19,000	18,000	48,000	11,600
Arsênio	10	N/A	N/A	N/A	13,20	N/A	N/A	N/A	1,04	N/A	N/A	N/A	<0,5
Arsênio D*	10	N/A	N/A	N/A	12,70	N/A	N/A	N/A	<0,50	N/A	N/A	N/A	<0,5
Chumbo	10	N/A	N/A	N/A	<0,50	N/A	N/A	N/A	1,66	N/A	N/A	N/A	1,520
Chumbo D*	10	N/A	N/A	N/A	<0,50	N/A	N/A	N/A	<0,5	N/A	N/A	N/A	<0,5
Cloreto	250.000	N/A	N/A	N/A	95.100,00	N/A	N/A	N/A	445.000,00	N/A	N/A	N/A	877.000,000
Ferro	300	N/A	N/A	N/A	121,00	N/A	N/A	N/A	2.760,00	N/A	N/A	N/A	4.410,000
Ferro D*	300	204,000	129,000	125,000	115,00	305,000	112,000	139,000	207,00	2.270,000	3.060,000	3.910,000	3.820,000
Fluoreto	1.500	<250,000	<250,000	250,000	181,00	<500,000	<500,000	500,000	563,00	400,000	<500,000	<500,000	402,000
Manganês	100	N/A	N/A	N/A	42,00	N/A	N/A	N/A	695,00	N/A	N/A	N/A	1.650,000
Manganês D*	100	54,000	44,000	48,000	41,00	570,000	537,000	525,000	672,00	1.610,000	2.270,000	1.980,000	1.630,000
Sódio	200.000	N/A	N/A	N/A	165.000,00	N/A	N/A	N/A	182.000,00	N/A	N/A	N/A	328.000,000
Sódio D*	200.000	188.000,000	167.000,000	192.000,000	164.000,00	223.000,000	196.000,000	17.5000,000	177.000,00	319.000,000	321.000,000	344.000,000	327.000,000
SDT	1.000.000	N/A	N/A	N/A	648.000,00	N/A	N/A	N/A	1.305.000,00	N/A	N/A	N/A	2.780.000,000
Sulfato	250.000	85.500,000	86.000,000	89.200,000	85.500,00	53.600,000	42.300,000	35.700,000	27.800,00	189.000,000	187.000,000	154.000,000	173.000,000
Urânio	15	N/A	N/A	N/A	15,40	N/A	N/A	N/A	51,80	N/A	N/A	N/A	1,320
Urânio D*	15	5,328	<2,000	38,934	14,40	<2,000	9,426	23,770	46,20	6,967	2,459	<2,000	1,020

VMP: Valor Máximo Permitido – Resolução CONAMA 396/2008 – Uso preponderante de Consumo Humano. Valor em cinza: abaixo do Limite de Quantificação (LQ). Valor em vermelho: acima do VMP. N/A: não analisado. D: dissolvido.*

Quadro 11.1.12-34: Parâmetros Inorgânicos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Monitoramento PC - Unidade MS1.

Parâmetro	VMP CONAMA 396/2008	PC-13				PC-14				PC-17			
		01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23	01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23	01-PMRA-PO	02-PMRA-PO	03-PMRA-PO	Mérieux-01/23
Alumínio	200	N/A	N/A	N/A	15,700	N/A	N/A	N/A	27,600	N/A	N/A	N/A	1,620
Alumínio D*	200	114,000	32,000	<10,000	<1,000	<10,000	24,000	<10,000	1,800	<10,000	16,000	23,000	<1,00
Arsênio	10	N/A	N/A	N/A	<0,500	N/A	N/A	N/A	16,200	N/A	N/A	N/A	0,930
Arsênio D*	10	N/A	N/A	N/A	<0,500	N/A	N/A	N/A	14,900	N/A	N/A	N/A	0,840
Chumbo	10	N/A	N/A	N/A	<0,500	N/A	N/A	N/A	0,870	N/A	N/A	N/A	2,530
Chumbo D*	10	N/A	N/A	N/A	<0,500	N/A	N/A	N/A	<0,5	N/A	N/A	N/A	<0,5
Cloreto	250.000	N/A	N/A	N/A	486.000,000	N/A	N/A	N/A	255.000,000	N/A	N/A	N/A	880.000,000
Ferro	300	N/A	N/A	N/A	2.600,000	N/A	N/A	N/A	4.660,000	N/A	N/A	N/A	613,000
Ferro D*	300	2.270,000	1.150,000	714,000	1.100,000	2110,000	1340,000	5.820,000	4.610,000	29,100	12,000	27,400	490,000
Fluoreto	1.500	<500,000	<500,000	590,000	561,000	640,000	650,000	550,000	568,000	<500,000	<250,000	370,000	544,000
Manganês	100	N/A	N/A	N/A	224,000	N/A	N/A	N/A	672,000	N/A	N/A	N/A	522,000
Manganês D*	100	531,000	273,000	184,000	186,000	823,000	695,000	780,000	664,000	239,000	249,000	320,000	489,000
Sódio	200.000	N/A	N/A	N/A	186.000,000	N/A	N/A	N/A	108.000,000	N/A	N/A	N/A	819.000,000
Sódio D*	200.000	179.000,000	178.000,000	123.000,000	185.000,000	109.000,000	127.000,000	118.000,000	107.000,000	179000,000	210000,000	246000,000	517.000,000
SDT	1.000.000	N/A	N/A	N/A	1.670.000,000	N/A	N/A	N/A	978000,00	N/A	N/A	N/A	269.0000,00
Sulfato	250.000	166.000,000	158.000,000	218.000,000	174.000,000	58.400,000	13.200,000	<2500,000	<2500,000	76.400,000	81.500,000	155.000,000	268.000,000
Urânio	15	N/A	N/A	N/A	3,850	N/A	N/A	N/A	<0,500	N/A	N/A	N/A	10,000
Urânio D*	15	9,836	4,098	4,508	2,630	8,607	4,098	4,098	<0,500	16,393	6,148	10,656	10,000

VMP: Valor Máximo Permitido – Resolução CONAMA 396/2008 – Uso preponderante de Consumo Humano. Valor em cinza: abaixo do Limite de Quantificação (LQ). Valor em vermelho: acima do VMP. N/A: não analisado. D: dissolvido.*

Quadro 11.1.12-35: Parâmetros Inorgânicos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Monitoramento PC - Unidade MS1.

Parâmetro	VMP CONAMA 396/2008	PC-19				PC-20				PC-21			
		01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23	01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23	01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23
Alumínio	200	N/A	N/A	N/A	35,70	N/A	N/A	N/A	634,00	N/A	N/A	N/A	26,60
Alumínio D*	200	42,000	43,000	24,000	6,820	<10,000	16,000	<10,000	22,900	<10,000	22,000	204,000	25,900
Arsênio	10	N/A	N/A	N/A	1,63	N/A	N/A	N/A	0,82	N/A	N/A	N/A	<0,5
Arsênio D*	10	N/A	N/A	N/A	1,63	N/A	N/A	N/A	0,64	N/A	N/A	N/A	<0,5
Chumbo	10	N/A	N/A	N/A	2,70	N/A	N/A	N/A	13,80	N/A	N/A	N/A	4,91
Chumbo D*	10	N/A	N/A	N/A	<0,5	N/A	N/A	N/A	0,92	N/A	N/A	N/A	4,27
Cloreto	250.000	N/A	N/A	N/A	502000,00	N/A	N/A	N/A	28500,00	N/A	N/A	N/A	2180000,00
Ferro	300	N/A	N/A	N/A	1930,00	N/A	N/A	N/A	964,00	N/A	N/A	N/A	46,30
Ferro D*	300	2040,000	2430,000	33,900	1670,000	13,100	61,000	<10,000	56,600	<10,000	<10,000	<10,000	26,700
Fluoreto	1.500	1310,000	590,000	810,000	780,000	460,000	<250,000	480,000	562,000	2500,000	300,000	2500,000	<2.500
Manganês	100	N/A	N/A	N/A	765,00	N/A	N/A	N/A	134,00	N/A	N/A	N/A	189,00
Manganês D*	100	1310,000	1320,000	508,000	761,00	523,000	493,000	139,000	106,00	225,000	160,000	159,000	182,00
Sódio	200.000	N/A	N/A	N/A	140000,00	N/A	N/A	N/A	42600,00	N/A	N/A	N/A	560000,00
Sódio D*	200.000	50900,000	59100,000	146000,000	139000,000	156000,000	149000,000	40700,000	37100,000	608000,000	548000,000	556000,000	559000,000
SDT	1.000.000	N/A	N/A	N/A	1924000,00	N/A	N/A	N/A	567000,00	N/A	N/A	N/A	5672000,00
Sulfato	250.000	367000,000	381000,000	259000,000	247000,000	104000,000	72400,000	56700,000	53400,000	174000,000	136000,000	99800,000	136000,000
Urânio	15	N/A	N/A	N/A	10,40	N/A	N/A	N/A	2,60	N/A	N/A	N/A	11,20
Urânio D*	15	<2,000	2,459	8,197	9,98	<2,000	<2,000	<2,000	2,04	<2,000	10,656	27,869	11,10

VMP: Valor Máximo Permitido – Resolução CONAMA 396/2008 – Uso preponderante de Consumo Humano. Valor em cinza: abaixo do Limite de Quantificação (LQ). Valor em vermelho: acima do VMP. N/A: não analisado. D: dissolvido.*

Quadro 11.1.12-36: Parâmetros Inorgânicos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) - Poços de Monitoramento PC - Unidade MS1

Parâmetro	VMP CONAMA 396/2008	PC-22			
		01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23
Alumínio	200	N/A	N/A	N/A	<1,000
Alumínio D*	200	46,000	12,000	<10,000	<1,0
Arsênio	10	N/A	N/A	N/A	<0,500
Arsênio D*	10	N/A	N/A	N/A	<0,500
Chumbo	10	N/A	N/A	N/A	0,70
Chumbo D*	10	N/A	N/A	N/A	0,52
Cloreto	250.000	N/A	N/A	N/A	411000,00
Ferro	300	N/A	N/A	N/A	16,30
Ferro D*	300	59,300	69,000	<10,000	<1,000
Fluoreto	1.500	-	<500,000	<500,000	569,000
Manganês	100	N/A	N/A	N/A	1,68
Manganês D*	100	<10,000	15,000	<10,000	<1
Sódio	200.000	N/A	N/A	N/A	101000,00
Sódio D*	200.000	94800,000	91000,000	90400,000	93800,000
SDT	1.000.000	N/A	N/A	N/A	1586000,00
Sulfato	250.000	-	91000,000	80800,000	62800,000
Urânio	15	N/A	N/A	N/A	5,65
Urânio D*	15	32,787	2,459	<2,000	5,56

VMP: Valor Máximo Permitido – Resolução CONAMA 396/2008 – Uso preponderante de Consumo Humano. Valor em cinza: abaixo do Limite de Quantificação (LQ). Valor em vermelho: acima do VMP. N/A: não analisado. D: dissolvido.*

Quadro 11.1.12-37: Parâmetros Inorgânicos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) - Poços de Monitoramento PC - Unidade MC1

Parâmetro	VMP CONAMA 396/2008	PC-02				PC-04				PC-05			
		01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23	01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23	01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23
Alumínio	200,000	N/A	N/A	N/A	42,600	N/A	N/A	N/A	2790,000	N/A	N/A	N/A	40,000
Alumínio D*	200,000	32,000	17,000	24,000	25,400	<10,000	31,000	<10,000	<1	<10,000	36,000	<10,000	8,910
Arsênio	10,000	N/A	N/A	N/A	6,810	N/A	N/A	N/A	3,530	N/A	N/A	N/A	13,800
Arsênio D*	10,000	N/A	N/A	N/A	6,010	N/A	N/A	N/A	0,940	N/A	N/A	N/A	13,800
Boro	500,000	N/A	N/A	N/A	145,000	N/A	N/A	N/A	152,000	N/A	N/A	N/A	82,300
Boro D*	500,000	N/A	N/A	N/A	141,000	N/A	N/A	N/A	146,000	N/A	N/A	N/A	75,100
Cloreto	250000,000	N/A	N/A	N/A	264000,000	N/A	N/A	N/A	519000,000	N/A	N/A	N/A	98800,000
Ferro	300,000	N/A	N/A	N/A	404,000	N/A	N/A	N/A	5420,000	N/A	N/A	N/A	42,200
Ferro D*	300,000	974,000	929,000	917,000	395,000	123,000	124,000	40,700	45,100	34,800	41,200	11,000	5,010
Fluoreto	1500,000	370,000	410,000	490,000	493,000	910,000	1060,000	1380,000	1260,000	870,000	840,000	820,000	771,000
Manganês	100,000	N/A	N/A	N/A	167,000	N/A	N/A	N/A	546,000	N/A	N/A	N/A	12,100
Manganês D*	100,000	191,000	173,000	164,000	153,000	628,000	581,000	581,000	505,000	41,000	26,000	<10,000	11,900
Sódio	200000,000	N/A	N/A	N/A	171000,000	N/A	N/A	N/A	201000,000	N/A	N/A	N/A	61200,000
Sódio D*	200000,000	130000,000	162000,000	133000,000	154000,000	282000,000	246000,000	233000,000	200000,000	52400,000	67900,000	57200,000	59300,000
SDT	1000000,000	N/A	N/A	N/A	911000,000	N/A	N/A	N/A	1488000,000	N/A	N/A	N/A	760000,000
Urânio	15,000	N/A	N/A	N/A	143,000	N/A	N/A	N/A	3,940	N/A	N/A	N/A	16,300
Urânio D*	15,000	298,770	293,852	266,393	137,000	8,607	<2,000	11,475	1,530	11,885	6,967	16,393	10,500

VMP: Valor Máximo Permitido – Resolução CONAMA 396/2008 – Uso preponderante de Consumo Humano. Valor em cinza: abaixo do Limite de Quantificação (LQ). Valor em vermelho: acima do VMP. N/A: não analisado. D: dissolvido.*

Quadro 11.1.12-38: Parâmetros Inorgânicos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Monitoramento PC - Unidade MC1

Parâmetro	VMP CONAMA 396/2008	PC-07				PC-08				PC-09			
		01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23	01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23	01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23
Alumínio	200,000	N/A	N/A	N/A	180,000	N/A	N/A	N/A	1,880	N/A	N/A	N/A	38,100
Alumínio D*	200,000	<10,000	42,000	15,000	7,830	<10,000	11,000	<10,000	<1	<10,000	12,000	<10,000	6,540
Arsênio	10,000	N/A	N/A	N/A	1,090	N/A	N/A	N/A	1,100	N/A	N/A	N/A	<0,5
Arsênio D*	10,000	N/A	N/A	N/A	0,910	N/A	N/A	N/A	0,900	N/A	N/A	N/A	<0,5
Boro	500,000	N/A	N/A	N/A	236,000	N/A	N/A	N/A	69,200	N/A	N/A	N/A	144,000
Boro D*	500,000	N/A	N/A	N/A	101,000	N/A	N/A	N/A	63,500	N/A	N/A	N/A	130,000
Cloreto	250000,000	N/A	N/A	N/A	294000,000	N/A	N/A	N/A	261000,000	N/A	N/A	N/A	301000,000
Ferro	300,000	N/A	N/A	N/A	416,000	N/A	N/A	N/A	12,400	N/A	N/A	N/A	130,000
Ferro D*	300,000	551,000	1330,000	986,000	309,000	18,600	<10,000	<10,000	1,770	65,200	17,000	<10,000	16,900
Fluoreto	1500,000	640,000	<500,000	500,000	<500	650,000	250,000	570,000	569,000	510,000	630,000	500,000	527,000
Manganês	100,000	N/A	N/A	N/A	166,000	N/A	N/A	N/A	3,520	N/A	N/A	N/A	40,100
Manganês D*	100,000	230,000	248,000	204,000	148,000	<10,000	<10,000	<10,000	2,390	35,000	40,000	34,000	29,700
Sódio	200000,000	N/A	N/A	N/A	195000,000	N/A	N/A	N/A	106000,000	N/A	N/A	N/A	114000,000
Sódio D*	200000,000	252000,000	13400,000	175000,000	186000,000	79300,000	82100,000	82800,000	98500,000	109000,000	89400,000	123000,000	102000,000

Parâmetro	VMP CONAMA 396/2008	PC-07				PC-08				PC-09			
		01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23	01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23	01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23
SDT	1000000,000	N/A	N/A	N/A	1152000,000	N/A	N/A	N/A	1069000,000	N/A	N/A	N/A	1133000,000
Urânio	15,000	N/A	N/A	N/A	16,700	N/A	N/A	N/A	11,800	N/A	N/A	N/A	6,450
Urânio D*	15,000	<2,000	2,869	7,787	14,500	9,836	18,033	25,000	10,900	2,459	7,377	3,689	5,490

VMP: Valor Máximo Permitido – Resolução CONAMA 396/2008 – Uso preponderante de Consumo Humano. Valor em cinza: abaixo do Limite de Quantificação (LQ). Valor em vermelho: acima do VMP. N/A: não analisado. D: dissolvido.*

Quadro 11.1.12-39: Parâmetros Inorgânicos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Monitoramento PC - Unidade MC1

Parâmetro	VMP CONAMA 396/2008	PC-10				PC-11				PC-15			
		01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23	01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23	01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23
Alumínio	200,000	N/A	N/A	N/A	48,000	N/A	N/A	N/A	51,300	N/A	N/A	N/A	<1
Alumínio D*	200,000	32,000	15,000	25,000	8,240	<10,000	<10,000	31,000	4,280	131,000	76,000	<10,000	<1
Arsênio	10,000	N/A	N/A	N/A	<0,5	N/A	N/A	N/A	1,720	N/A	N/A	N/A	<0,5
Arsênio D*	10,000	N/A	N/A	N/A	<0,5	N/A	N/A	N/A	1,600	N/A	N/A	N/A	<0,5
Boro	500,000	N/A	N/A	N/A	114,000	N/A	N/A	N/A	921,000	N/A	N/A	N/A	73,600
Boro D*	500,000	N/A	N/A	N/A	110,000	N/A	N/A	N/A	855,000	N/A	N/A	N/A	71,100
Cloreto	250000,000	N/A	N/A	N/A	60500,000	N/A	N/A	N/A	147000,000	N/A	N/A	N/A	403000,000
Ferro	300,000	N/A	N/A	N/A	108,000	N/A	N/A	N/A	2690,000	N/A	N/A	N/A	77,700
Ferro D*	300,000	125,000	26,000	38,700	50,600	1660,000	212,000	1430,000	1940,000	1420,000	612,000	92,200	72,600
Fluoreto	1500,000	650,000	660,000	790,000	694,000	1580,000	1550,000	1480,000	1750,000	510,000	<500,000	590,000	560,000

Parâmetro	VMP CONAMA 396/2008	PC-10				PC-11				PC-15			
		01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23	01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23	01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23
Manganês	100,000	N/A	N/A	N/A	125,000	N/A	N/A	N/A	207,000	N/A	N/A	N/A	57,600
Manganês D*	100,000	188,000	31,000	85,000	121,000	178,000	162,000	164,000	196,000	105,000	171,000	63,000	54,400
Sódio	200000,000	N/A	N/A	N/A	41800,000	N/A	N/A	N/A	177000,000	N/A	N/A	N/A	126000,000
Sódio D*	200000,000	41000,000	48100,000	43300,000	40500,000	197000,000	192000,000	163000,000	159000,000	132000,000	148000,000	125000,000	115000,000
SDT	1000000,000	N/A	N/A	N/A	586000,000	N/A	N/A	N/A	1009000,000	N/A	N/A	N/A	1274000,000
Urânio	15,000	N/A	N/A	N/A	2,130	N/A	N/A	N/A	5,740	N/A	N/A	N/A	2,440
Urânio D*	15,000	<2,000	2,459	2,049	2,100	18,443	4,508	<2,000	2,320	6,148	3,279	11,066	1,990

VMP: Valor Máximo Permitido – Resolução CONAMA 396/2008 – Uso preponderante de Consumo Humano. Valor em cinza: abaixo do Limite de Quantificação (LQ). Valor em vermelho: acima do VMP. N/A: não analisado. D: dissolvido.*

Quadro 11.1.12-40: Parâmetros Inorgânicos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) - Poços de Monitoramento PC - Unidade MC1

Parâmetro	VMP CONAMA 396/2008	PC-18			
		01-PMRA-PO Nov/22	02-PMRA-PO Fev/23	03-PMRA-PO Mar/23	Mérieux-01/23
Alumínio	200,000	N/A	N/A	N/A	27,300
Alumínio D*	200,000	<10,000	11,000	77,000	<1
Arsênio	10,000	N/A	N/A	N/A	<0,5
Arsênio D*	10,000	N/A	N/A	N/A	<0,5
Boro	500,000	N/A	N/A	N/A	211,000
Boro D*	500,000	N/A	N/A	N/A	208,000
Cloreto	250000,000	N/A	N/A	N/A	601000,000
Ferro	300,000	N/A	N/A	N/A	40,000
Ferro D*	300,000	21,100	<10,000	157,000	2,680
Fluoreto	1500,000	560,000	<500,000	710,000	610,000
Manganês	100,000	N/A	N/A	N/A	317,000
Manganês D*	100,000	123,000	321,000	439,000	290,000
Sódio	200000,000	N/A	N/A	N/A	265000,000
Sódio D*	200000,000	191000,000	170000,000	232000,000	264000,000
SDT	1000000,000	N/A	N/A	N/A	1774000,000
Urânio	15,000	N/A	N/A	N/A	3,180
Urânio D*	15,000	3,689	3,689	17,623	2,860

VMP: Valor Máximo Permitido - Resolução CONAMA 396/2008 - Uso preponderante de Consumo Humano. Valor em cinza: abaixo do Limite de Quantificação (LQ). Valor em vermelho: acima do VMP. N/A: não analisado. D: dissolvido.*

Os sólidos dissolvidos totais, por ser um parâmetro que representa a concentração total de íons dissolvidos presentes nas águas, é natural a sua quantificação em todas as amostras analisadas, bem como são esperadas concentrações de SDT acima do VMP CONAMA 396/2008 (Consumo Humano) de 1.000.000 µg/L, como ocorreu em sete das 10 amostras (70%) da unidade MS-1 e em número igual da unidade MC-1 nas campanhas atuais, de 2022 e 2023. Anteriormente, SDT foi quantificado acima do VMP CONAMA 396/2008 em sete das 12 amostras (58%) da unidade MC-1 e em duas das 12 amostras (17%) da unidade MS-1 nas campanhas de 2011 e 2021.

Em relação aos parâmetros inorgânicos analisados nas duas fases, total e dissolvida, vale ressaltar que as concentrações nas amostras não filtradas para análises das frações total, podem representar falsos positivos relacionados a presença de turbidez na água; enquanto a utilização de filtração 0,45µm para a amostragem da fase dissolvida, como adotado na presente amostragem, elimina as partículas sólidas presentes na água,

produzindo resultados mais representativos da hidroquímica da água subterrânea sem interferência de particulados sólidos.

A realização das análises nas duas fases (total e dissolvida) é importante para avaliar as condições hidroquímicas do meio. De um modo geral, amostras representativas das águas subterrâneas devem apresentar uma turbidez baixa, uma vez que a representatividade de fluxos subterrâneos é do tipo laminar (sem turbulência) com turbidez incipiente devido à baixa energia do meio, que resultam em concentrações na fase dissolvida e total próximas, com leve tendência de superioridade na fase total.

As alterações dos padrões de qualidade em relação ao alumínio, ferro e manganês são mais marcantes na Unidade Aquífera MS-1, que apresenta maior frequência de concentrações acima dos VMP, assim como maiores concentrações de maneira geral, incluindo maiores valores de SDT.

As campanhas de monitoramento de 2011 e 2021, realizadas nos poços “PC” não apontaram concentrações de alumínio na forma dissolvida acima do VMP CONAMA 396/2008. Já as campanhas de 2022 e 2023, realizadas nos novos poços “PC”, apontaram apenas uma amostra do total de 40 amostras analisadas (2,5%) na unidade MC-1 (PC-21) com concentração acima de seu VMP. Nessa unidade foi verificada a ocorrência de alumínio dissolvido na água subterrânea em concentração de 204 µg/L, pouco acima do VMP CONAMA 396/2008 de 200 µg/L, apesar do alumínio ser quantificado com frequência em todas as campanhas de amostragem.

Por outro lado, foram quantificadas concentrações de ferro acima do valor de referência nas campanhas de 2022 e 2023, tanto na forma total como na forma dissolvida, cuja origem remete a ocorrência natural, pela distribuição e alternâncias de concentrações entre as campanhas. A média das concentrações de ferro dissolvido nas águas subterrâneas da unidade MS-1 é de 1.192 µg/L, superior às médias obtidas na unidade MC-1, de 410,98 µg/L. Na forma dissolvida, o ferro foi quantificado acima do VMP em 17 amostras de 34 quantificadas (50%) na unidade MS-1 e em 13 de 36 amostras quantificadas (36%) na unidade MC-1.

As alterações de padrões de qualidade para manganês dissolvido ocorrem nas duas unidades, MS-1 e MC-1, sendo que a unidade MS-1 apresenta a maior frequência, 32 amostras acima do VMP de 37 quantificadas (86,4%) enquanto a unidade MC-1 apresenta de 24 amostras acima do VMP de 40 quantificadas (60%). O valor médio das concentrações da unidade MS-1 é de 576,8 µg/L, cerca de três vezes maior que a média das concentrações da unidade MC-1, de 186,6 µg/L. O VMP CONAMA 396/2008 para manganês é 100 µg/L. Estas

ocorrências também sugerem origem natural, pela distribuição, frequência e valores obtidos.

A ocorrência de níquel total acima do VMP CONAMA 396/2008, identificada exclusivamente na unidade MS1, apenas na primeira campanha de junho de 2011 no PM-03, não se confirmou na análise de níquel dissolvido realizada na mesma campanha nas amostras de outros poços e nem nas campanhas posteriores, desde abril de 2011 a julho de 2023. Vale lembrar que o níquel não foi avaliado nas amostras coletadas no âmbito do PMRA-PO.

O parâmetro nitrato, identificado exclusivamente na unidade MS1 acima do VMP CONAMA 396/2008 na amostra proveniente do PM-03 apenas na primeira campanha de junho de 2011, e não se confirmou nas campanhas posteriores neste e nos demais pontos (PM) em todas as campanhas, incluindo a campanha atual de julho de 2023 realizada nos poços “PC”. Vale destacar que o nitrato não foi avaliado no âmbito do PMRA-PO (campanhas de novembro de 2022 e fevereiro e março de 2023).

O fluoreto foi quantificado acima do VMP CONAMA 396/2008 apenas nas amostras do poço PC-11 da MC1 e do poço PC-21 da MS1, apesar de ocorrer com frequência. Nas campanhas anteriores, de 2011 a 2021, o fluoreto não foi quantificado acima do VMP CONAMA 396/2008.

Nas duas unidades aquíferas ocorreram, em campanhas anteriores de 2011 a 2021, concentrações de cloreto acima do VMP CONAMA 396/2008, em maior frequência na unidade MC-1, que também apresentou as concentrações mais elevadas para este parâmetro quando comparados com os resultados analíticos para a unidade MS-1. Na campanha de julho de 2023 (o parâmetro não foi avaliado nas campanhas de novembro de 2022 a março de 2023 do PMRA-PO), o cloreto foi quantificado acima do VMP CONAMA 396/2008 em oito das 10 amostras nas quais ele foi quantificado na unidade MS-1 e em sete das 10 amostras nas quais ele foi quantificado na unidade MC-1. Diante disso, verifica-se que os resultados de cloretos mostram uma frequência de ocorrência em 100% das análises nas unidades hidrogeológicas MS-1 e MC-1.

O sódio dissolvido tem 100% de frequência de ocorrência em todas as amostras provenientes das duas Unidades Aquíferas, em todos os monitoramentos (2011, 2021, 2022 e 2023) tanto na fração total quanto na dissolvida em todos os poços (PM, PC e SQ). De forma geral, quando quantificado na fração total em concentração acima do VMP CONAMA 396/2008, também foi quantificado acima do VMP na fração dissolvida.

As campanhas realizadas em 2011 e 2021 não demonstraram a ocorrência de sódio dissolvido acima do VMP CONAMA 396/2008 nos seis poços “PM" na unidade MS-1, porém, as campanhas dos novos poços “PC” de 2022 e 2023, o sódio dissolvido foi quantificado acima do VMP CONAMA 396/2008 na unidade MS-1 em 12 das 40 amostras (30%) coletadas. Já na unidade MC-1, as campanhas realizadas em 2011 e 2021 demonstraram a ocorrência de sódio dissolvido acima do VMP CONAMA 396/2008 em quatro das 12 amostras (3,33%) e em sete de 40 amostras (17.5%) coletadas nas campanhas de 2022 e 2023 a partir dos novos poços "PC". Assim, observa-se que sódio apresenta as maiores concentrações na unidade MC1.

Nas campanhas de 2011 e 2021, não foram quantificadas concentrações de sulfato acima do VMP CONAMA 396/2008. Já nas campanhas de 2022 e 2023, sulfato foi quantificado acima do VMP CONAMA 396/2008 para consumo humano na unidade MS-1 em quatro das 40 amostras (10%), enquanto na unidade MC-1 nenhuma amostra apresentou concentração acima do VMP.

A anomalia de índice de fenóis identificada no PM-03 (MS1) na 5ª campanha (novembro/2020), em concentração de 5,0 µg/L acima, do valor de referência de 3,0 µg/L, se confirmou em fevereiro de 2021 e não se confirmou nas demais campanhas até a de julho de 2023.

Os resultados de coliformes termotolerantes e *E.coli*, da atual campanha realizada nos poços “PC” no monitoramento de julho de 2023 (não foi analisado no âmbito do PMRA-PO) não apresentam alterações de padrões de qualidade (ausentes).

A.7. Resultados desenquadrados dos VMPs – Campanhas de 2022 e 2023 – SQs

Os poços de abastecimento “SQ” não foram amostrados fora do âmbito do PMRA-PO, na campanha da tetra+/Mérieux de julho de 2023. A escolha de parâmetros e poços “SQ” foi específica para o PMRA-PO (que envolve diferentes matrizes ambientais) e por este motivo tem seu escopo reduzido. Estes poços apresentam grande distância entre si com os poços SQ-07, SQ-09, SQ-11 e SQ-12 instalados fora da AII, com o poço SQ-08 fora da AID e os poços SQ-01, SQ-03, SQ-04 e SQ-06 fora da ADA.

Foram coletadas amostras dos nove poços de abastecimento “SQ” em três campanhas realizadas no âmbito do PMRA-PO, para a análise de 10 parâmetros. Dentre eles, os parâmetros a seguir apresentaram, quando quantificados, concentrações inferiores aos seus respectivos VMP CONAMA 396/2008:

- Alumínio
- Cálcio

- Fosfato
- Magnésio

Os seis parâmetros que apresentaram concentrações acima dos VMPs da resolução CONAMA 396/2008 nas amostras coletadas a partir dos poços “SQ” são apresentados a seguir, do Quadro 11.1.12-41 ao Quadro 11.1.12-43. Os resultados analíticos das amostras de água subterrânea são apresentados no Volume V - Anexos 11.1.12-4.

Quadro 11.1.12-41: Parâmetros Inorgânicos dissolvidos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Abastecimento – SQ

Parâmetro	Poço	SQ-01			SQ-03			SQ-04		
	VMP 396	01-PMRA-PO	02-PMRA-PO	03-PMRA-PO	01-PMRA-PO	02-PMRA-PO	03-PMRA-PO	01-PMRA-PO	02-PMRA-PO	03-PMRA-PO
Ferro	300,000	17,400	<10,000	<10,000	<10,000	20,000	<10,000	50,700	32,000	<10,000
Fluoreto	1500,000	970,000	470,000	870,000	<500,000	<500,000	<500,000	740,000	580,000	780,000
Manganês	100,000	<10,000	<10,000	<10,000	18,000	13,000	11,000	54,000	44,000	<10,000
Sódio	200000,000	140000,000	135000,000	125000,000	311000,000	287000,000	303000,000	104000,000	90800,000	108000,000
Sulfato	250000,000	81000,000	74000,000	84600,000	310000,000	316000,000	272000,000	115000,000	120000,000	51000,000
Urânio Natural	15,000	4,508	3,279	<2,000	11,475	2,459	2,049	9,016	<2,000	9,016

VMP: Valor Máximo Permitido – Resolução CONAMA 396/2008 – Uso preponderante de Consumo Humano. Valor em cinza: abaixo do Limite de Quantificação (LQ). Valor em vermelho: acima do VMP. N/A: não analisado.

Quadro 11.1.12-42: Parâmetros Inorgânicos dissolvidos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Abastecimento – SQ

Parâmetro	Poço	SQ-06			SQ-07			SQ-08		
	VMP 396	01-PMRA-PO	02-PMRA-PO	03-PMRA-PO	01-PMRA-PO	02-PMRA-PO	03-PMRA-PO	01-PMRA-PO	02-PMRA-PO	03-PMRA-PO
Ferro	300,000	456,000	137,000	40,000	10,500	N/A	<10,000	<10,000	N/A	<10,000
Fluoreto	1500,000	890,000	780,000	660,000	<250,000	N/A	280,000	1380,000	N/A	1290,000
Manganês	100,000	53,000	38,000	<10,000	<10,000	N/A	10,000	20,000	N/A	<10,000
Sódio	200000,000	247000,000	200000,000	213000,000	174000,000	N/A	250000,000	215000,000	N/A	251000,000
Sulfato	250000,000	179000,000	203000,000	180000,000	90900,000	N/A	134000,000	34000,000	N/A	65300,000
Urânio Natural	15,000	<2,000	2,869	<2,000	17,213	N/A	10,656	16,803	N/A	2,049

VMP: Valor Máximo Permitido – Resolução CONAMA 396/2008 – Uso preponderante de Consumo Humano. Valor em cinza: abaixo do Limite de Quantificação (LQ). Valor em vermelho: acima do VMP. N/A: não analisado.

Quadro 11.1.12-43: Parâmetros inorgânicos dissolvidos Acima dos VMPs na Água Subterrânea (µg/L) – Poços de Abastecimento – SQ

Parâmetro	Poço	SQ-09			SQ-11			SQ-12		
	VMP 396	01-PMRA-PO	02-PMRA-PO	03-PMRA-PO	01-PMRA-PO	02-PMRA-PO	03-PMRA-PO	01-PMRA-PO	02-PMRA-PO	03-PMRA-PO
Ferro	300,000	16,300	N/A	46,000	513,000	N/A	38,200	<10,000	N/A	26,100
Fluoreto	1500,000	1480,000	N/A	1210,000	1870,000	N/A	1530,000	2180,000	N/A	2240,000
Manganês	100,000	11,000	N/A	<10,000	<10,000	N/A	49,000	66,000	N/A	130,000
Sódio	200000,000	231000,000	N/A	246000,000	344000,000	N/A	402000,000	198000,000	N/A	154000,000
Sulfato	250000,000	111000,000	N/A	94300,000	309000,000	N/A	353000,000	243000,000	N/A	204000,000
Urânio Natural	15,000	<2,000	N/A	14,344	<2,000	N/A	24,180	35,656	N/A	40,164

VMP: Valor Máximo Permitido – Resolução CONAMA 396/2008 – Uso preponderante de Consumo Humano. Valor em cinza: abaixo do Limite de Quantificação (LQ). Valor em vermelho: acima do VMP. N/A: não analisado.

Os poços de abastecimento “SQ” foram amostrados apenas nas campanhas realizadas no âmbito do PMRA-PO, em novembro de 2022, fevereiro de 2023 e março de 2023, e não foram amostrados na campanha de julho de 2023 (Tetra Mais/Mérieux).

Foram quantificadas concentrações de ferro dissolvido acima do VMP CONAMA 396/2008 (padrão organoléptico) nas amostras dos poços SQ-06 e SQ-11 apenas na campanha de novembro de 2022. Nas demais campanhas o ferro não foi quantificado acima do VMP CONAMA 396/2008 em nenhuma outra amostra.

O fluoreto foi quantificado acima do VMP CONAMA 396/2008 apenas nas amostras dos SQ-11 e SQ-12, nas campanhas de novembro e março de 2023 (estes poços não foram amostrados em fevereiro de 2023) realizadas no âmbito do PMRA-PO.

Manganês foi quantificado acima do VMP CONAMA 396/2008 (padrão organoléptico) apenas na amostra do poço SQ-12 coletada em março de 2023. Nenhuma outra amostra ao longo das três campanhas realizadas apresentou concentração de manganês acima do VMP CONAMA 396/2008.

Sódio foi quantificado em todas as três campanhas realizadas no âmbito do PMRA-PO em 100% das amostras analisadas dos poços “SQ”. Nas amostras dos poços SQ-03, SQ-06, SQ-08, SQ-09 e SQ-11 o parâmetro foi quantificado acima do VMP CONAMA 396/2008 (padrão organoléptico) em todas as amostras coletadas e no poço SQ-07, apenas a amostra coletada em março de 2023 ultrapassou o VMP CONAMA 396/2008. Nos demais poços, SQ-01, SQ-04 e SQ-12, apesar de quantificado, as concentrações não ultrapassaram o VMP CONAMA 396/2008.

Sulfato foi quantificado nos poços de abastecimento (SQ) em cinco das 22 amostras (22,7%) coletadas nas três campanhas do PMRA-PO em concentração superior ao VMP CONAMA 396/2008 (padrão organoléptico). Estas amostras que ultrapassaram o VMP citado são relativas aos poços SQ-03 e SQ-11. Este parâmetro foi quantificado em 100% das amostras analisadas sugerindo ser uma ocorrência natural.

Urânio Natural foi quantificado em 16 das 22 amostras (73%) analisadas sendo que em cinco amostras provenientes dos poços SQ-07 (nov/22), SQ-08 (nov/22), SQ-11 (mar/23) e SQ-12 (nov/22 e mar/23) ele foi quantificado acima do VMP CONAMA 396/2008.

B. Valores Basais de Qualidade das Águas Subterrâneas AID/ADA

A qualidade da água subterrânea é influenciada, principalmente, pelas características do solo, litotipos e processos geoquímicos do meio onde está inserida. As assinaturas

geoquímicas naturais são diretamente influenciadas pela natureza das rochas e solos que constituem o aquífero, e podem naturalmente apresentar elementos e compostos em concentrações acima dos limites permissíveis para o consumo, como é o caso das concentrações de Sólidos Dissolvidos Totais apresentadas no contexto da AII.

Deste modo, a definição dos valores basais das substâncias químicas de interesse nas águas subterrâneas, foi fundamentado nos resultados analíticos das amostras de água dos poços de monitoramento (PM e PC), e do poço INB, considerando também os resultados analíticos das amostras de solo por onde a água permeia, e em análises petrográficas e das ocorrências minerais no entorno (AID e ADA) com as quais as águas subterrâneas entram em contato.

Os resultados analíticos não quantificados (Quadro 11.1.12-26, Quadro 11.1.12-28 e Quadro 11.1.12-29) apresentados anteriormente são parâmetros ausentes ou em tão baixa concentração, que não permitem sua detecção pelas análises laboratoriais. Estes resultados se referem principalmente a Compostos Orgânicos e Agrotóxicos. Deste modo, o padrão basal para estes compostos é a não quantificação, e no caso dos compostos quantificados, ficam mantidos os padrões legais como padrões de qualidade ambiental, que após a implantação da Unidade Minero-Industrial e unidade de Urânio, é recomendável realizar a comparação com os valores de referência da Resolução CONAMA nº420/2009 que estabelece os valores de referência para solos e águas subterrâneas em áreas contaminadas a partir de atividades antrópicas e prevê o uso e ocupação industrial da área.

Os compostos quantificados em concentrações que se enquadram nos padrões de qualidade da Resolução CONAMA 396/2008, com frequência, sugerem se tratar de concentrações naturais basais da região.

As substâncias químicas de interesse identificadas neste estudo se referem às substâncias presentes na água subterrânea antes da implantação do empreendimento, o que caracteriza a assinatura hidroquímica natural dos valores basais das unidades hidrogeológicas MS1 e MC1, exceto para parâmetros microbiológicos referentes a fezes de animais presentes na área, considerando os resultados analíticos apresentados no capítulo anterior.

Assim, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 em seu capítulo III, artigo 8º, as águas das Unidades Hidrogeológicas MS1 e MC1 podem ser enquadradas na Classe 2, pois "apresentam, em pelo menos um dos parâmetros, Valor de Referência de Qualidade-VRQ superior ao seu respectivo Valor Máximo Permitido mais Restritivo-VMPr + dos usos preponderantes". Esta Resolução ainda, e seu capítulo II (Classificação das Águas Subterrâneas) define como Classe 2 as "águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção

desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímica".

A seguir são apresentadas as considerações sobre os valores basais para estas substâncias químicas de interesse identificadas.

B.1. Sólidos Dissolvidos Totais - SDT

As águas subterrâneas de regiões quentes e áridas costumam apresentar problemas com salinidade elevada. O alto índice de evaporação e a baixa pluviometria favorecem a concentração dos sais, fazendo aumentar a salinidade das águas dessas regiões (Lima, confirm2013). As concentrações de SDT identificadas nos resultados analíticos estão coerentes com a média regional (COGERH, 2022) comentado no item 11.1.12.2 Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII).

O parâmetro de sólidos dissolvidos totais (SDT) refere-se à concentração total de íons dissolvidos presentes nas águas. Na rede de monitoramento, as concentrações de SDT obtidas são resumidas no Quadro 11.1.12-44.

Quadro 11.1.12-44: Concentrações mínima, máxima e média de sólidos dissolvidos totais na Água Subterrânea (µg/L).

Unidade Hidrogeológica	Campanha	Mínima (µg/L)	Máxima (µg/L)	Média (µg/L)
MS-1	2011 e 2021	380.000	1.211.000	739.833
	2022 e 2023	567.000	5.672.000	1.982.000
MC-1	2011 e 2021	567.000	2.243.000	1.257.417
	2022 e 2023	586.000	1.774.000	1.115.600
Poços de abastecimento	2022 e 2023	N/A	N/A	N/A

Fonte: BTB Explorers. MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática. N/A: não analisado.

Como apresentado anteriormente, concentrações acima do VMP CONAMA 396/2008 (Consumo Humano) de 1.000.000 µg/L foram quantificadas em sete das 12 amostras (58%) da unidade MC-1 e em duas das 12 amostras (17%) da unidade MS-1 nas campanhas de 2011 e 2021 (poços PM); e em sete das 10 amostras (70%) da unidade MS-1 e em número igual da unidade MC-1 nas campanhas atuais, de 2022 e 2023 (poços PC).

Não foi identificado um padrão de ocorrência, pois nas campanhas de 2011 e 2021 a unidade MC1 apresentou a maior média de valores e nas campanhas atuais de 2022 e 2023 a unidade MS1 é que apresenta a maior média de concentração. A continuidade das campanhas de monitoramento nos novos poços PC, pode auxiliar no entendimento do padrão local de ocorrência de SDT.

Foi possível aplicar a análise estatística da tendência das concentrações de SDT apenas aos poços amostrados nas campanhas de 2011 a 2021 (poços PM). Nos demais poços, PM-03, PM-06, PC e SQ, não foram obtidos dados em quantidade suficiente para permitir a análise estatística das tendências das concentrações de SDT, devido ao número limitado de campanhas que o parâmetro foi analisado (inferior a quatro) nesses pontos.

O Quadro 11.1.12-45 a seguir resume os resultados, cujas planilhas de saída se encontram no Volume V - Anexos 11.1.12-4.

Quadro 11.1.12-45: Campanhas 2011 e 2021 – Concentrações de SDT.

Tendência	Unidade Hidrogeológica MS-1	Unidade Hidrogeológica MC-1		
	PM-05	PM-07	PM-09	PM-10
Crescendo				X
Provavelmente crescendo				
Estável				
Provavelmente decrescendo				
Decrescendo	X			
Sem tendência		X	X	
Não analisado				

Fonte: BTB Explorers. MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

A Figura 11.1-274 a Figura 11.1-277 a seguir, apresentam as ocorrências de SDT na água subterrânea obtidas nas amostras coletadas nos poços PM (campanhas de 2011 e 2021) e PC (campanhas de 2022 e 2023), das unidades MS-1 e MC-1.

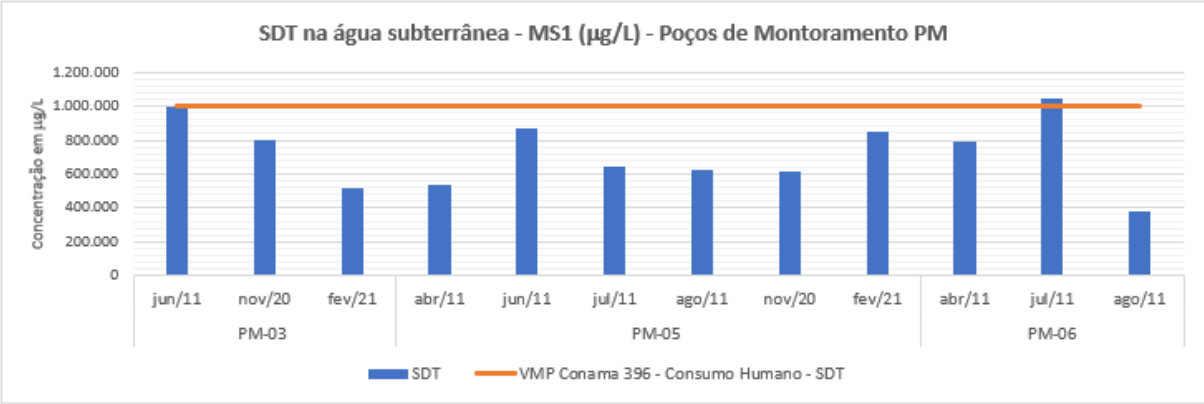


Figura 11.1-274: STD na água subterrânea – MS1 (mg/L) – Poços de Monitoramento PM.

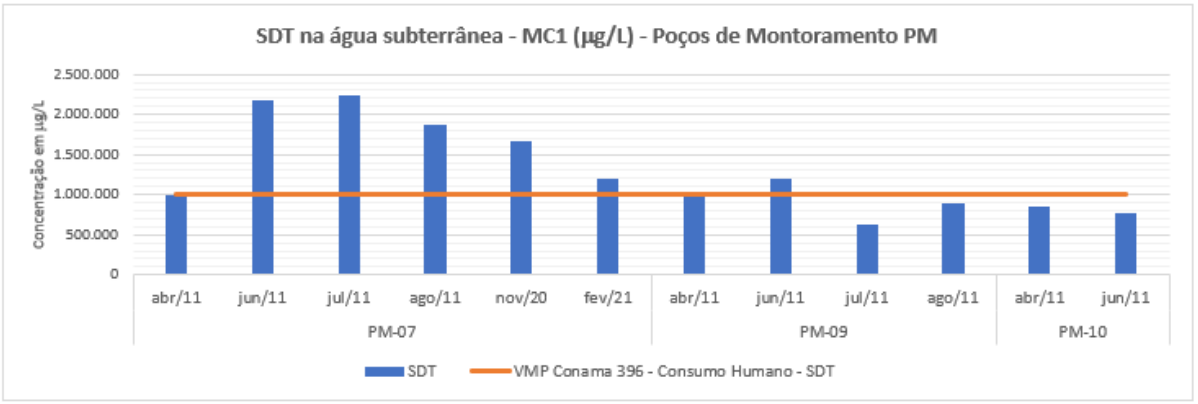


Figura 11.1-275: STD na água subterrânea – MC1 (mg/L) – Poços de Monitoramento PM.

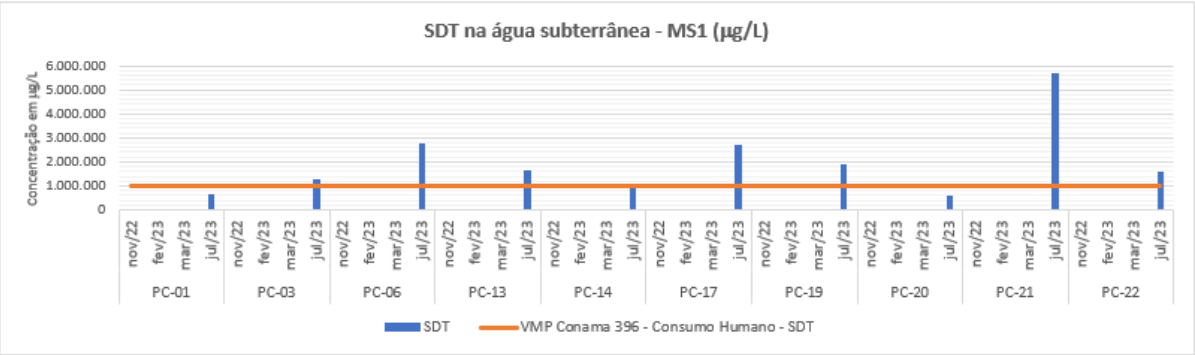


Figura 11.1-276: SDT na água subterrânea - MS1 (mg/L).

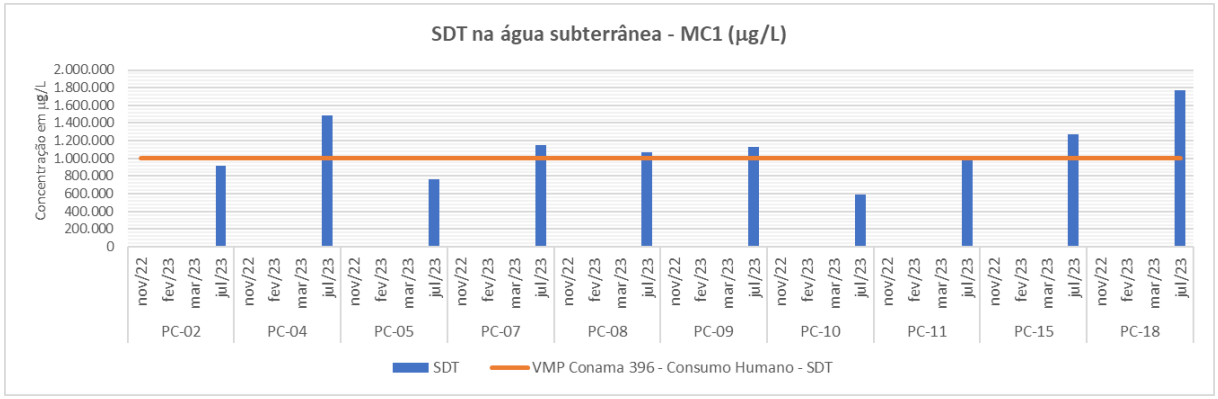


Figura 11.1-277: SDT na água subterrânea - MC1 (mg/L).

As elevadas concentrações podem ser influenciadas pelas concentrações de Sulfatos, Sulfetos, Cloretos e Metais Dissolvidos. Entre os principais íons de fontes naturais que influenciam o parâmetro SDT estão:

- Cálcio (Ca_2^+) amplamente distribuído em rochas e solos, proveniente de diversas fontes geológicas, como exemplo anortita ($CaAl_2Si_2O_8$) e calcita ($CaCO_3$);
- Magnésio (Mg_2^+) que tem como mineral fonte a biotita [$K(Mg, Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$];
- Potássio (K^+) que devido à sua intensa participação em processos de troca iônica, da facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila, e de seus sais absorvidos por vegetais, possui normalmente concentrações mais baixas nas águas quando comparadas com as de cálcio e de magnésio, e que possui como minerais fontes os feldspatos potássicos, como microclina ($KAlSi_3O_8$) e o ortoclásio;
- Sódio (Na^+) possui ampla distribuição em minerais fontes, solubilidade elevada e difícil precipitação dos seus compostos químicos em solução.

Os principais ânions que ocorrem naturalmente em águas subterrâneas e influenciam o parâmetro SDT são:

- Cloretos (Cl^-) que são solúveis e estáveis em solução e dificilmente formam precipitados, que pode ter como minerais fontes de cloro a halita (NaCl) e silvita (KCl);
- Sulfatos (SO_{42}^-) nas águas estão relacionados à oxidação de sulfetos nas rochas e à lixiviação de compostos sulfatados como gipsita e anidrita;
- Bicarbonatos (HCO_3^-) podem precipitar com certa facilidade como bicarbonato de cálcio ($CaCO_3$), mas estes íons não sofrem oxidação e nem redução nas águas naturais.

B.2. Cloreto

Considerado um dos maiores responsáveis pela salinidade de uma água, o ânion Cl^- está presente em todas as águas naturais, com valores de concentração situados entre 10.000 e 250.000 µg/L nas águas doces. As águas subterrâneas apresentam geralmente teores de cloretos inferiores a 100 mg/L (Loilola, 2012).

Os sais de Cl^-, em geral, são muito solúveis e muito estáveis em solução e, por isso, dificilmente precipitam. Não oxidam e nem se reduzem. Entretanto, em concentrações acima de 40.000 µg/L, podem facilmente precipitar, dependendo do índice de saturação do sal a ser formado (Lima, 2013).

Naturalmente presente nas águas subterrâneas, originado pela percolação da água através de solos e rochas; também pode ter origem em atividades antrópicas, como descargas de esgotos sanitários.

O cloreto não apresenta toxicidade ao ser humano, exceto no caso da deficiência no metabolismo de cloreto de sódio, por exemplo, na insuficiência cardíaca congestiva (CETESB, 2014). A concentração de cloreto em águas de abastecimento humano constitui um padrão de aceitação, já que provoca sabor "salgado" na água. Concentrações acima de 250.000 µg/L causam sabor detectável na água, mas o limite depende dos cátions associados. No caso do cloreto de cálcio, o sabor só é perceptível em concentrações acima de 1.000.000 µg/L.

Os resultados de cloretos indicam uma frequência de ocorrência em 100% das análises, com as seguintes concentrações mostradas no Quadro 11.1.12-46.

Quadro 11.1.12-46: Concentrações mínima, máxima e média de Cloretos na Água Subterrânea.

Unidade Hidrogeológica	Campanha	Mínima (µg/L)	Máxima (µg/L)	Média (µg/L)
MS-1	2011 e 2021	56.900	430.700	159.844
	2022 e 2023	28.500	2.180.000	615.960
MC-1	2011 e 2021	22.920	710.100	340.688
	2022 e 2023	60.500	601.000	294.930
Poços de abastecimento	2022 e 2023	N/A	N/A	N/A

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática. N/A: não analisado.

Fonte: BTB Explorers.

As concentrações médias de cloretos de na Unidade Hidrogeológica MS1 foram maiores nas campanhas de 2022 e 2023 (poços PC) com concentração de 615.960 µg/L, e na Unidade Hidrogeológica MC-1 foram maiores nas campanhas de 2011 e 2021 (poços PM) com concentração de em 340.688 µg/L. Na Unidade MS1, apenas a amostra do PM-06 coletada em 2011 ultrapassou o VMP CONAMA 396/2008, e na Unidade MC1 as amostras do poço PM-

07 coletadas em 2011 e 2021 apresentaram concentração superior ao VMP CONAMA 396/2008.

Foi possível aplicar a análise estatística da tendência das concentrações de cloreto apenas aos poços amostrados nas campanhas de 2011 a 2021 (poços PM) à exceção dos poços PM-03 e PM-06 que não apresentaram campanhas analíticas suficientes (consultar as planilhas de saída da estatística no Anexos 11.1.12-6). Nas demais campanhas, não foram obtidos dados suficientes para que a análise estatística da tendência das concentrações de cloreto nos poços PC (campanhas de 2022 e 2023) e SQ (não analisado) seja realizada, devido a quantidade de campanhas que o parâmetro foi analisado (mínimo de quatro).

O Quadro 11.1.12-47 a seguir resume a análise estatística da tendência das concentrações de cloretos, cujas planilhas de saída se encontram no Volume V - Anexos 11.1.12-6.

Quadro 11.1.12-47: Resumo dos resultados da análise estatística para Cloretos.

Campanhas 2011 e 2021 - Concentrações de cloreto				
Tendência	**Unidade Hidrogeológica MS-1**	**Unidade Hidrogeológica MC-1**		
	PM-05	PM-07	PM-09	PM-10
Crescendo				
Provavelmente crescendo				
Estável	X		X	
Provavelmente decrescendo				
Decrescendo		X		
Sem tendência				X
Não analisado				

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

Da Figura 11.1-278 até a Figura 11.1-281 estão ilustradas a ocorrência de cloreto na água subterrânea da MS-1 e MC-01.

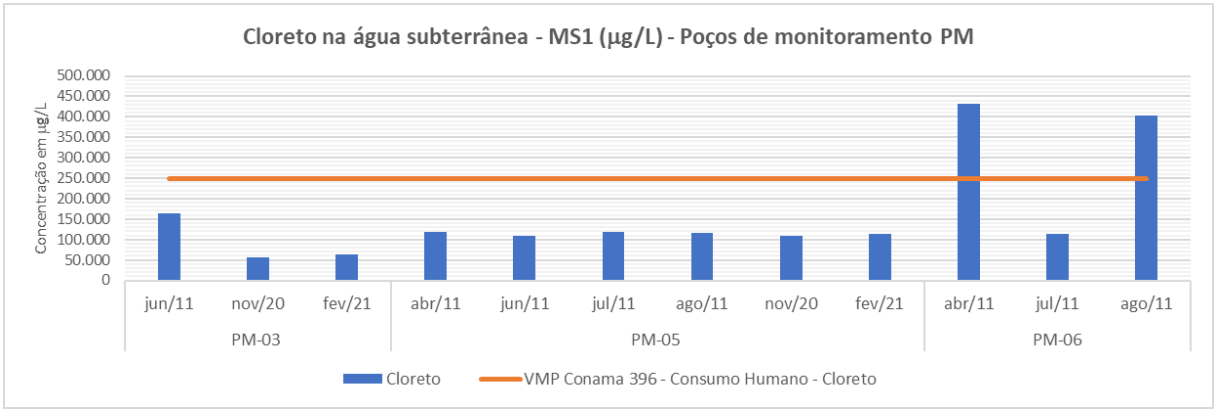


Figura 11.1-278: Cloreto na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM.

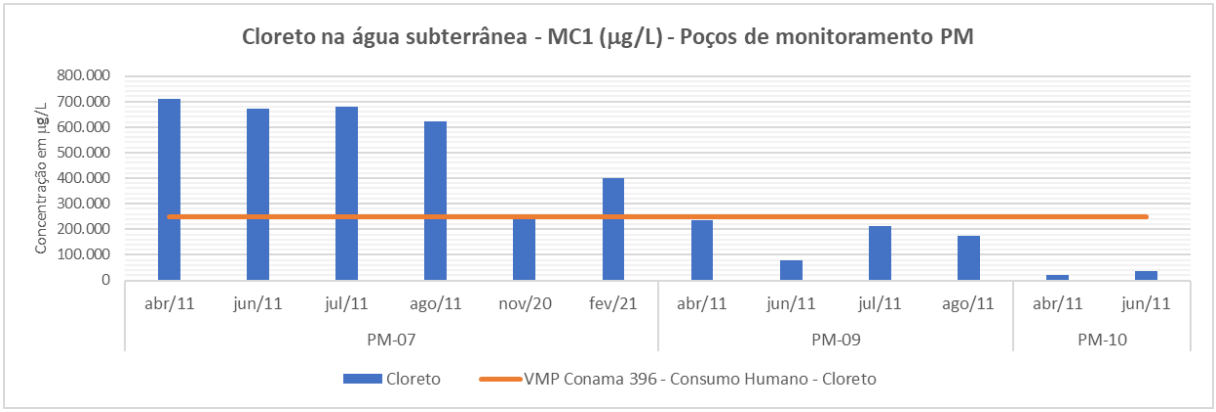


Figura 11.1-279: Cloreto na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM.

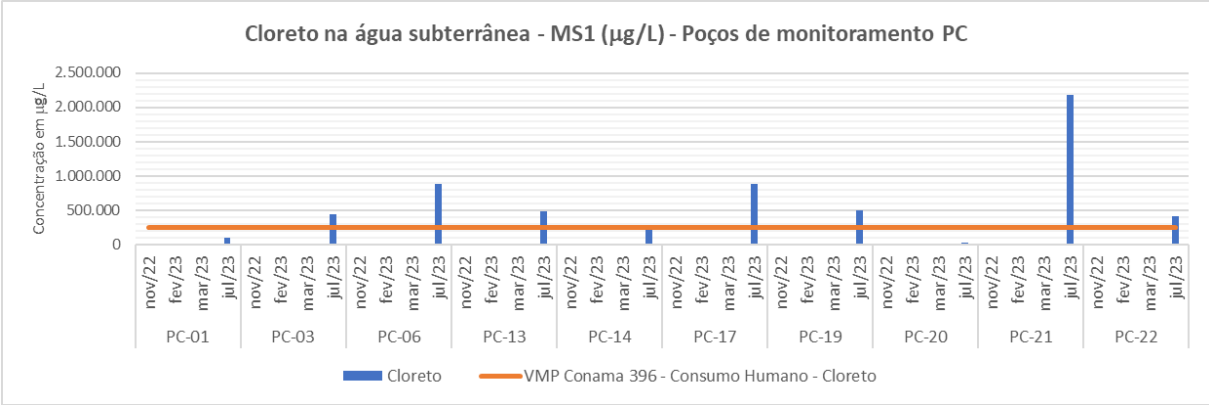


Figura 11.1-280: Cloreto na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

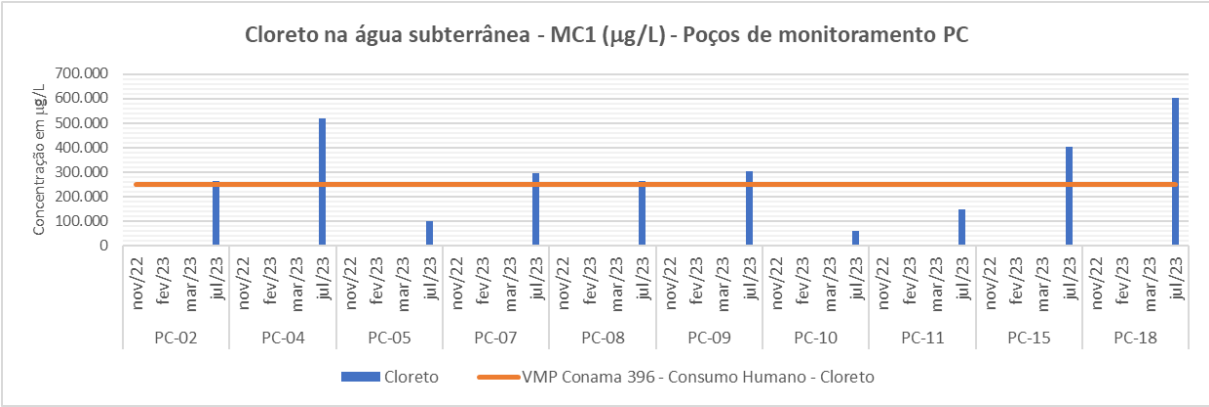


Figura 11.1-281: Cloreto na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

B.3. Nitrato

Na natureza, os vegetais utilizam nitrato como um nutriente essencial; no corpo humano, nitrato e nitrito estão presentes em todos os órgãos, participando de várias reações. A principal via de exposição humana ao nitrato e ao nitrito ocorre pela ingestão de alimentos e água. O ingresso de altas concentrações de nitrato no corpo humano (intoxicação), que não se observa neste estudo, podem oxidar a hemoglobina para metemoglobina, causando diminuição do transporte de oxigênio para os tecidos, diminuição da pressão arterial, aumento do batimento cardíaco, dor de cabeça, cólica abdominal, vômito e até mesmo a morte. Em bebês, os baixos níveis de oxigênio no sangue podem conferir uma coloração azulada na pele, principalmente dos pés, mãos, rosto e lábios, além dos efeitos já descritos (CETESB, 2022).

As únicas potenciais fontes desta anomalia existentes na área, estão relacionadas a dejetos de animais de criação. Os esgotos sanitários (usualmente tratados em zona rural com uso de fossas rudimentares) constituem, em geral, a principal fonte de nitrogênio, devido à presença de proteínas e pela hidrólise da urina na água. O Quadro 11.1.12-48 apresenta um resumo das concentrações de nitrato na água subterrânea.

Quadro 11.1.12-48: Concentrações mínima, máxima e média de Nitrato na Água Subterrânea.

Unidade Hidrogeológica	Campanha	Mínima (µg/L)	Máxima (µg/L)	Média (µg/L)
MS-1	2011 e 2021	119	16.300	3.608
	2022 e 2023	150	8.960	5.277
MC-1	2011 e 2021	547	6.600	3.077
	2022 e 2023	110	3.960	1.144
Poços de abastecimento	2022 e 2023	N/A	N/A	N/A

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática. N/A: não analisado.

Fonte: BTB Explorers.

O Nitrato foi quantificado em 25 das 30 amostras de água subterrânea nas campanhas de 2011 e 2021 (poços PM) e se apresentou desenquadrado dos padrões de qualidade por estar em concentração de 16.300 µg/L, acima do VMP de 10.000 µg/L (CONAMA 396/2208),

em uma única amostra na unidade MS-1 proveniente do PM-03, coletada na campanha de junho de 2011. Esta ocorrência não se confirmou nas demais campanhas de amostragem.

Na campanha de 2023 realizada nos poços “PC" (Tetra Mais/CPEA/Mérieux), nitrato foi quantificado em 3 de 10 amostras (30%) na unidade MS-1 e em 7 (de 10) amostras (70%) na unidade MC-1. Todos os resultados da campanha de 2023 se encontram abaixo do VMP de 10.000 µg/L (CONAMA 396/2208). Assim, os resultados caracterizam como valores basais de nitrato as concentrações inferiores ao VMP CONAMA 396/2008.

Foi possível aplicar a análise estatística da tendência das concentrações de nitrato apenas aos poços amostrados nas campanhas de 2011 a 2021 (poços PM), à exceção dos poços PM-03 e PM-06 que não apresentaram campanhas analíticas suficientes (consultar as planilhas de saída da estatística no Anexos 11.1.12-6). Com relação às demais campanhas, não foram obtidos dados suficientes para que a análise estatística da tendência das concentrações de nitrato nos poços PC (campanhas de 2022 e 2023) e SQ (não analisado) seja realizada, devido a quantidade de campanhas que o parâmetro foi analisado (mínimo de quatro).

O Quadro 11.1.12-49 a seguir resume os resultados, cujas planilhas de saída se encontram no Volume V - Anexos 11.1.12-6.

Quadro 11.1.12-49: Resumo dos resultados da análise estatística para Nitrato.

Campanhas 2011 e 2021 – Concentrações de nitrato				
Tendência	**Unidade Hidrogeológica MS-1**	**Unidade Hidrogeológica MC-1**		
	PM-05	PM-07	PM-09	PM-10
Crescendo				
Provavelmente crescendo				
Estável				**X**
Provavelmente decrescendo			**X**	
Decrescendo		**X**		
Sem tendência	**X**			
Não analisado				

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

Da Figura 11.1-282 até Figura 11.1-285 estão ilustradas a ocorrência de nitrato na água subterrânea das unidades MS-1 e MC-01.

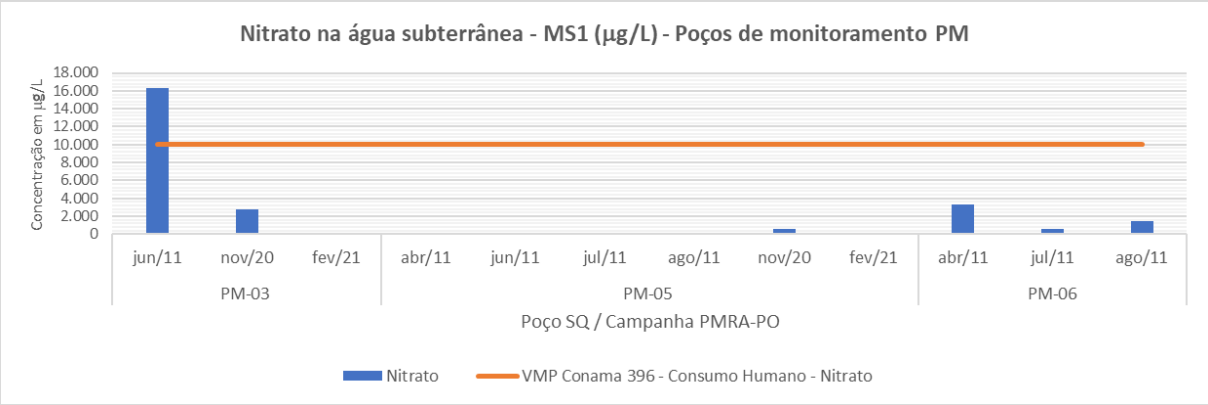


Figura 11.1-282: Nitrato na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM.

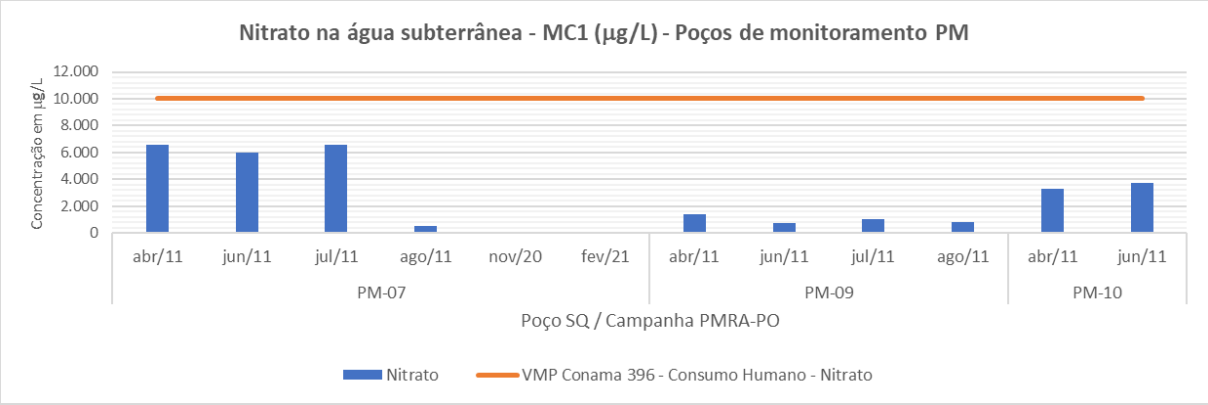


Figura 11.1-283: Nitrato na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM.

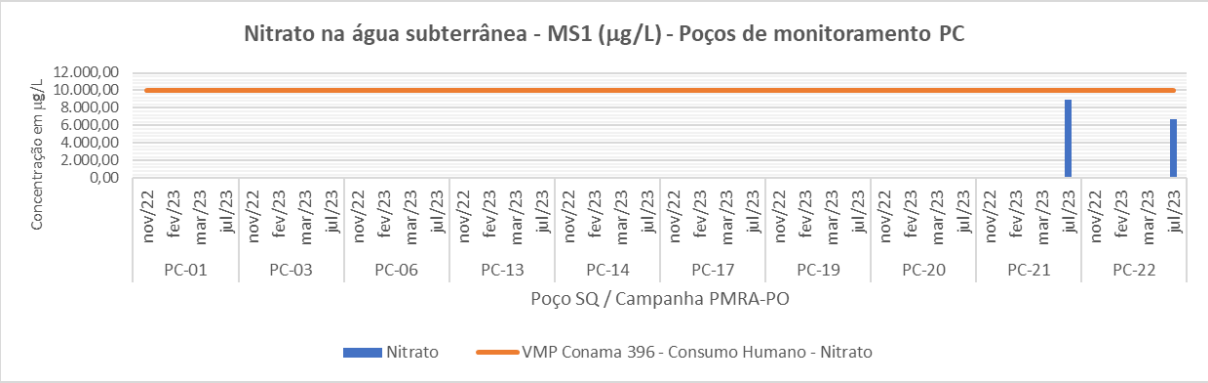


Figura 11.1-284: Nitrato na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

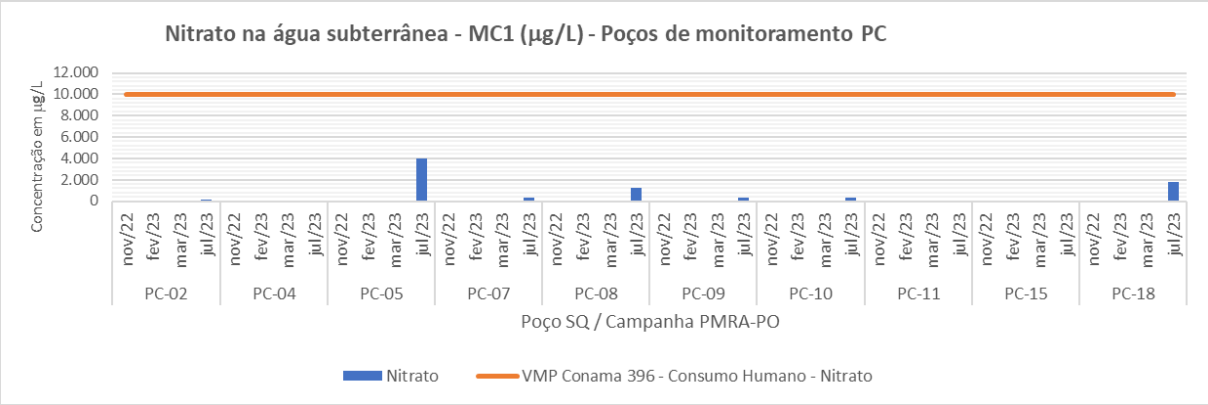


Figura 11.1-285: Nitrato na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

B.4. Sódio

O sódio é constituinte natural das águas, elemento abundante na região, com sais altamente solúveis em água. O aumento das concentrações de sódio na água pode ocorrer por meio de lançamentos de esgotos domésticos e efluentes industriais, porém, ainda não existem fontes ativas na AID e ADA.

A unidade aquífera MC-1 - rochas metacarbonáticas, apresenta maiores concentrações de sódio, cujo VMP para consumo humano é de 200.000 µg/L segundo a Resolução CONAMA 396/2008. O Quadro 11.1.12-50 a seguir resume as principais concentrações de sódio dissolvido obtidas nas campanhas.

Quadro 11.1.12-50: Concentrações mínima, máxima e média de Sódio dissolvido na Água Subterrânea.

Unidade Hidrogeológica	Campanha	Mínima (µg/L)	Máxima (µg/L)	Média (µg/L)
MS-1	2011 e 2021	45.900	152.631	101.733
	2022 e 2023	37.100	608.000	212.245
MC-1	2011 e 2021	12.608	288.398	147.876
	2022 e 2023	13.400	282.000	135.755
Poços de abastecimento	2022 e 2023	90.800	402.000	214.945

MS-: Unidade Meta-Sedimentar. MC-: Unidade Meta-Carbonática.

Fonte: BTB Explorers.

O sódio dissolvido foi quantificado em todas as amostras analisadas (100%) provenientes das duas Unidades Aquíferas, em todos os monitoramentos (2011, 2021, 2022 e 2023) tanto na fração total quanto na dissolvida em todos os poços (PM, PC e SQ).

Na unidade MS-1, considerando todas as campanhas realizadas em poços PM (antigos) e PC (novos), a média de ocorrência das concentrações de sódio é de 156.989 µg/L, inferior à média das concentrações observadas na água subterrânea da unidade MC-1, de 175.350 µg/L.

Foi possível aplicar a análise estatística da tendência das concentrações de sódio dissolvido para a avaliação de todas as campanhas, de 2011, 2021, 2022 e 2023 nos poços

PM, à exceção dos poços PM-03 e PM-06 que não apresentaram campanhas analíticas suficientes (consultar as planilhas de saída da estatística no Anexos 11.1.12-6). Com relação aos poços de abastecimento SQ (campanhas de 2022 e 2023), não foram obtidos dados suficientes (ao menos quatro campanhas com análise do parâmetro) para realização de análise estatística da tendência das concentrações de sódio dissolvido.

O Quadro 11.1.12-51 e Quadro 11.1.12-52 a seguir resumem os resultados, cujas planilhas de saída se encontram no Volume V - Anexos 11.1.12-6.

Quadro 11.1.12-51: Resumo dos resultados da análise estatística para Sódio.

Campanhas 2011 e 2021 – Concentrações de sódio				
Tendência	**Unidade Hidrogeológica MS-1**	**Unidade Hidrogeológica MC-1**		
	PM-05	PM-07	PM-09	PM-10
Crescendo				
Provavelmente crescendo				
Estável	**X**	**X**	**X**	**X**
Provavelmente decrescendo				
Decrescendo				
Sem tendência				
Não analisado				

MS-: Unidade Meta-Sedimentar. MC-: Unidade Meta-Carbonática.

Fonte: BTB Explorers.

Quadro 11.1.12-52: Resumo dos resultados da análise estatística para Sódio.

Campanhas 2022 e 2023 – Sódio										
Unidade Hidrogeológica MS-1										
Tendência	PC-01	PC-03	PC-06	PC-13	PC-14	PC-17	PC-19	PC-20	PC-21	PC-22
Crescendo						**X**				
Provavelmente crescendo										
Estável	**X**	**X**		**X**	**X**				**X**	**X**
Provavelmente decrescendo										
Decrescendo								**X**		
Sem tendência			**X**				**X**			
Não analisado										

Unidade Hidrogeológica MC-1										
Tendência	PC-02	PC-04	PC-05	PC-07	PC-08	PC-09	PC-10	PC-11	PC-15	PC-18
Crescendo					X					
Provavelmente crescendo										
Estável				X		X	X		X	
Provavelmente decrescendo										
Decrescendo		X						X		
Sem tendência	X		X							X
Não analisado										

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

Da Figura 11.1-286 até a Figura 11.1-290 estão ilustradas a ocorrência de sódio na água subterrânea da MS-1 e MC-01 e nos poços de abastecimento.

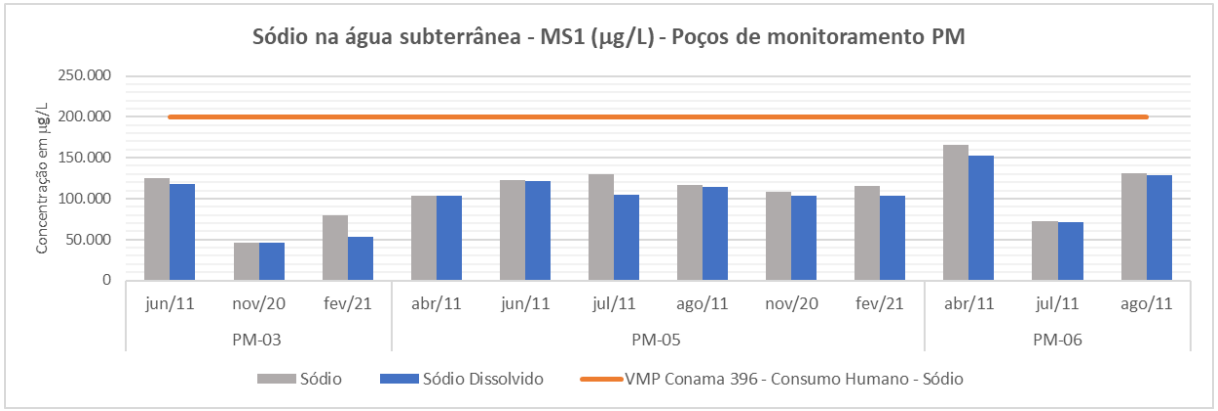


Figura 11.1-286: Sódio na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM.

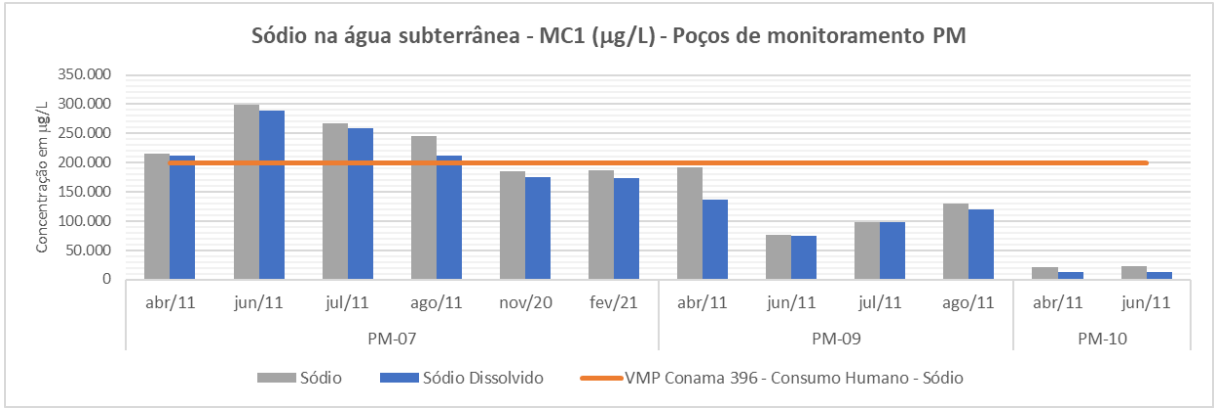


Figura 11.1-287: Sódio na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM.

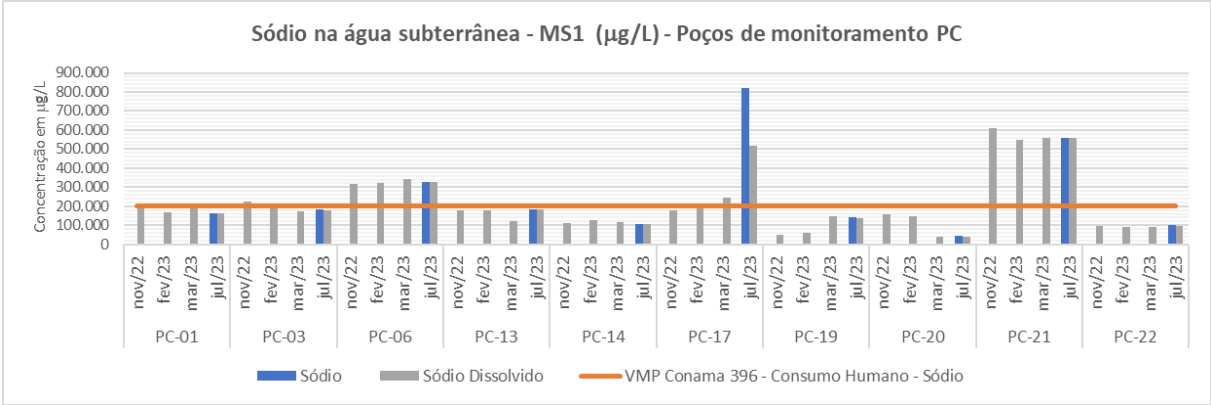


Figura 11.1-288: Sódio na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

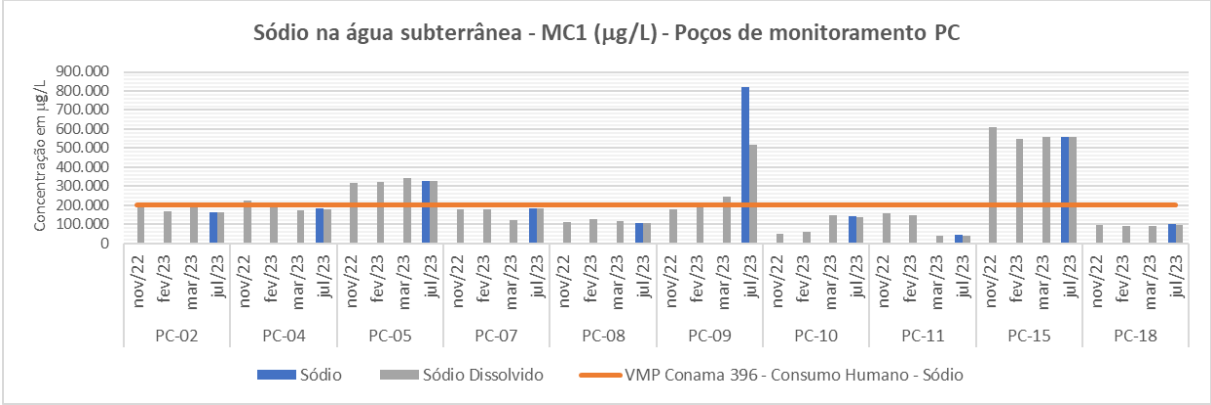


Figura 11.1-289: Sódio na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

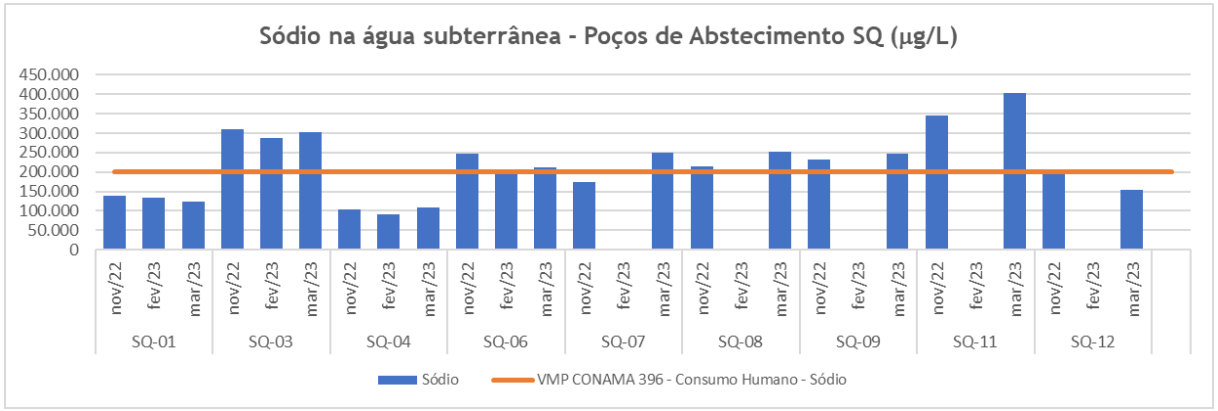


Figura 11.1-290: Sódio na água subterrânea - Poços de Abastecimento SQ (mg/L).

B.5. Sulfato

Dentre os inúmeros cátions e ânions presentes na água subterrânea, o ânion sulfato (SO_2^-) é muito comum, sendo uma das formas de enxofre presente na água. As fontes principais em ambientes aquáticos são: a decomposição de solos e rochas (exemplo: gesso ($CaSO_4$) e sulfato de magnésio ($MgSO_4$), a oxidação de sulfatos (exemplo: pirita, sulfeto de ferro), dissolução de gipso ($CaSO_4.H_2O$) e anidrita ($CaSO_4$), a presença de calcilutitos maciços e calcários oolíticos e pisolíticos, chuvas e agricultura (através da aplicação de adubos contendo enxofre) (VASCONCELOS E OLIVEIRA, 2017).

A ocorrência de sulfato nas águas subterrâneas também pode ter origem através das descargas de esgotos domésticos e efluentes industriais. O sulfato precisa ser monitorado nas águas para abastecimento público porque provoca efeitos laxativos. Nas águas para o abastecimento industrial, o sulfato provoca incrustações em caldeiras e trocadores de calor.

Sulfato foi quantificado em todas as amostras analisadas (100%) provenientes das duas Unidades Aquíferas, em todos os monitoramentos (2011, 2021, 2022 e 2023) tanto na fração total quanto na dissolvida em todos os poços (PM, PC e SQ).

Na unidade aquífera MS-1, ocorrem as maiores concentrações de sulfato nas campanhas mais recentes de 2022 e 2023 (poços PC). Já a unidade MC-1, as concentrações máximas e médias são semelhantes nas campanhas de 2011 a 2023. Os poços de abastecimento SQ apresentam as maiores medidas de concentração de sulfato na água subterrânea, conforme mostra o Quadro 11.1.12-53 a seguir.

Quadro 11.1.12-53: Concentrações mínima, máxima e média de Sulfato dissolvido na Água Subterrânea.

Unidade Hidrogeológica	Campanha	Mínima (µg/L)	Máxima (µg/L)	Média (µg/L)
MS-1	2011 e 2021	4.216	155.300	79.408
	2022 e 2023	13.200	381.000	132.378
MC-1	2011 e 2021	1.610	247.000	104.249
	2022 e 2023	8.240	245.000	99.604
Poços de abastecimento	2022 e 2023	34.000	353.000	164.732

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

Foi possível aplicar a análise estatística da tendência das concentrações de sulfato para a avaliação de todas as campanhas, de 2011, 2021, 2022 e 2023 que apresentaram no mínimo quatro resultados analíticos. Com relação aos poços de abastecimento SQ (campanhas de 2022 e 2023), não foram obtidos dados suficientes (mínimo de quatro campanhas com análises) para a realização de análise estatística da tendência das concentrações de sulfato.

O Quadro 11.1.12-54 e o Quadro 11.1.12-55 a seguir resumem os resultados obtidos. Os resultados (planilhas de saída) da análise estatística da tendência das concentrações de sulfato se encontram no Volume V - Anexos 11.1.12-6.

Quadro 11.1.12-54: Resumo dos resultados da análise estatística para Sulfato.

Campanhas 2011 e 2021 – Concentrações de sulfato				
Tendência	**Unidade Hidrogeológica MS-1**	**Unidade Hidrogeológica MC-1**		
	PM-05	PM-07	PM-09	PM-10
Crescendo				
Provavelmente crescendo				
Estável	X		X	
Provavelmente decrescendo		X		
Decrescendo				
Sem tendência				X
Não analisado				

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

Quadro 11.1.12-55: Resumo dos resultados da análise estatística para Sulfato.

Campanhas 2022 e 2023 - Sulfato										
Unidade Hidrogeológica MS-1										
Tendência	PC-01	PC-03	PC-06	PC-13	PC-14	PC-17	PC-19	PC-20	PC-21	PC-22
Crescendo						X				
Provavelmente crescendo										
Estável			X				X		X	
Provavelmente decrescendo										
Decrescendo		X						X		
Sem tendência	X			X	X					

Não analisado										X
Unidade Hidrogeológica MC-1										
Tendência	PC-02	PC-04	PC-05	PC-07	PC-08	PC-09	PC-10	PC-11	PC-15	PC-18
Crescendo					X					
Provavelmente crescendo										
Estável				X		X	X		X	
Provavelmente decrescendo										
Decrescendo		X						X		
Sem tendência	X		X							X
Não analisado										

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

Da Figura 11.1-291 até a Figura 11.1-295 estão ilustradas a ocorrência de sulfato na água subterrânea da MS-1 e MC-01 e nos poços de abastecimento.

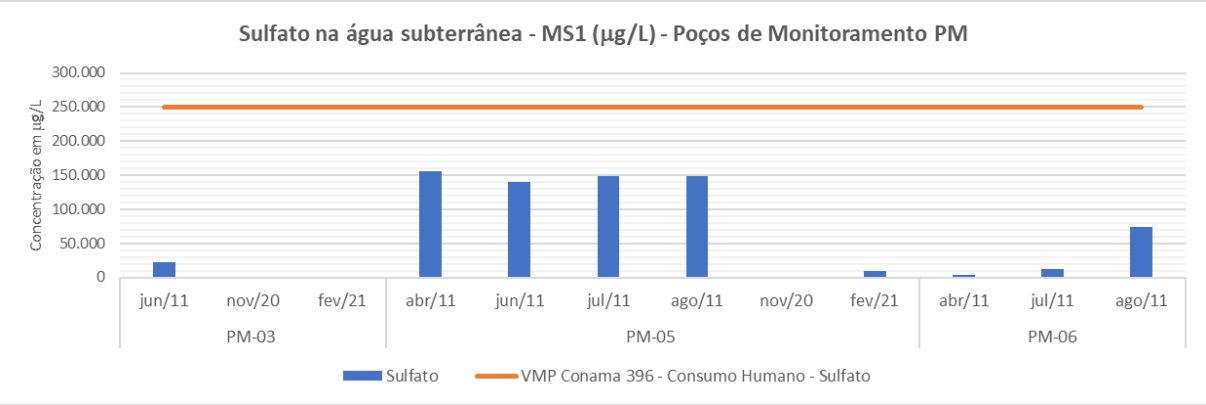


Figura 11.1-291: Sulfato na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de Monitoramento PM.

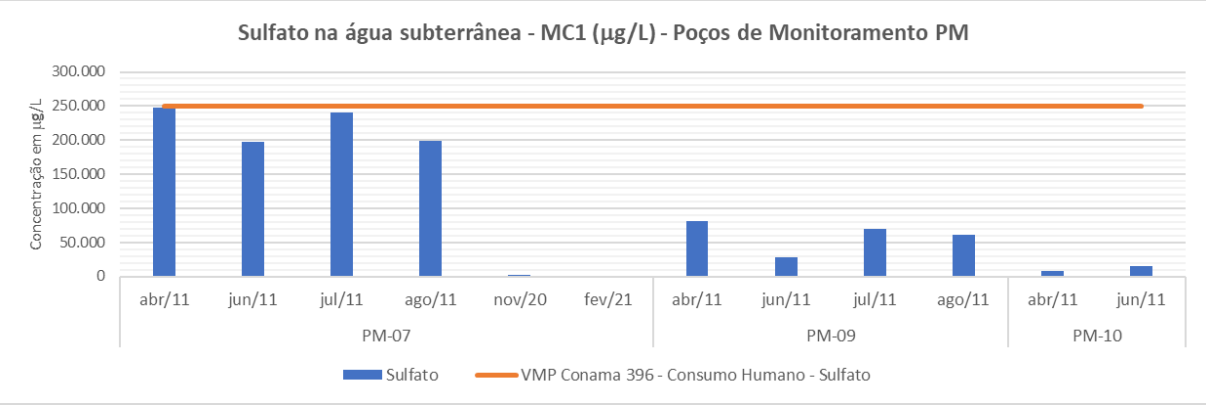


Figura 11.1-292: Sulfato na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de Monitoramento PM.

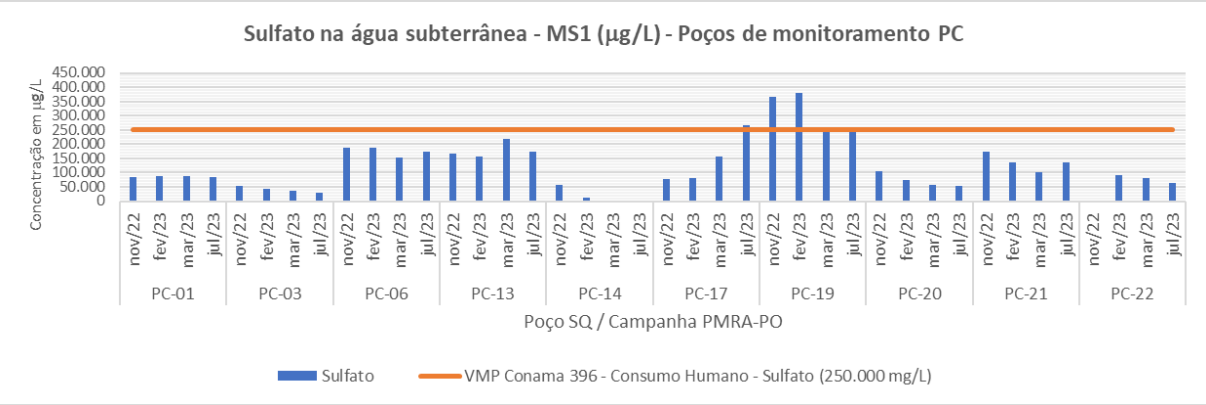


Figura 11.1-293: Sulfato na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

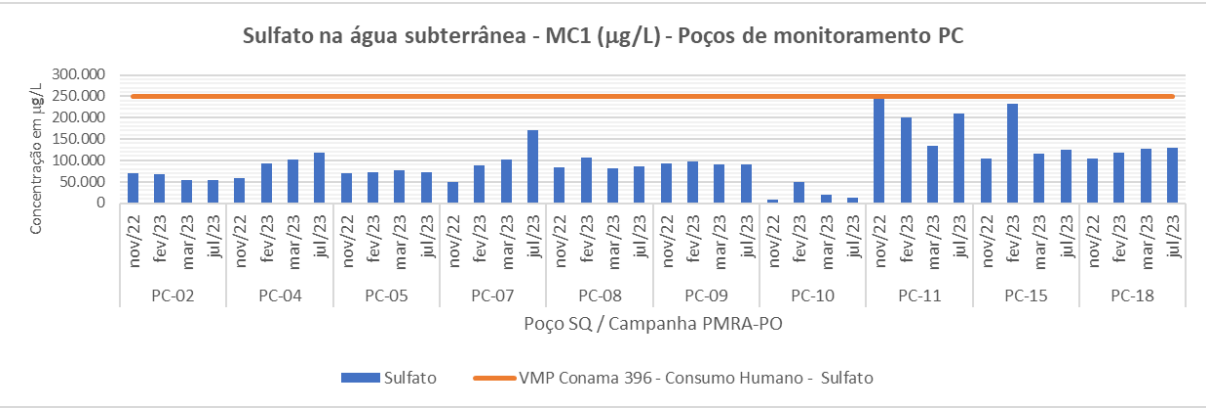


Figura 11.1-294: Sulfato na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

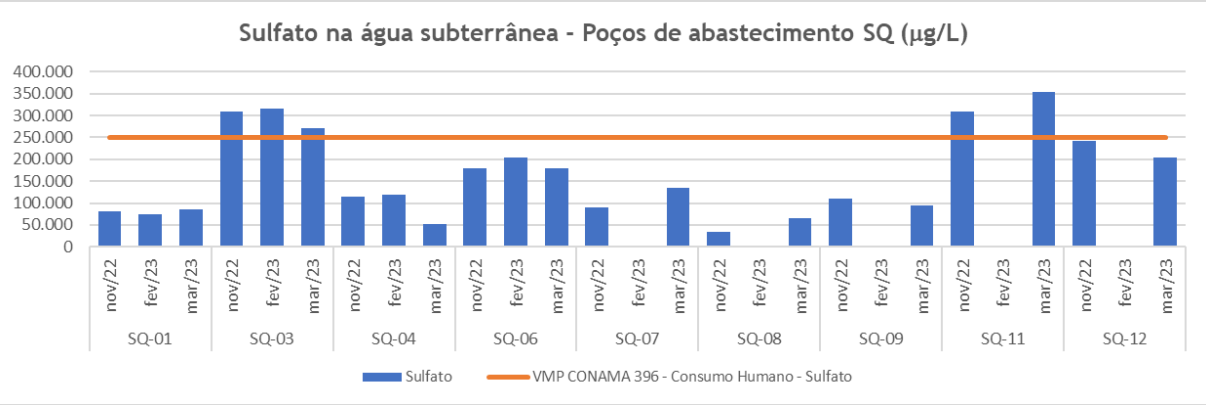


Figura 11.1-295: Sulfato na água subterrânea - Poços de abastecimento SQ (mg/L).

B.6. Alumínio

O alumínio é o elemento metálico mais abundante na crosta terrestre. Ocorre naturalmente no ambiente como silicatos, óxidos e hidróxidos, combinado com outros elementos, como sódio e flúor, e como complexos com matéria orgânica. O alumínio é liberado ao ambiente principalmente por processos naturais, porém vários fatores influenciam sua mobilidade e subsequente transporte no ambiente. O metalentra na atmosfera como material particulado oriundo de erosão natural do solo, mineração ou atividade agrícola, gases vulcânicos e combustão de carvão (CETESB, 2017).

Estudos epidemiológicos sugerem uma possível associação entre Mal de Alzheimer e alumínio na água, como um fator de risco para o desenvolvimento ou aceleração da doença, entretanto outros estudos não confirmam esta associação. Tais estudos não apresentaram informações da ingestão de Al via alimentos e como as concentrações do metal afetam a associação. Pesquisadores acreditam que a doença resulta mais da combinação de diferentes fatores do que de uma causa só para a maioria dos indivíduos (CETESB, 2017).

As elevadas concentrações de alumínio na água subterrânea são associadas à origem natural, devido à composição dos solos e das rochas da região, conforme apresentado nos resultados analíticos das amostras de solo (Anexos 11.1.12-6), nas descrições petrográficas (Item 11.1.7– Geologia – Contexto Local – Litosolo).

O alumínio dissolvido foi quantificado nas campanhas de 2011 a 2021 (poços “PM”) nas amostras de água subterrânea dos poços da unidade MS-1 em sete das 12 amostras (58,3%) e em poços da unidade MC-1 em 9 das 12 amostras (75%). As coletadas nos poços de abastecimento “SQ” nas campanhas de 2022 a 2023, o alumínio dissolvido não ultrapassou (para estas campanhas) o VMP CONAMA 396/2008. Já nas campanhas de 2022 e 2023 dos poços PC, o alumínio foi quantificado na unidade MS-1 em 28 das 40 amostras (70%) e na unidade MC-1 em 23 das 40 amostras (57,5%) coletadas, ultrapassando o VMP CONAMA 396/2008 de 200 µg/L em apenas uma amostra da unidade MC-1 (PC-21).

O Quadro 11.1.12-56 a seguir apresenta as principais concentrações de alumínio dissolvido, obtidas nas campanhas de monitoramento realizadas.

Quadro 11.1.12-56: Concentrações mínima, máxima e média de alumínio dissolvido na Água Subterrânea.

Unidade Hidrogeológica	Campanha	Mínima (µg/L)	Máxima (µg/L)	Média (µg/L)
MS-1	2011 e 2021	7,10	81,70	29,77

Unidade Hidrogeológica	Campanha	Mínima (µg/L)	Máxima (µg/L)	Média (µg/L)
	2022 e 2023	1,80	204,00	32,27
MC-1	2011 e 2021	1,20	24,00	9,78
	2022 e 2023	4,280	131,000	29,530
Poços de abastecimento	2022 e 2023	11,000	23,000	17,200

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

Foi possível aplicar a análise estatística da tendência das concentrações de alumínio dissolvido para a avaliação de todas as campanhas, de 2011, 2021, 2022 e 2023. Com relação aos poços de abastecimento SQ (campanhas de 2022 e 2023), não foram obtidos dados suficientes para realização de análise estatística da tendência das concentrações de alumínio dissolvido.

O Quadro 11.1.12-57 a seguir mostra o resumo dos resultados da análise estatística da tendência das concentrações de alumínio dissolvido, cujas planilhas de saída se encontram no Volume V - Anexos 11.1.12-6.

Quadro 11.1.12-57: Campanhas 2011 e 2021 - Resumo dos resultados da análise estatística para alumínio.

Campanhas 2011 e 2021 - Concentrações de alumínio dissolvido				
Tendência	Unidade Hidrogeológica MS-1	Unidade Hidrogeológica MC-1		
	PM-05	PM-07	PM-09	PM-10
Crescendo				
Provavelmente crescendo				
Estável				
Provavelmente decrescendo				
Decrescendo				
Sem tendência	X	X	X	X
Não analisado				

MS-: Unidade Meta-Sedimentar. MC-: Unidade Meta-Carbonática.

Fonte: BTB Explorers.

Quadro 11.1.12-58: Campanhas 2022 e 2023 - Resumo dos resultados da análise estatística para alumínio.

Campanhas 2022 e 2023 – Alumínio dissolvido										
Unidade Hidrogeológica MS-1										
Tendência	PC-01	PC-03	PC-06	PC-13	PC-14	PC-17	PC-19	PC-20	PC-21	PC-22
Crescendo										
Provavelmente crescendo										
Estável	X	X	X			X	X			
Provavelmente decrescendo										
Decrescendo				X						X
Sem tendência					X			X	X	
Não analisado										
Unidade Hidrogeológica MC-1										
Tendência	PC-02	PC-04	PC-05	PC-07	PC-08	PC-09	PC-10	PC-11	PC-15	PC-18
Crescendo										
Provavelmente crescendo										
Estável	X			X	X		X			
Provavelmente decrescendo										
Decrescendo									X	
Sem tendência		X	X			X		X		x
Não analisado										

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

A avaliação estatística da tendência de evolução das concentrações de alumínio dissolvido, resumida no Quadro 11.1.12-57 e no Quadro 11.1.12-58, mostrou que nas campanhas de 2011 a 2021, nas duas unidades, MC-1 e MS-1, não há tendencia definida. Já nas campanhas de 2022 e 2023, foi observada a tendência de estabilidade na unidade MS1 e um equilíbrio entre estabilidade e ausência de tendência na unidade MC1.

Da Figura 11.1-296 até a Figura 11.1-300 estão ilustradas a ocorrência de alumínio na água subterrânea da MS-1 e MC-01 e nos poços de abastecimento.

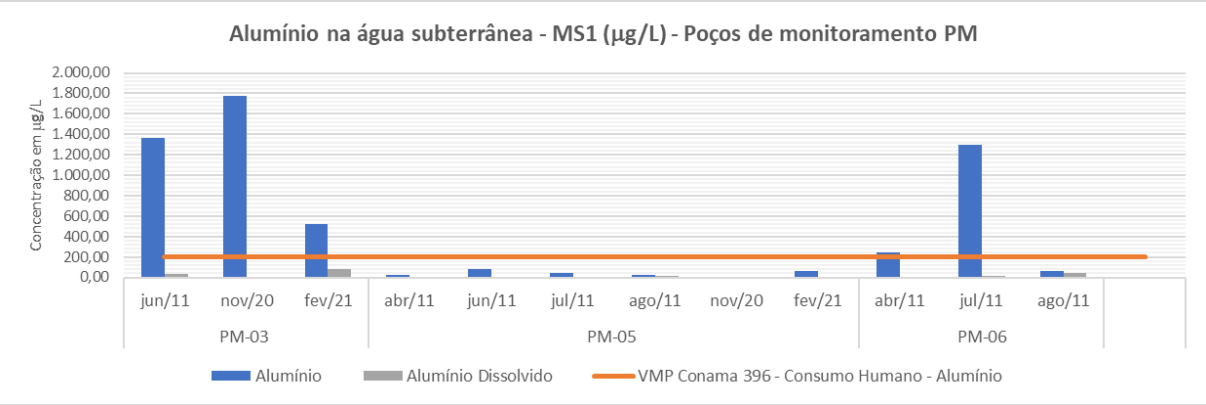


Figura 11.1-296: Alumínio na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM.

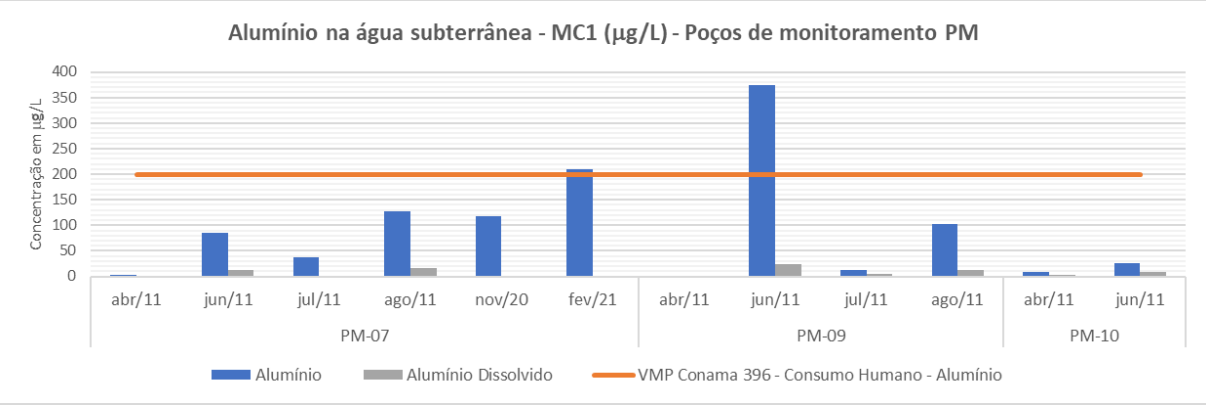


Figura 11.1-297: Alumínio na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM.

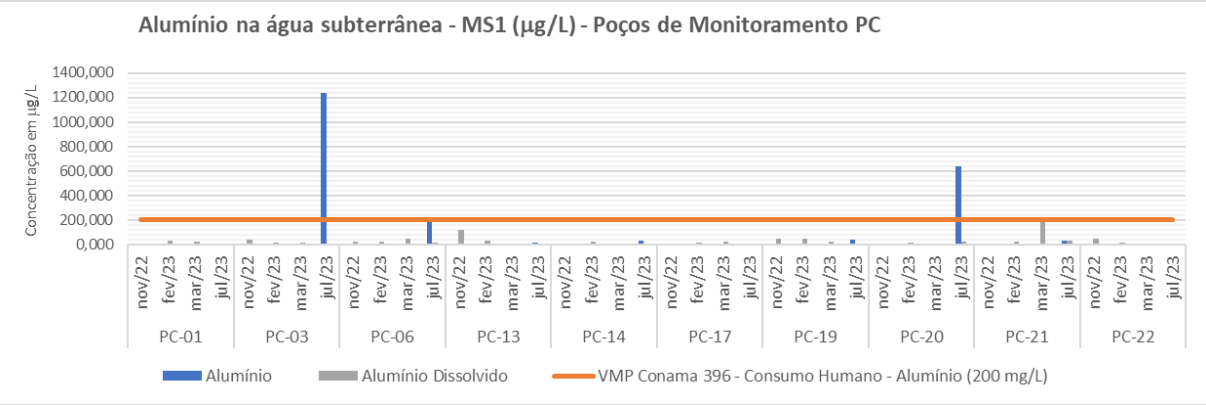


Figura 11.1-298: Alumínio na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de Monitoramento PC.

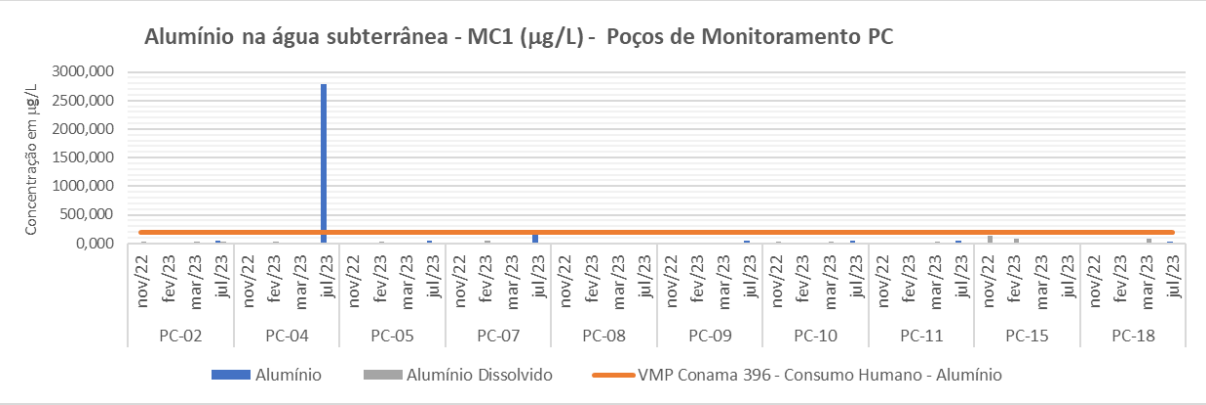


Figura 11.1-299: Alumínio na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de Monitoramento PC.

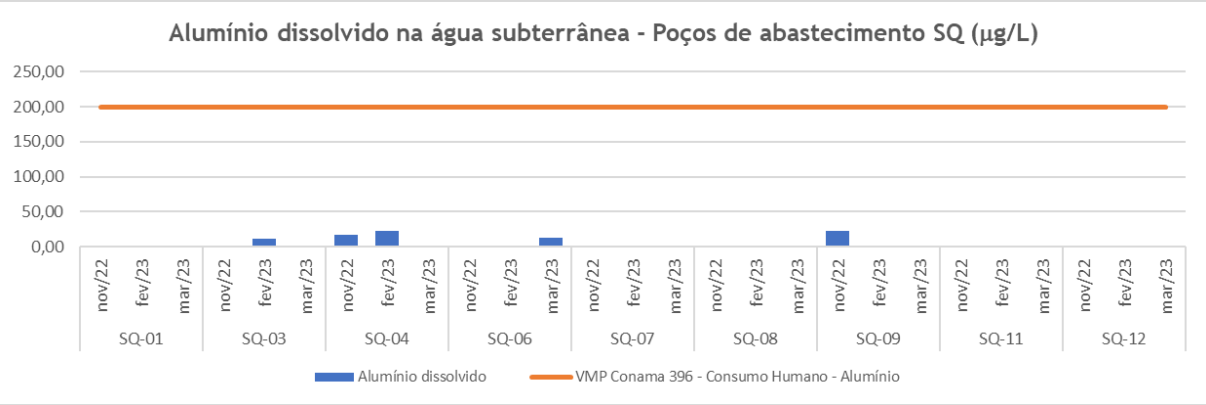


Figura 11.1-300: Alumínio dissolvido na água subterrânea - Poços de abastecimento SQ (mg/L).

B.7. Bário

O bário ocorre na natureza somente na forma combinada, e as principais são a barita (sulfato de bário natural) e a witherita (carbonato de bário natural). Também é encontrado em quantidades traço em rochas ígneas e sedimentares. A barita é a principal fonte de obtenção de bário metálico que, juntamente com seus compostos, são usados na fabricação de diversos produtos industriais, como plásticos, vidros, cerâmicas, eletrônicos, têxteis, lubrificantes, ligas metálicas, sabão e borracha. O sulfato de bário é usado na clínica médica como contraste em radiografias (CETESB, 2022).

O bário ocorre naturalmente na maioria das águas superficiais e sua concentração depende do teor de bário lixiviado das rochas. A água potável contém concentrações <100 µg/L de bário e o metal pode estar presente na água subterrânea. Os teores no solo variam de 15 a 3500 ppm (partes por milhão) em peso seco. Emissões antropogênicas de bário podem ocorrer a partir da mineração, refino e tratamento de minérios de bário e da fabricação de produtos de bário. A queima de combustíveis fósseis também pode liberar o metal. O tempo de permanência das partículas no ar depende do tamanho, mas invariavelmente essas acabam se depositando no solo. Emissões na água podem ocorrer durante a purificação do minério barita e o subsequente descarte dos efluentes (CETESB, 2022).

A ingestão de pequenas quantidades de bário, em curtos períodos, pode provocar vômito, cólica estomacal, diarreia, dificuldade respiratória, alteração da pressão sanguínea, adormecimento da face e debilidade muscular. A ingestão de altas quantidades de compostos de bário solúveis em água ou no conteúdo estomacal pode causar alterações no ritmo cardíaco e paralisia, e levar a óbito se não houver tratamento (CETESB, 2022).

Bário dissolvido foi quantificado em 45 de um total de 46 amostras coletadas (97,8%) nas campanhas de 2011, 2021 e 2023 (o parâmetro não foi contemplado no escopo do PMRA-PO para os poços PC e SQ), sugerindo assim ocorrência natural. Todos os resultados se encontram abaixo do VMP CONAMA 396/2008 para consumo humano, de 700 mg/L.

O Quadro 11.1.12-59 a seguir mostra, para cada campanha, as concentrações mínimas, máximas e médias de bário dissolvido na água subterrânea.

Quadro 11.1.12-59: Concentrações mínima, máxima e média de bário dissolvido na Água Subterrânea.

Unidade Hidrogeológica	Campanha	Mínima (µg/L)	Máxima (µg/L)	Média (µg/L)
MS-1	2011 e 2021	60,30	256,00	113,22

Unidade Hidrogeológica	Campanha	Mínima (µg/L)	Máxima (µg/L)	Média (µg/L)
	2022 e 2023	76,00	415,00	224,65
MC-1	2011 e 2021	35,00	378,00	94,41
	2022 e 2023	41,00	210,00	129,50
Poços de abastecimento	2022 e 2023	N/A	N/A	N/A

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática. N/A: Não analisado.

Fonte: BTB Explorers.

Foi possível aplicar a análise estatística da tendência das concentrações de bário dissolvido apenas aos poços amostrados nas campanhas de 2011 e 2021 (poços PM) que apresentaram no mínimo quatro resultados analíticos. Com relação às demais campanhas, não foram obtidos dados suficientes para que a análise estatística da tendência de bário dissolvido das concentrações dos demais poços PC (campanhas de 2022 e 2023) e SQ (não analisado) seja realizada, devido à quantidade de campanhas ou disponibilidade de resultados.

O Quadro 11.1.12-60 a seguir resume os resultados, cujas planilhas de saída se encontram no Volume V - Anexos 11.1.12-6.

Quadro 11.1.12-60: Campanhas 2011 e 2021 – Concentrações de bário dissolvido.

Campanhas 2011 e 2021 – Concentrações de bário dissolvido				
Tendência	Unidade Hidrogeológica MS-1	Unidade Hidrogeológica MC-1		
	PM-05	PM-07	PM-09	PM-10
Crescendo	X			
Provavelmente crescendo				
Estável			X	X
Provavelmente decrescendo				
Decrescendo				
Sem tendência		X		
Não analisado				

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

Da Figura 11.1-301 até a Figura 11.1-304 estão ilustradas a ocorrência de bário dissolvido na água subterrânea da MS-1 e MC-01.

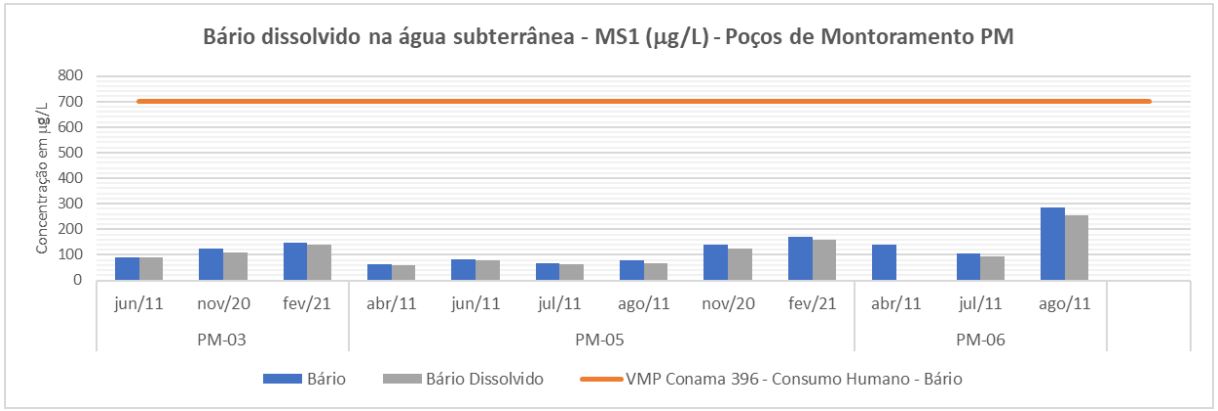


Figura 11.1-301: Bário dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de Monitoramento PM.

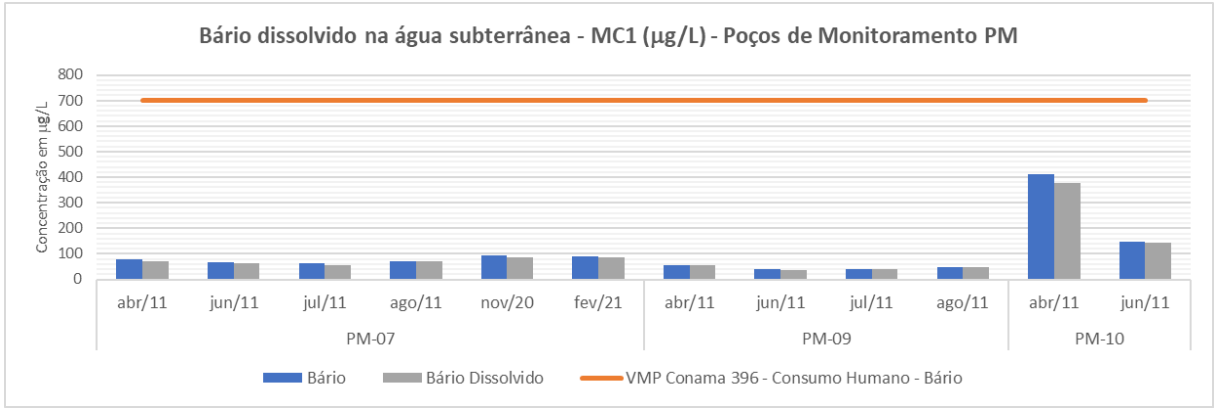


Figura 11.1-302: Bário dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de Monitoramento PM.

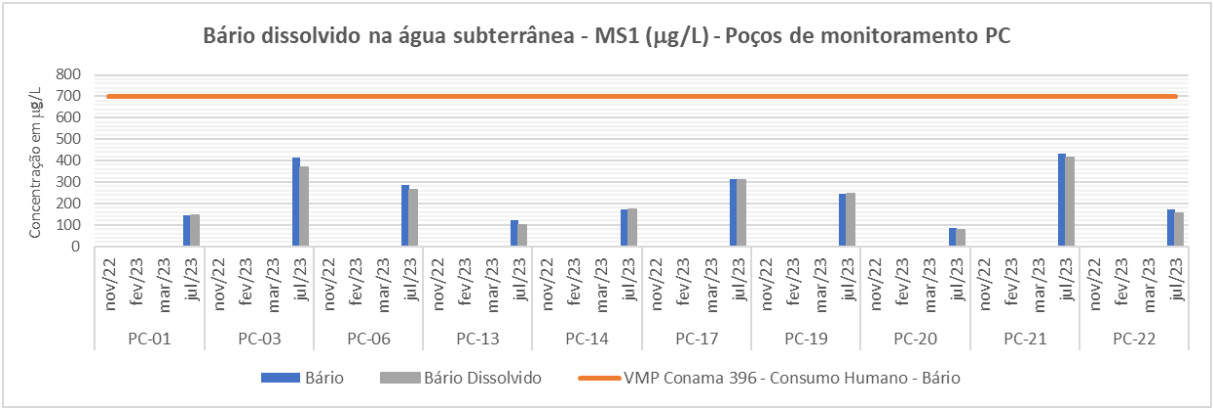


Figura 11.1-303: Bário dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

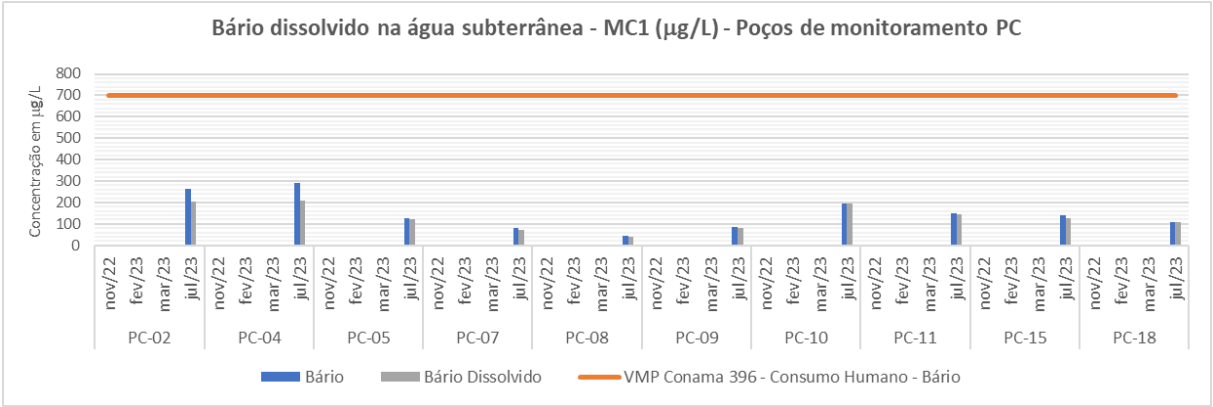


Figura 11.1-304: Bário dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

B.8. Boro

Compostos de boro não são encontrados livres na natureza e podem ter origem a partir de alguns minerais como: ulexita, tincal, turmalina e kernita. Na AID/ADA, este elemento ocorre naturalmente na água subterrânea, uma vez que não existem fontes ativas antrópicas na área estudo.

O boro de ocorrência natural está presente nas águas subterrâneas, principalmente como resultado da lixiviação de rochas e solos que contém boratos e borossilicatos. A ingestão de quantidades excessivas e prolongadas de boro pode afetar o sistema nervoso central em seres humanos e resultar na síndrome clínica de Borismo. Porém, concentrações menores que 1.000 µg/L são inofensivas. Devido ao elevado potencial de entrada de boro na cadeia alimentar humana, em concentrações que podem causar sérios riscos à saúde, tornou-se importante conhecer seu comportamento ambiental (MENDES, *et al.*, 2022).

As campanhas de 2011 e 2021 nos poços PM mostraram que boro dissolvido foi quantificado em 11 das 12 amostras coletadas (91,6%) na unidade MS-1 e em 100% das 12 amostras coletadas na unidade MC-1. Na campanha de 2023 (não foi amostrado no âmbito do PMRA-PO) o boro foi quantificado em 100% das amostras das unidades MS-1 e MC-1, tanto na fração total quanto na dissolvida.

Em apenas uma amostra da campanha de 2023, proveniente do PC-11 (MC-1), boro na fração dissolvida foi quantificado em 855 µg/L e na fração total em 921 µg/L, acima do VMP CONAMA 396/2008 para consumo humano de 500 µg/L.

O Quadro 11.1.12-61 a seguir mostra, para cada campanha, as concentrações mínimas, máximas e médias de boro dissolvido na água subterrânea.

Quadro 11.1.12-61: Concentrações mínima, máxima e média de boro dissolvido na Água Subterrânea.

Unidade Hidrogeológica	Campanha	Mínima (µg/L)	Máxima (µg/L)	Média (µg/L)
MS-1	2011 e 2021	21,00	313,00	101,37
	2022 e 2023	18,30	187,00	110,32
MC-1	2011 e 2021	2,50	142,00	75,61
	2022 e 2023	63,50	855,00	190,07
Poços de abastecimento	2022 e 2023	N/A	N/A	N/A

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade MetaCarbonática. N/A: não amostrado.

Fonte: BTB Explorers.

Foi possível aplicar a análise estatística da tendência das concentrações de boro dissolvido apenas aos poços amostrados nas campanhas de 2011 a 2021 (poços PM), à exceção dos poços PM-03 e PM-06. Com relação às demais campanhas, não foram obtidos dados suficientes para que a análise estatística da tendência de boro dissolvido nas concentrações dos demais poços PC (campanhas de 2022 e 2023) e SQ (não analisado) seja realizada, devido a quantidade de campanhas ou disponibilidade de resultados.

O Quadro 11.1.12-62 a seguir resume os resultados, cujas planilhas de saída se encontram no Volume V - Anexos 11.1.12-6.

Quadro 11.1.12-62: Resumo dos resultados da análise estatística para boro.

Campanhas 2011 e 2021 - Concentrações de boro dissolvido				
Tendência	**Unidade Hidrogeológica MS-1**	**Unidade Hidrogeológica MC-1**		
	PM-05	PM-07	PM-09	PM-10
Crescendo				
Provavelmente crescendo				
Estável	X		X	X
Provavelmente decrescendo		X		
Decrescendo				
Sem tendência				
Não analisado				

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

Da Figura 11.1-305 até a Figura 11.1-308 estão ilustradas a ocorrência de boro dissolvido na água subterrânea da MS-1 e MC-01.

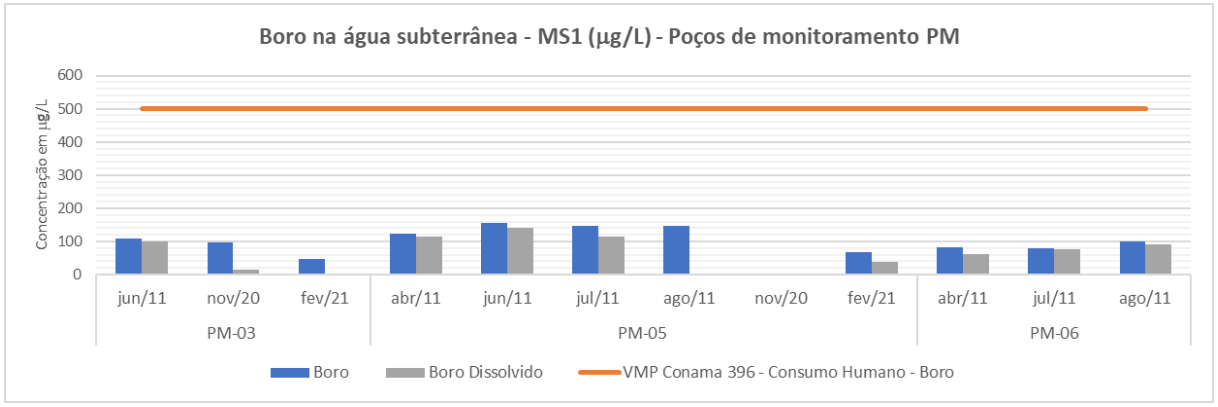


Figura 11.1-305: Boro na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM.

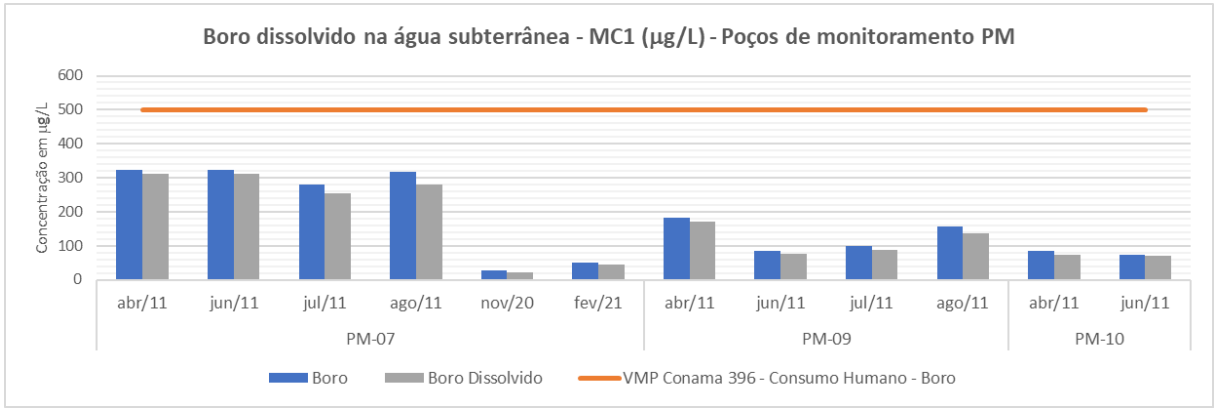


Figura 11.1-306: Boro dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM.

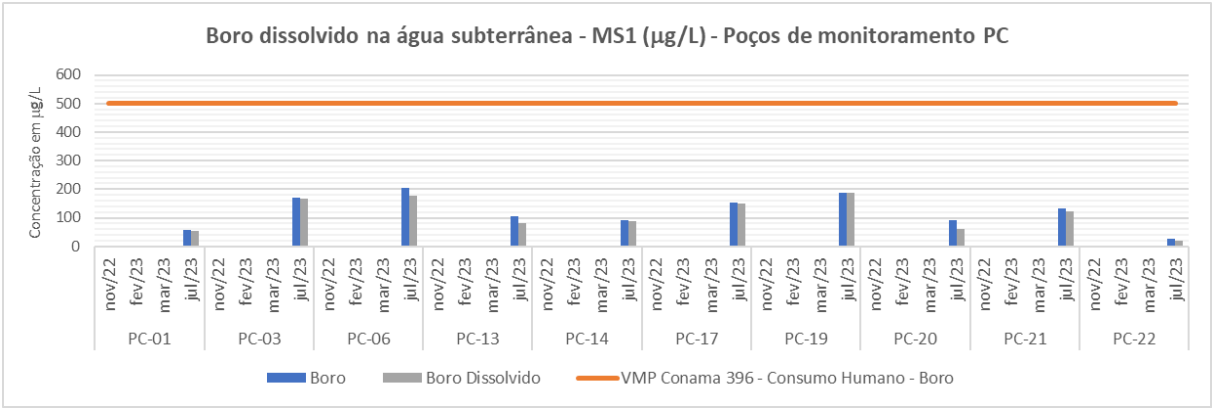


Figura 11.1-307: Boro dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

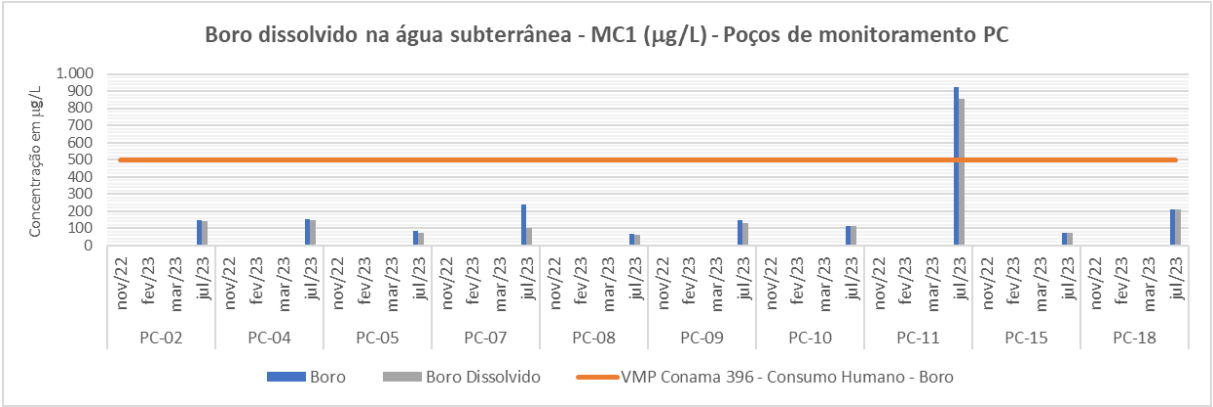


Figura 11.1-308: Boro dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

B.9. Ferro

Assim como o alumínio e manganês, as elevadas concentrações de ferro são de origem natural, devido à composição dos solos e das rochas da região, conforme apresentado nos resultados analíticos das amostras de solo (Anexos 11.1.12-6), nas descrições petrográficas (Item 11.1.7– Geologia – Contexto Local – Litosolo), e conforme títulos minerários para extração de ferro, levantados no capítulo 11.1.14 títulos minerários.

Altas concentrações de ferro trazem mais problema a sistemas de transporte de água, pela incrustação, do que à saúde humana, sendo que VMP CONAMA 396/2008 para consumo humano de ferro é de 300 µg/L e refere-se à "Efeito organoléptico".

As campanhas de 2011 e 2021 nos poços PM mostraram que ferro dissolvido foi quantificado em 100% das 12 amostras coletadas na unidade MS-1, e em 11 das 12 amostras coletadas (91,6%) na unidade MC-1. As amostras dos poços PM-05 e PM-09 da unidade MS-1 e do PM-07 da unidade MC-1 apresentaram ferro dissolvido acima do VMP CONAMA 396/2008.

Nas campanhas de 2022 e 2023, o ferro dissolvido foi quantificado nas amostras coletadas a partir dos poços PC em 34 das 40 amostras (85%) da unidade MS-1, e em 36 das 40 amostras (90%) da unidade MC-01, mostrando ampla distribuição. Destas, 15 amostras da unidade MS-1 e 13 amostras da unidade MC-1 apresentaram concentrações acima do VMP CONAMA 396/2008.

Em relação aos poços de abastecimento SQ amostrados nas campanhas de 2022 e 2023, o ferro foi quantificado em 13 das 22 amostras coletadas (59,0%) sendo que duas amostras provenientes cada uma dos poços SQ-06 e SQ-11 apresentaram concentrações superiores ao VMP CONAMA 396/2008.

O Quadro 11.1.12-63 a seguir mostra, para cada campanha, as concentrações mínimas, máximas e médias de ferro dissolvido na água subterrânea.

Quadro 11.1.12-63: Concentrações mínima, máxima e média de ferro dissolvido na Água Subterrânea.

Unidade Hidrogeológica	Campanha	Mínima (µg/L)	Máxima (µg/L)	Média (µg/L)
MS-1	2011 e 2021	5,10	7.990,00	1.482,83
	2022 e 2023	12,00	5.820,00	1.192,00
MC-1	2011 e 2021	0,59	2.970,00	540,95

Unidade Hidrogeológica	Campanha	Mínima (µg/L)	Máxima (µg/L)	Média (µg/L)
	2022 e 2023	1,77	1.940,00	410,98
Poços de abastecimento	2022 e 2023	10,5	513,00	107,94

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

Foi possível aplicar a análise estatística da tendência das concentrações de ferro dissolvido para a avaliação de todas as campanhas de 2011, 2021, 2022 e 2023 dos poços PM e PC, à exceção dos poços PM-03 e PM-06. O resumo desta avaliação é apresentada no Quadro 11.1.12-64.

Quadro 11.1.12-64: Resumo dos resultados da análise estatística para ferro.

Campanhas 2011 e 2021 – Concentrações de ferro dissolvido				
Tendência	**Unidade Hidrogeológica MS-1**	**Unidade Hidrogeológica MC-1**		
	PM-05	PM-07	PM-09	PM-10
Crescendo				
Provavelmente crescendo	X			
Estável				X
Provavelmente decrescendo				
Decrescendo				
Sem tendência		X	X	
Não analisado				

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

O Quadro 11.1.12-65 a seguir mostra o resumo dos resultados obtidos. Entretanto, no que diz respeito aos poços de abastecimento SQ (campanhas de 2022 e 2023), não foram obtidos dados suficientes para a realização dessa análise estatística.

Os resultados (planilhas de saída) da análise estatística da tendência das concentrações de ferro dissolvido se encontram no Volume V - Anexos 11.1.12-6.

Quadro 11.1.12-65: Resumo dos resultados da análise estatística para ferro.

Campanhas 2022 e 2023 – Ferro dissolvido										
Unidade Hidrogeológica MS-1										
Tendência	PC-01	PC-03	PC-06	PC-13	PC-14	PC-17	PC-19	PC-20	PC-21	PC-22
Crescendo										
Provavelmente crescendo										
Estável		X		X			X	X		
Provavelmente decrescendo										
Decrescendo	X									
Sem tendência			X		X	X			X	X
Não analisado										
Unidade Hidrogeológica MC-1										
Tendência	PC-02	PC-04	PC-05	PC-07	PC-08	PC-09	PC-10	PC-11	PC-15	PC-18
Crescendo										
Provavelmente crescendo										
Estável		X	X	X	X		X			
Provavelmente decrescendo										
Decrescendo	X								X	
Sem tendência						X		X		x
Não analisado										

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

A avaliação estatística da tendência de evolução das concentrações de ferro dissolvido mostrou que nas duas unidades, MC-1 e MS-1, há a tendencia de estabilização, sem tendência e decréscimo das concentrações de ferro dissolvido na água subterrânea.

Da Figura 11.1-309 até a Figura 11.1-313 estão ilustradas a ocorrência de ferro na água subterrânea da MS-1 e MC-01 e nos poços de abastecimento.

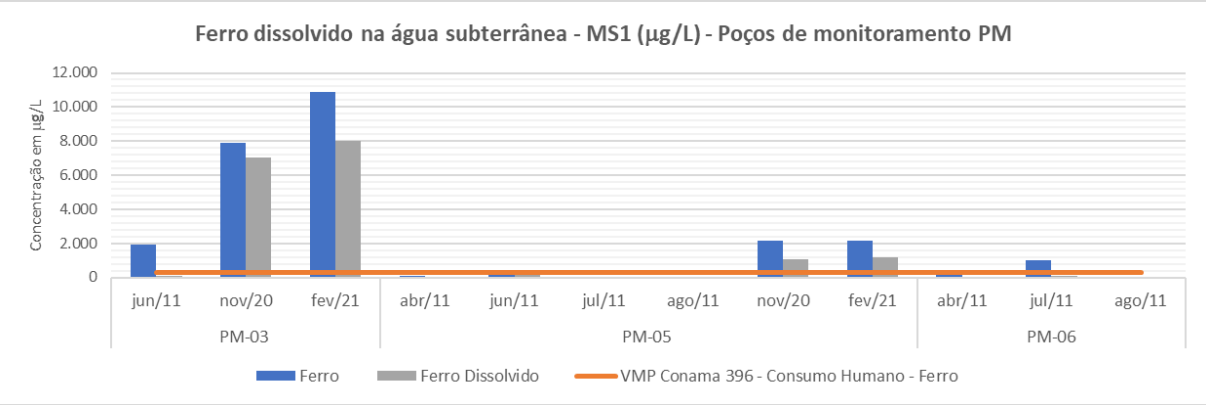


Figura 11.1-309: Ferro dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM.

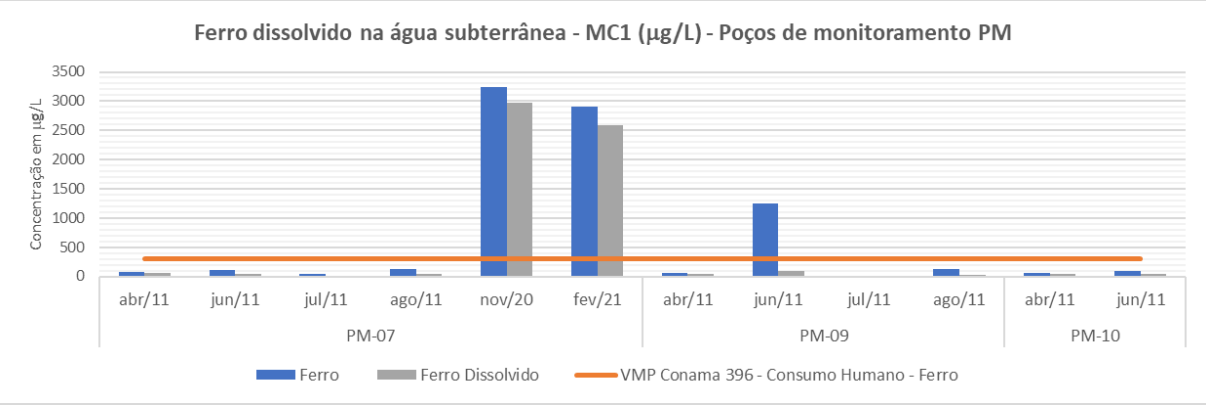


Figura 11.1-310: Ferro dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM.

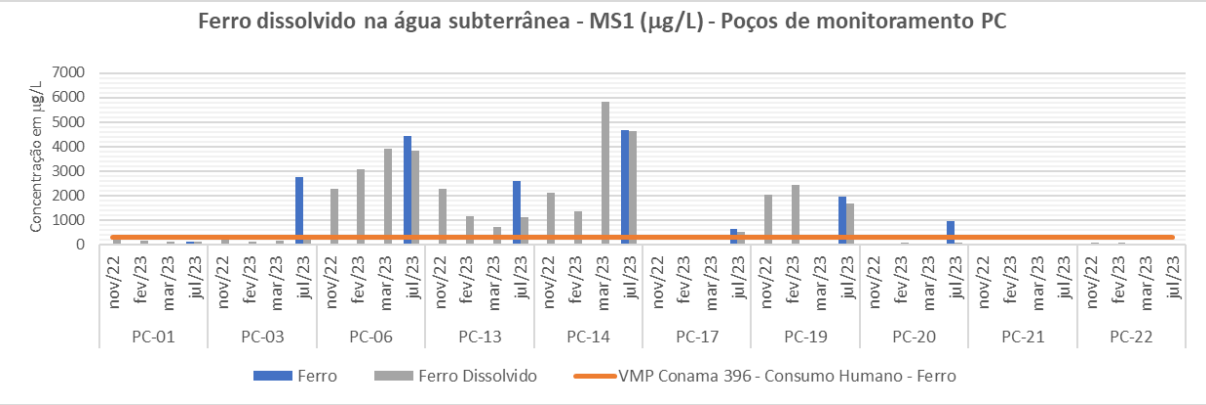


Figura 11.1-311: Ferro dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

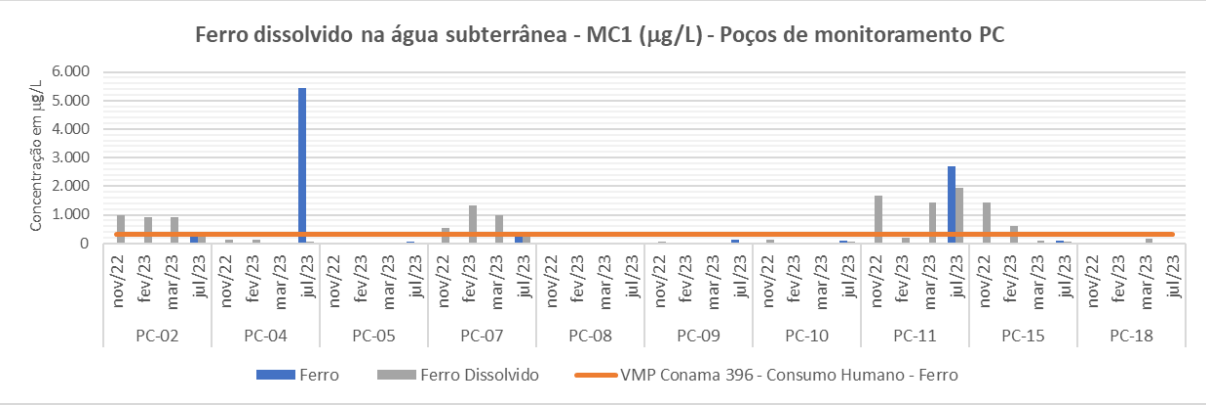


Figura 11.1-312: Ferro dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

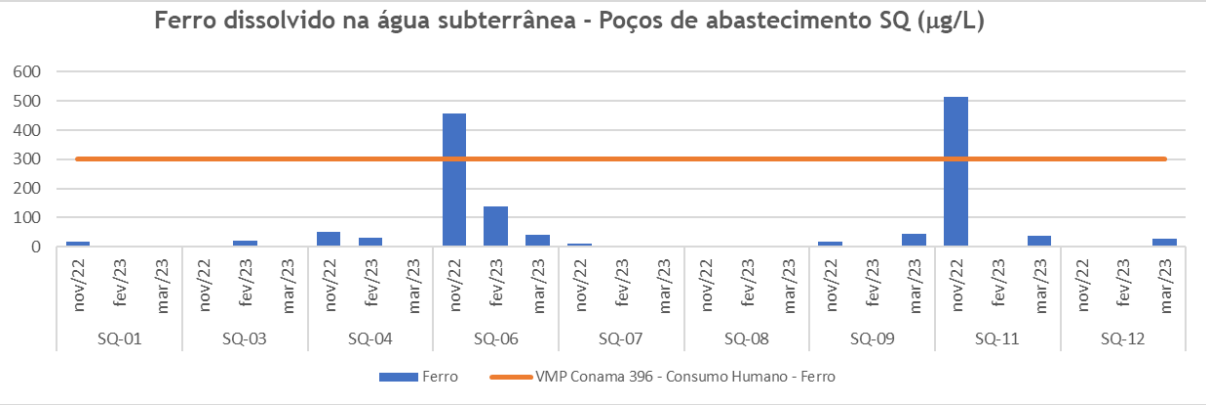


Figura 11.1-313: Ferro dissolvido na água subterrânea - Poços de abastecimento SQ (mg/L).

B.10. Manganês

O manganês (Mn) é um metal cinza claro que não ocorre na forma pura (elementar), mas combinado com outras substâncias, como o oxigênio, o enxofre e o cloro. Processos naturais e a atividade humana são capazes de modificar compostos de manganês. Na água, o manganês ocorre nas formas dissolvida e suspensa, que variam conforme o pH e o potencial redox. A água subterrânea anaeróbia frequentemente contém níveis elevados de manganês dissolvido. Em rios, o Mn é transportado adsorvido a partículas suspensas dos sedimentos. O manganês é um nutriente essencial em pequenas quantidades para muitos organismos vivos, incluindo o ser humano, principalmente em processos reprodutivos, manutenção da estrutura óssea e funcionamento do sistema nervoso. (CETESB, 2022).

As campanhas de 2011 e 2021 nos poços PM mostraram que manganês dissolvido foi quantificado em 100% das amostras da unidade MS-1 e em 11 das 12 amostras coletadas (91,6%) na unidade MC-1. Amostras do poço PM-03 e PM-05 da unidade MS-1 e do PM-07 da unidade MC-1 apresentaram manganês dissolvido acima do VMP CONAMA 396/2008 de 100 µg/L, referido na norma citada a “efeito organoléptico”.

Nas campanhas de 2022 e 2023 o manganês dissolvido foi quantificado nas amostras coletadas a partir dos poços PC em 37 das 40 amostras (92,5%) da unidade MS-1 e em 36 das 40 amostras (90%) da unidade MC-01, mostrando ampla distribuição, assim como o ferro, que apresenta comportamento geoquímico semelhante. Destas, 32 amostras da unidade MS-1 e 24 amostras da unidade MC-1 apresentaram concentrações de manganês dissolvido acima do VMP CONAMA 396/2008 para consumo humano.

Em relação aos poços de abastecimento SQ amostrados nas campanhas de 2022 e 2023, o manganês dissolvido foi quantificado em 13 das 22 amostras coletadas (59,0%) sendo que apenas uma amostra, coletada a partir do poço SQ-12 apresentou concentrações superiores ao VMP CONAMA 396/2008. As alterações de padrões de qualidade para manganês dissolvido, estão restritas a unidade MS1, tanto na fase total, como na fase dissolvida. O Quadro 11.1.12-66 a seguir ilustra as concentrações de destaque de manganês.

Quadro 11.1.12-66: Concentrações mínima, máxima e média de manganês dissolvido na Água Subterrânea.

Unidade Hidrogeológica	Campanha	Mínima (µg/L)	Máxima (µg/L)	Média (µg/L)
MS-1	2011 e 2021	4,00	1.240,00	283,95
	2022 e 2023	15,00	2.270,00	576,08

Unidade Hidrogeológica	Campanha	Mínima (µg/L)	Máxima (µg/L)	Média (µg/L)
MC-1	2011 e 2021	0,57	338,00	70,79
	2022 e 2023	2,39	628,00	186,59
Poços de abastecimento	2022 e 2023	10,00	130,00	39,77

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

As elevadas concentrações também são de origem natural, devido à composição dos solos e das rochas da região, conforme apresentado nos resultados analíticos das amostras de solo (Anexos 11.1.12-6). Os resultados indicam que as rochas da Unidade MS1 apresentam teores mais elevados deste composto metálico.

Foi possível aplicar a análise estatística da tendência das concentrações de manganês dissolvido para a avaliação de todas as campanhas, de 2011, 2021, 2022 e 2023. O Quadro 11.1.12-67 e Quadro 11.1.12-68 a seguir mostram o resumo dos resultados obtidos. Observa-se que de maneira geral, nas duas unidades, MS-1 e MC-1, o manganês apresenta comportamento semelhante, com tendência geral de estabilidade das concentrações.

Os resultados (planilhas de saída) da análise estatística da tendência das concentrações de manganês dissolvido se encontram no Volume V - Anexos 11.1.12-6.

Quadro 11.1.12-67: Resumo dos resultados da análise estatística para manganês.

Campanhas 2011 e 2021 – Concentrações de manganês dissolvido				
Tendência	Unidade Hidrogeológica MS-1	Unidade Hidrogeológica MC-1		
	PM-05	PM-07	PM-09	PM-10
Crescendo				
Provavelmente crescendo				
Estável				X
Provavelmente decrescendo				
Decrescendo				
Sem tendência	X	X	X	
Não analisado				

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

Quadro 11.1.12-68: Resumo dos resultados da análise estatística para manganês.

Campanhas 2022 e 2023 – Manganês dissolvido										
Unidade Hidrogeológica MS-1										
Tendência	PC-01	PC-03	PC-06	PC-13	PC-14	PC-17	PC-19	PC-20	PC-21	PC-22
Crescendo						X				
Provavelmente crescendo										
Estável	X	X	X	X	X		X		X	X
Provavelmente decrescendo										
Decrescendo								X		
Sem tendência										
Não analisado										
Unidade Hidrogeológica MC-1										
Tendência	PC-02	PC-04	PC-05	PC-07	PC-08	PC-09	PC-10	PC-11	PC-15	PC-18
Crescendo										
Provavelmente crescendo										
Estável		X	X	X	X		X			
Provavelmente decrescendo										
Decrescendo	X								X	
Sem tendência						X		X		X
Não analisado										

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

Com relação aos poços de abastecimento SQ (campanhas de 2022 e 2023), não foram obtidos dados suficientes para realização de análise estatística de tendência das concentrações de manganês dissolvido.

Da Figura 11.1-314 até a Figura 11.1-318 estão ilustradas a ocorrência de manganês total e dissolvido na água subterrânea da MS-1 e MC-01 e nos poços de abastecimento.

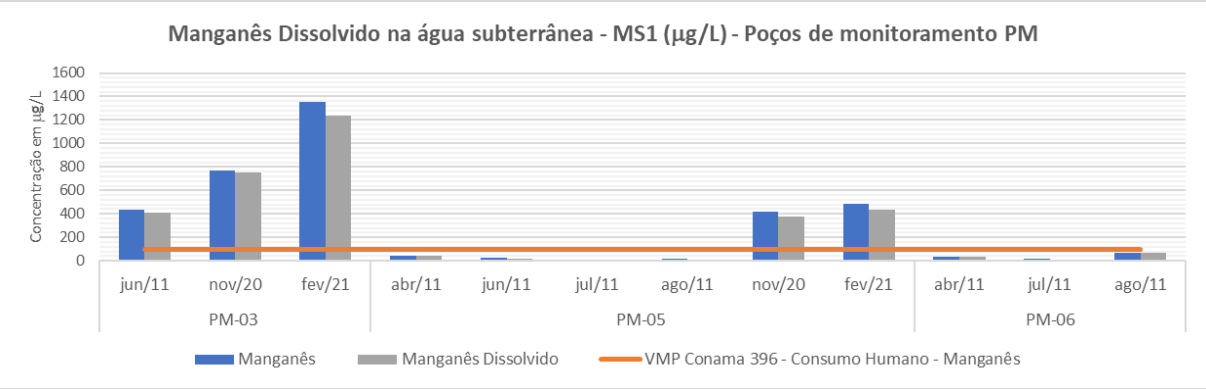


Figura 11.1-314: Manganês Dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM.

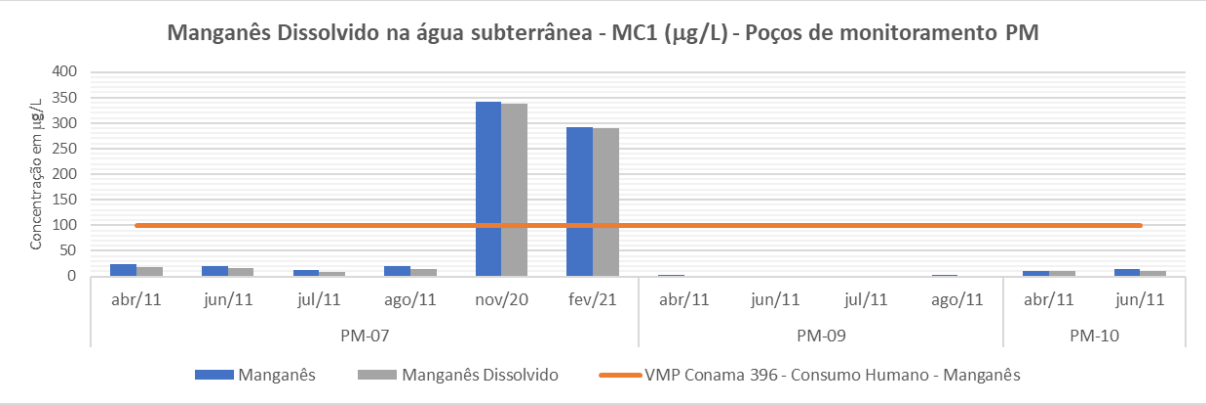


Figura 11.1-315: Manganês Dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM.

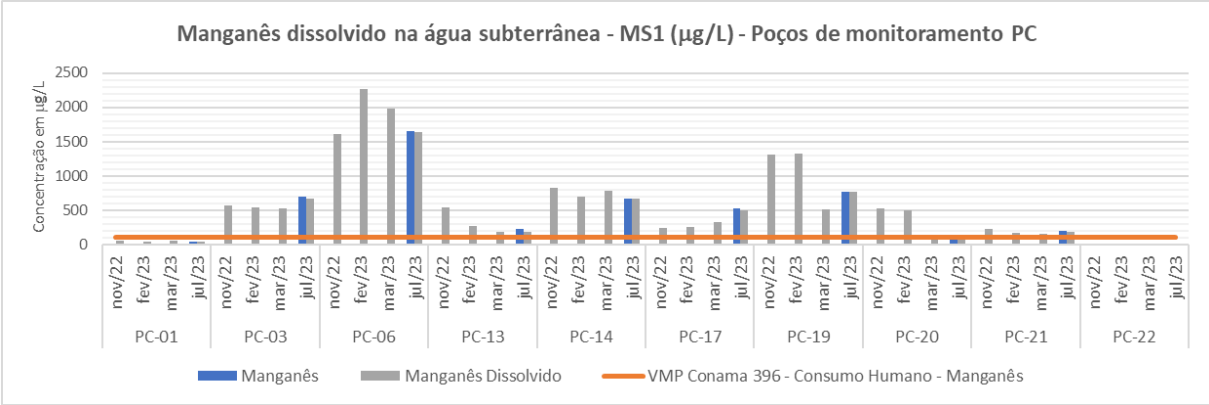


Figura 11.1-316: Manganês dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

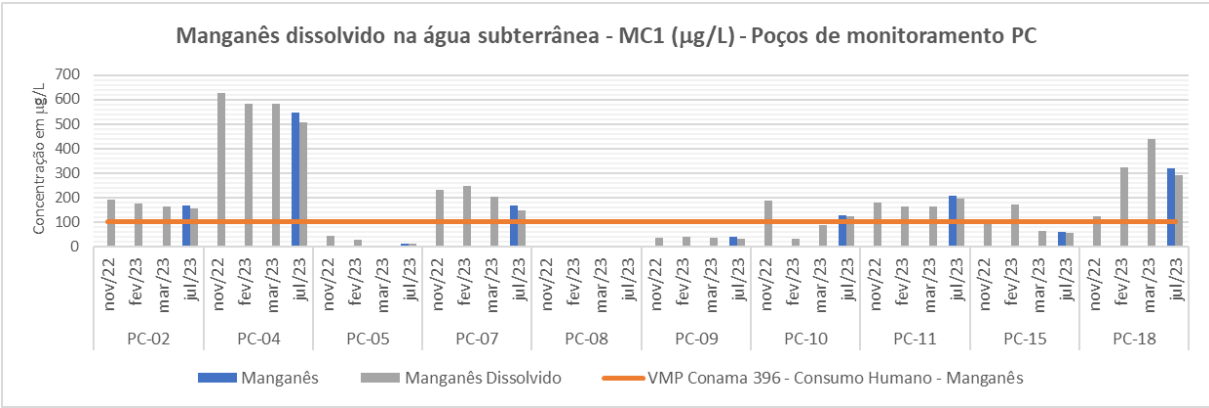


Figura 11.1-317: Manganês dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

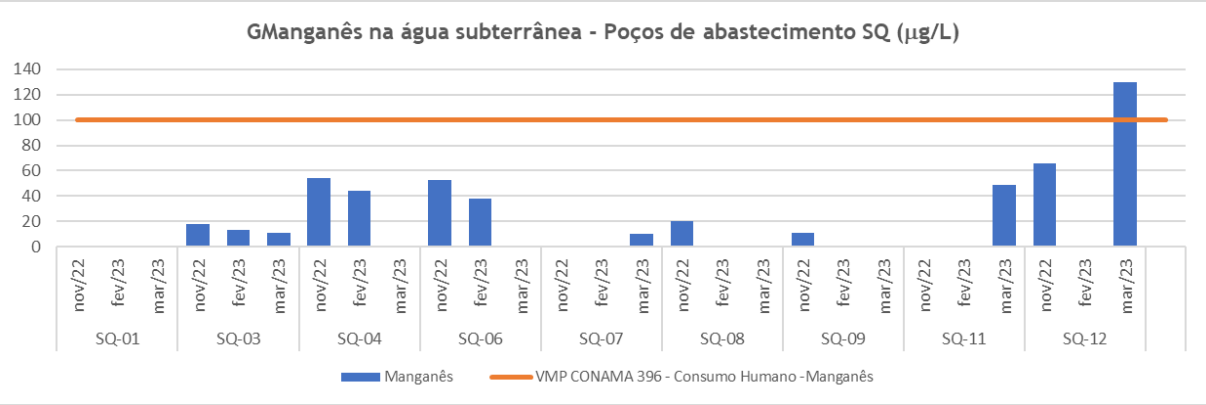


Figura 11.1-318: Manganês na água subterrânea - Poços de abastecimento SQ (mg/L).

B.11. Níquel

O níquel é um metal prateado, razoavelmente duro, dúctil e maleável. Apresenta um fraco brilho amarelado devido, em parte, à existência de uma camada protetora de óxido. Forma compostos inorgânicos solúveis, como os hidróxidos, sulfatos, cloretos e nitratos, e insolúveis, como os óxidos e sulfetos (CETESB, 2022).

A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o níquel metálico como possível cancerígeno para o ser humano (Grupo 2B), e os compostos de níquel como cancerígenos para o ser humano (Grupo 1), além de concluir que há evidências suficientes em seres humanos da carcinogenicidade de misturas contendo compostos de níquel e níquel metálico. Esses compostos causam câncer de pulmão, na cavidade nasal e nos seios paranasais. A exposição da população geral ao níquel pode ocorrer por inalação de ar, ingestão de água e de alimentos ou contato com a pele (CETESB, 2022).

As campanhas de 2011 e 2021 nos poços PM mostraram que níquel dissolvido foi quantificado em nove das 12 amostras (75%) da unidade MS-1 e em 7 das 12 amostras coletadas (58,3%) na unidade MC-1. Nenhuma amostra, tanto da unidade MS-1 quanto da unidade MC-1 apresentou níquel dissolvido acima do VMP CONAMA 396/2008 de 20 µg/L.

Na campanha de 2023 (os poços PC e SQ não foram amostrados no âmbito do PMRA-PO nas campanhas de 2022 e 2023) o níquel dissolvido foi quantificado nas amostras coletadas a partir dos poços PC em 7 das 10 amostras (70%) da unidade MS-1 e em apenas uma amostra (10%) da unidade MC-1. Nenhuma amostra deste grupo de poços apresentou níquel dissolvido acima do VMP CONAMA 396/2008 de 20 µg/L.

O Quadro 11.1.12-69 a seguir mostra, para cada campanha, as concentrações mínimas, máximas e médias de níquel dissolvido na água subterrânea.

Quadro 11.1.12-69: Concentrações mínima, máxima e média de níquel dissolvido na Água Subterrânea.

Unidade Hidrogeológica	Campanha	Mínima (µg/L)	Máxima (µg/L)	Média (µg/L)
MS-1	2011 e 2021	3,00	18,00	8,69
	2022 e 2023	1,32	3,24	2,35
MC-1	2011 e 2021	1,00	7,00	3,57
	2022 e 2023	1,10	2,42	1,76

Unidade Hidrogeológica	Campanha	Mínima (µg/L)	Máxima (µg/L)	Média (µg/L)
Poços de abastecimento	2022 e 2023	N/A	N/A	N/A

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática. N/A: não analisado.

Fonte: BTB Explorers.

Foi possível aplicar a análise estatística da tendência das concentrações de níquel apenas aos poços amostrados nas campanhas de 2011 e 2021 (poços PM). Com relação as demais campanhas (campanhas de 2022 e 2023), não foram obtidos dados suficientes para que seja realizada a análise estatística da tendência das concentrações de níquel nos poços de abastecimento SQ e PC.

O Quadro 11.1.12-70 a seguir resume os resultados, cujas planilhas de saída se encontram no Volume V - Anexos 11.1.12-6.

A avaliação estatística da tendência de evolução das concentrações de níquel dissolvido mostrou que nas duas unidades, MC-1 e MS-1, há a tendencia de estabilização das concentrações deste parâmetro na água subterrânea dos poços PM-05 (MS-1) e PM-10 (MC-1) e sem tendência em dois poços (PM-07 e PM-09) da unidade MC-1.

Quadro 11.1.12-70: Resumo dos resultados da análise estatística para níquel dissolvido.

Campanhas 2011 e 2021 – Concentrações de níquel dissolvido				
Tendência	Unidade Hidrogeológica MS-1	Unidade Hidrogeológica MC-1		
	PM-05	PM-07	PM-09	PM-10
Crescendo				
Provavelmente crescendo				
Estável	X			X
Provavelmente decrescendo				
Decrescendo				
Sem tendência		X	X	
Não analisado				

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

Da Figura 11.1-319 até a Figura 11.1-322 estão ilustradas a ocorrência de níquel na água subterrânea da MS-1 e MC-01 e nos poços de abastecimento.

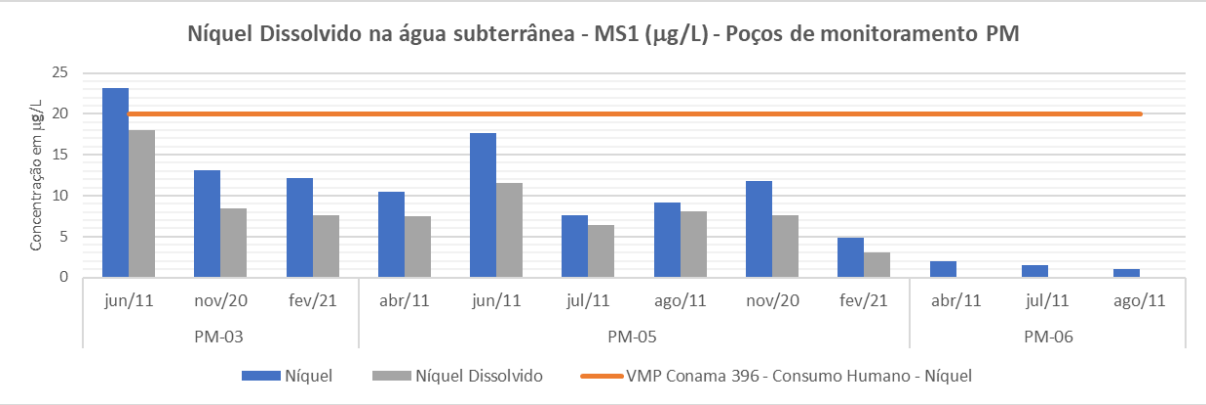


Figura 11.1-319: Níquel Dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM.

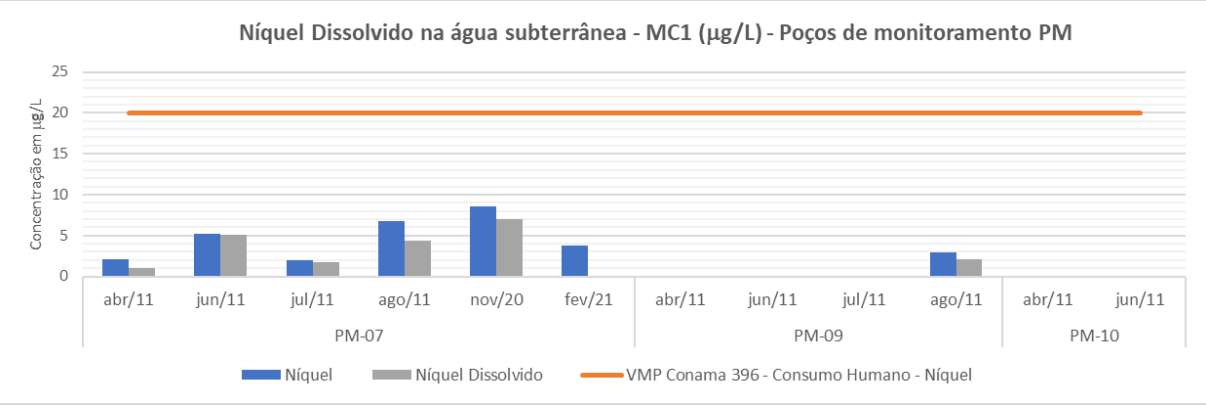


Figura 11.1-320: Níquel Dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PM.

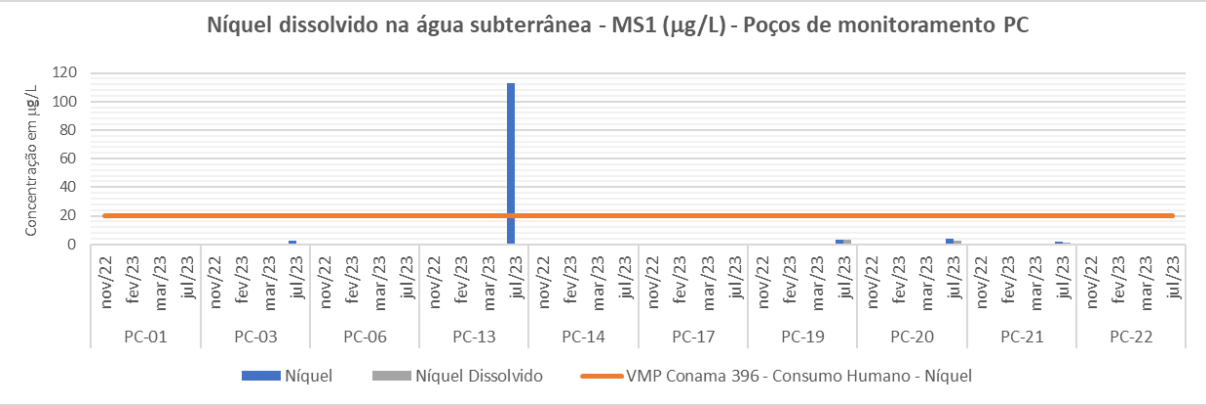


Figura 11.1-321: Níquel dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

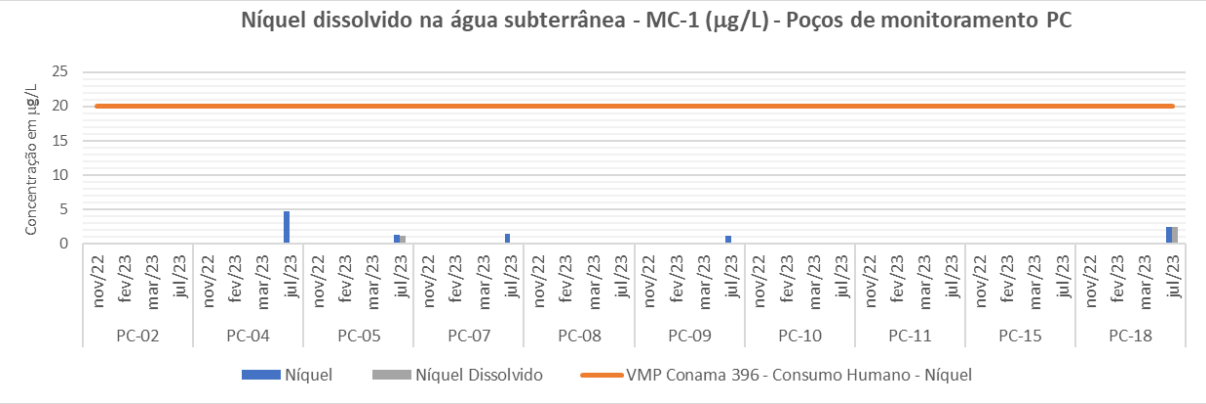


Figura 11.1-322: Níquel dissolvido na água subterrânea - MC-1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

B.12. Urânio

O urânio dissolvido não foi quantificado em todas as amostras provenientes das unidades MS-1 e MC-1 obtidas nas campanhas de 2011 e 2021 dos poços "PM". Apesar da Unidade MC-1 abrigar a jazida de urânio, as amostras de água subterrânea obtidas a partir dos poços PM não estão sobre a áreas da jazida.

A única amostra que apresentou urânio nos poços de monitoramento foi a amostra proveniente do PM-05 em junho de 2011 e, ainda assim, apenas na forma total, não se confirmando a ocorrência na forma dissolvida. Nas últimas duas campanhas do poço INB na Unidade MS1, também foi identificado traços de Urânio na água subterrânea. A concentração máxima de urânio total identificada foi de 1,85 µg/L no PM-05, sendo inferior ao VMP de 15 µg/L da CONAMA 396/2008.

Na campanha de 2022 e 2023, urânio dissolvido foi quantificado nas amostras coletadas a partir dos poços PC em 30 das 40 amostras (75%) na unidade MS-1 e em 36 das 40 amostras (90%) coletadas na unidade MC-1. Destas, seis amostras da unidade MS-1 e nove amostras da unidade MC-1 apresentaram concentrações de urânio dissolvido acima do VMP CONAMA 396/2008 de 15 µg/L. Destaque para o poço PC-03 (MS-1) que apresentou concentrações elevadas e o PC-02 (MC-1) que apresentou as maiores concentrações acima do VMP CONAMA 396/2008 e em todas as campanhas realizadas. Os demais poços apresentaram oscilação entre as campanhas.

Nas campanhas de 2022 e 2023 dos poços de abastecimento "SQ", o urânio dissolvido foi quantificado em 16 das 22 amostras (72,7%), sendo que cinco amostras provenientes dos poços SQ-07, SQ-08, SQ-11 e SQ-12 urânio dissolvido ultrapassou o VMP CONAMA 396/2008 de 15 µg/L, com destaque para o poço SQ-12 que apresentou concentração 40,2 µg/L. Nas campanhas de 2022 e 2023 dos poços PC, mostraram que a Unidade Hidrogeológica MC1 apresenta a maior concentração, de 298,77 µg/L na amostra coletada no poço PC-02 em novembro de 2022.

O Quadro 11.1.12-71 a seguir mostra, para cada campanha, as concentrações mínimas, máximas e médias de urânio dissolvido na água subterrânea.

Quadro 11.1.12-71: Concentrações mínima, máxima e média de urânio dissolvido na Água Subterrânea.

Unidade Hidrogeológica	Campanha	Mínima (µg/L)	Máxima (µg/L)	Média (µg/L)
MS-1	2011 e 2021	1,85	1,85	1,85
	2022 e 2023	1,02	46,20	11,42
MC-1	2011 e 2021	<LQ	<LQ	<LQ
	2022 e 2023	1,53	298,77	34,82
Poços de abastecimento	2022 e 2023	2,05	40,16	12,86

<LQ: concentrações inferiores ao limite de quantificação (não quantificado).

Fonte: BTB Explorers.

Foi possível aplicar a análise estatística da tendência das concentrações de urânio dissolvido apenas aos poços amostrados nas campanhas de 2022 e 2023 (poços PC). Não foram obtidos dados suficientes para a realização de análise estatística da tendência nas concentrações de urânio dissolvido dos poços de abastecimento SQ e PM (campanhas de 2011 e 2021). O Quadro 11.1.12-72 a seguir resume os resultados, cujas planilhas de saída se encontram no Volume V - Anexos 11.1.12-6.

Quadro 11.1.12-72: Resumo dos resultados da análise estatística para urânio dissolvido.

Campanhas 2022 e 2023 - Urânio dissolvido										
Unidade Hidrogeológica MS-1										
Tendência	PC-01	PC-03	PC-06	PC-13	PC-14	PC-17	PC-19	PC-20	PC-21	PC-22
Crescendo		X					X			
Provavelmente crescendo										
Estável			X	X	X	X				
Provavelmente decrescendo										
Decrescendo										
Sem tendência	X							X	X	X
Não analisado										
Unidade Hidrogeológica MC-1										
Tendência	PC-02	PC-04	PC-05	PC-07	PC-08	PC-09	PC-10	PC-11	PC-15	PC-18
Crescendo				X						
Provavelmente crescendo										
Estável		X	X						X	
Provavelmente decrescendo										
Decrescendo	X									
Sem tendência					X	X	X	X		X
Não analisado										

MS-: Unidade Metassedimentar. MC-: Unidade Metacarbonática.

Fonte: BTB Explorers.

Observa-se de maneira geral, que tanto na unidade MS-1 quanto na MC-1 as concentrações de urânio dissolvido se encontram estáveis ou sem tendência porém, em dois poços, PC-03 e PC-19 da unidade MS-1 e o poço PC-07 da unidade MC-1 apresentam tendência de crescimento das concentrações.

Da Figura 11.1-323 até a Figura 11.1-325 estão ilustradas a ocorrência de urânio na água subterrânea da MS-1 e MC-01 e nos poços de abastecimento. Não foram gerados gráficos para as campanhas envolvendo os poços PM devido à baixa ocorrência (apenas uma amostra na fração total).

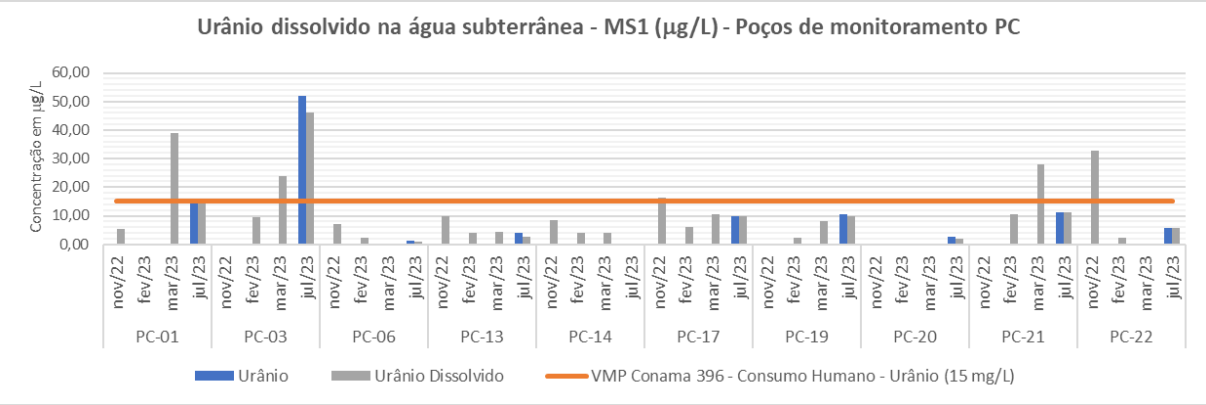


Figura 11.1-323: Urânio dissolvido na água subterrânea - MS1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

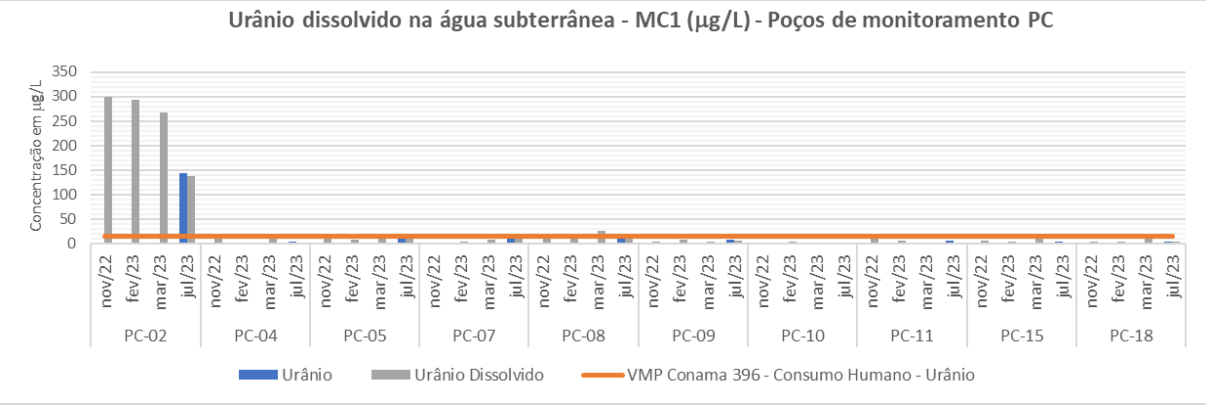


Figura 11.1-324: Urânio dissolvido na água subterrânea - MC1 (mg/L) - Poços de monitoramento PC.

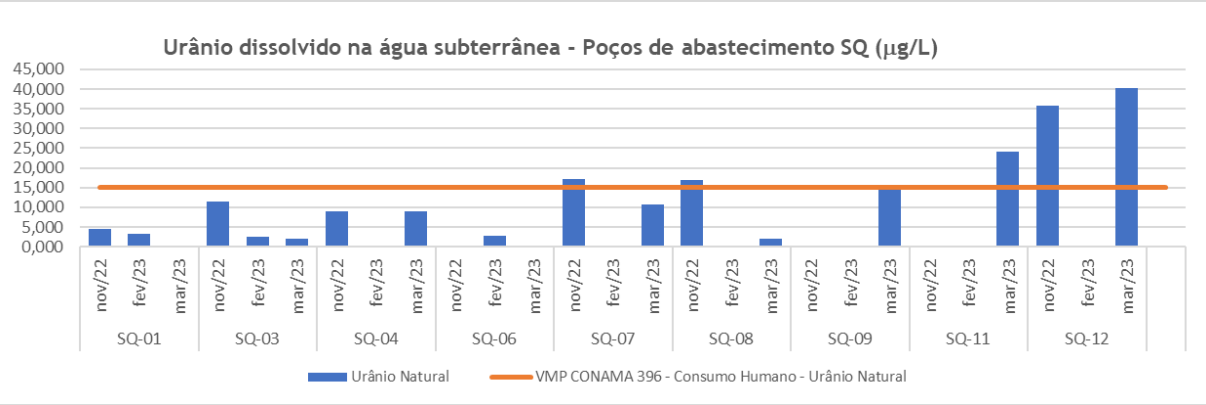


Figura 11.1-325: Urânio dissolvido na água subterrânea - Poços de abastecimento SQ (mg/L).

B.13. Demais Parâmetros Inorgânicos

Os parâmetros inorgânicos quantificados em ocorrências esporádicas e em baixas concentrações nas campanhas dos poços PM e PC são o chumbo, cobalto, cobre, cromo, lítio, molibdênio, nitrito, vanádio e zinco. Estes elementos são naturais devido à composição das rochas e dos solos da região, com os quais a água subterrânea entra em contato.

B.14. Parâmetros Orgânicos

Dentre os parâmetros orgânicos analisados nas campanhas de 2011 e 2023, apenas o parâmetro 'Fenóis' foi quantificado em ambas as campanhas, com as ocorrências inferiores aos VMP CONAMA 396/2008. Adicionalmente, também foram quantificadas na campanha de julho de 2023 dos novos poços PC, os seguintes parâmetros orgânicos:

- Benzeno
- Benzo(a)antraceno
- Benzo(b) fluoranteno
- Cloreto de Vinila
- Criseno
- 1,2-Dicloroetano
- Estireno
- Etilbenzeno

Destes, apenas estireno ultrapassa os VMP CONAMA 396/2008 de 20 μg/L para consumo humano, nas amostras dos poços PC-01, PC-06, e PC-20 da unidade MS-1 e PC-02, PC-07 e PC-11 da unidade MC-1.

A ocorrência de tais compostos orgânicos não é esperada para o ambiente monitorado, pois tratam-se de substâncias de origem antrópica, relacionadas a grupos como hidrocarbonetos de petróleo ou solventes orgânicos clorados e a aleatoriedade de ocorrência, bem como os valores obtidos, sugerem que estas ocorrências podem ser oriundas de contaminação cruzada (ex.: material empregado nos poços, equipamentos utilizados no processo de instalação e amostragem, motor a combustão funcionando próximo dos pontos de coleta no momento da amostragem).

Estas ocorrências de compostos orgânicos devem ser acompanhadas em monitoramentos futuros para embasar conclusões assertivas sobre sua origem na água subterrâneas das duas unidades hidrogeológicas.

O Quadro 11.1.12-73 mostra os resultados dos compostos orgânicos obtidos a partir da campanha de julho de 2023 nos poços de monitoramento PC (novos).

Quadro 11.1.12-73: Resultados dos compostos orgânicos obtidos a partir da campanha de julho de 2023 nos poços de monitoramento PC.

Parâmetros (µg/L)	VR CONAMA 396/2008	MS-1	MC-01	MS-1	MC-01	MC-01	MS-1	MC-01	MC-01	MC-01	MC-01
		PC-01	PC-02	PC-03	PC-04	PC-05	PC-06	PC-07	PC-08	PC-09	PC-10
		jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23
Acrilamida	0,50	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Benzeno	5,00	<0,5	<0,5	0,70	0,50	<0,5	0,60	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Benzo(a)antraceno	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(b)fluoranteno	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(a)pireno	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(k)fluoranteno	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cloreto de vinila	5,00	<0,5	<0,5	<0,5	0,60	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,30
Clorofórmio	200,00	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Criseno	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01
1,2-Diclorobenzeno	1000,00	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,4-Diclorobenzeno	300,00	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
1,2-Dicloroetano	10,00	<0,3	<0,3	<0,3	0,70	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
1,1-Dicloroeteno	30,00	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
cis-1,2-Dicloroeteno	-	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
trans-1,2-Dicloroeteno	-	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
1,2-Dicloroeteno (cis+trans)	50,00	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2
Dibenzo(a,h)antraceno	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Diclorometano	20,00	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Estireno	20,00	23,90	32,40	4,30	18,80	18,40	28,40	22,10	14,30	<1	8,80
Etilbenzeno	200,00	1,20	1,40	<1	<1	<1	1,30	1,10	<1	<1	<1
Índice de Fenóis	3,00	2,20	<1	1,30	<1	1,20	<1	1,20	<1	<1	<1
Indeno(1,2,3,cd)pireno	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB´s	0,50	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
PCB 28	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 52	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 101	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 118	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 138 + PCB 158	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
PCB 153	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 180	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tetracloreto de Carbono	2,00	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
1,2,3-Triclorobenzeno	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,2,4-Triclorobenzeno	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,3,5-Triclorobenzeno	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Triclorobenzenos	20,00	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Tetracloroeteno	40,00	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Tricloroeteno	70,00	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Tolueno	170,00	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
m,p-Xilenos	-	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
o-Xileno	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Parâmetros (µg/L)	VR CONAMA 396/2008	MS-1	MC-01	MS-1	MC-01	MC-01	MS-1	MC-01	MC-01	MC-01	MC-01
		PC-01	PC-02	PC-03	PC-04	PC-05	PC-06	PC-07	PC-08	PC-09	PC-10
		jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23
Xilenos	300,00	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3

Parâmetros (µg/L)	VR CONAMA 396/2008	MC-01	MS-1	MS-1	MC-01	MS-1	MC-01	MS-1	MS-1	MS-1	MS-1
		PC-11	PC-13	PC-14	PC-15	PC-17	PC-18	PC-19	PC-20	PC-21	PC-22
		jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23
Acrilamida	0,50	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Benzeno	5,00	<0,5	<0,5	0,70	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Benzo(a)antraceno	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(b)fluoranteno	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(a)pireno	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(k)fluoranteno	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cloreto de vinila	5,00	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Clorofórmio	200,00	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Criseno	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01
1,2-Diclorobenzeno	1000,00	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,4-Diclorobenzeno	300,00	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
1,2-Dicloroetano	10,00	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,40	<0,3	<0,3	<0,3
1,1-Dicloroeteno	30,00		<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
cis-1,2-Dicloroeteno	-	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
trans-1,2-Dicloroeteno	-	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
1,2-Dicloroeteno (cis+trans)	50,00	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2
Dibenzo(a,h)antraceno	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Diclorometano	20,00	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Estireno	20,00	25,00	17,50	<1	15,30	3,50	<1	2,00	22,80	<1	18,10
Etilbenzeno	200,00	1,30	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,30	<1	1,30
Índice de Fenóis	3,00	1,40	<1	1,20	<1	<1	<1	<1	1,40	<1	<1
Indeno(1,2,3,cd)pireno	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB´s	0,50	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
PCB 28	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 52	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 101	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 118	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 138 + PCB 158	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
PCB 153	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB 180	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tetracloreto de Carbono	2,00	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
1,2,3-Triclorobenzeno	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,2,4-Triclorobenzeno	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,3,5-Triclorobenzeno	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Triclorobenzenos	20,00	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Tetracloroeteno	40,00	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Tricloroeteno	70,00	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

Parâmetros (µg/L)	VR CONAMA 396/2008	MC-01	MS-1	MS-1	MC-01	MS-1	MC-01	MS-1	MS-1	MS-1	MS-1
		PC-11	PC-13	PC-14	PC-15	PC-17	PC-18	PC-19	PC-20	PC-21	PC-22
		jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23	jul/23
Tolueno	170,00	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
m,p-Xilenos	-	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
o-Xileno	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Xilenos	300,00	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3

(VR) Valor de referência para o padrão de qualidade ambiental estabelecido pela resolução CONAMA 396/2008 para consumo humano de águas subterrâneas. (-) Sem valor de referência na resolução CONAMA 396. Valor em cinza: composto abaixo do limite de quantificação (LQ) do método analítico. Valor em vermelho: composto acima do VMP CONAMA 396/2008, portanto desenquadrado dos padrões de qualidade adotados.

B.15. Coliformes termotolerantes e E.coli

Os resultados de coliformes termotolerantes e *E.coli* das campanhas de 2011 a 2021 apresentaram alterações de padrões de qualidade nas amostras dos poços no PM-03 (2020 e 2021) PM-05 (2011), PM-07 (2011) e PM-10 (2011). As únicas fontes ativas para este tipo de contaminante, são a urina e fezes de origem animal soltos pela área, que vagueiam pela área de estudo, conforme verificado durante as inspeções de campo.

A campanha de 2023, realizada a partir dos novos poços "PC" instalados em 2022 (Geohidro, 2023), não quantificou a presença (ausentes) de coliformes termotolerantes e *E.coli*, em todas as amostras dos 20 poços "PC". Campanhas futuras devem confirmar este cenário de ausência deste tipo de contaminante. O Quadro 11.1.12-74 mostra os resultados destas análises da campanha de julho de 2023.

Quadro 11.1.12-74: Resultados das análises de microrganismos da campanha de julho de 2023.

Microrganismos		Coliformes Termotolerantes (E. coli)	Coliformes Fecais	Enterococcus
VMP CONAMA 396/2008		Ausente	Ausente	-
PC-01	jul/23	Ausente		<1
PC-02	jul/23	Ausente		<1
PC-03	jul/23	Ausente		1
PC-04	jul/23	Ausente		4
PC-05	jul/23	Ausente		18
PC-06	jul/23	Ausente		<1
PC-07	jul/23	Ausente		1
PC-08	jul/23	Ausente		<1
PC-09	jul/23	Ausente		<1
PC-10	jul/23	Ausente		7

Microrganismos		Coliformes Termotolerantes (E. coli)	Coliformes Fecais	Enterococcus
PC-11	jul/23	Ausente		9
PC-12	jul/23	N/A	N/A	N/A
PC-13	jul/23	Ausente		<1
PC-14	jul/23	Ausente		41
PC-15	jul/23	Ausente		<1
PC-17	jul/23	Ausente		<1
PC-18	jul/23	Ausente		2
PC-19	jul/23	Ausente		4
PC-20	jul/23	Ausente		6
PC-21	jul/23	Ausente		20
PC-22	jul/23	Ausente		1

N/A: não amostrado.

11.1.13 Patrimônio Espeleológico

O presente Estudo do Patrimônio Espeleológico teve como objetivo atualizar o trabalho anterior do PSQ (Carste, 2021), incorporando as mudanças no layout do projeto, as considerações do Ibama no Parecer Técnico n.º 148/2022 (SEI n.º 14359621), além dos novos preceitos legais estabelecidos pelo Decreto Federal n.º 10.935/2022 e a atualização da lista nacional da fauna ameaçada de extinção publicada na Portaria MMA n.º 148/2022. Pata tal, reapresenta-se o estudo completo, visando maior segurança dos dados e informações referentes ao tema, de forma a facilitar a análise do órgão.

Devido a uma discreta alteração no layout da ADA do empreendimento, fez-se necessária a complementação da prospecção espeleológica em uma área de 5,17 ha, em agosto de 2023.

Além disso, visando mitigar eventuais impactos sobre as cavidades da área de estudos, considerando a implantação e a operação do empreendimento, foi elaborado o estudo sismográfico voltado ao patrimônio espeleológico, que objetivou a definição dos limites de vibração para cada cavidade, incluindo a caracterização da vibração a ser emitida (modelo numérico), além do limite operacional e elementos de controle de emissão de vibrações.

Considerando que o estudo pretérito foi realizado à luz de uma legislação revogada, elaborou-se um estudo integrado, com metodologia padronizada para toda a amostra de cavidades localizadas na área de estudo (ADA do empreendimento + buffer de 250 metros). Tais procedimentos foram realizados em conformidade com a Instrução Normativa (IN) do Ministério do Meio Ambiente nº 02/2017, a normativa em vigor no atual momento, elucidando

tanto os questionamentos no Parecer Técnico 02001.003419/2016-12 COMOC/Ibama (SEI nº 3025688), como do Parecer Técnico n.º 148/2021 (SEI n.º 14359621). Todos os elementos gráficos (mapas e ilustrações) consideraram as normas estabelecidas referentes ao tema, além das exigências do TR.

As atividades de coleta da fauna cavernícola foram embasadas pela Autorização de Captura, Coleta e Transporte de Material Biológico ABIO n.º 06/2020, emitida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama e contemplaram as estações de seca e úmida. A sazonalidade amostral foi corroborada não só com os dados pluviométricos da estação meteorológica mais próxima do projeto, mas também com as características da fitofisionomia típica do Bioma da região (Caatinga).

A seguir, de forma sucinta, são apresentados os principais dados levantados durante as atividades dos Estudos do Patrimônio Espeleológico na área do Projeto Santa Quitéria. Os procedimentos, dados, discussões e resultados detalhados (Prospecção Espeleológica, Diagnóstico Espeleológico e Relevância, Proposta de Área de Influência Espeleológica e Avaliação de Impacto ao Patrimônio Espeleológico) são apresentados no Anexo 11.1.13-1.

11.1.13.1 Introdução

O contexto de licenciamento ambiental desse empreendimento abarca um extenso histórico de estudos espeleológicos, iniciados no ano de 2011, para subsidiar o Processo n.º 02001.005454/2004-24, no Ibama, que resultou na emissão de diversos Pareceres Técnicos. No ano de 2020, após a alteração do plano diretor do projeto e a consequente redução da área diretamente afetada - ADA foi realizada a abertura do novo Processo junto ao Ibama, de n.º 02001.014391/2020-17. Nesse contexto, novos estudos espeleológicos foram concluídos em 2021, com o objetivo de apresentar:

I. Prospecção espeleológica na ADA acrescida do buffer de 250 m e mapeamento de todas as feições;

II. Aplicação do Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017 para as cavidades com desenvolvimento linear - DL inferior a 5 m;

III. Diagnóstico espeleológico e análise de relevância;

IV. Proposta de área de influência das cavidades;

V. Avaliação de impactos ambientais ao patrimônio espeleológico, incluindo a proposta de compensação espeleológica.

A análise desse trabalho pelo Ibama, bem como de todo o Estudo de Impacto Ambiental do Projeto, resultou no Parecer Técnico n.º 148 (SEI n.º 14359621), emitido em dezembro de 2022.

Esta nova versão dos estudos espeleológicos do Projeto Santa Quitéria objetiva, assim, atender às colocações do Parecer n.º 148, considerando ainda as alterações posteriores no layout do Projeto e as modificações legais sobre o tema. Assim como no documento anterior (CARSTE, 2021), este estudo incorpora, de modo específico:

- Atualização da prospecção espeleológico em trechos até então não percorridos da nova ADA acrescida do *buffer* de 250 m;
- Atualização da Lista nacional de espécies ameaçadas de extinção, de cordo com a portaria MMA n.º 148 de 07 de junho de 2022;
- Revisão da classificação de relevância das cavernas, com base na reavaliação dos atributos "espeleotemas únicos" e "estrutura geológica de interesse científico", bem como na incorporação dos atributos de máxima relevância do Decreto Federal n.º 10935/2022;
- Complementação das informações sobre a espécie nova *Lonchophylla* sp. nov. com a taxonomista especialista Dra. Patricia Pilatti, pesquisadora da UFPB;
- Dados sobre os abrigos da espécie ameaçada *Furipterus horrens*, com base em novos inventários de campo apresentados no EIA;
- Reporte sobre o andamento das descrições dos táxons considerados novos;
- Discussão sobre o estudo de telemetria a ser realizado, a fim de averiguar o raio de forrageamento da espécie ameaçada *Furipterus horrens*;
- O detalhamento sobre a função das descontinuidades estruturais na delimitação das áreas de contribuição hidrossedimentar das cavidades;
- Atualização da avaliação de impactos ao patrimônio espeleológico, incluindo reanálise dos critérios de classificação dos impactos; e
- Numeração em todas as figuras e quadros e referência às mesmas no texto.

O relatório foi estruturado em seis encartes. O primeiro inclui a contextualização sobre o histórico dos estudos espeleológicos na área do projeto e detalha os métodos aplicados. As complementações no levantamento espeleológico e o inventário atualizado das cavidades

da área são apresentados no segundo encarte. Posteriormente, os resultados da classificação de relevância das cavernas são discutidos, inicialmente para aquelas com DL inferior à 5 m e na sequência para as maiores. O quarto encarte retrata a proposta de delimitação das áreas de influência espeleológica, sendo sucedido pelos estudos de avaliação de impactos a esse patrimônio, no encarte cinco. Por fim, o encarte seis apresenta as considerações finais e as referências bibliográficas do trabalho.

11.1.13.2 Metodologia

11.1.13.2.1 Levantamento bibliográfico

A pesquisa bibliográfica representou a primeira etapa dos estudos espeleológicos. Baseou-se no levantamento da literatura científica em plataformas de periódicos e livros, além de relatórios técnicos anteriores da área de estudo. Incluiu ainda a organização cartográfica dos aspectos geológicos e fisiográficos da região, sempre priorizando as bases em melhor escala, bem como a consulta aos bancos de dados espeleológicos: o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas vinculado ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CANIE/CECAV) e o Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil da Sociedade Brasileira de Espeleologia (CNC/SBE).

11.1.13.2.2 Prospecção Complementar

A. Potencial espeleológico

A avaliação do potencial espeleológico consistiu em um procedimento de grande importância nos trabalhos de prospecção, uma vez que oferece indicativo das áreas mais propensas à ocorrência de cavidades naturais subterrâneas.

A análise multicritério é aplicada de forma a integrar os diversos fatores ambientais que influenciam no potencial espeleológico. Com o auxílio do software ArcGis 10.5 realizou-se o cruzamento dos planos de informação acerca da litologia (compilação de dados geológicos realizada por Tetra Mais 2021), estruturas geológicas (Carta geológica SB.24-V-B-V - Itatira (CPRM 2008, escala 1:100.000), declividade (curvas de nível com equidistância de 1 m disponibilizadas pela Tetra Mais 2021), hidrografia (IBGE 2013) e afloramentos rochosos definidos a partir do aerolevantamento com VANT (Veículo Aéreo Não-Tripulado). Para cada uma das cinco variáveis mencionadas, foram estabelecidas classes, de acordo com a variação desses fatores na área de estudo. Tanto para as classes quanto para as variáveis, foram determinados pesos, diretamente relacionados ao maior ou menor grau que esses exercem sobre a potencialidade espeleológica. A soma dos pesos para as variáveis atingiu 1,0. O peso das classes, por sua vez, variou de 1 (menor influência) a 4 (maior influência). O Quadro

11.1.13-1 a seguir apresenta as variáveis e respectivas classes estabelecidas para a análise de multicritério, bem como os pesos considerados, aplicados para a área.

Quadro 11.1.13-1: Variáveis, classes e respectivos pesos da análise multicritério para definição do potencial espeleológico da área do projeto

VARIÁVEIS	PESOS DAS VARIÁVEIS	CLASSES	PESOS DAS CLASSES	FONTE
Litologia	0,40	Alto	3	Tetra Mais (2021)
		Médio	2	
Afloramentos	0,30	Presença	4	Traçados a partir do aerolevantamento com VANT (Veículo Aéreo Não-Tripulado)
		Ausência	1	
Densidade de estruturas (km/km²)	0,07	0 - 0,38	1	Carta geológica SB.24-V-B-V - Itatira (CPRM 2008, escala 1:100.000)
		0,38 - 1,11	2	
		1,11 - 2,07	3	
		2,0 - 3,80	4	
Densidade de drenagem (km/km²)	0,03	0 - 0,47	1	IBGE (2013)
		0,047 - 0,48	2	
		0,84 - 1,14	3	
		1,14 - 1,58	4	
Declividade (graus)	0,2	0 – 10	1	Curvas de nível com equidistância de 1 m disponibilizadas pela Tetra Mais (2021)
		10 – 20	2	
		20 – 30	3	
		> 30	4	

Elaboração: Carste, 2023.

Para o enquadramento das unidades litoestratigráficas nas classes litológicas estabelecidas, foram adotadas as considerações de Jansen et al. (2012), com pequenas adaptações, conforme Figura 11.1-326.

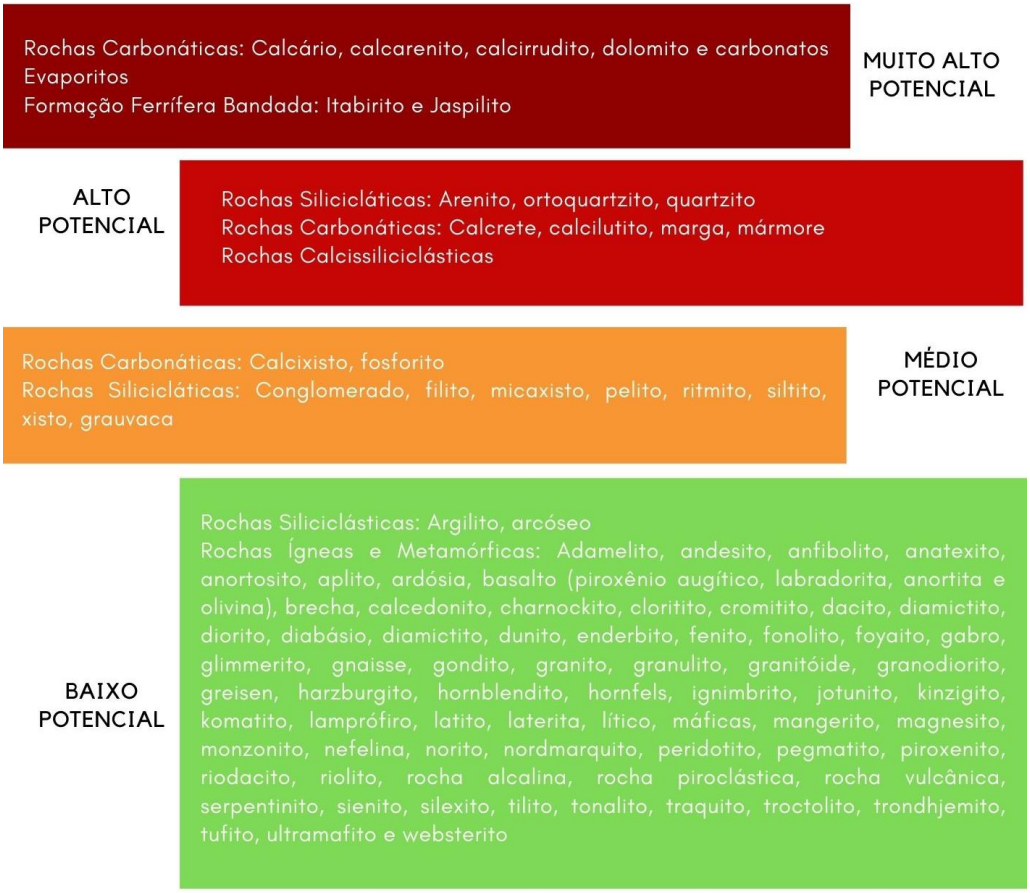


Figura 11.1-326: Grau de potencialidade de ocorrência de cavernas de acordo com a litologia, segundo Jansen et al. (2012).

B. Caminhamento espeleológico

A partir dos dados de potencialidade gerados, e tendo como base as características do terreno, estipulou-se a densidade e o formato da malha de caminhamento.

Como a densidade é planejada em função do tipo do relevo, da visibilidade do terreno, também influenciada pelo tipo de vegetação, e do potencial espeleológico, essa varia ao longo da área a ser prospectada. No presente estudo, foi estipulada uma malha de caminhamento paralela, com a equidistância inicial proposta variando entre 60 m a 100 m para os locais de médio e baixo potencial espeleológico. Para os locais com afloramentos rochosos, de alto e muito alto potencial, a malha de caminhamento empregada foi assimétrica, percorrendo todo maciço rochoso aflorante, em malha densa de caminhamento.

O caminhamento sistemático foi balizado pela análise documental e cartográfica, e registrado por meio de aparelho GPSMap Garmin 62s, no sistema de coordenadas planas na projeção UTM, fuso 24M, Datum Sirgas 2000.

A prospecção da área do Projeto Santa Quitéria foi realizada em três campanhas. A primeira no período entre 01 e 07 de dezembro, e entre 18 e 23 de dezembro de 2020, com uma equipe de campo; a segunda entre 06 e 25 de janeiro de 2021, com duas equipes; e a terceira entre 14 e 18 de agosto de 2023, também com duas equipes. Essa última campanha teve como objetivo complementar o caminhamento na nova ADA do projeto, em uma área de 5,17 ha.

C. Cadastro espeleológico

Cavidades naturais subterrâneas são definidas pelo Decreto Federal n.º 99.556, de 1º de outubro de 1990, com nova redação dada pelo Decreto Federal n.º 6.640, de 07 de novembro de 2008, como:

> *[...] todo e qualquer espaço subterrâneo acessível pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, furna ou buraco, incluindo seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, a fauna e a flora ali encontrados e o corpo rochoso onde os mesmos se inserem, desde que tenham sido formados por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou tipo de rocha encaixante" (BRASIL, 2008).*

Por esse motivo, como premissa dos trabalhos, todas as feições acessíveis pelo ser humano foram registradas pela prospecção na área do empreendimento, assumindo, ainda, como condição para o cadastro, o fechamento do plano do ponto zero (ou seção inicial).

A metodologia adotada para a definição desse plano tem como base as convenções estabelecidas pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV) e Instituto Chico Mentes (ICMBio), que determinam o início da cavidade a partir do ponto mais externo onde seja possível o fechamento de um plano vertical, sempre perpendicular ao eixo do conduto, que toque a rocha ou solo em todo o seu perímetro, ou seja, paredes, teto e piso. Desse modo, um plano vertical foi mais inclinado na medida em que o conduto assim o faz, até tornar-se horizontal em condutos verticais ou abismos.

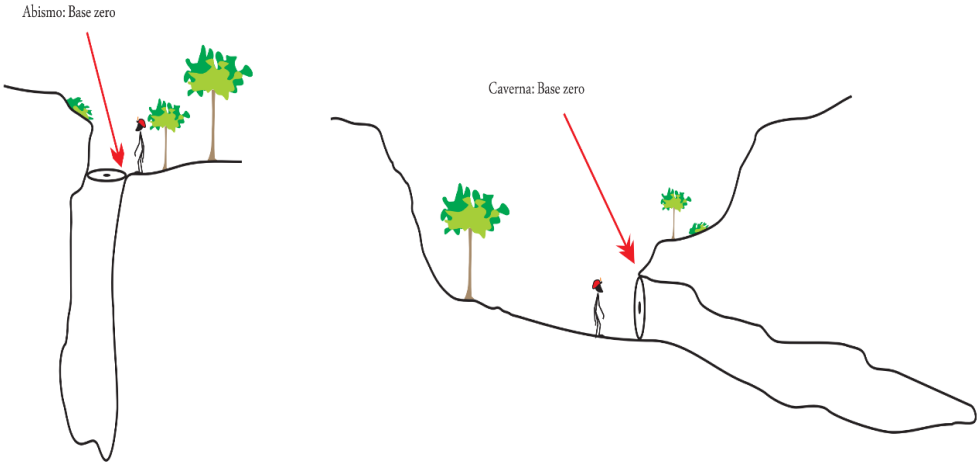


Figura 11.1-327 - Convenção para se determinar o início da cavidade, segundo CECAV/ICMBIO.

Uma vez atendidos esses dois critérios (acessibilidade e fechamento do plano do ponto zero), as cavidades encontradas foram cadastradas e identificadas, por meio da fixação junto à entrada de pequenas placas de alumínio com o nome da cavidade, além de fitas de vinil coloridas. Para cada feição cadastrada, o procedimento inclui coleta das coordenadas planas, por meio de aparelho GPS de navegação, registro fotográfico e o preenchimento da ficha de campo, que contempla as características gerais de cada feição.

D. Espeleotopografia

Para fins do presente estudo, classificou-se como "cavidades anteriormente cadastradas" aquelas catalogadas no licenciamento anterior, conforme estudos da Arcadis (2013, 2014, 2015, 2016), Carste (2013) e ORB (2015). As "cavidades novas" são aquelas identificadas no estudo referenciado como Carste (2021). O mapeamento de todas as cavidades do projeto foi realizado em dois momentos distintos: outubro e novembro de 2020 (para as cavidades anteriormente cadastradas); fevereiro e março de 2021 (para as cavidades novas). A campanha de 2023 não cadastrou novas cavidades.

Os equipamentos utilizados incluem bússola Suunto KB-14 e clinômetro Suunto PM-5, além de trena laser Leica Disto A3. O caminhamento da topografia seguiu o método de bases fixas, com estabelecimento de bases sempre que detectadas alterações na morfologia da caverna.

Os dados da topografia foram tratados utilizando o software OnStation (2000), para que se possa ter a visualização dos dados da linha de trena de forma tridimensional. A declinação magnética é obtida através do software Geomag (Versão 3 2010).

A cartografia final foi realizada com auxílio do software de plataforma CAD (AutoCAD 2012). As linhas de trena foram declinadas e georreferenciadas.

Para o cálculo do desenvolvimento linear (DL), a medida da distância ao longo do eixo da cavidade foi obtida considerando a inclinação do mesmo. Foram considerados para os cálculos as informações contidas nas bases topográficas, bem como as linhas de trena e desnível das cavidades; abruptos e suaves. Com os dados georreferenciados e visualizados em plataforma 3D, associados aos perfis indicados nos mapas, foi possível precisar o valor do DL de cada uma das cavidades analisadas.

11.1.13.2.3 Aplicação do Art. 12º da IN MMA N.º 02/2017

A Instrução Normativa n.º 02/2017 do Ministério do Meio Ambiente, publicada em 1 de setembro de 2017, aponta em seu Art. 12º, que as cavidades naturais subterrâneas com menos que cinco metros de desenvolvimento linear serão classificadas com baixo grau de relevância, desde que demonstrada a inexistência de zona afótica; destacada relevância histórico-cultural ou religiosa; presença de depósitos químicos, clásticos ou biogênicos de significativo valor cientifico, cênico ou ecológico; função hidrológica expressiva para o sistema cárstico.

No Projeto Santa Quitéria foram identificadas 34 cavidades com DL inferior a 5 m. Os critérios considerados para avaliação de cada um desses atributos são detalhados nos Estudos Espeleológicos do PSQ, incluso no Anexo 11.1.13-1.

11.1.13.2.4 Geoespeleologia

A. Campo

O estudo geoespeleológico das 90 cavidades com DL superior a 5 m foi realizado por equipes compostas por geólogos/geógrafos e auxiliares de campo, em duas campanhas: i) 10 a 24 de fevereiro de 2021; e ii) 10 a 31 de março de 2021.

B. Inserção na paisagem

A análise da inserção das cavernas na paisagem envolve a caracterização do entorno, modo de inserção e declividade da vertente, tipo de cobertura do solo e feições de relevo, identificação das áreas de captação hidrológicas e cobertura vegetal.

C. Análise litoestrutural

Objetiva identificar e caracterizar o litotipo no qual as cavidades se desenvolvem. Estruturas geológicas presentes foram descritas e, quando possível, medidas. As medidas das estruturas foram tomadas com bússola de marca Brunton Geo, modelo DF5008.

D. Morfologia e espeleometria

Na análise morfológica, buscou-se interpretar o padrão planimétrico das cavidades, bem como as macro, meso e microformas em seu interior, correlacionando-as aos dados estruturais e litológicos. Utilizou-se a planta baixa e as seções transversais e longitudinais.

As cavidades foram também avaliadas quanto às suas dimensões, nos critérios de projeção horizontal, desnível, área e volume aproximado. Os dados dimensionais foram estatisticamente tratados, espacialmente localizados e comparados com amostra local e regional, conforme preconiza a legislação espeleológica.

E. Hidrologia

Com o objetivo de caracterizar a dinâmica hidrológica das cavidades, foi avaliada a presença de processos e feições hidrológicas ou vestígios relacionados a essas feições. Estes foram descritos quanto a sua intensidade, localização na caverna, dimensão das feições (quando aplicado).

Figura 11.1-328: Avaliação das lapiás junto aos afloramentos da área, para interpretação do direcionamento das águas meteóricas junto aos maciços residuais.

F. Depósitos clásticos, químicos e orgânico

Depósitos de sedimentos clásticos foram classificados conforme sua granulometria e descritos de modo a fornecer pistas sobre sua origem e sedimentação. Os depósitos orgânicos

também foram descritos de forma breve, quando existentes. Os depósitos químicos (espeleotemas) foram identificados, fotografados e descritos individualmente, por tipo.

G. Espeleogênese

Com base nas principais referências bibliográficas sobre a gênese de cavernas carbonáticas e em gnaisse e na análise e correlação dos atributos físicos, a espeleogênese foi discutida, considerando especialmente os possíveis fatores controladores e os indicadores da evolução.

11.1.13.2.5 Aspectos Socioeconômicos e Histórico-Culturais

Esta análise foi realizada por meio de diagnóstico arqueológico não interventivo de cavidades naturais (Peruaçu 2021) apresentado no Anexo 11.1.13-1 do Estudo completo do Patrimônio Espeleológico do PSQ.

11.1.13.2.6 Bioespeleologia

A. Sazonalidade amostral

O inventário bioespeleológico nas cavidades foi efetuado entre os meses de dezembro de 2020, janeiro, março, junho e agosto do ano de 2021.

A delimitação das estações seca e úmida foi correlacionada aos dados pluviométricos de precipitação anual (2020 e 2021) fornecidos pela FUNCEME a partir da estação meteorológica de Lagoa do Mato (189) localizadas na região do projeto, assim como é apresentado no diagnóstico ambiental de clima do EIA (Tetra Mais 2021).

De uma forma geral, as atividades de campo aconteceram em dois períodos climáticos distintos - estação seca e estação úmida, compreendendo também, períodos de transição entre as estações seca e chuvosa. Para o presente estudo, foram categorizadas como “Estação Seca” aquelas coletas realizadas durante os meses de dezembro de 2020, janeiro e agosto de 2021. Já a campanha indicativa da “Estação Úmida” refere-se àquela realizada durante os meses de março e junho de 2021.

Importante ressaltar que não somente os dados pluviométricos foram utilizados para embasar a delimitação das estações de coleta, mas também as características da vegetação local no momento das amostragens. A vegetação da região é característica de Caatinga, de porte arbóreo, ocupando o sopé dos morros residuais e toda a Depressão Sertaneja.

Durante os meses de dezembro de 2020, janeiro e agosto de 2021, verificou-se a vegetação seca, acinzentada, com poucas folhas verdes. Já durante os meses de março e

junho de 2021, foi observada alta densidade de folhagens na vegetação de entorno, o que indica que o solo permanecia úmido.

Figura 11.1-329: Características da vegetação da Caatinga durante as oportunidades de amostragem. Vegetação seca nos meses de dezembro de 2020, janeiro e agosto de 2021. Vegetação verdejante nos meses de março e junho de 2021.

B. Atividades de campo

No que diz respeito às atividades de bioespeleologia, uma vez que a IN MMA nº 02/2017 fez necessária uma nova abordagem dos dados coletados em campo e análise dos atributos de relevância, ficou alinhada a necessidade de novas coletas de material biológico nas cavidades.

Ademais, o material biológico coletado nas cavidades amostradas nos anos de 2012 e 2014 está devidamente tombado nos Museus, fato esse que inviabiliza o pareamento das amostras, uma vez que as coleções se encontravam inacessíveis devido ao cenário de pandemia que acometeu o país e o mundo. Dessa forma, o estudo considera exclusivamente os dados coletados pela Carste nos anos de 2020 e 2021, de modo a possibilitar o pareamento e a melhor análise dos dados, conferindo a devida relevância às cavidades do Projeto Santa Quitéria à luz da legislação vigente.

O trabalho de inventariamento da fauna foi subsidiado pela Autorização de Captura, Coleta e Transporte de Material Biológico ABIO n.º 06/2020, emitida pelo Ibama (Anexo 11.1.13-1).

Para a realização do levantamento faunístico foi utilizado o método de busca ativa. Os invertebrados coletados foram acondicionados em recipientes contendo álcool 70% para fixação. O tempo de coleta variou conforme a heterogeneidade de substratos observados na cavidade, sendo estimado um período de 30 minutos por 10 m², para cada coletor.

Para o inventariamento de *Chiroptera* (morcegos), foram estabelecidas etapas para a obtenção dos dados: (i) localização dos morcegos dentro da caverna; (ii) tempo de espera até que os indivíduos se acostumem com a presença dos biólogos; (iii) realização de registro fotográfico; e (iv) captura dos espécimes para identificação, com posterior soltura.

O tamanho de cada população foi estimado por meio de senso visual. A captura dos quirópteros nas cavidades foi realizada por coleta ativa, com uso de puçás com hastes extensíveis. O tempo de duração desse procedimento variou entre campanhas, devido à necessidade de se capturar indivíduos das diferentes espécies de quirópteros observados nas cavidades. Os indivíduos capturados foram colocados em sacos de pano (20 x 20 cm) para verificação das seguintes características: sexo, condição reprodutiva, estágio de desenvolvimento, peso e medição de dados biométricos. A identificação foi feita preferencialmente em campo, com auxílio de bibliografia especializada, e os indivíduos liberados após os procedimentos.

No caso em que houve dúvidas taxonômicas e/ou para servir de voucher, alguns exemplares foram coletados para posterior identificação. Conforme solicitado no Parecer Técnico n.º 148, o procedimento de eutanásia foi realizado de acordo com as diretrizes da resolução do CFBIo 301, de 08 de dezembro de 2012, das normativas do CONCEA (2023) visando minimizar o stress animal e do *Animal Care and Use Comitee* (Sikes et al 2016) que dispõe sobre os procedimentos éticos para o tratamento de animais de laboratório e silvestres. Destaca-se que a Carste desenvolveu um protocolo de eutanásia e treinou todos os seus biólogos por meio da bióloga e veterinária especialista em animais silvestres, Dra. Flávia Miranda. Tal procedimento consiste em anestesiar os exemplares de morcego com uma mistura de Cetamina 10%, Xilazina 2% e Cloreto de Potássio 10%. Os morcegos coletados serão posteriormente encaminhados para depósito em coleção científica conforme carta de aceite emitida pela Universidade Federal de Minas Gerais.

O inventário dos demais vertebrados envolveu somente o registro fotográfico de espécimes ocasionalmente encontrados nas cavidades, não havendo coleta dos indivíduos. A determinação das espécies preconizou o envio das imagens fotográficas para avaliação do especialista do grupo taxonômico em questão, e comparação das identificações presentes em materiais bibliográficos especializados.

Informações adicionais obtidas para os organismos registrados compreendem: número de indivíduos, eventuais comportamentos e interações ecológicas observadas durante o levantamento faunístico, como predação e parasitismo. Evidências indiretas de ocorrência de fauna, como ninhos, penas, casulos, pelos, fezes e pegadas também foram registradas.

Para a caracterização ecológica do ambiente interno das cavidades do projeto, durante as atividades de campo, foram registradas, qualitativamente, as seguintes informações ambientais: Condições de luminosidade; Umidade do piso; Água; Organismos fotossintetizantes e fungos; Substratos orgânicos classificados em sete tipos: I) guano de morcegos, aves e insetos; II) material vegetal; III) detritos; IV) raízes; V) carcaças; VI) fezes de vertebrados não voadores; e VII) bolotas de regurgitação; Interações ecológicas; População excepcional em tamanho; Nidificação de aves silvestres.

C. Atividades de laboratório

Os exemplares de invertebrados coletados em campo foram triados em laboratório com o uso de estereomicroscópio, separados em grupos taxonômicos e posteriormente identificados com o auxílio de chaves de descrição de características morfológicas.

O refinamento das identificações e a análise de troglomorfismos, endemismos ou registro de espécies novas, foram efetuados com o auxílio de especialistas dos grupos taxonômicos, conforme quadro adiante.

Quadro 11.1.13-2: Responsáveis pelas identificações apresentadas no estudo

GRUPO TAXONÔMICO	TAXONOMISTA RESPONSÁVEL
Annelida	MsC. Nathalie Sanches
Gastropoda	Prof. Dr. Luiz Ricardo Simone (USP)
Amblypygi, Araneae, Opiliones, Scorpiones, Schizomida	Prof. Dr. Adalberto Santos (UFMG)
Acari	PhD. Marcel Araújo (UFSCar)
Pseudoscorpiones	Dra. Renata de Andrade
Collembola	Prof. Dr. Douglas Zeppelini Filho (UEPB)
Blattaria, Dermaptera, Diptera, Ephemeroptera, Heteroptera, Hymenoptera, Neuroptera, Orthoptera, Zygentoma	PhD. Luciane Pereira (UFV)
Archaeognatha, Coleoptera, Diplura, Diptera, Homoptera, Hymenoptera, Isoptera, Psocoptera	Dra. Laila Heringer (UFMG)
Lepidoptera	MsC. Christie Morais (UFOP)
Diplopoda, Chilopoda	MsC. Jéssica Scaglione Gallo (UFSCar)
Isopoda	Dra. Camile Sorbo Fernandes (UFSCar)
Anura, Reptilia	Dr. Felipe Leite (UFV)

GRUPO TAXONÔMICO	TAXONOMISTA RESPONSÁVEL
Chiroptera	Dra. Carla Nobre (UFMG), Dra. Patricia Pilatti Alves (UFPE), Marina Bento, Marcela Talyuli, Vitor Alves da Silva

D. Análises

As cavidades foram analisadas objetivando apresentar suas caracterizações ambientais bem como a composição da fauna subterrânea. O número de espécies foi alcançado com base nos valores de riqueza absoluta contemplando as estações seca e úmida. Curvas de acumulação de espécies para as cavidades do projeto foram obtidas através do reescalonamento das curvas de riqueza de espécies esperadas (Mao Tau ou curva do coletor), bem como seus intervalos de confiança de 95% (Gotelli e Colwell 2001).

A diversidade taxonômica (Clarke e Warwick 1999), incluiu a avaliação de reamostragens em 1000 réplicas aleatórias a partir da amostragem inicial. O índice selecionado considera o grau de parentesco entre os morfótipos amostrados, incluindo informações acima do nível de espécie – refinamento sistemático que nem sempre é possível de se atingir, em especial à fauna subterrânea, na qual diversas espécies carecem de descrição formal ou mesmo faltam estudos biogeográficos e de distribuição - sem que haja subestimativas de diversidade. A estimativa de diversidade foi calculada com base na abundância absoluta de espécies de invertebrados e de vertebrados amostradas em campo.

Para a avaliação da similaridade, aplicou-se o índice de Søresen, que utiliza os parâmetros de riqueza de espécies (presença ou ausência) para cada cavidade que compreenda a amostra. Dessa forma, não se desconsidera qualquer espécie coletada, o que permite aplicar a mesma importância a todas as espécies.

11.1.13.2.7 Análise de Relevância

A definição do grau de relevância das cavidades de estudo foi pautada nas determinações do Decreto Federal n.º 6640, de 07 de novembro de 2008, no Decreto Federal n.º 10935/2022 e na IN MMA n.º 02, de 30 de agosto de 2017.

A. Discriminação litológica

De acordo com o Decreto Federal n.º 6.640, em seu artigo 2º, §1º, “a análise dos atributos geológicos, para a determinação do grau de relevância, deverá ser realizada comparando cavernas da mesma litologia”. O primeiro passo, então, envolveu a determinação da litologia das cavernas.

B. Escalas de análise

A IN MMA n.º 02/2017 define que os atributos das cavidades deverão ser avaliados sob o enfoque regional e local. O enfoque local, segundo a referida Instrução Normativa, será limitado à unidade geomorfológica que apresenta continuidade espacial, podendo abranger feições como serras, morrotes ou sistema cárstico, o que for mais restritivo em termos de área, desde que contemplada a área de influência da cavidade. Já o enfoque regional deverá compreender uma unidade espeleológica, definida por uma área que apresente homogeneidade fisiográfica. No presente estudo, a definição das escalas de análise se pautou em referências da literatura comumente aplicadas nos estudos da região.

C. Análise de relevância

A definição do grau máximo de relevância depende da presença de, pelo menos, um dos sete atributos listados no inciso 4° do Decreto n.°10.935 de 12 de janeiro de 2022:

I - Gênese única ou rara na amostra regional;

II - Dimensões notáveis em extensão, área ou volume;

III – Espeleotemas únicos;

IV - Abrigo essencial para a preservação de populações de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais;

V - Hábitat essencial para preservação de troglóbios raros;

VI - Destacada relevância histórico-cultural ou religiosa;

VII – Cavidade considerada abrigo essencial para manutenção permanente de congregação de morcegos, com, no mínimo, dezenas de milhares de indivíduos, e que tenha a estrutura trófica e climática de todo o seu ecossistema modificada e condicionada à presença dessa congregação.

Para os demais graus de relevância, o Art. 4º da IN MMA n.º 02/2017 determina que a análise deverá considerar, segundo os enfoques local e regional, os atributos, grupos de atributos, pesos e contribuições, conforme Anexo 11.1.13-1 do mesmo documento.

O resultado final para cada grupo de atributos foi obtido pela somatória do resultado parcial de cada atributo avaliado, que, por sua vez, será resultado da multiplicação dos valores do peso e da contribuição de cada atributo. Somente os resultados finais que sejam iguais ou superiores a 30% do valor potencial máximo para cada grupo de atributos serão

considerados minimamente significativos para fins de avaliação do grau de relevância da cavidade subterrânea. A importância dos atributos das cavidades naturais foi definida como acentuada, significativa ou baixa de acordo com o número de grupos de atributos minimamente significativos, avaliados sob os enfoques local e regional. O resultado final da relevância depende da correlação entre os graus de importância em ambos os enfoques, conforme fluxograma a seguir.

Figura 11.1-330: Classificação de importância relativa aos atributos da cavidade natural subterrânea avaliados sob os enfoques local e regional.

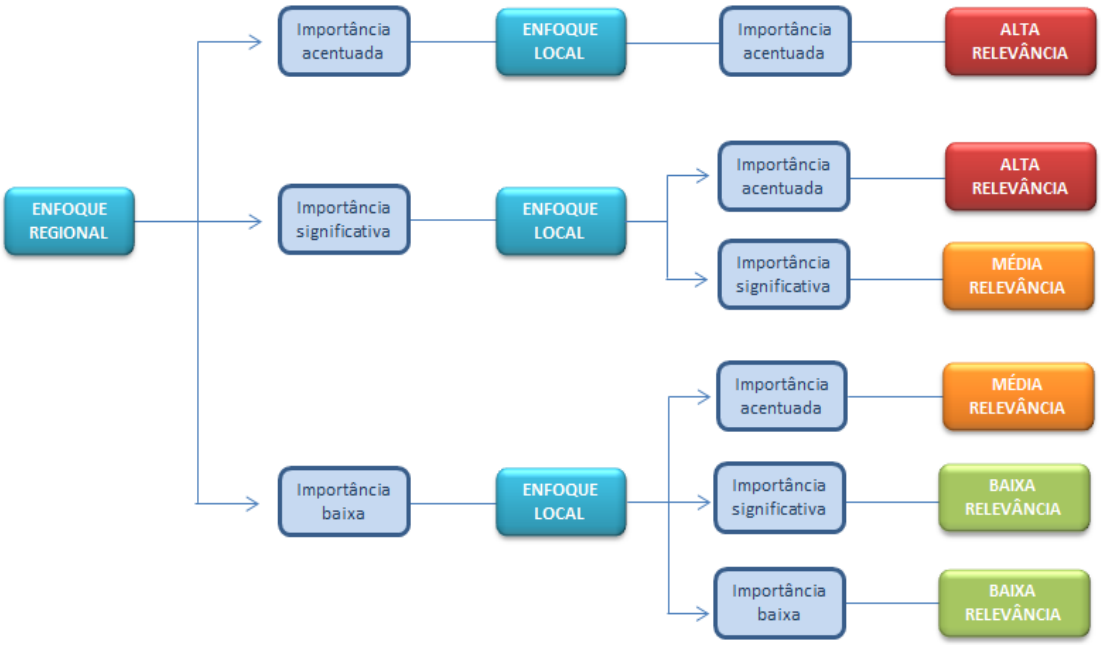


Figura 11.1-331: Fluxograma de classificação de relevância conforme IN MMA n.º 02/2017.

11.1.13.2.8 Área de Influência Espeleológica

O novo estudo de área de influência espeleológica foi realizado para todo o conjunto de cavidades do Projeto Santa Quitéria, e adotou como base a caracterização física e biótica de cada feição. Dados de atributos bióticos e abióticos das áreas de inserção das cavernas foram registrados em campo, por equipe compostas por uma geógrafa, um biólogo e um auxiliar de campo, entre os dias 15 e 28/03/2021. Objetivou-se, nessa ocasião, realizar a caracterização do entorno, através da descrição dos processos de vertente, rotas preferenciais de escoamento hídrico, características geomorfológicas das encostas, tipo de cobertura vegetal, mecanismos de aporte hídrico e de aporte de nutrientes às cavernas, além de informações relacionadas a elementos geológicos que propiciam conexão entre as cavernas. Nessa etapa, foram realizadas fotografias aéreas por veículo aéreo não tripulado (VANT), modelo DJI Phantom 4 Pro, equipado com câmera 20 MP (5472 × 3648), f/2.8, CMOS.

As bases legais para o desenvolvimento deste trabalho se pautam na Resolução CONAMA Nº 347, de 10 de setembro de 2004. As diretrizes apresentadas nos documentos técnicos do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (ICMBio/CECAV 2022, 2016a, 2016b) são referência técnica para o estudo, somadas à bibliografia científica sobre o tema.

De acordo com o disposto nos procedimentos estabelecidos pelo ICMBio/CECAV (2022), em relação aos aspectos físicos, propõe-se a análise de parâmetros que contemplem a integridade física, através da manutenção do aspecto morfológico original da caverna.

Também são recomendadas análises que envolvam a dinâmica evolutiva das cavernas. Quanto aos elementos bióticos, ICMBio/CECAV (2022) recomenda a apresentação de estudos que permitam a compreensão da estrutura e funcionamento do ecossistema em questão, abordando aspectos que contemplem a conexão do sistema subterrâneo assim como a contribuição hídrica, da fauna trogloxena/acidental e dos sistemas radiculares no abastecimento trófico das cavidades.

Sendo assim, subsidiados pelas orientações estabelecidas por ICMBio/CECAV (2022), os critérios de avaliação da área de influência espeleológica consideraram: manutenção da integridade física das cavidades, manutenção da dinâmica evolutiva das cavidades, manutenção da conectividade do sistema subterrâneo, manutenção do aporte de nutrientes.

11.1.13.2.9 Avaliação de Impacto ao Patrimônio Espeleológico

A. Campanha de campo

Os trabalhos de campo ocorreram de 15 a 28/03/2021, por equipe composta por uma geógrafa, um biólogo e um auxiliar de campo. Também foram incorporadas as informações coletadas nos estudos geo e bioespeleológico. O objetivo dessa etapa foi de promover o reconhecimento da área, validar e complementar algumas informações relevantes ao tema, tais como características do entorno das cavernas, sazonalidade das feições hidrológicas, e estado de conservação das feições e suas AIEs.

B. Levantamento de dados sobre o empreendimento

A primeira fase dos estudos envolveu a reunião dos dados já produzidos para as cavidades da área ao longo dos últimos anos. Adicionalmente, foram listadas as cavernas situadas dentro da ADA do projeto, sujeitas à supressão.

Na análise prévia dos dados, foram avaliados ainda os aspectos e atividades descritos no capítulo de Caracterização do Empreendimento do documento “EIA Projeto Santa Quitéria” revisado pela empresa Tetra Mais (2023a). A avaliação dos estudos foi direcionada à identificação das atividades previstas para as fases de planejamento, instalação, operação e desativação do empreendimento, que possam interagir e influenciar nas características físicas e biológicas atuais das cavidades e respectivas áreas de influência. Para tanto, foram espacializadas as estruturas previstas para cada fase do empreendimento, conforme Plano Diretor do projeto, correlacionando-as ao conjunto espeleológico em questão. Nesta versão 2023 dos estudos espeleológicos, foram consideradas as atualizações no layout do projeto e na caracterização do empreendimento.

Outra vertente desta etapa de levantamento de dados se refere ao planejamento das demais etapas, adotando como base os termos de referência relacionados ao tema, os requisitos legais estabelecidos, bem como referências presentes na literatura.

C. Índice de Vulnerabilidade a Impactos

Além de relacionar os impactos potenciais sobre o patrimônio espeleológico local, o trabalho buscou ainda estabelecer uma classificação das cavernas e áreas de influência que reflita o quão essas estão sujeitas a um determinado impacto potencial. Para tanto, foi definido um "índice de vulnerabilidade" aos impactos previstos. Metzger et al (2006) e Schoter et al (2004) relacionaram o conceito de vulnerabilidade ao grau de suscetibilidade de um sistema aos efeitos negativos provenientes de mudanças globais.

Para a obtenção do índice de vulnerabilidade, inicialmente selecionaram-se atributos que sabidamente influenciam na suscetibilidade de uma caverna ou áreas de influência à ocorrência dos impactos ambientais sinalizados. Maiores detalhes sobre os métodos de aplicação do índice de vulnerabilidade podem ser consultados em item específico disponível nos Estudos Espeleológicos do PSQ, incluído no Anexo 11.1.13-1.

D. Classificação dos Impactos Potenciais

O estudo avaliou a natureza, intensidade, temporalidade, reversibilidade e a sinergia de cada impacto elencado na avaliação ambiental. Destaca-se que tal classificação foi aplicada somente para aqueles impactos potenciais decorrentes das atividades futuras do Projeto Santa Quitéria. A definição e a forma de classificação de cada um desses critérios são apresentadas no Quadro 11.1.13-4. Em função das considerações do Parecer Técnico n.º 148, algumas classificações foram alteradas nesta versão 2023 da análise.

Além de cumprir um requisito normativo, a classificação dos impactos tem como objetivo contribuir para a avaliação do órgão licenciador quanto à importância dos impactos potenciais relacionados. Essa análise vale tanto para a decisão quanto à viabilidade do empreendimento, como também para o planejamento das ações de controle e monitoramento.

Quadro 11.1.13-3: Matriz para aplicação do índice de vulnerabilidade a impactos do patrimônio espeleológico

IMPACTOS	VARIÁVEIS	PESO	CLASSES	VALOR
Alteração da dinâmica dos aerossóis na AIE	Distância	0,6	*Valor bruto	Entre 0 - 1
	Direção dos ventos	0,4	Desfavorável	0
			Favorável	1

IMPACTOS	VARIÁVEIS	PESO	CLASSES	VALOR
Alteração da dinâmica dos aerossóis na cavidade	Distância	0,6	*Valor bruto	Entre 0 - 1
	Barreiras topográficas	0,2	Sim	0
			Não	1
	Direção dos ventos	0,15	Desfavorável	0
			Favorável	1
	Entrada voltada para a fonte	0,05	Não	0
			Sim	1
Alteração da dinâmica hidrossedimentar na AIE	Distância	0,4	*Valor bruto	Entre 0 - 1
	Inserção	0,6	Intervenções não ocorrem topograficamente acima da AIE	0
			Intervenções ocorrem topograficamente acima da AIE	1
Alteração da dinâmica hidrossedimentar na cavidade	Distância	0,3	*Valor bruto	Entre 0 - 1
	Inserção	0,4	Intervenções não ocorrem topograficamente acima da AIE	0
			Intervenções ocorrem topograficamente acima da AIE	1
	Posição das entradas	0,1	Posicionamento das entradas não favorece a entrada direta de material da vertente	0
			"Posicionamento de captura" das entradas, possibilitando que o transporte sedimentar na vertente adentre de forma direta na cavidade	1
	Rota de drenagem	0,2	Não há rota de escoamento/drenagem	0

IMPACTOS	VARIÁVEIS	PESO	CLASSES	VALOR
			entre a caverna e a intervenção	
			Há rota de escoamento/drenagem entre a caverna e a intervenção	1
Alteração da integridade física das cavernas	Distância da cava	0,35	Acima de 250 m	0
			Entre 50 e 250 m	0,5
			Até 50 m	1
	Distância do britador	0,2	Acima de 250 m	0
			Entre 50 e 250 m	0,5
			Até 50 m	1
	Distância dos acessos	0,1	Acima de 250 m	0
			Entre 50 e 250 m	0,5
			Até 50 m	1
	Distância da ADA	0,3	*Valor bruto	Entre 0 - 1
	Indicativos de instabilidade física	0,05	Não observado	0
			Presença	1
Alteração na estruturação da fauna (ruído)	Distância da ADA	0,4	*Valor bruto	Entre 0 - 1
	Presença de morcego	0,15	Ausência	0
			Presença	1
	Presença de guano	0,05	Ausência	0
			Presença	1
	Presença de outros vertebrados	0,1	Ausência	0
			Presença	1
	Presença de fezes de vertebrados não voadores	0,05	Ausência	0
			Presença	1
	Presença de detritos de origem animal	0,05	Ausência	0
			Presença	1
		0,2	Ausência	0

IMPACTOS	VARIÁVEIS	PESO	CLASSES	VALOR
	Presença de espécie ameaçada		Presença	1
Alteração na estruturação da fauna	Distância da ADA	0,4	*Valor bruto	Entre 0 - 1
	Riqueza da fauna	0,15	Baixa	0
			Média	0,5
			Alta	1
	Diversidade da fauna	0,15	Baixa	0
			Média	0,5
			Alta	1
	Presença de trogloxeno	0,1	Ausência	0
			Presença	1
	Presença de material vegetal afetando positivamente a fauna	0,1	Ausência	0
			Presença	1
	Presença de raízes afetando positivamente a fauna	0,1	Ausência	0
			Presença	1

Elaboração: Carste, 2023.

Quadro 11.1.13-4: Critérios adotados para classificação dos impactos potenciais

E. Proposição de Medidas de Controle e Monitoramento

Partindo do princípio de que a implantação do empreendimento deve ser acompanhada da adoção de medidas visando reduzir, eliminar ou compensar os impactos negativos, procedeu-se à proposição de ações de controle ambiental com enfoque no patrimônio espeleológico. Essas ações partiram de todo o referencial de informações geradas durante o estudo, especialmente dos resultados da avaliação de impactos potenciais. Quando associados à mitigação de aspectos ambientais geradores de impactos potenciais às cavernas ou áreas de influência, os planos de controle já indicados no EIA do empreendimento foram

referenciados. Ações adicionais consideradas importantes ao controle dos impactos, com enfoque na espeleologia, também foram indicadas.

Já os monitoramentos permitem confirmar ou não as previsões realizadas, e, consequentemente, alertar sobre a necessidade de ajustes e correções no planejamento e execução das atividades. Assim, a gestão ambiental integrada deve considerar a avaliação conjunta e periódica dos controles ambientais e dos resultados dos monitoramentos. Os programas sugeridos para o acompanhamento do patrimônio espeleológico a longo prazo no entorno do projeto pautaram-se nos impactos potenciais listados, bem como na vulnerabilidade ambiental indicada. Cada tipo de impacto previsto requer um tipo de monitoramento, direcionado à observação dos indicadores ambientais associados.

11.1.13.3 Resultados Compilados

Os estudos espeleológicos do Projeto Santa Quitéria foram pautados nos procedimentos e critérios estabelecidos nas normas de abrangência nacional, como a Resolução CONAMA n.º 347/2004, o Decreto Federal n.º 6640/2008, o Decreto Federal n.º 10.935/2022, a Portaria MMA n.º 148/2022 e a IN n.º 02/2017 do Ministério do Meio Ambiente, com o objetivo de subsidiar o licenciamento ambiental do empreendimento.

11.1.13.3.1 Prospecção espeleológica e topografia

Com o objetivo de promover o levantamento completo em toda a ADA acrescida de *buffer* de 250 m do projeto, e uma varredura sistemática nas áreas avaliadas como de maior potencial, a Carste Ciência Ambiental procedeu ao complemento da prospecção espeleológica na área de estudos em duas campanhas de campo em 2020 e 2021, conforme detalhado na metodologia. Adicionalmente, em 2023, nova complementação foi realizada, considerando as modificações na ADA.

O somatório das campanhas de campo realizadas em etapa recente resultou em um caminhamento total de 245 km em uma área de 8,38 km^2. O caminhamento recobriu 100% da área. A densidade de caminhamento total foi de 29,7 km^2.

Considerando o potencial espeleológico, a densidade dos caminhamentos variou conforme as classes definidas, de modo que, à medida que se aumenta o grau de potencialidade houve um incremento na densidade de caminhamento.

Os valores obtidos de densidade de caminhamento foram coerentes com as classes de potencial. As áreas classificadas como de maior potencial, apresentaram a densidade de caminhamento superior a 30 km/km^2. Nos locais de baixo e médio potencial, a densidade de caminhamento foi superior a 20 km/km^2.

Durante os caminhamentos realizados pela Carste Ciência Ambiental, 26 pontos de controle terrestres e 20 aéreos foram registrados, com o objetivo de evidenciar as características ambientais da área de estudo. Os pontos foram selecionados como representativos dos tipos de paisagem da área, que, por sua vez, são elementos diagnóstico sobre o potencial espeleológico definido.

A catalogação completa das cavidades existentes na área do Projeto Santa Quitéria envolveu três etapas: i) revisita e mapeamento das 74 cavernas cadastradas pelos estudos anteriores (ARCADIS, 2013); ii) consulta aos bancos de dados espeleológicos disponíveis (CANIE, SBE), de modo a incorporar eventuais cavernas registradas posteriormente aos estudos; iii) inclusão das novas cavidades inventariadas durante a complementação recente da prospecção, realizada pela Carste em 2020 e 2021.

A revisita e mapeamento das 74 cavidades anteriormente registradas ocorreu em duas campanhas de campo: 29/10 a 23/11/2020 e 11/11 a 30/11/2020. Esse trabalho teve como objetivo promover a representação completa de toda a extensão das feições e validar suas coordenadas geográficas no Datum SIRGAS 2000. Após a conclusão dessa etapa, constatou-se que nove cavernas da amostra apresentam inconsistências no registro, conforme detalhado no quadro a seguir. A duplicidade de cadastro e a unificação de feições têm origem possivelmente no fato de nem todas as cavernas terem sido topografadas quando do cadastro, ou por explorações incompletas. Para os casos de cavidades em tálus, com duas ou mais entradas, muito próximas entre si, com presença de “quebra-corpos” entre passagens, como é o caso de grande parte das ocorrências da área de estudo, a probabilidade desses problemas ocorrerem se eleva. Cabe ressaltar ainda que algumas cavidades apresentaram grande deslocamento em relação às coordenadas de cadastro, como a N-01, que foi localizada a uma distância superior a 100 m do ponto inicial.

Dessa forma, das 74 cavidades relacionadas nos estudos anteriores, apenas 65 foram validadas e mantidas no inventário espeleológico do projeto.

Em relação aos bancos de dados espeleológicos, a consulta ao CANIE (CECAV 2022) revelou as mesmas 74 cavidades reportadas nos estudos iniciais do projeto. Na consulta realizada no CNC (SBE 2021), não se identificaram cavidades cadastradas no município abarcado pelo projeto. Sendo assim, não cabem complementos de dados secundários na amostra de cavernas do estudo.

Como resultado da prospecção complementar realizada pela Carste em 2020 e 2021, foram identificadas e cadastradas 61 novas cavernas, nomeadas com o prefixo SQ, seguido por quatro dígitos sequenciais: “SQ-0000”. Na prospecção de 2023 não foram encontradas

cavidades. Durante os trabalhos de espeleotopografia dessas feições, duas foram descaracterizadas: SQ-0025 e SQ-0053. A primeira caverna uniu-se à SQ-0026, e a segunda foi caracterizada como um espaço subterrâneo inacessível ao ser humano, com entrada inferior a 25 cm de altura, que impossibilita o pleno acesso. Dessa forma, 59 cavidades foram incorporadas ao inventário espeleológico da ADA acrescida de *buffer* de 250 m.

A presença de afloramentos rochosos, onde estruturas geológicas se manifestam de forma mais expressiva, e a ocorrência de rupturas de declive são os critérios que mais corroboram, no contexto espeleológico da área de estudo, para a manifestação de cavidades naturais subterrâneas. Estas se concentram nas áreas classificadas com grau de potencial alto e muito alto, que equivalem a 44% de toda área de estudo. A maior parte das cavernas identificadas na fase atual da prospecção (85%) se localiza na Serra da Igreja, na porção noroeste da área. Assim, o inventário completo de cavernas do projeto soma 124 cavidades (Figura 11.1-332).

Figura 11.1-332: Histórico dos registros espeleológicos no Projeto Santa Quitéria.

As validações e complementações do cadastro espeleológico local, portanto, culminaram no inventário de 124 cavidades, das quais 36 estão localizadas fora do *buffer* de 250 m da ADA, incluídas por estudos anteriores. Esse cenário contribuiu para a ampliação do conhecimento sobre o patrimônio espeleológico local, em um contexto de raros registros para além do limite do projeto, o que certamente oferece maior segurança técnica para definição de características recorrentes ou raras.

11.1.13.3.2 Aplicação do Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017

A. Zona afótica

Devido às pequenas dimensões das 34 cavidades avaliadas nesse contexto, atestou-se a penetração de luz parcial ou total em todas elas. Algumas constituem pequenos fendas verticais de dissolução, contendo ou não teto parcialmente obstruído por blocos, com entrada direta de luz, como exemplo as cavidades P-15, P-04, E-10, W-12, SQ-0017 e SQ-

0043. Outras cavidades apresentam entrada ampla ou claraboias (E-05, SQ-0021, SQ-0056 e SQ-0061), com entrada direta de luz ou penumbra. Portanto, constatou-se que as 34 cavidades menores do que 5 m não têm ocorrência de zona afótica.

B. Relevância histórico-cultural ou religiosa

A avaliação arqueológica das cavidades da amostra foi efetuada *in loco*, de forma não interventiva, por profissionais arqueólogos especialistas. Foi realizado o estudo dos vestígios arqueológicos presentes nas cavidades, avaliando sua representatividade, particularidade e relação com a arqueologia regional, e com o contexto da história local.

O Laudo Arqueológico contendo as descrições e análises pormenorizadas para cada cavidade de estudo (Peruaçu 2021) pode ser consultado no Anexo 11.1.13-1 dos Estudos Espeleológicos do PSQ.

C. Depósitos clásticos, químicos e biogênicos

Quanto ao tipo de depósitos clásticos das cavernas com DL < 5 m, cerca de 90% da amostra apresenta sedimentos de granulometria fina de origem alóctone, dispostos de forma generalizada no piso ou associados a protocondutos. Esses materiais apresentam aspecto terrígeno, e consistem em argilas/siltes e areias, por vezes associados a matéria orgânica. Os sedimentos de frações granulométricas maiores (seixos, calhaus e matacões) também ocorrem com expressividade, a maior parte de origem autóctone, relacionada a processos de desagregação no interior das cavidades.

Depósitos sedimentares com geometria específica do tipo rampa consistem em indicativos de processos da dinâmica evolutiva das cavernas. Esse tipo de depósito foi visualizado em onze cavidades: E-10, P-04, SQ-0011, SQ-0014, SQ-0019, SQ-0022, SQ-0023, SQ-0028, SQ-0031, SQ-0036 e SQ-0043. A característica granulométrica é variada, ocorrendo rampas de sedimento fino, misto ou cascalhento. Rampa de sedimento fino e areia ocorrem nas cavidades E-10, P-04, SQ-0011, SQ-0019, SQ-0031 e SQ-0056. Na cavidade SQ-0019 os sedimentos mais finos como areia fina, silte e grânulos estão associados à dinâmica hidrossedimentar, sendo carreados para dentro da caverna pela ação da água através da sua entrada principal.

Na cavidade SQ-0022 e SQ-0011 ocorrem rampa de sedimentos mal selecionados, que vêm da porção distal para a porção proximal (desde areia até seixo, associados à matéria orgânica). As rampas de sedimentos cascalhento foram constatadas nas cavidades SQ-0011, SQ-0014 e SQ-0043, formadas por calhaus e matacões angulosos e seixos.

Não foi observada presença de depósitos do tipo brecha, terraço ou conglomerado, ou outros tipos de depósitos de notável importância para compreender e balizar temporalmente a história evolutiva das cavernas da área ou da região em que se inserem (Laureano et al 2016). Desta forma, diante dos elementos considerados, nenhuma cavidade apresentou depósitos clásticos de valor científico, cênico ou ecológico.

Os depósitos químicos foram identificados em 80% das cavernas com DL inferior a 5 m. Em todos os casos, a ocorrência é pontual e os tipos de espeleotemas são comuns, comparados com a amostra da escala local e regional da área de estudos. Correspondem a coraloides milimétricos a centimétricos, escorrimentos, crostas e microtravertinos. Não foi observado espeleotema raro, ou de expressivo valor científico ou cênico.

Coraloides são os espeleotemas mais frequentes, sendo observados em 26 cavernas, nos dois litotipos. São produto de filmes de água gerados por condensação, exudação ou mesmo pelo respingo de água de gotejamento. Apresentam variação morfológica do tipo couve-flor, sendo também encontrados coraloides milimétricos de topo arredondado (bojudo), e coraloides de topo pontiagudo. Nas cavidades em gnaisse, a coloração dos coraloides é bege, e apresentam tamanho milimétrico. As crostas foram registradas em 24 cavernas com DL inferior a 5 m, e variam de crosta branca a crosta vermelha. Geralmente ocorrem de forma generalizada, são delgadas e se concentram principalmente nas áreas de escoamento de água pluvial. Escorrimentos foram visualizados em nove cavidades dessa amostra. Na entrada da caverna P-04 ocorre escorrimento branco com coraloides associados. Na cavidade SQ-0009 há escorrimento com formação de microtravertinos de coloração branca. Esses últimos consistem em micro represas geradas por águas circulantes. Dessa forma, os depósitos químicos presentes nas 34 cavidades consistem em ocorrências comuns, tanto nas escalas de comparação, quanto na litologia em que ocorrem.

Em relação aos depósitos biogênicos, todas as cavidades apresentam matéria orgânica como folhiço e materiais diversos que compõe a serrapilheira no meio epígeo. O material é encontrado no piso, disposto de forma generalizada, principalmente, próximo à entrada das cavidades. Não foi observada nas cavernas ocorrência expressiva de guano, fezes, carcaça, bolotas de regurgitação, que denotem significativo valor científico, cênico ou ecológico.

D. Função hidrológica expressiva para o sistema cárstico

Em todas as cavidades avaliadas foram visualizadas feições hidrológicas que respondem a eventos de precipitação. Foram evidenciados escoamento ou marcas de escoamento no piso e paredes, além de gotejamentos.

As feições intermitentes ativas registradas ocorreram em dias com o tempo chuvoso, indicando que essas cavidades sofrem influência em relação às águas meteóricas. Isto se dá principalmente devido à pouca profundidade que elas apresentam em relação à superfície. Além disso, 62% das cavernas com DL inferior a 5 m apresentam claraboias ou diversos interstícios no teto, por vezes formados entre blocos, facilitando a infiltração de água e gotejamentos.

O escoamento intermitente é evidenciado por sulcos centimétricos em paredes e canais secos no piso, que funcionam como caminhos preferenciais de fluxos concentrados intermitentes, em período chuvoso. A cavidade QUI-05 apresenta um canal no piso em declive, que funciona captação de escoamento pluvial. Entretanto essa caverna se encontra em um lajedo bastante fraturado, com fendas de dissolução N-S, não constituindo o único ponto de absorção de água do maciço.

No caso das cavernas em mármore, devido à alta porosidade secundária do maciço e à natureza autogênica do carste local, essas cavidades não apresentam drenagens perenes, estando sua função hidrológica relacionada aos processos de vertente. Quanto às cavidades em gnaisse, estão no contexto de quebras de relevo ou tálus, apresentando também dinâmica hidrológica associada aos fluxos de vertente. Não foi constatada função hidrológica expressiva para o sistema cárstico ou para o sistema hidrológico como um todo.

E. Resultado

A análise dos quatro atributos de classificação de relevância para cavidades com desenvolvimento linear inferior à 5 m, conforme o Art. 12º da IN MMA N° 02/2017, resultou na classificação das 34 cavidades com grau baixo de relevância.

11.1.13.3.3 Diagnóstico espeleológico

De uma maneira geral, as cavernas de estudo estão inseridas especialmente em terço médio e superior dos morros residuais que formam Inselbergs da Depressão Sertaneja ou remanescentes do Planalto Sertanejo, em substrato carbonático (89%) e em gnaisse (11%). Sobre a espeleometria, 12 cavernas carbonáticas se destacaram por apresentarem dimensões notáveis em relação a outras cavidades nessa litologia das escalas local e regional, categorizando-as com máxima relevância. Os processos hidrológicos reconhecidos estão associados principalmente à percolação de águas pluviais, estando ausentes as feições perenes, bem como qualquer conexão com o aquífero cárstico. Coraloides e crostas são os espeleotemas mais comuns nas cavernas, considerando as duas litologias de análise. O atributo "sedimentação clástica ou química com valor científico" foi assinalado para 10 cavidades, devido ao potencial paleontológico.

O inventário bioespeleológico, por sua vez, resultou em um total de 309 espécies. Dessas, nenhuma foi identificada como troglomórfica/troglóbia, no entanto dez delas foram caracterizadas como táxons novos, carentes de descrição científica, registrados em 68 cavidades. No que tange à classificação dos atributos de relevância, destaca-se que 13 cavidades foram categorizadas com máxima relevância pelo registro de morcegos da espécie *Furipterus horrens*, constante na lista nacional de espécies ameaçadas. Além do mais, 36 cavidades apresentaram espécies com função ecológica importante e em 20 houve registro de população residente de quirópteros. Pela presença de morcegos do gênero *Peropteryx*, 29 cavernas foram classificadas com a presença do atributo "trogloxeno obrigatório". Ao todo, seis cavernas foram consideradas local de nidificação de aves silvestres. A maior parte das cavidades apresentou média riqueza e média diversidade de espécies.

11.1.13.3.4 Classificação de relevância espeleológica

A classificação final de relevância das 124 cavidades do projeto, por fim, é apresentada em quadro na sequência, resgatando o resultado da aplicação do Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017 e do Decreto n° 10.935. Como resultado da análise, 20 cavidades (16%) foram classificadas com grau máximo de relevância, por se enquadrarem em três atributos: "dimensões notáveis em extensão, área ou volume", "espeleotemas únicos" e "abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais". Outras 55 cavernas (44%) atingiram grau alto, 14 (11%), médio, e 35 (28%), baixo (Quadro 11.1.13-5).

Quadro 11.1.13-5: Classificação da importância relativa e da relevância das cavidades avaliadas

CAVIDADE	LITOLOGIA	ENFOQUE LOCAL		ENFOQUE REGIONAL		RELEVÂNCIA PROPOSTA
		Nº de grupos de atributos minimamente significativos	Grau de importância	Nº de grupos de atributos minimamente significativos	Grau de importância	
E-01	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
E-02	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
E-03	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
E-04	Carbonática	5	Acentuada	1	Significativa	Alta
E-05	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
E-06	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Alta
E-07	Carbonática	4	Acentuada	2	Acentuada	Máxima
E-08	Carbonática	3	Significativa	1	Significativa	Média
E-09	Carbonática	2	Significativa	2	Acentuada	Alta
E-10	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
E-11	Carbonática	4	Acentuada	1	Significativa	Alta
E-12	Carbonática	5	Acentuada	2	Acentuada	Alta
E-13	Carbonática	6	Acentuada	2	Acentuada	Alta
E-14	Carbonática	4	Acentuada	2	Acentuada	Alta
E-15	Carbonática	5	Acentuada	2	Acentuada	Alta
E-16	Carbonática	6	Acentuada	2	Acentuada	Máxima
E-17	Carbonática	3	Significativa	1	Significativa	Média
E-18	Carbonática	6	Acentuada	2	Acentuada	Máxima
E-19	Carbonática	4	Acentuada	1	Significativa	Alta
N-01	Gnaisse	4	Acentuada	2	Acentuada	Alta

CAVIDADE	LITOLOGIA	ENFOQUE LOCAL		ENFOQUE REGIONAL		RELEVÂNCIA PROPOSTA
		Nº de grupos de atributos minimamente significativos	Grau de importância	Nº de grupos de atributos minimamente significativos	Grau de importância	
N-02	Gnaisse	3	Significativa	2	Acentuada	Alta
N-03	Gnaisse	4	Acentuada	1	Significativa	Alta
N-04	Gnaisse	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
P-01	Carbonática	5	Acentuada	2	Acentuada	Alta
P-02	Carbonática	4	Acentuada	2	Acentuada	Alta
P-03	Carbonática	4	Acentuada	1	Significativa	Alta
P-04	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
P-05	Carbonática	5	Acentuada	2	Acentuada	Alta
P-06/P-07	Carbonática	6	Acentuada	2	Acentuada	Alta
P-08	Carbonática	6	Acentuada	2	Acentuada	Máxima
P-09	Carbonática	6	Acentuada	2	Acentuada	Máxima
P-11	Carbonática	5	Acentuada	2	Acentuada	Alta
P-12	Carbonática	4	Acentuada	2	Acentuada	Alta
P-14	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Alta
P-15	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
P-16	Carbonática	2	Significativa	1	Significativa	Média
P-17	Carbonática	2	Significativa	2	Acentuada	Alta
P-18	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Alta
QUI-01	Carbonática	7	Acentuada	1	Significativa	Máxima
QUI-02	Carbonática	4	Acentuada	2	Acentuada	Alta
QUI-03	Carbonática	4	Acentuada	2	Acentuada	Alta
QUI-05	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
QUI-06	Carbonática	4	Acentuada	2	Acentuada	Máxima
QUI-07	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Alta
QUI-08	Carbonática	2	Significativa	1	Significativa	Média
QUI-09	Carbonática	3	Significativa	1	Significativa	Média
QUI-10	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Alta
S-01	Carbonática	5	Acentuada	2	Acentuada	Máxima
S-03	Carbonática	6	Acentuada	2	Acentuada	Máxima
SQ-0001	Carbonática	7	Acentuada	2	Acentuada	Máxima
SQ-0002	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Alta
SQ-0003	Carbonática	5	Acentuada	2	Acentuada	Máxima
SQ-0004	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0005	Carbonática	3	Significativa	1	Significativa	Média
SQ-0006	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Alta
SQ-0007	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0008	Carbonática	5	Acentuada	2	Acentuada	Alta
SQ-0009	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0010	Carbonática	5	Acentuada	2	Acentuada	Alta
SQ-0011	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0012	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Alta
SQ-0013	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0014	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0015	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0016	Carbonática	2	Significativa	1	Significativa	Média
SQ-0017	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0018	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0019	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0020	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0021	Gnaisse	2	Significativa	1	Significativa	Média
SQ-0022	Gnaisse	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0023	Gnaisse	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0024	Gnaisse	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0026	Carbonática	5	Acentuada	2	Acentuada	Alta
SQ-0027	Carbonática	3	Significativa	1	Significativa	Média
SQ-0028	Gnaisse	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0029	Gnaisse	4	Acentuada	1	Significativa	Alta

CAVIDADE	LITOLOGIA	ENFOQUE LOCAL		ENFOQUE REGIONAL		RELEVÂNCIA PROPOSTA
		Nº de grupos de atributos minimamente significativos	Grau de importância	Nº de grupos de atributos minimamente significativos	Grau de importância	
SQ-0030	Gnaisse	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0031	Gnaisse	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0032	Gnaisse	4	Acentuada	2	Acentuada	Alta
SQ-0033	Carbonática	4	Acentuada	2	Acentuada	Máxima
SQ-0034	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Máxima
SQ-0035	Carbonática	4	Acentuada	2	Acentuada	Alta
SQ-0036	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0037	Carbonática	4	Acentuada	2	Acentuada	Alta
SQ-0038	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0039	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Alta
SQ-0040	Carbonática	2	Significativa	1	Significativa	Média
SQ-0041	Carbonática	2	Significativa	0	Baixa	Baixa
SQ-0042	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0043	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0044	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Alta
SQ-0045	Carbonática	2	Significativa	2	Acentuada	Alta
SQ-0046	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Alta
SQ-0047	Carbonática	4	Significativa	2	Acentuada	Alta
SQ-0048	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Alta
SQ-0049	Carbonática	4	Acentuada	2	Acentuada	Máxima
SQ-0050	Carbonática	5	Acentuada	2	Acentuada	Alta
SQ-0051	Carbonática	5	Acentuada	2	Acentuada	Alta
SQ-0052	Carbonática	2	Significativa	1	Significativa	Média
SQ-0054	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0055	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Máxima
SQ-0056	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
SQ-0057	Carbonática	3	Significativa	1	Significativa	Média
SQ-0058	Carbonática	5	Acentuada	2	Acentuada	Alta
SQ-0059	Carbonática	2	Significativa	2	Acentuada	Alta
SQ-0060	Carbonática	2	Significativa	2	Acentuada	Alta
SQ-0061	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
W-01	Carbonática	5	Acentuada	2	Acentuada	Alta
W-02	Carbonática	4	Acentuada	2	Acentuada	Alta
W-03	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Máxima
W-04	Carbonática	4	Acentuada	2	Acentuada	Alta
W-05	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Alta
W-10	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Máxima
W-11	Carbonática	7	Acentuada	2	Acentuada	Máxima
W-12	Carbonática	Classificação pelo Art. 12º da IN MMA n.º 02/2017				Baixa
W-13	Carbonática	2	Significativa	1	Significativa	Média
W-14	Carbonática	3	Significativa	2	Acentuada	Alta
W-16	Carbonática	5	Acentuada	2	Acentuada	Máxima
W-17	Carbonática	4	Acentuada	1	Significativa	Alta
W-18	Carbonática	7	Acentuada	2	Acentuada	Máxima
W-19	Carbonática	3	Significativa	1	Significativa	Média
W-20	Carbonática	5	Acentuada	2	Acentuada	Alta
W-21	Gnaisse	3	Significativa	2	Acentuada	Alta

11.1.13.3.5 Proposta de Área de Influência Espeleológica (AIE)

A Resolução CONAMA n.º 347, de 10 de setembro de 2004, conceitua área de influência espeleológica como aquela que "compreende os elementos bióticos e abióticos, superficiais e subterrâneos, necessários à manutenção do equilíbrio ecológico e da integridade física do ambiente cavernícola".

Conforme já apontado, a delimitação das áreas de influência espeleológicas foi pautada nos critérios dispostos nas orientações do ICMBio (2022): manutenção da integridade, manutenção da dinâmica evolutiva das cavidades, manutenção do aporte de nutrientes para o interior das cavidades e manutenção da conectividade subterrânea.

A avaliação desses critérios foi apresentada por grupos de cavidades, conforme a distribuição espacial das mesmas na área de estudo. Detalhes sobre cada critério abordado para embasar a delimitação das AIEs propostas podem ser consultados nos Estudos Espeleológicos do PSQ, que se encontra no Anexo 11.1.13-1.

O Grupo 01, a noroeste do projeto, inclui apenas a cavidade N-04. O Grupo 02 foi dividido em três áreas dispostas no Serrote do Bode. O Grupo 03, situado na Serra da Igreja, corresponde ao maior valor em área. Esse grupo foi subdividido em três outros grupos, com destaque para G3-A, que engloba setenta e duas cavidades, em 28,8 ha. O Grupo 04 corresponde às áreas com cavernas no Serrote dos Canudos, dividido em A (extremo leste) e B (extremo oeste). O Grupo 05 envolve as cavernas S-01 e S-03, a oeste da área do Projeto. O Grupo 06 está inserido no setor sudeste da ADA, na Serra da Mata Fome, e foi dividido em A e B com quatro cavidades no total.

O Quadro 11.1.13-6 apresenta as áreas de influências propostas, os respectivos valores de área e as cavernas associadas. A espacialização das AIEs é apresentada na sequência.

Quadro 11.1.13-6: Áreas de influências propostas e cavidades protegidas

ÁREAS DE INFLUÊNCIA PROPOSTAS	ÁREA (ha)	CAVIDADES
G1	2,3	N-04
G2-A	1,4	N-01, N-02, SQ-0028
G2-B	2,3	SQ-0031, SQ-0029, SQ-0030
G2-C	1,4	N-03, SQ-0032
G3-A	28,8	QUI-01, QUI-02, QUI-03, QUI-05, QUI-06, QUI-07, QUI-08, QUI-09, QUI-10, SQ-0001, SQ-0002, SQ-0003, SQ-0004, SQ-0005, SQ-0006, SQ-0007, SQ-0008, SQ-0009, SQ-0010, SQ-0011, SQ-0012, SQ-0013, SQ-0014, SQ-0015, SQ-0016, SQ-0017, SQ-0018, SQ-0019, SQ-0020, SQ-0026, SQ-0027, SQ-0033, SQ-0034, SQ-0035, SQ-0036, SQ-0037, SQ-0038, SQ-0039, SQ-0040, SQ-0041, SQ-0042, SQ-0043, SQ-0044, SQ-0045, SQ-0046, SQ-0047, SQ-0048, SQ-0049, SQ-0050, SQ-0051, SQ-0052, SQ-0054, SQ-0055, SQ-0056, SQ-0057, SQ-0058, SQ-0059, SQ-0060, SQ-0061, W-02, W-03, W-04, W-05, W-10, W-11, W-14, W-15, W-16 W-17, W-18, W-19, W-20
G3-B	2,0	W-12 e W-13
G3-C	1,1	W-21

ÁREAS DE INFLUÊNCIA PROPOSTAS	ÁREA (ha)	CAVIDADES
G4-A	4,1	P-01, P-02, P-03, P-04, P-05, P-06/P-07, P-08, P-09, P-11, P-12, P-14, P-15, P-16, P-17, P-18
G4-B	15,2	E-01, E-02, E-03, E-04, E-05, E-06, E-07, E-08, E-09, E-10, E-11, E-12, E-13, E-14, E-15, E-16, E-17, E-15, E-19
G5	21,5	S-01, S-03
G6-A	2,1	SQ-0024
G6-B	5,5	SQ-0021, SQ-0022, SQ-0023

Elaboração: Carste, 2023.

As áreas delimitadas para a proteção do patrimônio espeleológico totalizam 87,7 hectares.

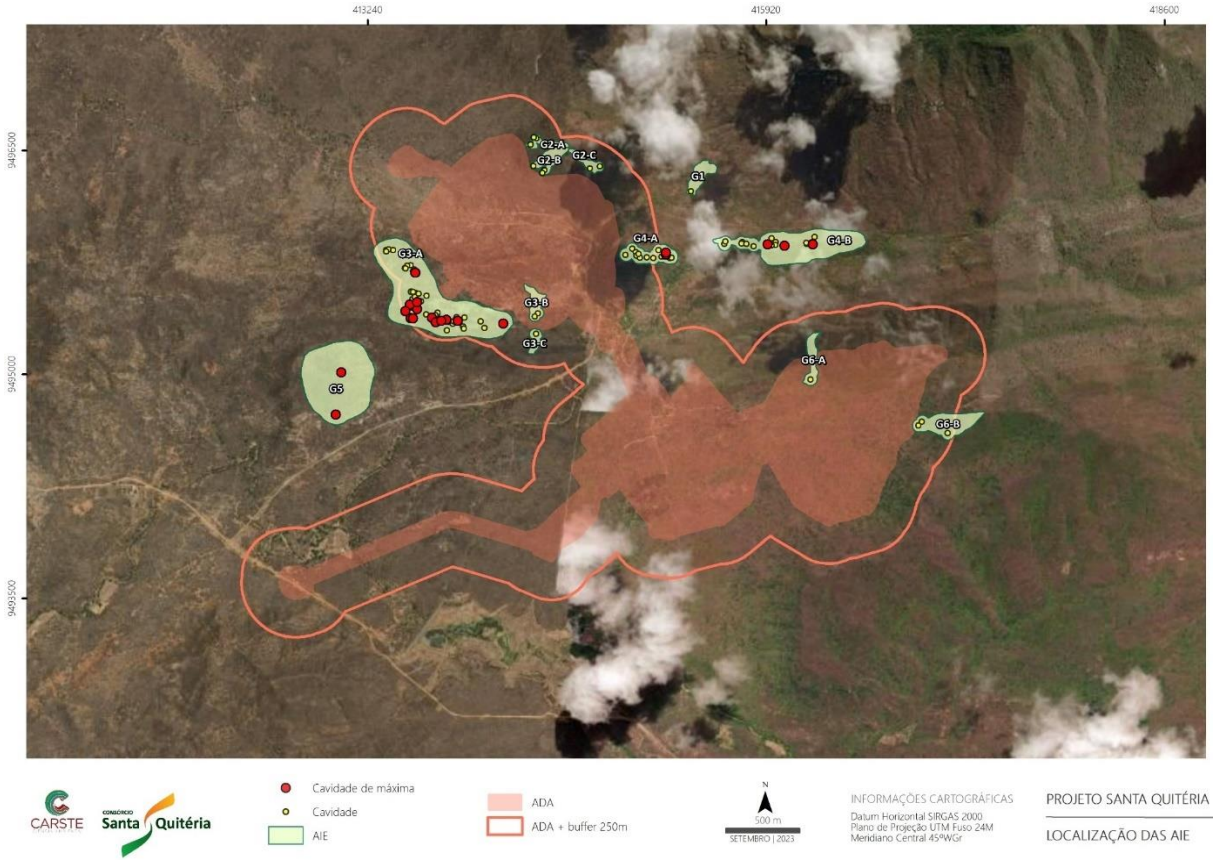


Figura 11.1-333: Localização das AIE.

11.1.13.3.6 Avaliação de impactos ao patrimônio espeleológico do PSQ

Com enfoque na análise das cavidades e respectivas áreas de influência localizadas na área diretamente afetada e entorno de 250 m do Projeto Santa Quitéria, a avaliação dos impactos ao patrimônio espeleológico buscou realizar um prognóstico das consequências da futura implantação e operação do empreendimento ao patrimônio espeleológico local, refinando a análise nesta nova versão do estudo.

No cenário atual, as cavernas apresentam, no geral, bom estado de conservação. Alterações foram observadas em apenas 2,5% das feições, são pontuais e relacionadas à presença de atividades de prospecção mineral no entorno ou visita localizada. Três cavernas foram identificadas com alteração visual: na QUI-06 há uma pichação e nas cavernas S-01 e P-08 há resíduos plásticos. Considerando a área de influência prévia, 39,5% dessas apresentam-se alteradas no contexto atual, seja por estradas não pavimentadas ou alterações promovidas por prospecção mineral (sondagens e praças de sondagens). As mesmas alterações atingem quatro das 12 áreas de influência propostas. De acordo com as avaliações, as intervenções mapeadas nas áreas de influência espeleológica não implicaram em impactos às cavidades.

O prognóstico dos impactos apontou que uma pequena parcela das cavidades da área será afetada por impactos negativos irreversíveis não mitigáveis em função da implantação do Projeto Santa Quitéria. Das 124 cavidades, cinco se situam dentro da ADA do empreendimento ou no seu limite (W-12, W-13 e SQ-0022, SQ-0023 e SQ-0024). O item de considerações finais do relatório em Anexo 11.1.13-1 apresenta a formalização do pedido de supressão dessas cavernas, juntamente com a proposta de compensação espeleológica para a avaliação do órgão ambiental licenciador.

A avaliação dos demais impactos potenciais abarcou, portanto, 119 cavernas e suas respectivas áreas de influência espeleológica, excluindo-se a amostra relacionada para a supressão. Essas 119 cavidades/AIE estão sujeitas a impactos mitigáveis, passíveis de controle. São eles: alteração da dinâmica dos aerossóis, alteração da dinâmica hidrossedimentar, alteração da integridade física e alteração da fauna cavernícola. Sua definição considerou as atividades e aspectos ambientais previstos na área do projeto, principalmente ao longo das etapas de instalação, operação e desativação.

Com o objetivo de indicar o quanto os objetos de análise estão sujeitos aos impactos elencados, foram estabelecidos índices de vulnerabilidade, a partir de variáveis julgadas influentes na manifestação ou não dessas alterações. Essa referência quantitativa auxilia na sinalização de áreas ou cavernas com maior risco aos impactos avaliados, representando, assim, uma ferramenta de gestão ambiental espeleológica, permitindo ações mais direcionadas e efetivas.

A avaliação das áreas de influência revelou que 20% delas apresenta alta vulnerabilidade aos impactos potenciais a partir das atividades previstas para o empreendimento. Isso porque ocorrem, em geral, muito próximas a ADA. Os valores de média e baixa vulnerabilidade atingiram 50% e 30% respectivamente). Destaque para a AIE G3-A,

que apresentou alta vulnerabilidade para os dois impactos levantados, considerando o posicionamento dela no entorno da área prevista para lavra.

Sobre as cavidades naturais subterrâneas avaliadas, considerando também a média dos índices de vulnerabilidade obtidos para cada impacto potencial analisado, nota-se que a maior parte das cavernas apresentou alta vulnerabilidade (52%) às alterações avaliadas. Enquanto 29,4% das cavernas alvo da análise apresentou vulnerabilidade média e 18,4% da amostra baixa. Nota-se que a elevação da vulnerabilidade espeleológica está correlacionada ao impacto potencial de "alteração da dinâmica dos aerossóis", seguido de "alteração da dinâmica hidrossedimentar" (Quadro 11.1.13-3). Dessa forma, o controle ambiental desses impactos deve ser efetivo durante as fases do empreendimento.

11.1.13.4 Considerações finais

Esta nova versão dos estudos espeleológicos do Projeto Santa Quitéria foi pautada nos procedimentos e critérios estabelecidos nas normas de abrangência nacional, como a Resolução CONAMA n.º 347/2004, a Portaria MMA n.º 148 de 07 de junho de 2022, o Decreto Federal n.º 10.935/2022e a IN n.º 02/2017 do Ministério do Meio Ambiente, com o objetivo de subsidiar o licenciamento ambiental do empreendimento. Adicionalmente, foram consideradas as manifestações do Ibama no Parecer Técnico n.º 148, e a mudança no layout do projeto, ocorrida em 2023.

As validações e complementações do cadastro espeleológico local culminaram no inventário de 124 cavidades, das quais 36 estão localizadas fora do *buffer* de 250 m da ADA, incluídas por estudos anteriores. Esse cenário contribuiu para a ampliação do conhecimento sobre o patrimônio espeleológico local, em um contexto de raros registros para além do limite do projeto, o que certamente oferece maior segurança técnica para definição de características recorrentes ou raras.

A espacialização das ocorrências espeleológicas na área de estudos permitiu a individualização de seis grupos, em compartimentos de paisagem distintos. Investigações sobre as relações existentes entre os ambientes subterrâneos e o entorno no qual se inserem possibilitaram a proposição de 12 áreas de influência espeleológica para toda a amostra de estudo, revelando as regiões essenciais à manutenção do equilíbrio ecológico e da dinâmica evolutiva no meio cavernícola.

O estudo de avaliação de impacto ao patrimônio espeleológico foi revisado nesta versão, buscando estabelecer, por meio de uma análise sistêmica, considerando as alterações previstas no meio, os processos naturais atuantes na área e nas cavidades, além das fragilidades naturais reconhecidas, uma hipótese de cenário futuro em que o ambiente

estará exposto. Como resultado, foi sinalizado o grau de vulnerabilidade das cavidades e das áreas de influência propostas aos impactos potenciais estabelecidos, que pode ser adotado como um norteador das ações de controle ambiental do empreendimento.

A implantação do Projeto Santa Quitéria resultará em impactos negativos de ordem irreversível em cinco cavidades naturais, classificadas nos graus de relevância médio (uma) e baixo (quatro), o que atesta a possibilidade do requerimento de supressão por parte do empreendedor ao órgão licenciador, conforme Decreto Federal n.º 10.935/2022. A implantação do empreendimento envolverá, portanto, a perda de 4% das ocorrências espeleológicas locais, todas elas passíveis de supressão, conforme a classificação de relevância proposta. Os outros impactos previstos a esse patrimônio são passíveis de controle. Para esses, foram recomendadas ações que poderão compor um programa de gestão ambiental espeleológica do empreendimento.

Com base em todas as informações discutidas, este documento apresenta ao órgão ambiental licenciador o requerimento de supressão das cavidades SQ-0022, SQ-0023, SQ-0024, W-12 e W-13, embasado no Decreto Federal n.º 10.935/2022, que define:

> *"Art. 4º A cavidade natural subterrânea classificada com grau de relevância alto, médio ou baixo poderá ser objeto de impactos negativos irreversíveis, mediante licenciamento ambiental.*
>
> *§ 4º No caso de empreendimento que ocasione impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea com grau de relevância médio, o empreendedor deverá adotar medidas e financiar ações, nos termos definidos pelo órgão ambiental competente, que contribuam para a conservação e o uso adequado do patrimônio espeleológico brasileiro, especialmente das cavidades naturais subterrâneas com grau de relevância máximo e alto.*
>
> *§ 5º No caso de empreendimento que ocasione impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea com grau de relevância baixo, o empreendedor não estará obrigado a adotar medidas e ações para assegurar a preservação de outras cavidades naturais subterrâneas."*

Assim, o Consórcio Santa Quitéria apresenta, como proposta de compensação ambiental da cavidade W-13, de média relevância, o desenvolvimento de ações de educação ambiental junto à comunidade local, especialmente em escolas da região de entorno do projeto, fomentando o conhecimento sobre a importância das cavernas e a razão pela qual elas devem ser protegidas. As ações incluem, entre outras atividades, a elaboração de um material impresso (cartilha) sobre as cavernas da região, com o objetivo de possibilitar uma maior identificação dos estudantes com as áreas naturais em que vivem, onde cavidades configuram formas importantes. O detalhamento das ações de cunho educativo abarcadas pela proposta será apresentado na fase de LI do empreendimento.

Por fim, uma vez aprovada pelo órgão ambiental competente a supressão das cavidades pleiteadas pelo Consórcio Santa Quitéria, é importante considerar a revisão do limite de área de influência proposto para o Grupo 6–A. O mesmo inclui originalmente as cavidades SQ-0021, SQ-0022, SQ-0023. Se aprovada a supressão dessas duas últimas, situadas na parte baixa da vertente, não há justificativa técnica para manter o limite da AIE até a base da encosta, uma vez que a cavidade SQ-0021 se posiciona na média vertente, e apresenta interrelação apenas com a região à montante. Assim, o mapa apresentado nas Considerações finais do Relatório de Espeleologia do PSQ (Anexo 11.1.13-1) apresenta a alteração da AIE do Grupo 6-A, quando da aprovação da supressão das cavidades requeridas. Da mesma forma, as AIEs do Grupo 3-B e Grupo 6-B perderão sua função protetiva com a supressão das cavidades W-12, W-13 e SQ-0024, respectivamente.

11.1.14 Recursos Minerários

11.1.14.1 Considerações Metodológicas

O levantamento dos recursos minerais da área de estudo foi realizado com base na compilação das ocorrências minerais já reconhecidas e divulgadas pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, além do levantamento dos títulos minerários concedidos pela Agência Nacional de Mineração – ANM nas áreas de influência estudadas. Estes levantamentos foram realizados considerando os limites da AII/AID e ADA.

Para o levantamento das ocorrências minerais foram consultadas as Folhas geológicas Quixadá (SB-24-V-B, 1:250.000) e Taperuaba (SB.24-V-B-II, 1:100.000) acessadas em 10/07/2023. Além das ocorrências registradas nas folhas citadas, o banco de dados foi complementado com dados consultados no portal da CPRM (https://geoportal.cprm.gov.br/geosgb/, acesso online em 10/07/2023).

11.1.14.2 Área de Influência Indireta (AII), Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA)

A distribuição geral das ocorrências minerais registradas nas folhas geológicas Quixadá (SB-24-V-B, 1:250.000) e Taperuaba (SB.24-V-B-II, 1:100.000) é apresentado no Mapa 11.1-35.

Conforme apresentado no Quadro 11.1.14-1, as ocorrências registradas pela CPRM na área de estudo totalizam 20, sendo 8 delas localizadas somente na AII (6 de calcário e 2 de quartzo leitoso), 9 na AID (7 de calcário, 1 de mármore e 1 fósforo e urânio), 3 na ADA (2 de calcário, fósforo e urânio e 1 calcário e urânio), conforme apresentado no Quadro 11.1.14-1. Vale ressaltar que muitas vezes uma ocorrência mineral (substância) é descrita para seu uso industrial, ou seja, a sua classificação não se refere a paragênese litológica. Como exemplo, há a descrição de calcário na região, que para a geologia teria uma origem sedimentar. Porém, para o uso industrial o calcário é uma substância que pode ser obtida de diversas fontes litológicas, seja ela metamórfica, ígnea ou sedimentar. Assim, o quadro a seguir irá apresentar as substâncias descritas pela CPRM e suas litologias correspondentes levantadas pelos estudos desse diagnóstico.

Quadro 11.1.14-1: Ocorrências minerais (Substâncias) registradas por área de influência (AII/AID/ADA) de acordo com dados da CPRM.

AII	Substância	Litologia	Nº de ocorrências	Porcentagem Total
Total AII: 8	Calcário	Metacarbonáticas	6	30%
	Quartzo Leitoso	Quartzitos, Xistos e Paragnaisses	2	10%
AID	Substância		Nº de ocorrências	**Porcentagem Total**
Total AID: 9	Calcário	Metacarbonáticas	7	35%
	Mármore	Metacarbonáticas	1	5%
	Fósforo e Urânio	Metacarbonáticas	1	5%
ADA	Substância		Nº de ocorrências	**Porcentagem Total**
Total ADA: 3	Calcário, Fósforo e Urânio	Metacarbonáticas	2	10%
	Calcário e Urânio	Metacarbonáticas	1	5%

390.000 405.000 420.000

9.515.000 9.500.000 9.485.000

Unidades Geológicas

NEOPROTEROZOICO

Complexo Tamboril- Santa Quitéria

Granitoide Serrote Bravo

- NP3gtsgb - Sienogranitos e monzogranitos

Granitoide Santa Quitéria

- NP3gtsq - Sienogranitos, monzogranitos, quartzo sienitos e monzonitos
- NP3tsd - Diatexitos
- NP3tsm - Metatexitos
- NP3tsmcs - Anfibolitos e calciossilicáticas

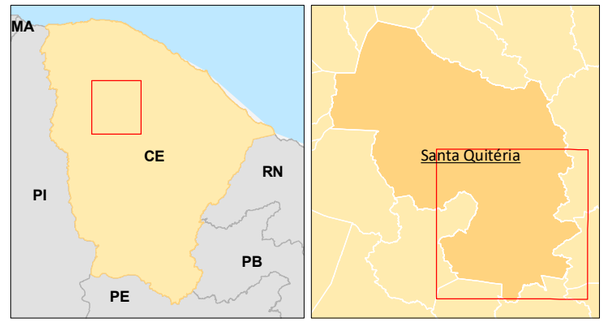
MESOPROTEROZOICO

Complexo Ceará - Unidade Independência

- NP2cic - Metacarbonatos, mármores e calciossilicáticas
- NP2ciq - Quartzitos
- PRciqx - Quartzitos, micaxistos e paragnaisses
- NP2ci - Paragnaisses e micaxistos

NP3tsm
NP3gtsq
NP3gtsgb
Catunda
NP3tsmcs
NP3tsd
NP2cic
NP2ci
Santa Quitéria
PRciqx
Rio Groaíras
NP2ciq
Itatira
Monsenhor Tabosa
Boa Viagem
Madalena

Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional

- Limite Municipal
- Áreas Urbanizadas/Edificadas

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)
- Área de Influência Indireta (AII)

Hidrografia

- Rio Groaíras
- Cursos d'água
- Massas d'água

Ocorrências Minerais

- Quartzo Leitoso
- Calcário
- Calcário, Fósforo, Urânio
- Calcário, Urânio
- Fósforo, Urânio
- Mármore

Fonte:
CPRM, 2023. Ocorrências Minerais.
CPRM, 2007. Mapa Geológico 1:250.000.
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:185.000
0 2 4 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria

tetra+

Projeto:

Projeto Santa Quitéria

Título: Distribuição das ocorrências minerais e localização em relação às áreas de influência

Formato	Escala	Folha
A3	1:185.000	Única

Data	Localização
30/10/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

Conforme apresentado na Figura 11.1-334, a maior parte das ocorrências registradas corresponde a substância calcário (65%), a qual está predominantemente distribuída nas rochas metacarbonáticas da Formação Alcantil. Nesta unidade também são observados registros de mármore (5%), calcários e urânio (5%) e calcário fósforo e urânio (10%), que juntos totalizam 20% dos registros da área de estudo.

A ocorrência de fósforo e urânio representa 5% dos registros da área de estudo e está relacionada à unidade Gnaisses, Migmatitos e xistos nas proximidades das rochas metacarbonáticas, onde também são registradas ocorrências pontuais de calcário.

As ocorrências de quartzo leitoso (10%) se encontram distribuídas entre a Unidade de Quartzito e na Unidade de Rochas Calciossilicáticas.

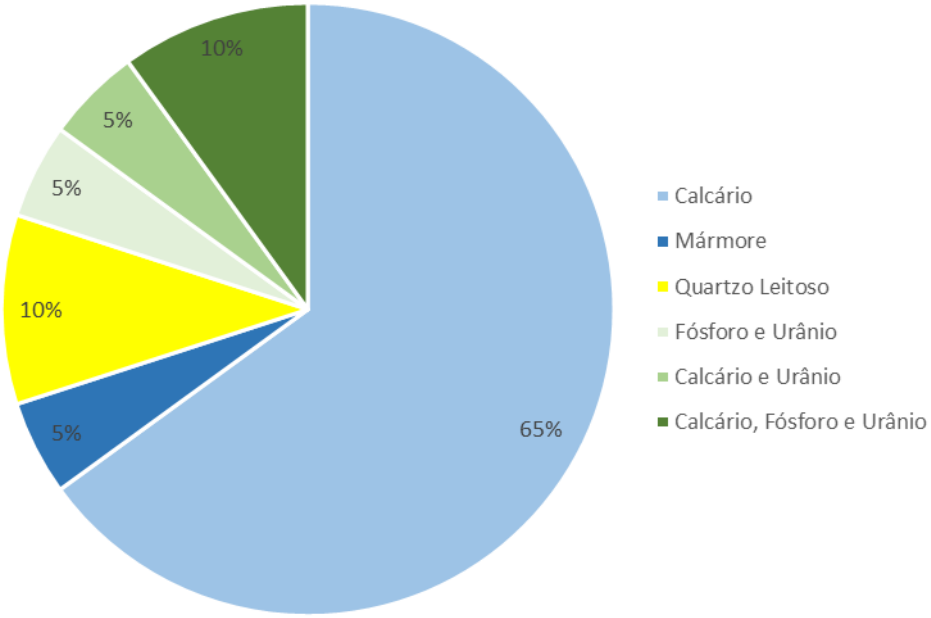


Figura 11.1-334: Distribuição total das substâncias das ocorrências minerais.
Elaboração: BTB Explores, 2023.

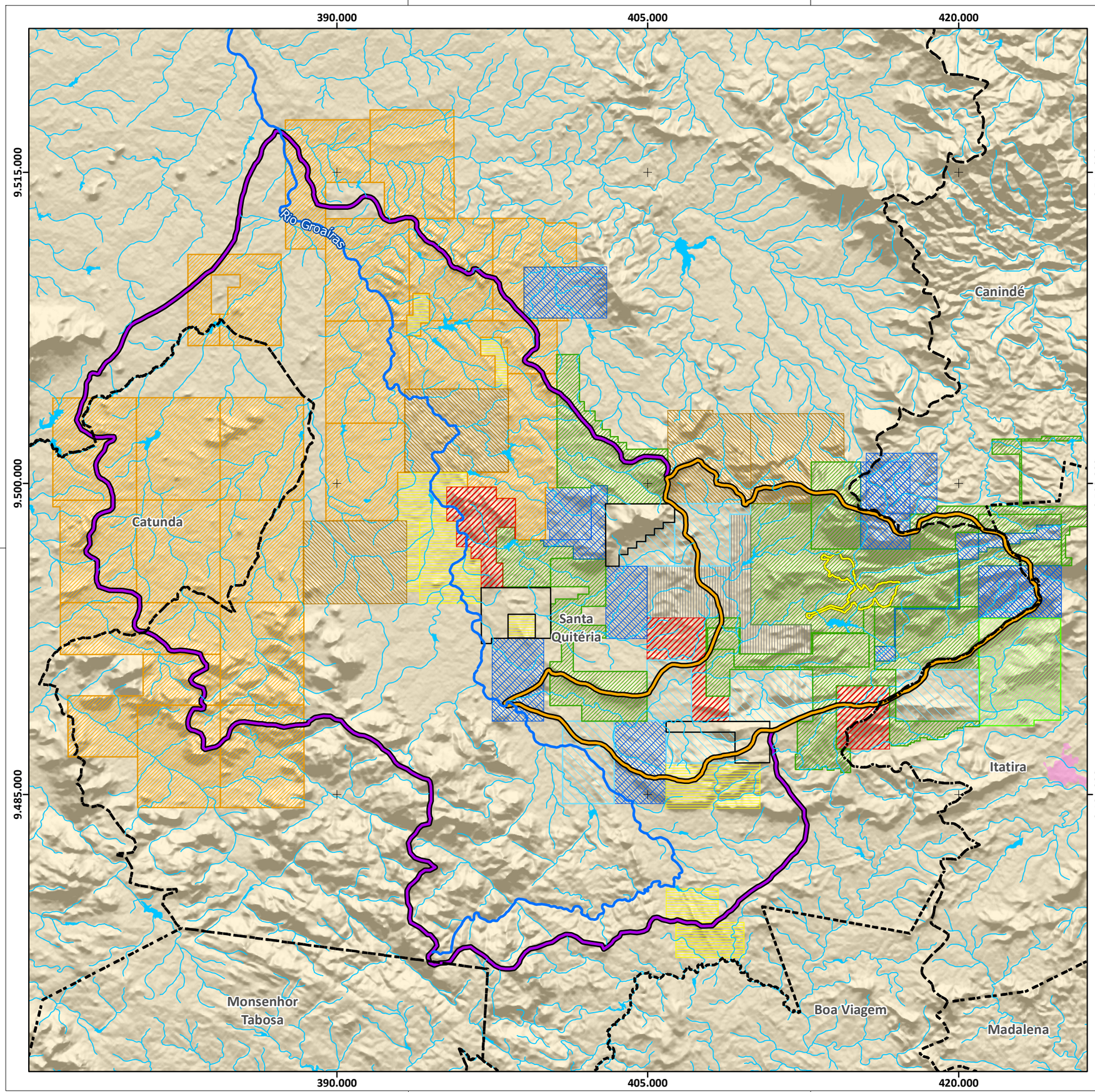
Considerando as informações sobre os títulos de direito minerário obtidas pelo Sistema de Informações Geográficas sobre Mineração - SIGMINE da ANM[10], nos limites da AII foram levantados 73 títulos minerários.

Tais títulos estão associados às substâncias diversas como: minério de cobre, calcário, quartzito, fosfato, mármore, minério de ferro, granito e argila. Os dados de cada processo foram agrupados e foi atribuído um número identificador (ID) a cada processo

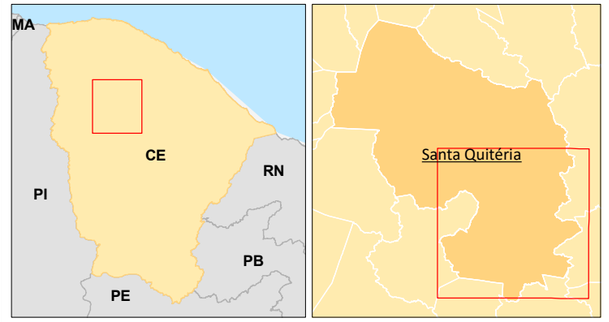
10 disponível em: https://geo.anm.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6a8f5ccc4b6a4c2bba79759aa952d908, consultado em 10 de julho de 2023.

correspondente com as poligonais representadas no Mapa 11.1-36. Este número tem correspondência com os dados apresentados no Anexo 11.1.14-1 - Tabelas com os Títulos Minerários existentes na AII/AID/ADA.

Os mapas a seguir exibem a distribuição dos títulos minerários classificados pelas substâncias de interesse (Mapa 11.1-36) e classificados pela situação do processo cadastrado (Mapa 11.1-37).



Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional

- Limite Municipal
- Áreas Urbanizadas/Edificadas

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)
- Área de Influência Indireta (AII)

Hidrografia

- Rio Groaíras
- Cursos d'água
- Massas d'água

Poligonais Processos Minerários

Substâncias

- Argila
- Calcário
- Fosfato
- Granito
- Minério de Cobre
- Minério de Ferro
- Minério de Urânio
- Mármore
- Quartzito
- Dado não cadastrado

Fonte:
ANM, 2023. Processos Minerários. Acesso 10/07/2023.
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:185.000
0 2 4 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria

tetra+

Projeto:

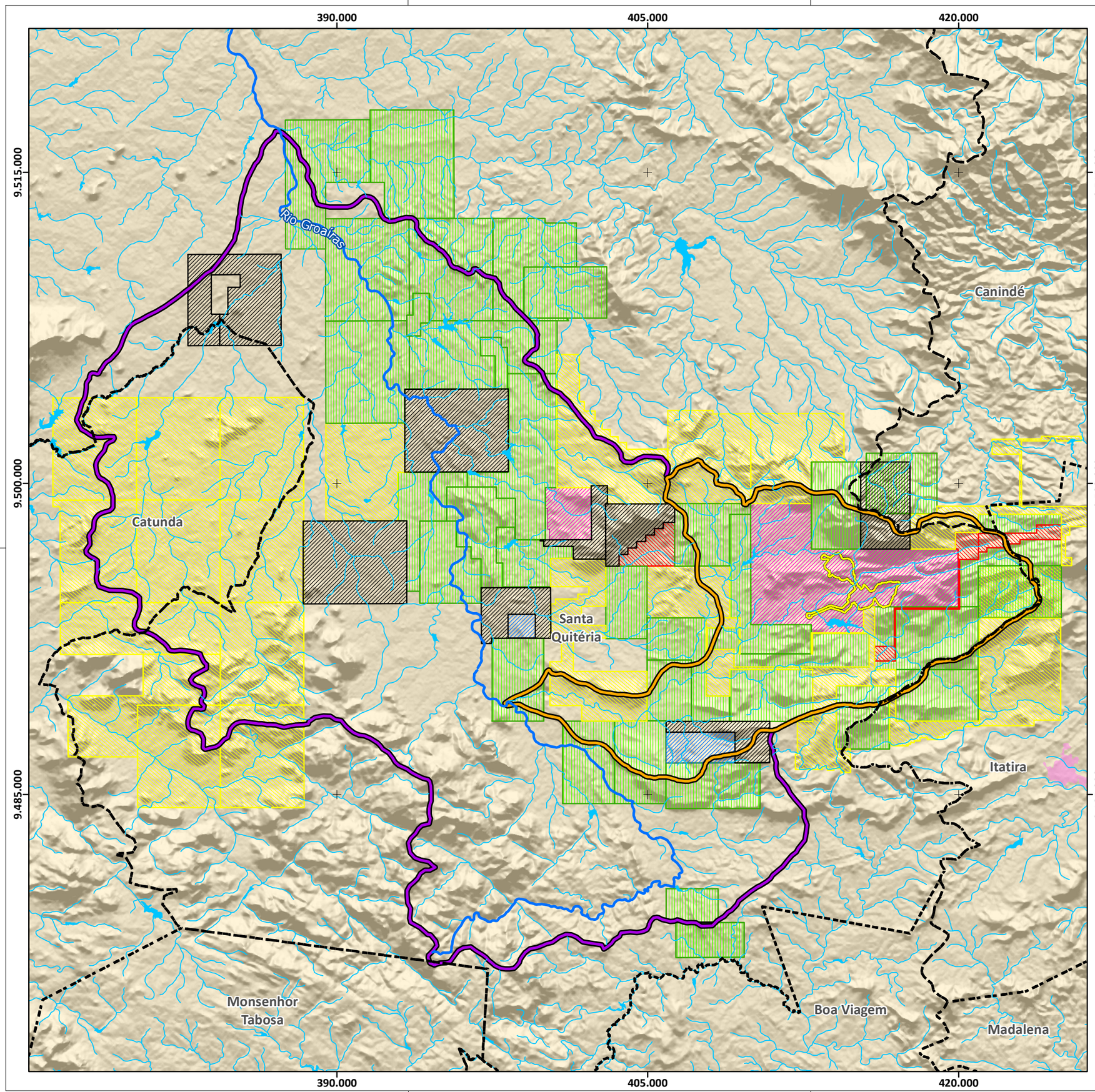
Projeto Santa Quitéria

Título: Mapa dos títulos minerários da área de estudo classificados pela substância de interesse

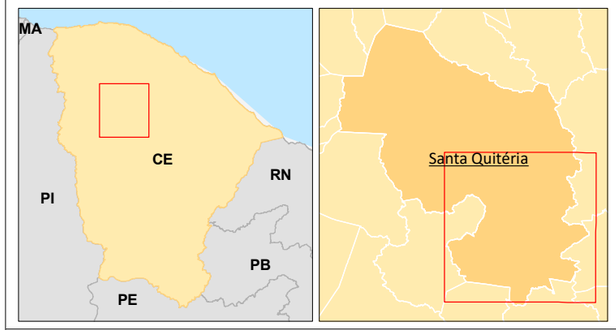
Formato	Escala	Folha
A3	1:185.000	Única

Data	Localização
30/10/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida



Macrolocalização



Legenda

Referência Locacional

- Limite Municipal
- Áreas Urbanizadas/Edificadas

Áreas de Influência

- Área Diretamente Afetada (ADA)
- Área de Influência Direta (AID)
- Área de Influência Indireta (AII)

Hidrografia

- Rio Groaíras
- Cursos d'água
- Massas d'água

Poligonais Processos Minerários

Fase do Processo

- Apto para Disponibilidade
- Autorização de Pesquisa
- Concessão de Lavra
- Direito de Requerer a Lavra
- Disponibilidade
- Requerimento de Lavra
- Requerimento de Pesquisa

Fonte:
ANM, 2023. Processos Minerários. Acesso 10/07/2023.
IBGE, 2022. Limites Municipais do Estado do Ceará.
IPECE, 2023. Drenagens superficiais do Estado do Ceará.

1:185.000
0 2 4 km
Escala Gráfica

Norte do Mapa

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal Sirgas 2000 - Fuso 24S

Consórcio Santa Quitéria

tetra+

Projeto:

Projeto Santa Quitéria

Título: Mapa dos títulos minerários da área de estudo classificados pela situação do processo cadastrado

Formato	Escala	Folha
A3	1:185.000	Única

Data	Localização
30/10/2023	Santa Quitéria / CE

Elaborado	Aprovado
Patrick Martins	Cristina Poggiali Almeida

As substâncias de interesse dos títulos minerários cadastrados na área têm como uso descrito a aplicação para fins de revestimento, fabricação de cimento e cal, uso industrial, e fabricação de fertilizantes e corretivos para solo.

Dentre o total de 73 títulos identificados na AII, 21 (29%) são relacionados a minério de cobre, 12 (16%) são relacionados a calcário, 10 (14%) relacionados a quartzito, 10 (14%) relacionados a fosfato, sete (10%) relacionados a mármore, 4quatro (5%) relacionados a minério de Ferro, trÊs (4%) relacionados a granito, dois (3%) relacionados a Argila, um (1%) relacionado a minério de Urânio e três (4%) títulos estão em processo de disponibilidade sem substância cadastrada. Os dados são sumarizados no Quadro 11.1.14-2 e na Figura 11.1-335.

Quadro 11.1.14-2: Relação entre substâncias e número de títulos.

SUBSTÂNCIA	Nº DE TÍTULOS	(%)
Minério de Cobre	21	28,8
Calcário	12	16,4
Quartzito	10	13,7
Fosfato	10	13,7
Mármore	7	9,6
Minério de Ferro	4	5,5
Granito	3	4,1
Argila	2	2,7
Urânio	1	1,4
Não cadastrados	3	4,1

Elaboração: BTB Explorers. Fonte: ANM, 2023.

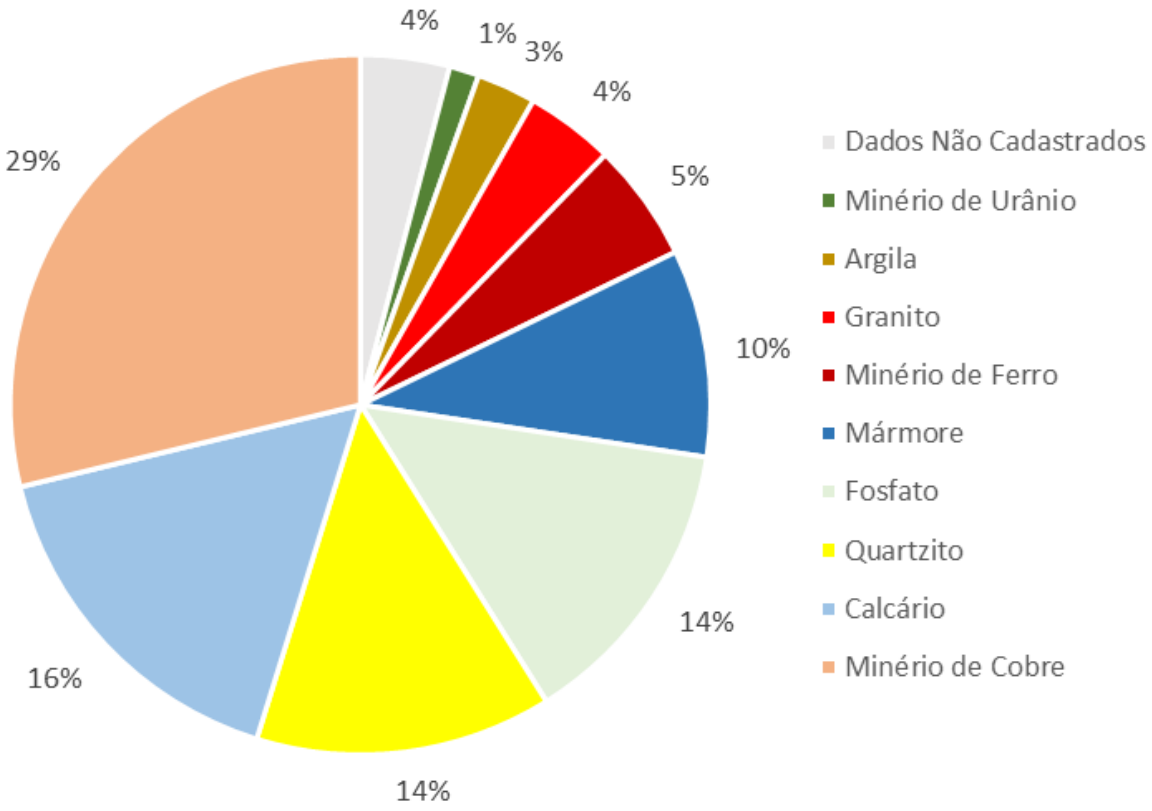


Figura 11.1-335: Distribuição dos títulos por substância de interesse.

Elaboração: BTB Explorers. Fonte: ANM, 2023.

Dentre os 73 títulos minerários da área de estudo, 36 (49%) se encontram em fase de autorização de pesquisa, 21 (29%) em fase de requerimento de pesquisa, nove (12%) em regime de disponibilidade, dois (3%) em fase de concessão de lavra, dois (3%) em fase de direito de requerer a lavra e três (4%) em fase de requerimento de lavra, conforme apresentado no Quadro 11.1.14-3 e na Figura 11.1-336.

Quadro 11.1.14-3: Relação entre a fase do processo e número de títulos.

FASE DO PROCESSO	Nº DE TÍTULOS	(%)
Autorização de pesquisa	36	49,3
Requerimento de pesquisa	21	28,8
Disponibilidade	9	12,3
Concessão de lavra	2	2,7
Direito de requerer a lavra	2	2,7
Requerimento de lavra	3	4,1

Elaboração: BTB Explorers. Fonte: ANM, 2023.

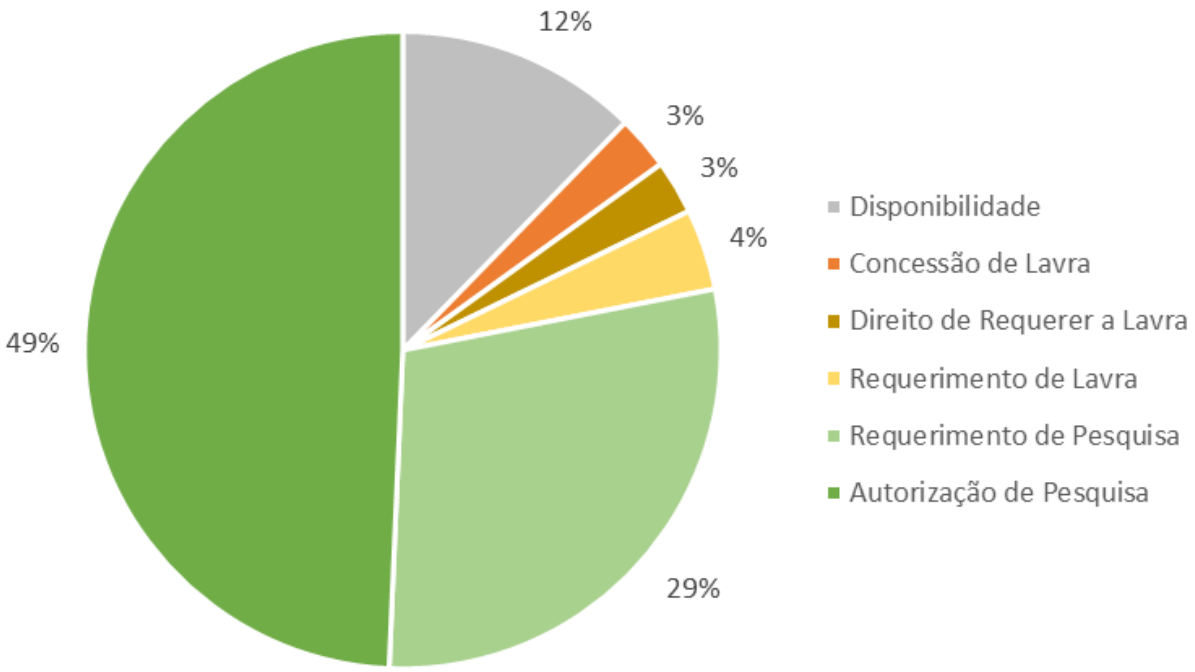


Figura 11.1-336: Distribuição dos títulos por fase do processo.
Elaboração: BTB Explorers. Fonte: ANM, 2023.

Os processos em fase de disponibilidade estão relacionados a áreas desoneradas oriundas do indeferimento dos pedidos de pesquisa, da não aprovação dos relatórios de pesquisa, caducidade de alvarás de pesquisa, renúncias à autorização de pesquisa, descarte de áreas e áreas com relatório de pesquisa negativo. As áreas estão em disponibilidade até que um eventual interessado protocole requerimento de pesquisa.

Cabe destacar que a área do Projeto Santa Quitéria está inserida na Fazenda Itataia, em uma área de 5825,70 hectares de propriedade da INB e na poligonal do direito minerário referente ao Processo nº 800.095/1990 da Agência Nacional de Mineração (ANM), englobando uma área de 3998,60 hectares, cuja Portaria de Lavra foi emitida em 03/10/2005 à INB. As pesquisas apontaram que a jazida de Itataia é a maior reserva de urânio do Brasil.

Desta forma, os trabalhos realizados durante as pesquisas geológicas, no âmbito do processo ANM nº 800.095/1990, confirmaram que na área do empreendimento o colofanito constitui o principal minério de interesse, ocorrendo em uma faixa de cerca de 400 m x 800 m.

11.1.14.3 Considerações Finais

Ressaltando a importância mineralógica da região, há 73 títulos minerários (dado obtido em 10/07/2023 na ANM) dentro da AII, correspondendo a 70% da área. Dentre os recursos, estão minério de cobre em sua maioria, seguido por calcário, quartzito, fosfato, mármore, granito, argila e minério de urânio. Algumas poligonais de 2021 para 2023 sofreram modificações em seus tamanhos/formatos, principalmente no entorno do Processo nº 800.095/1990 da Agência Nacional de Mineração (ANM), no qual a ADA está inserida. Em relação às substâncias requeridas nos 73 títulos minerários, houve um importante acréscimo para fosfato (de cinco para 10 áreas) e decréscimo do calcário (de 17 para 12 áreas), havendo a troca de substância pesquisada de calcário para fosfato em alguns desses títulos ou a substituição por novas poligonais.

11.1.15 Considerações Finais do Meio Físico

As precipitações na região apresentam valores anuais abaixo de 800 mm pluviométricos anuais variaram entre 355,7 mm e 663,6 mm. Quanto às temperaturas a temperatura média anual é de 27,4°C na estação Quixeramobim, com variação média anual de temperatura de 2,7°C. Na estação Itataia, a média anual é de 27,0°C, com variação de 3,3°C. Já na estação Santa Quitéria a média anual é 28,4°C, com variação média anual de 3,6°C. Quanto à evapotranspiração potencial entre o mês de janeiro e maio ocorre uma redução gradativa dos totais mensais com mínima de 142,6 mm e a partir de agosto, nota-se o comportamento inverso com aumento gradativo dos totais mensais, com máxima de 220,0 mm no mês de dezembro.

Os resultados obtidos durante as campanhas de qualidade do ar indicam que os receptores do entorno do futuro empreendimento não estiveram expostos a concentrações de partículas e gases em níveis prejudiciais à saúde, e que as emissões registradas durante as campanhas realizadas não constituíram potencial incômodo aos residentes, nem ofereceram risco de danos à fauna, flora e materiais, uma vez que os valores amostrados para todos os poluentes não alcançaram 60% do limite máximo permitido para cada um deles segundo a Resolução CONAMA nº 491/2018.

O nível de pressão sonora residual - Lres nas localidades amostradas ultrapassam o limite determinado pela NBR 10.151:2019, no período diurno, em 8, dos 9 pontos com receptores avaliados fora da Fazenda Itataia. Esse resultado aponta que já ocorre alteração dos padrões acústicos durante o período diurno, basicamente causada por fontes naturais (fauna), exceto no P-12, localizado em área urbanizada, onde houve influência de ruído de veículos automotores. No período noturno, esta alteração foi registrada em três dos 9 pontos

avaliados fora da Fazenda Itataia. Apesar dos registros de picos de vibrações, os níveis registrados não possuem potencial de danos à saúde ou às edificações.

A região do PSQ está inserida no domínio morfoestrutural dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos caracterizado por planaltos, alinhamentos serranos e depressões interplanálticas, onde se destacam duas macrounidades geomorfológicas. Os Maciços Residuais Sertanejos (Planalto Sertanejo) representados por relevo montanhoso na região nordeste; e à Depressão Sertaneja representada por relevo aplainado nas regiões sul e sudoeste da área.

A Depressão Sertaneja ocupa cerca de 75% da AII e é caracterizada por relevo relativamente plano com superfície dissecada, suavemente ondulada. A Jazida de Itataia está localizada no Serrote da Igreja, elevação que corresponde a uma forma de relevo isolada (*inselberg*), com amplitude pouco superior a 100 m e declividade entre 10 e 20º. Sua morfologia apresenta interflúvios côncavos e encostas convexas, com baixa densidade de drenagem.

O vale do riacho das Guaribas, curso d´água intermitente localizado na base da Serra do Céu, conforma um vale encaixado delimitado por encostas íngremes, com declividades entre 20º e 30º e altitude variando de 470 m a 580 m. Nas adjacências da margem esquerda do riacho Groaíras ocorre à unidade de relevo dissecado relativamente plano da Depressão Sertaneja, na qual predominam colinas e morrotes baixos. Nesta área, o relevo apresenta amplitudes menores que 100 m (comumente abaixo de 20 m) e declividades predominantemente inferiores a 5º, localmente atingindo 10º. A rede de drenagem é encaixada em planos de fraquezas decorrentes das estruturas resultantes dos processos geológicos da rocha, formando fundos de vales escavados pela própria ação intempérica dos escoamentos superficiais.

De acordo com o mapeamento pedológico realizado pelo IBGE no âmbito do programa de Mapeamento de Recurso Naturais (MRN), na AII do PSQ predominam cinco ordens principais de solo, a saber: Luvissolos Crômicos, Planossolos Háplico, Neossolos Litólicos e Argissolos Vermelho e Chernossolo Rêndzico.

Considerando as significativas oscilações térmicas, principalmente as ocorridas ao longo do dia, contribuem para a ação de processos intempéricos físicos que provocam a fragmentação das rochas e a formação de blocos de rocha geralmente angulosos, mas pouco contribuem para a formação dos solos. Os baixos índices de pluviosidade anual não

favorecem a atuação dos processos de intemperismo químico, de forma que mesmo os solos residuais de alteração de rocha são pouco expressivos na área.

Este contexto resulta em um arcabouço pedológico muito homogêneo e monótono, onde todo terreno é marcado por extensas ocorrências de Neossolos predominantemente Litólicos, e subordinadamente Flúvicos, com ocorrências conjuntas de Chernossolo Rêndzicos e Cambissolos, além de áreas com afloramentos rochosos.

Nos locais onde os Neossolos Litólicos dão lugar a solos mais evoluídos, observa-se a influência da rocha aflorante sobre os horizontes desenvolvidos. Esta correlação é embasada, principalmente, nas diferenças geoquímicas marcantes entre os principais litotipos, em especial entre os gnaisses e migmatitos, e os metacarbonatos (calcissilicáticas e mármores), que por serem ricos em cálcio, condicionam a formação dos horizontes chernozêmicos, e de baixa espessura.

Os resultados de condutividade hidráulica, estão em sua maioria na de 10^{-04} cm/s, estão de acordo com as condutividades médias para solos contendo silte, areia fina, e argila segundo Fetter, C. W. (1994).

A distribuição granulométrica, nos estudos de 2022, para os solos da Formação Alcantil se refere a 36 a 46% de argila e silte, 15 a 41% de areias finas a médias e 1 a 4% de areias grossas e pedregulhos, e para os solos da Formação Barrigas composta de 19 a 31% de argila e silte, 15 a 40% de areias finas a médias e 7 a 36% de areias grossas e pedregulhos.

Para análise dos padrões de qualidade do solo, foram consideradas a Resolução CONAMA nº 420/2009. As únicas concentrações acima dos valores de prevenção (VPs), os mais restritivos da Resolução CONAMA nº 420/2009, se referem a Arsênio (amostra P-11C, ST09), Bário (amostras P- 11C, P-1, ST09, ST10 e ST11), e Níquel (amostra P-1 e ST02). Nas amostragens de 2023, foram diagnosticados alguns novos elementos acima da Resolução em pauta nas seguintes sondagens: Antimônio (ST05, ST07, ST09, ST10, ST13 e ST14), Bário (ST09, ST10, ST11, ST15 e ST17)), Cromo (ST05) e Níquel (ST02). Além desses elementos que foram encontrados em teores acima dos valores padrões, vale destacar que foi detectado Mercúrio nas amostras ST05, ST10, ST14 e ST15, porém todos abaixo do valor de 0,5 mg/kg, variando de 0,114 mg/kg a 0,229 mg/kg no ST10.

Os compostos metálicos Alumínio, Ferro e Manganês foram identificados em todas as amostras e representam as maiores concentrações. Por se tratar de compostos naturalmente presentes e abundantes nos solos brasileiros a Resolução CONAMA nº 420/2009, não

estabelece valores orientadores estabelecidos para estas substâncias. No caso do alumínio, estes teores podem ser justificados pelos litotipos que originaram o solo, basicamente gnaisses, caracteristicamente ricos neste elemento devido aos minerais micáceos e feldspatos. Estes, por sua vez, quando submetidos à ação do intemperismo podem liberar o metal proporcionando o enriquecimento dos respectivos solos.

Cabe ressaltar que os hidrocarbonetos aromáticos e policíclicos aromáticos indicativos de produtos derivados de petróleo; compostos organoclorados, fenóis não clorados e ésteres ftálicos indicativos de substâncias químicas industriais; pesticidas organoclorados indicativos de eventual contaminação por conta de utilização agrícola do solo; estão todos em concentrações abaixo dos VPs da Resolução CONAMA nº 420/2009.

Quanto a fragilidade a erosão, maior parte da AID e praticamente toda a ADA possui Muito Baixa a Baixa fragilidade à erosão, o que coincide com as áreas mais suaves de todo o Sul e centro-oeste da área onde predominam o relevo da Depressão Sertaneja. As áreas de fragilidade Média a Alta, coincidem com as porções inferiores das encostas mais íngremes, principalmente das serras e serrotes localizados nas porções Leste e Nordeste da AID, onde predominam as formas de relevo do Planalto Residual Sertanejo e onde se encontra a Serra do Céu, cuja encosta corresponde ao local de maior fragilidade à erosão na AID. Isto se deve às altas declividades, significativo comprimento de rampa e presença de Neossolos Litólicos e Cambissolos Vermelho-Amarelos.

Com base nos picos de difratogramas de raios-X em amostras de rocha bruta, os resultados indicam que todas as amostras possuem quartzo (SiO_2); 26,08% contêm fluorapatita ($Ca_5(PO_4)_3F$); 13,04% têm carbonato de cálcio ($CaCO_3$); e 6,52% das amostras tem presença de uranio. Além da presença desses minerais, verificou-se a presença de argilominerais, característicos das argilas, onde quimicamente são representados por silicatos de alumínio ou magnésio hidratados, contendo outros tipos de elementos como ferro, potássio, lítio e outros.

Os ensaios de compactação indicam densidade máxima variando entre 1,75 e 1,904 g/cm, com umidade ótima oscilando entre 8,5% e 12%, nos sedimentos da Fm. Barrigas, enquanto na Fm. Alcantil, a densidade atinge valores entre 1,70 a 1,75g/cm^3 e umidades entre 11,20% a 13%. O índice de atividade das argilas (IA) se encontra entre 0,27 e 0,43, equivalendo ao intervalo de valores característicos de argilas inativas, portanto, com pouca influência sobre os ensaios de compactação e CBR. Este resultado demonstra que os solos analisados não devem apresentar expansividade.

Vale ressaltar, que entre 2021 e 2023, que foram realizados um total de 126 sondagens SPT, 26 sondagens a trato para caracterização físico-química dos sedimentos e ensaios para dimensionar a condutividade hidráulica do meio vadoso e 18 novas perfurações de poços de monitoramento. Sendo considerado suficiente para o desenvolvimento dos estudos, vale ressaltar que novos ensaios e sondagens estão propostas para melhor conhecimento do substrato rochoso, durante a fase de implementação do empreendimento.

Os valores de condutividade elétrica dos solos apresentam correlação direta com a presença de sais, devendo ser considerada um fator relevante na capacidade de corrosão de estruturas metálicas, juntamente com o pH, potencial de redução, aeração, e teor de umidade dos solos. A condutividade elétrica nos solos associados à Formação Alcantil classifica o solo como levemente corrosivo, sendo que para os demais solos, apresentam caráter fracamente corrosivos.

A AID apresenta, predominantemente, uma suscetibilidade Muito Baixa a Baixa para movimentação de massa, associada a uma Muito Baixa fragilidade à erosão. As áreas mais críticas a instabilidades se referem as encostas da Serra do Céu, ao Norte da AID, as quais são caracterizadas por Média a Alta suscetibilidade a movimentos de massa, associada à média fragilidade à erosão.

As encostas das serras e serrotes da AID apresentam Média suscetibilidade à movimentação de massa, e Muito Baixa a Baixa fragilidade à erosão. Em áreas de afloramentos rochosos associadas a regiões com declives, predominam Média a Alta suscetibilidade a movimentos de massa, representadas por queda, tombamento e rolamento de blocos. Localmente, ocorrem pontos de Média a Alta suscetibilidade a problemas geotécnicos associados a terrenos cársticos.

Na área da Jazida, as superfícies sujeitas a escorregamentos são representadas pelas descontinuidades associadas às foliações com mergulho predominante para Sudeste, as quais, podem condicionar instabilizações, além da sua combinação com as fraturas subverticais, originando cunhas e blocos potencialmente instáveis. O fato de as foliações apresentarem três rumos de mergulho distintos caracteriza uma situação de instabilidade de taludes com direções NE e com inclinação para SE ou para NW e; com direções N-S a NNW-SSE com inclinação para E a ENE.

Na região onde se pretende implantar a cava, a foliação apresenta mergulho predominante para SSE, onde na parede direita do trecho inicial da galeria G3, foram

observados deslizamentos de pequeno porte ao longo do plano da foliação e queda de blocos isolados pela intersecção desta estrutura com fraturas subverticais NE e NW.

Além da orientação das estruturas, as condições geomecânicas do maciço têm papel fundamental na estabilidade dos taludes de cortes compartimentou o maciço da região em três classes geotécnicas. A classe I, caracterizada por rochas sãs ou praticamente sãs, pouco fraturadas e RQD acima de 50%, se localiza nas porções mais profundas do maciço, eventualmente intercalada com faixas de rocha com qualidade inferior. A classe II está distribuída na forma de lentes ou porções isoladas em meio às outras duas classes. A classe III, correspondendo a rochas com alto grau de alteração, muito fraturada e baixo RQD, se encontra, predominantemente, nas porções superficiais do maciço, porém podendo atingir mais de 100 metros de profundidade.

O Estudo Potamos, 2023 concluiu que, do ponto de vista de carregamentos, a fundação das estruturas do PSQ possui capacidade adequada de suporte e que, caso sejam encontradas feições cársticas subterrâneas em estágios mais avançados do projeto (básico e executivo), se necessário, poderá ser adotado o seu tratamento para eliminar qualquer possibilidade de instabilidade.

No presente estudo foi adotada a divisão litoestratigráfica proposta por Mendonça et al (1982), a qual, apesar de não levar em conta eventos estruturais existentes na região (pois correlaciona as Formações estratigraficamente), permite uma maior subdivisão do Grupo Itataia, nas Formações Serra do Céu (base), Laranjeiras, Barrigas e Alcantil (topo).

A Formação Laranjeiras juntamente com a Formação Serra do Céu perfaz o limite Leste e Norte da AID. A Formação Serra do Céu é predominantemente constituída por migmatitos, biotita-silimanita-granada-gnaisses localmente migmatizados, com inserções subordinadas de anfibólio-gnaisses e metarcóseos. A Formação Laranjeiras é composta por quartzitos e perfaz as cristas e cimeiras das Serras da Cacimba, Mata Fome, do Céu e Laranjeiras, e é constituída por quartzitos puros e micáceos, localmente ferríferos.

A Formação Barrigas é representada por gnaisses pelíticos aluminosos, é constituída por biotita-silimanita-gnaisses e biotita-plagioclásio-gnaisses com porfiroblastos de granada, localmente apresentando migmatização em diferentes graus, comumente cloritizadas, processo este resultado de retrometamorfismo de fácies anfibolito para xisto verde.

A Formação Alcantil é composta em sua poção basal por rochas calciossilicáticas (diopsiditos e escapolitas-diopsiditos) que gradam para mármores com diferentes graus de

pureza. Estes litotipos, ocasionalmente, apresentam alto teor de Magnésio (Mg). Os principais corpos de minério fosfático (colofanito), ocorrem associados às rochas carbonáticas e calcissilicáticas compondo um padrão de preenchimento de fraturas e falhas do tipo stockwork.

As fases de deformação dúctil que afetaram as rochas da região alteraram a geometria e distribuição espacial das unidades até então depositadas. São comuns dobras complexas, geralmente isoclinais, frequentes nas associações litológicas com contrastes reológicos e gerando transposições em condições de deformação progressiva.

As foliações são paralelas aos contatos litológicos e apresentam predominância de baixos ângulos de mergulho (aproximadamente 20º) com rumo predominante para Sul e Sudeste, com pequenas variações para noroeste e nordeste. Localmente, podem apresentar mudanças severas nas orientações e mergulhos, devido aos diversos padrões de dobramento superimpostos às rochas.

As fraturas e falhas se apresentam agrupadas em três famílias com direções médias NNW-SSE, NW-SE e E-W, normalmente com mergulhos subverticais apresentando pequenas dispersões. Suas características são praticamente homogêneas em toda a área, independentemente dos litotipos, apresentando superfícies geralmente planas, lisas a rugosas, seladas ou com aberturas milimétricas, algumas vezes preenchidas por argilas resultantes da alteração da própria rocha, e geralmente secas. Localmente, nas áreas de ocorrência de mármores, são observadas descontinuidades com maior abertura, derivadas da ação de processos cársticos de dissolução.

Em relação ao uso das águas superficiais e subterrâneas, foram localizadas 67 outorgas de captação nos municípios que compreendem a AII, sendo desses 8 em Catunda e o restante em Santa Quitéria. Desses, a maior parte e destinada a irrigação, totalizando 30 outorgas 63,12% do volume de água outorgado (5 poços, 4 açudes e 21 rios e riachos), seguido de abastecimento humano com 16 outorgas e 3,47% do volume d'agua outorgado (8 poços, 1 açude e 6 rios e riachos). A indústria apresenta 6 outorgas, sendo 3 açudes e 3 poços, totalizando 31,44% do volume de água outorgado, cerca de 8.731.384 m^3. Tanto a irrigação quanto a indústria, têm a maior parte de seu volume relacionado aos açudes, onde apenas o Açude do Distrito de Irrigação do Perímetro Irrigado Araras Norte, responsável por 61,6% de todo o volume outorgado dentro dos municípios de Santa Quitéria e Catunda;

Segundo os estudos da COGERH (2022) existem 4.152 pontos de captações d'água subterrânea em toda Bacia do Acaraú, sendo: 3.965 poços tubulares; 180 poços amazonas e 7 fontes naturais. O município de Santa Quitéria detém 502 das captações de águas subterrâneas e representa o município com maior número de captações da Bacia do Acaraú (12,09%), seguido de Sobral com 421 (10,14%). As 4.152 captações de águas subterrâneas estão distribuídas por toda Bacia do Acaraú e captam água dos seguintes aquíferos: porosos (15,78%), aluviais (8,02%), cársticos (0,17%) e fissurais (76,04%). Dentro da AII há 5 poços com outorgas vigentes, sendo apenas 1 para abastecimento humano e o restante para dessedentarão animal.

Os aquíferos na região da ADA e AID, ocorrem principalmente na forma de meio fraturado e secundariamente cárstico. Há presença de duas principais unidades na ADA, a MS1 composta por metassedimentos da Formação Barrigas e MC1 que corresponde as metacarbonáticas da Formação Alcantil. Devido à baixa espessura do meio poroso, corresponde aos sedimentos aluvionares e pluviais, foi optado por não o subdividir em uma unidade aquífera, funcionando apenas como uma zona de condução até os aquíferos rochosos, não havendo acúmulo de água freática.

Através dos ensaios realizados em 2022 foi obtido valores médios através de todos os métodos para a unidade metassedimentares (MS1) de (K) de $6,57^{E-06}$ m/s e (T) $3,11^{E-05}$ m^2/s. Já as unidades metacarbonáticas, apresentaram valores de (T) $1,90^{E-04}$ m^2/s e (K) $2,37^{E-05}$ m/s. De forma geral, onde não ocorrem os padrões cárstico na MC1 o aquífero irá se comportar como no meio fraturado, de forma a apresentar padrões de K e T semelhantes aos do MS1. O meio fraturado é anisotrópico, com sua condutividade hidráulica diretamente relacionada às estruturas representantes da porosidade secundária, representada por falhas e fraturas, distribuídas heterogeneamente tanto nas rochas das Formações Alcantil (Unidade Aquífera MC1) e Barrigas (Unidade Aquífera MS2).

Tanto as águas superficiais como as subterrâneas, tendem a se deslocar condicionadas principalmente pelos efeitos gravitacionais das diferenças de potencial da maior para menor carga hidráulica, com direção de fluxo de NE para SW, de forma encaixada entre planos de fraquezas da zona de cisalhamento, e tendem a desaguar nos relevos de colinas alongadas com declividade inferior a 5º, condição está favorável a infiltração. Foi observado ao longo dos anos uma diminuição natural do volume de água nos aquíferos subterrâneos, o que sugere um balanço hídrico subterrâneo negativo na região. Os resultados da análise de Vulnerabilidade pelo método GOD indicam uma condição de vulnerabilidade extrema para a Unidade Aquífera MC1 (Formação Alcantil), onde ocorrem as zonas certificadas, e alta para o restante de sua unidade, devido à baixa espessura dos solos. Já para a Unidade Aquífera

MS1 (Formação Barrigas) e consideravelmente média sua vulnerabilidade e alta para o meio poroso (Aluviões), nas áreas de baixa declividade principalmente.

Para compreender melhor a qualidade das águas subterrâneas dentro da área do PSQ, foram construídos 19 novos poços de o monitoramento, totalizando 21 poços com a rede construída em 2011 com médias de 30 metros de profundidade. No total foram 25 pontos, analisados, utilizando poços privados localizados na região. Com o objetivo de analisar nos período de seca e chuvoso, foram realizadas 4 campanhas durante 2022 a 2023 de coletas nos poços, a fim de analisar os elementos dissolvidos na água, como agrotóxicos, metais e sais (inorgânicos), derivados de petróleo e solventes (orgânicos) e microrganismos (coliformes). Em cerca de metade dos poços foi detectado elementos como chumbo, alumínio, arsênio, entre outros acima dos valores recomendados. Elementos como ferro, manganês, sódio, cloreto e sólidos totais dissolvidos estão acima em quase todos os poços e são responsáveis pela característica de aquíferos salobres, não sendo recomendável para consumo humano. Outro elemento importante é o urânio, que está acima dos valores recomendáveis em diversos pontos, sendo o PM-01, mais próximo da jazida, quase 20 vezes esse valor. Importante ressaltar que estes valores ocorrem naturalmente na região.

Os cursos d'água que drenam a AID e ADA do PSQ são contribuintes da margem direita do rio Groaíras, a exemplo da sub-bacia do riacho do Mulungu. Nessa região de clima semiárido, fatores associados ao rápido escoamento superficial, intensa evaporação e reduzida infiltração limitam o fluxo dos recursos hídricos superficiais, se destacando os cursos d'água intermitentes

Nas áreas de influência do PSQ são considerados de águas doces Classe 2. Os potenciais fontes de poluição na AID e ADA são principalmente de origem difusa, relacionadas ao aporte de dejetos de animais, com destaque para a criação de caprinos, além de agricultura de subsistência. As cargas de origem orgânica e fecal concentradas na bacia de drenagem e no leito seco dos riachos no período de estiagem podem alcançar os açudes na época chuvosa, alterando a qualidade das águas do ponto de vista ecológico e sanitário.

As avaliações da qualidade das águas superficiais, realizadas em novembro/20, fevereiro/21 e abril/23, evidenciaram que as águas nos açudes amostrados atenderam, em grande parte, aos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 para águas doces classe 2. Os parâmetros que apresentaram não conformidades em relação à legislação nestas amostragens foram cloreto total, cloro residual livre, cor verdadeira, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), fósforo total, nitrito, oxigênio dissolvido, sólidos

dissolvidos totais, sulfato total, sulfetos (como H_2S não dissociado), manganês total, zinco total, cianobactérias e surfactantes.

Do ponto de vista ecológico, os teores de oxigênio dissolvido foram baixos, inferiores ao padrão da legislação, na maioria dos locais amostrados, tendendo à anaerobiose nos açudes do riacho Caramutim e da Laís, no período seco (novembro/2020), possivelmente em função da dinâmica lêntica, onde a taxa de reintrodução de oxigênio dissolvido é baixa, além de ser um ambiente no qual tende a ocorrer acúmulo de compostos orgânicos. Nas campanhas de fevereiro/2021 e abril/2023, registrou-se uma maior oxigenação das águas nesses locais, porém, os teores de OD mantiveram-se inferiores ao estipulado pela legislação, com exceção do açude da Laís (P09) na terceira campanha (abril/2023), cujo valor obtido foi de 5,0 mg/L, que é o limite para águas doces classe 2.

A análise dos sedimentos demonstrou ausência de contaminação por agrotóxicos e demais compostos orgânicos. Os metais dos sedimentos foram quantificados em concentrações compatíveis com os padrões estabelecidos pelo CCME (2001), na maioria da malha amostral, com exceção apenas do açude do riacho Caramutim (cromo e níquel), do açude do riacho da Gangorra (cromo) e do açude Edson Queiroz, onde foram registradas não conformidades para cobre, cromo e níquel.

Em síntese, os açudes amostrados apresentam indícios de introdução de matéria orgânica e de nutrientes, que podem acarretar processo de eutrofização do ambiente aquático, assim como algumas interferências relacionadas ao aporte de sólidos da matriz geológica regional.

Esta nova versão dos estudos espeleológicos do Projeto Santa Quitéria foi pautada nos procedimentos e critérios estabelecidos nas normas de abrangência nacional, como a Resolução CONAMA n.º 347/2004, a Portaria MMA n.º 148 de 07 de junho de 2022, o Decreto Federal n.º 10.935/2022e a IN n.º 02/2017 do Ministério do Meio Ambiente, com o objetivo de subsidiar o licenciamento ambiental do empreendimento. Adicionalmente, foram consideradas as manifestações do Ibama no Parecer Técnico n.º 148, e a mudança no layout do projeto, ocorrida em 2023.

As validações e complementações do cadastro espeleológico local culminaram no inventário de 124 cavidades, das quais 36 estão localizadas fora do buffer de 250 m da ADA, incluídas por estudos anteriores. Esse cenário contribuiu para a ampliação do conhecimento sobre o patrimônio espeleológico local, em um contexto de raros registros para além do limite do projeto, o que certamente oferece maior segurança técnica para definição de características recorrentes ou raras.

A implantação do Projeto Santa Quitéria resultará em impactos negativos de ordem irreversível em cinco cavidades naturais, classificadas nos graus de relevância médio (uma) e baixo (quatro), o que atesta a possibilidade do requerimento de supressão por parte do empreendedor ao órgão licenciador, conforme Decreto Federal n.º 10.935/2022. A implantação do empreendimento envolverá, portanto, a perda de 4% das ocorrências espeleológicas locais, todas elas passíveis de supressão, conforme a classificação de relevância proposta. Os outros impactos previstos a esse patrimônio são passíveis de controle. Para esses, foram recomendadas ações que poderão compor um programa de gestão ambiental espeleológica do empreendimento.

Em relação aos recursos minerários, há 73 títulos minerários (dado obtido em 10/07/2023 na ANM) dentro da AII, correspondendo a 70% da área. Dentre os recursos, estão minério de cobre em sua maioria, seguido por calcário, quartzito, fosfato, mármore, granito, argila e minério de urânio. Algumas poligonais de 2021 para 2023 sofreram modificações em seus tamanhos/formatos, principalmente no entorno do Processo nº 800.095/1990 da Agência Nacional de Mineração (ANM), no qual a ADA está inserida. Em relação às substâncias requeridas nos 73 títulos minerários, houve um importante acréscimo para fosfato (de 5 para 10 áreas) e decréscimo do calcário (de 17 para 12 áreas), havendo a troca de substância pesquisada de calcário para fosfato em alguns desses títulos ou a substituição por novas poligonais.

Consultoria Econômica e Ambiental

+55 (11) **2638-6664 / 3071-2721**

ESCRITÓRIO SÃO PAULO

Rua Jerônimo da Veiga, 164, 16° andar
São Paulo, SP CEP 04536-900

SIGA A TETRA+

www.tetramais.com.br