



Janeiro, 2017

PROJETO DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE RIOS PRINCIPAIS

RELATÓRIO TÉCNICO - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO DE PROJETO ESPECIAL DA ÁREA NÃO PRIORITÁRIA 24

Preparado para:

Fundação Renova

RELATÓRIO

Número do Relatório: G006900-G-1RT074_R-00/RT-E26-011_159-515-2282_00-B

Distribuição:

1 e-cópia - Fundação Renova

1 e-cópia - Golder Associates Brasil Consultoria e
Projetos Ltda.





ÍNDICE

1.0 INTRODUÇÃO	3
2.0 OBJETIVOS	3
3.0 CARACTERIZAÇÃO DA SEÇÃO E-A24-01	3
4.0 ANÁLISES DE ESTABILIDADE	5
4.1 Premissas e Parâmetros Geotécnicos.....	5
4.2 Resultados das Análises de Estabilidade	7
5.0 CONCLUSÕES	11
6.0 RECOMENDAÇÕES	11
7.0 EQUIPE TÉCNICA	12

TABELAS

Tabela 1: Parâmetros Típicos Adotados nas Análises de Estabilidade.	7
Tabela 2: Equipe Técnica.....	12

FIGURAS

Figura 1: Ruptura circular ocorrida no talude da seção de projeto especial E-A24-01, vista de montante para jusante.....	4
Figura 2: Ruptura circular em rocha extremamente fraturada e sem nenhum padrão estrutural (Hoek & Bray, 1981).....	4
Figura 3: Localização da seção E-A24-01.....	5
Figura 4: Vista de jusante para montante do local onde ocorreu a ruptura no talude (13/12/2016).....	5
Figura 5: Características dos maciços rochosos estudados (Parizzi, Sobreira, Galvão, Aranha, Elmiro e Berigo, 2010).....	6
Figura 6: Parâmetros geotécnicos típicos (Cavalcante, 1997).....	6
Figura 7: Parâmetros geotécnicos para análise de estabilidade de pilha de estéril (Pimentel, Teixeira e Silva, 2005).....	6
Figura 8: Localização da seção crítica estudada, E.G.A24-191+14,18.....	8
Figura 9: Análise de estabilidade - Seção E.G.A24-191+14,18m, FS=0,775 indicando que o talude rompeu, mas que a superfície de ruptura não passa pela faixa do mineroduto, instabilidade local.....	9
Figura 10: Análise de estabilidade - Seção E.G.A24-191+14,18m, FS=1,014. Aplicação de enrocamento no pé formando uma berma de equilíbrio com 7,4m de altura de rocha invadindo 13,62m do rio a partir do pé do talude (sem retaludamento).....	9
Figura 11: Análise de estabilidade - Seção E.G.A24-191+14,18m, FS=1,145. Retaludamento 1H:1V, 7m de altura (rocha e aterro) invadindo 15,72m do rio a partir do pé do talude.....	10
Figura 12: Análise de estabilidade - Seção E.G.A24-191+14,18m, FS=1,129. Retaludamento 1H:1V, plataforma de trabalho em rocha e gabião com 5m de altura.	10



ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO DE PROJETO ESPECIAL DA ÁREA NÃO PRIORITÁRIA 24

Figura 13: Análise de estabilidade - Seção E.G.A24-191+14,18m, FS=1,470 gabião e solo grampeado com 15m de profundidade e 8 grampos espaçados a cada 2m..... 11



1.0 INTRODUÇÃO

A Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda. (Golder) foi contratada pela Samarco Mineração S.A. (Samarco) para prestar serviços de recuperação ambiental relacionados à ruptura da Barragem de rejeitos de Fundão, localizada no Complexo Industrial de Germano, no município de Mariana - MG.

Dentre os serviços em desenvolvimento está o projeto de recuperação de rios principais, abrangendo inicialmente 12 áreas definidas como prioritárias e 11 áreas definidas como não prioritárias entre a barragem de Santarém e a Usina Hidroelétrica (UHE) Risoleta Neves. Essa atividade compreende o projeto e o fornecimento de serviços de campo visando à regularização de calhas e controle de drenagem, sedimentos e processos erosivos nas planícies de inundação de trechos dos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, no trecho a montante da UHE Risoleta Neves.

Para as calhas dos rios, o projeto apresenta soluções típicas, definidas como seções tipo “A”, “B”, “C”, “D” e “E”, a serem aplicadas conforme diferentes características dos taludes e do escoamento, tais como: altura do talude, evidência de processos erosivos, presença de vegetação, velocidade do escoamento e elevação do nível d’água.

Na região entre as comunidades de Campinas e Barretos, subdistritos de Mariana-MG, inserida na área 24 não prioritária, foi identificada, pela equipe de campo a ruptura de um talude que pode vir a comprometer o trecho do mineroduto de propriedade da Samarco que passa logo acima. As seções tipo citadas, não se aplicam em função da ruptura e das condições específicas do local. Esta seção, portanto, será tratada como projeto especial, denominada seção especial E-A24-01.

Este relatório apresenta os estudos geotécnicos realizados para subsidiar o desenvolvimento do projeto.

2.0 OBJETIVOS

Avaliar geotecnicamente a estabilidade do talude em questão e definir o tipo de contenção e/ou proteção a ser implantada baseada em visitas de campo, análises de estabilidade dos taludes e velocidade do fluxo do rio, dentre outros aspectos técnicos relevantes.

3.0 CARACTERIZAÇÃO DA SEÇÃO E-A24-01

Foi realizada uma visita de campo no dia 13/12/2016 com o objetivo de caracterizar a área a ser estudada verificando as condições da geologia local, regime de fluxo do rio, proximidade de acessos, residências ou demais estruturas.

O trecho em questão está localizado na margem direita do rio Gualaxo do Norte, próximo a ponte que liga as comunidades de Campinas a Barretos.

A região possui taludes altos e constituídos de rocha alterada a muito alterada. A vegetação existente é composta de árvores de médio porte e vegetação rasteira. Não foi possível chegar ao local da ruptura do talude devido as condições de acesso e segurança. Foi realizada uma avaliação tátil visual do material componente do talude classificado preliminarmente como saprolito de quartzito, com predominância das frações areia e silte no perfil de alteração.

O saprolito, material de transição entre solo e rocha, é de difícil representação geomecânica, uma vez que possui blocos de rocha são envolvidos por solo, apresentando comportamento intermediário de meio contínuo e descontínuo. Nos problemas geotécnicos é conveniente que rochas alteradas ou muito intemperizadas sejam tratadas como solos, para efeito da sua caracterização física e obtenção de parâmetros de resistência.

A **Figura 1** ilustra a ruptura circular ocorrida no local, o que também confirma que o maciço deve ser tratado como solo. Segundo Hoek & Bray, 1981 este tipo de ruptura pode ocorrer em maciços rochoso brandos pouco competentes e em maciços muito alterados ou intensamente fraturados, que apresentam um comportamento



isotrópico e onde os planos de descontinuidade não controlam o comportamento mecânico. A Figura 2 ilustra o descrito por Hoek e Bray.



Figura 1: Ruptura circular ocorrida no talude da seção de projeto especial E-A24-01, vista de montante para jusante

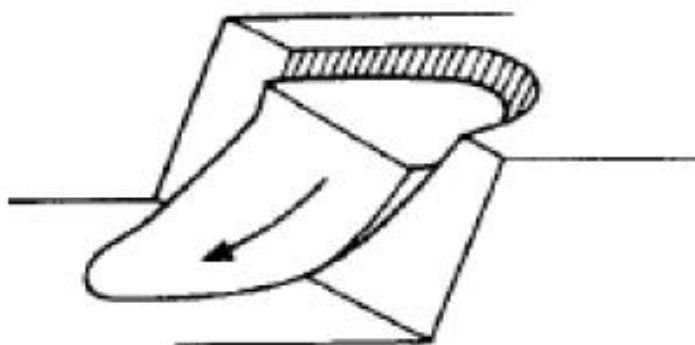


Figura 2: Ruptura circular em rocha extremamente fraturada e sem nenhum padrão estrutural (Hoek & Bray, 1981)

A **Figura 3** e a **Figura 4** apresentam a localização e a situação encontrada em campo no dia 13/12/2016 quando a parte remanescente do talude negativo escorregou sobre a superfície já rompida.



Figura 3: Localização da seção E-A24-01



Figura 4: Vista de jusante para montante do local onde ocorreu a ruptura no talude (13/12/2016)

4.0 ANÁLISES DE ESTABILIDADE

4.1 Premissas e Parâmetros Geotécnicos

Para elaboração dos modelos para análise de estabilidade de taludes são necessárias a realização de sondagens bem como ensaios de laboratório como cisalhamento direto e compressão triaxial para definições de parâmetros de resistência (coesão e ângulo de atrito) além do peso específico. Assim, é possível obter uma confiabilidade e assertividade maior em relação aos parâmetros geotécnicos a serem adotados para a avaliação da estabilidade. Porém, para o caso estudado na área 24, não foram realizadas sondagens e/ou ensaios que permitissem essa avaliação mais precisa.

Deste modo, valores típicos de peso específico, coesão e ângulo de atrito foram assumidos baseado na visita de campo, experiência, banco de dados interno da Golder e na literatura bibliográfica existente. Algumas tabelas utilizadas em estudos semelhantes contendo parâmetros típicos para saprolito de quartzito estão indicadas na **Figura 5**, **Figura 6** e **Figura 7**.



ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO DE PROJETO ESPECIAL DA ÁREA NÃO PRIORITÁRIA 24

Unidade Geológica	Seqüência de Metassedimentares			Grupo Nova Lima
	Grupo Sabará	Formação Cercadinho	Formações Fecho do Funil, Barreiro e Taboões	Unidade Mestre Caetano
Talude Representativo	Taquaril	Ponteio	Patagônia	Rio Acima
Maciço Rochoso	Filitos, xistos e grauvacas	Filitos e quartzitos ferruginosos	Filito, filito grafitoso e quartzito Taboões	Quartzito clorita sericita xisto
Número de descontinuidades	3	4	5	4
Classificação RMR	Maciço regular	Pobre a muito pobre	Pobre a muito pobre	Muito pobre
Classificação Barton	Maciço muito ruim	Extremamente ruim	Extremamente ruim	Muito ruim
Atrito	21°	17°	13°	13°
Coesão	38 kPa	15 kPa	15 kPa	24 kPa

Figura 5: Características dos maciços rochosos estudados (Parizzi, Sobreira, Galvão, Aranha, Elmiro e Berigo, 2010)

LITOLOGIA	γ (KN/m ³)	ν	E (MPa)	ϕ (graus)	c (kPa)	σ_t (kPa)
Quartzito Alterado	21,0 *	0,30 *	20000 *	50,0 ***	200 *****	102 ****
Quartzito São	27,1 *	0,18 *	75000 *	62,0 *	3000 *	810 ****
Quartzito Decomposto	21,0 *	0,30 ***	10000 ***	50,0 *	0 *	0 ****
Hematita	41,0 **	0,20 *	70000 *	37,0 ***	50 ***	32 ****
Silte Argiloso	18,0 *	0,30 ***	100 ***	30,0 *	65 ***	30 ****

* ... Valores apresentados por Durand (1995)

** ... Valor apresentados por Lama & Vutukuri (1978)

*** ... Valores estimados

**** ... Valores calculados

***** ... Valor apresentado por Lopes et al. (1993)

Figura 6: Parâmetros geotécnicos típicos (Cavalcante, 1997)

Material	Peso específico	c'	ϕ'
Quartzito saprolítico	20	50	30 a 35
Filito (solo residual)	18	20	28
Filito (saprolito)	20	20	30

Figura 7: Parâmetros geotécnicos para análise de estabilidade de pilha de estéril (Pimentel, Teixeira e Silva, 2005)



Para realização das análises de estabilidade dos taludes foram utilizadas as seguintes premissas:

- Utilização do programa Slope/W do Pacote GeoStudio 2007;
- Análise utilizando o método de Morgenstern Price;
- Modelo Mohr-Coulomb e parâmetros efetivos;
- Ruptura global do talude do tipo circular;
- Fator de Segurança conforme NBR 11682/2009 – Estabilidade de Encostas;

Topografia:

- Levantamento topográfico do talude próximo a ponte localizada entre Campinas e Pedras – G006900-K-100021_R-02;
- Mineroduto – Linha Tronco – Mineroduto III – Tubulação – Folha de alinhamento – KM047+000 a 048+000 – M030420-T-100347_R-03;
- Nível d'água do rio e seções conforme topografia fornecida pela Samarco;
- Velocidade do escoamento obtida por meio de modelagem hidráulica utilizando programa HEC-HAS;
- Nível d'água dentro do maciço estimado;
- Talude homogêneo.

Com base nos elementos supracitados foi elaborada a **Tabela 1** com os parâmetros utilizados nas análises. Para o enrocamento, gabião e aterros foram definidos parâmetros comumente utilizados neste tipo de estudo.

Tabela 1: Parâmetros Típicos Adotados nas Análises de Estabilidade.

Parâmetros Geotécnicos				
Material	Cor	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Saprolito de Quartzito	Amarelo	21	10	35
Aterro Gabião	Verde	19	0	30
Aterro	Verde	19	15	26
Enrocamento	Cinza	26	0	40
Gabião	Cinza	17	600	40

4.2 Resultados das Análises de Estabilidade

Neste item serão apresentadas as análises de estabilidade, incluindo contenções para a seção crítica denominada E.G.A24-191+14,18m onde ocorreu a ruptura (ver **Figura 8**).

Para as análises realizadas, foi adotado como premissa que o fator de segurança mínimo aceitável deveria ser de 1,3, que segundo a norma NBR 11682/2009 indica que o nível de segurança contra perda de vidas humanas é baixo (área com movimentação e permanência eventual de pessoas/ rodovias de tráfego reduzido) e o nível de segurança contra danos materiais e ambientes é médio (danos materiais: locais próximos a propriedades de valor moderado e danos ambientais: locais sujeitos a acidentes ambientais moderados).

A **Figura 9** mostra a seção conforme topografia fornecida pela ERG. O fator de segurança (FS) alcançado foi menor que 1 indicando a ruptura. Observa-se que a instabilidade é local e que a superfície de ruptura não alcança a parte superior do talude, onde se encontra o mineroduto.



A partir deste resultado, o estudo evoluiu para uma estrutura em enrocamento para proteção da face do talude com o objetivo de mitigar os processos erosivos e sobretudo a fim de reconstituir a geometria do talude, criando uma pequena berma de equilíbrio (ver **Figura 10**). Os resultados obtidos não foram satisfatórios, o FS encontrado foi de 1,014 quando a norma indica um valor mínimo de 1,3.

Uma segunda opção estudada foi quanto à implantação de uma leira em enrocamento mais à jusante do pé do talude e avançar com um aterro até a altura aproximada de 7m, onde é possível executar uma geometria mais estável e com a possibilidade de se manter um acesso para permitir condições de trabalho e utilização de equipamentos (ver **Figura 11**). O retaludamento foi possível até a inclinação de 1H:1V, abaixo desta declividade o mineroduto seria atingido pelo corte. Ainda assim o FS encontrado foi de 1,145, ainda abaixo do valor mínimo.

Avançando com as possíveis soluções de contenções, foi avaliada a execução de uma plataforma de trabalho em enrocamento e a execução de um gabião caixa até 5m de altura, cujo preenchimento entre talude e gabião seria de um aterro compactado. O talude foi conformado na geometria 1H:1V. O valor de FS encontrado foi de 1,129, não atendendo aos requisitos mínimos de segurança, conforme ilustra a **Figura 12**.

Observa-se que para o segundo, terceiro e quarto casos estudados, a superfície crítica apenas muda de posição deixando de passar pelo pé do talude e rompendo logo acima da estrutura de contenção. Desta forma, foi proposto complementar ao gabião a execução de solo grampeado, a fim de ancorar a superfície instável (ver **Figura 13**). O valor de FS obtido foi de 1,470 atendendo aos requisitos de segurança.

Salientamos também que outras geometrias e estruturas de contenção foram verificadas neste estudo e que não apresentaram resultados satisfatórios.

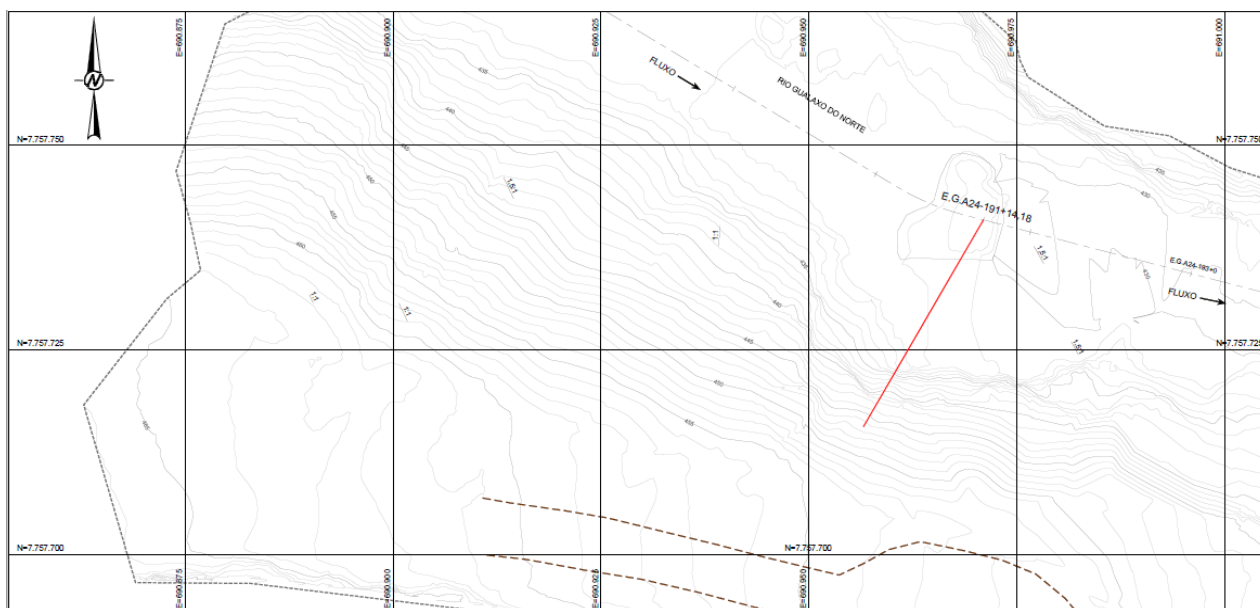


Figura 8: Localização da seção crítica estudada, E.G.A24-191+14,18.



ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO DE PROJETO ESPECIAL DA ÁREA NÃO PRIORITÁRIA 24

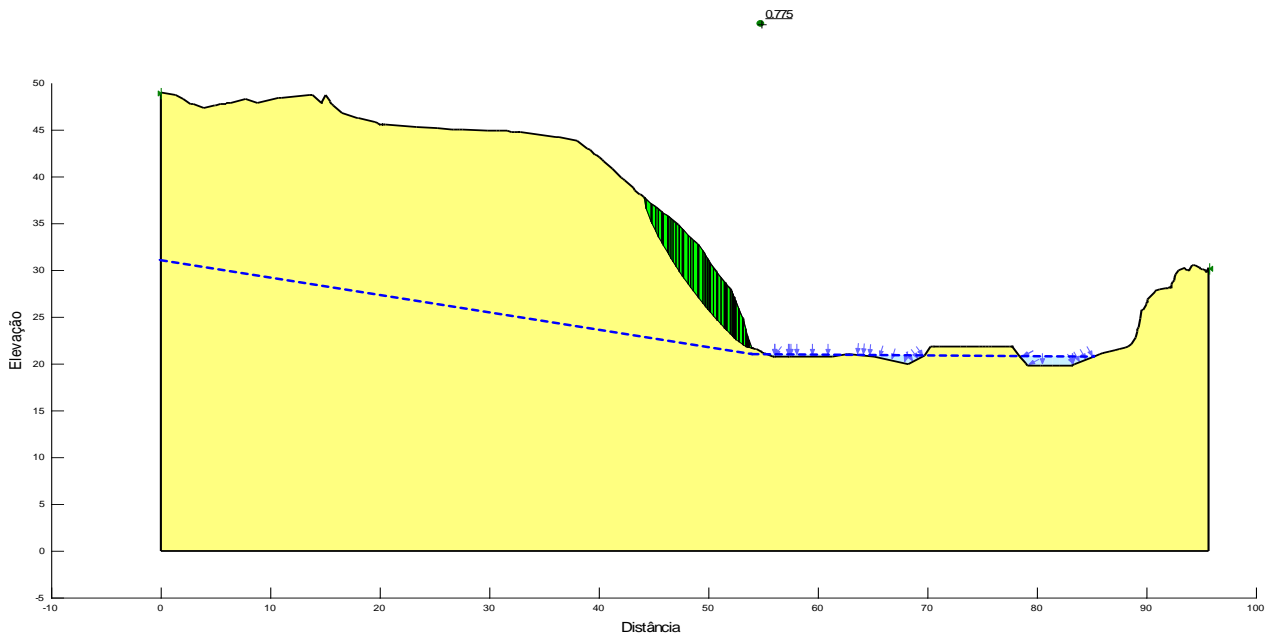


Figura 9: Análise de estabilidade - Seção E.G.A24-191+14, 18m, FS=0,775 indicando que o talude rompeu, mas que a superfície de ruptura não passa pela faixa do mineroduto, instabilidade local.

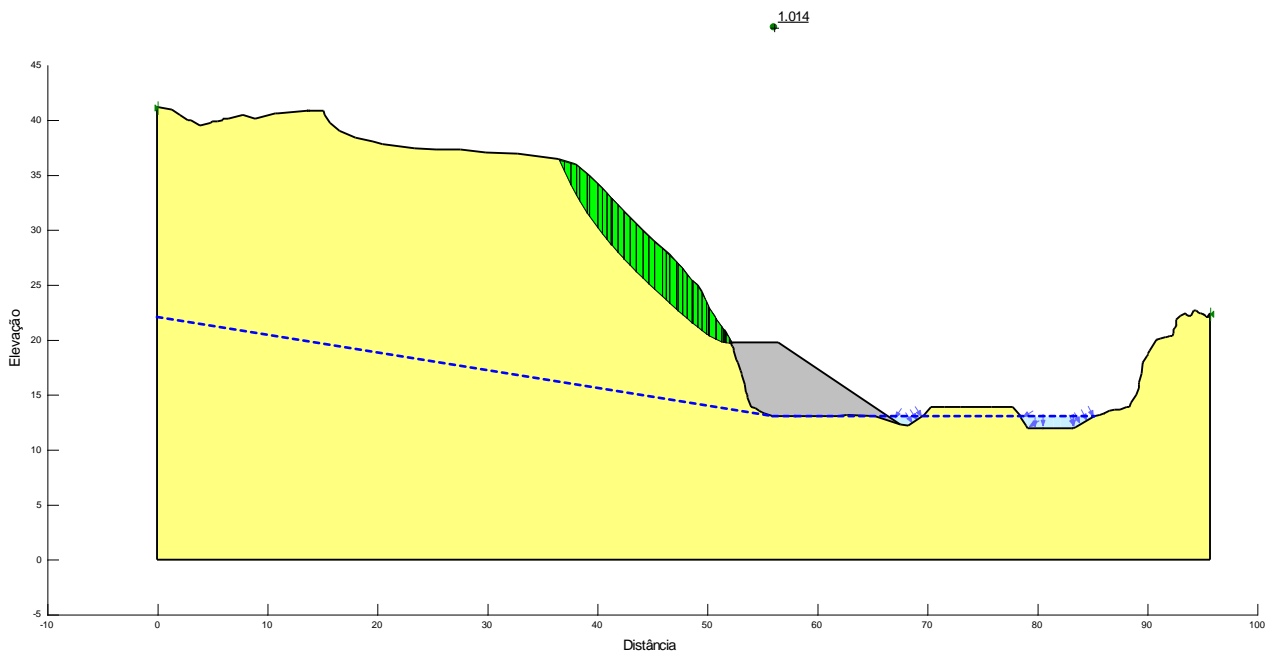


Figura 10: Análise de estabilidade - Seção E.G.A24-191+14, 18m, FS=1,014. Aplicação de enrocamento no pé formando uma berm de equilíbrio com 7,4m de altura de rocha invadindo 13,62m do rio a partir do pé do talude (sem retaludamento).



ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO DE PROJETO ESPECIAL DA ÁREA NÃO PRIORITÁRIA 24

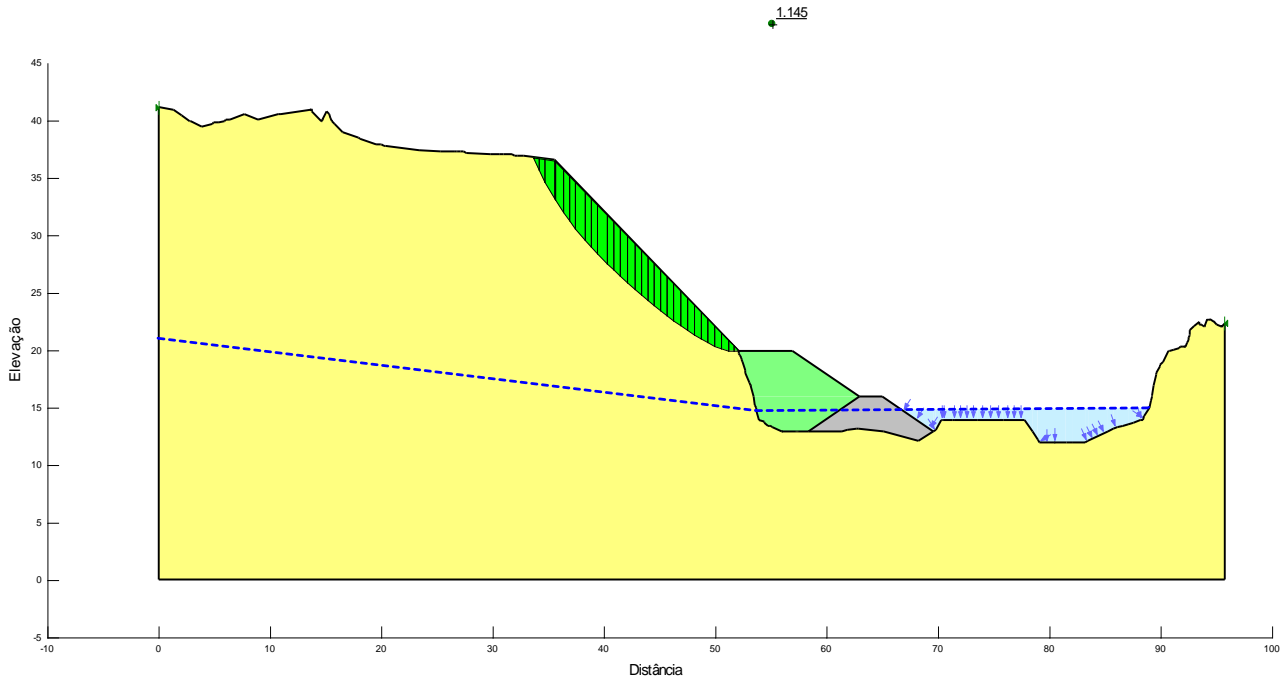


Figura 11: Análise de estabilidade - Seção E.G.A24-191+14,18m, FS=1,145. Retaludamento 1H:1V, 7m de altura (rocha e aterro) invadindo 15,72m do rio a partir do pé do talude.

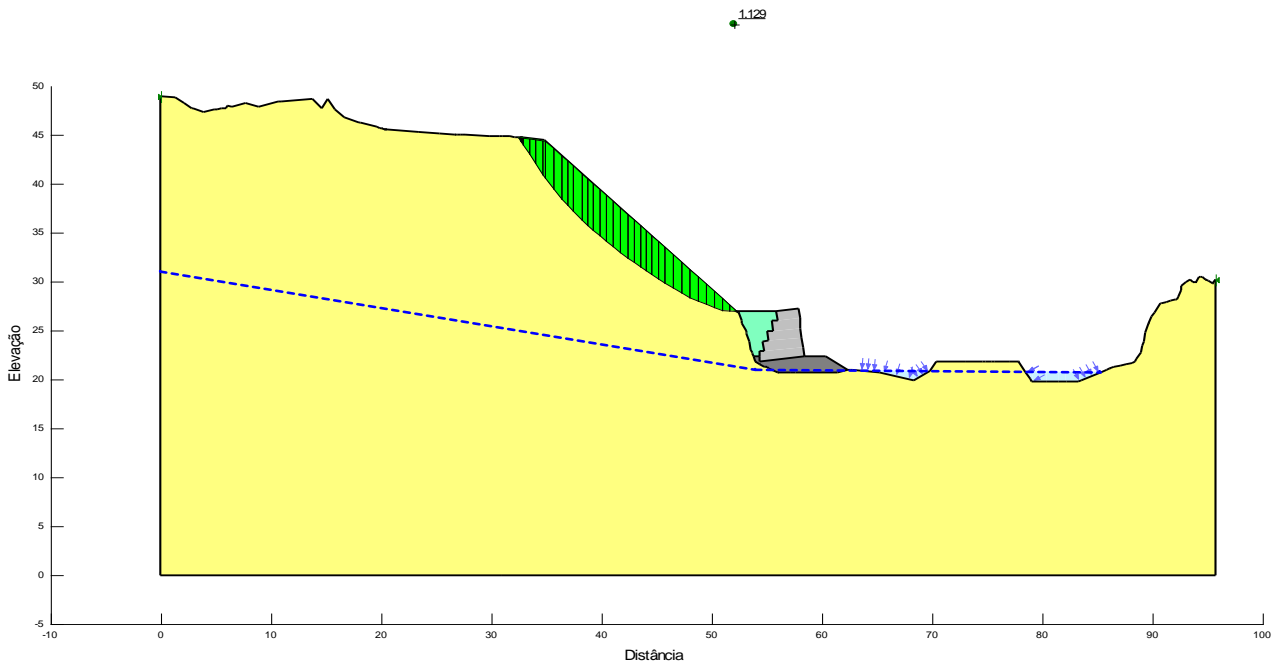


Figura 12: Análise de estabilidade - Seção E.G.A24-191+14,18m, FS=1,129. Retaludamento 1H:1V, plataforma de trabalho em rocha e gabião com 5m de altura.

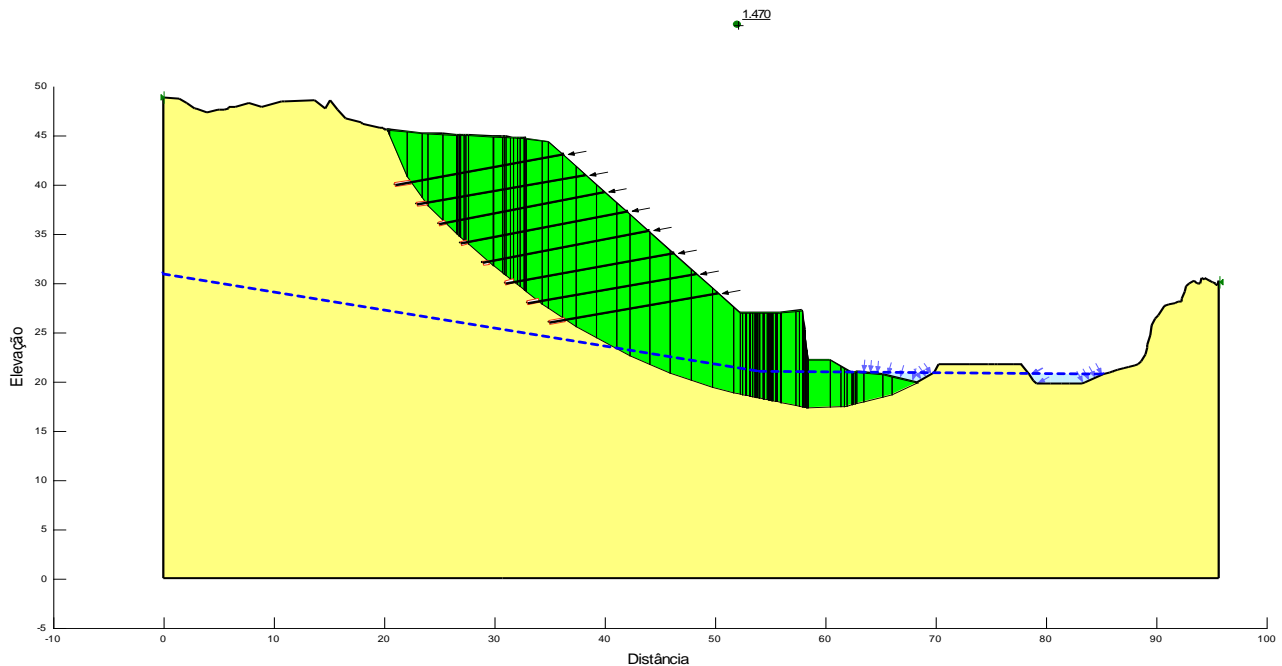


Figura 13: Análise de estabilidade - Seção E.G.A24-191+14, 18m, FS=1,470 gabião e solo grampeado com 15m de profundidade e 8 grampos espaçados a cada 2m.

5.0 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas análises de estabilidade avaliadas indicam que seria necessária uma obra de contenção muito robusta para que o FS atendesse aos requisitos de segurança.

Conforme descrito e exposto no item 4.1, as análises foram realizadas baseadas em parâmetros empíricos e com poucas informações sobre o maciço. Desta forma, a Golder orienta que sejam realizadas sondagens do tipo mista para investigação adequada da geologia local, bem como verificação do nível d'água no maciço, além de coleta de amostras deformadas e indeformadas para realização de ensaios laboratoriais de caracterização e especiais para obtenção dos parâmetros de resistência.

A Golder elaborou uma especificação técnica (G006900-C-1ET018) e um plano de investigações (G006900-C-100588) para orientação dos trabalhos, que também devem ser acompanhados pelo engenheiro de campo.

Após recebimento dos resultados o modelo deverá ser calibrado para realização de um novo estudo.

6.0 RECOMENDAÇÕES

Até a obtenção dos resultados das investigações e ensaios recomenda-se que seja implantada uma obra emergencial a fim de evitar a continuidade do contato do fluxo d'água com o solo na área da ruptura. Sendo assim, recomenda-se

- Construção de um acesso e uma plataforma de trabalho em rocha e revestimento em cascalho para viabilizar o trabalho de equipamentos dentro do rio;
- Fragmentação da rocha imediatamente a frente do talude rompido para liberar o fluxo d'água nesta seção e reduzir sua concentração no pé do talude em questão;



- Aplicação de geotêxtil e rocha D50=850mm até a altura do Q10, EL.433,00m e espessura de 1,5xD50 da estaca E.G.A24-191+0m à estaca E.G.A24-193+0m, incluindo ancoragem no pé com profundidade mínima de 2xD50.
- Monitoramento visual semanal do talude;
- Execução de projeto de drenagem superficial;

Alerta-se que, para a execução deste trabalho, a Fundação Renova deverá verificar questões relacionadas a licenciamento ambiental para supressão vegetal além de consultar/comunicar os órgãos competentes sobre o estrangulamento da calha do rio Gualaxo do Norte durante o período construtivo.

Para projetos de acesso construtivo e drenagem superficial ver os desenhos:

- G006900-C-100589;
- G006900-C-100590;
- G006900-C-100591;
- G006900-C-100592;
- G006900-C-100593.

7.0 EQUIPE TÉCNICA

A **Tabela 2** apresenta a equipe técnica chave alocada para a elaboração deste documento.

Tabela 2: Equipe Técnica.

Equipe Técnica	Cargo
Daiane Souza	Eng ^a . Geotécnica Plena
Germano Araújo (Revisor)	Eng ^o . Geotécnico Sênior

GOLDER ASSOCIATES BRASIL CONSULTORIA E PROJETOS LTDA.

Antônio Harley
Gerente do Projeto

AH/GA/acs

Golder, Golder Associates e os símbolos GA e globo são marcas registradas da Golder Associates Corporation.

q:\3-projetos\2015\2-meio ambiente\159 515 2282_samarco\3-relatorio\rt - relatório técnico\rt-e-26\g006900-g-1rt074_r-00\1-texto\g006900-g-1rt074_r-00.docx

Como uma organização global de propriedade de seus colaboradores e mais de 50 anos de experiência, a Golder Associates é conduzida pelo nosso propósito de apoiar o desenvolvimento e preservar a integridade da Terra. Fornecemos soluções que ajudam nossos clientes a alcançarem seus objetivos de desenvolvimento sustentável, oferecendo-lhes uma ampla gama de serviços independentes de consultoria, projeto e gestão da construção em nossas áreas de especialização da engenharia da terra, do meio ambiente e da energia.

Para maiores informações, visite golder.com

África	+ 27 11 254 4800
Ásia	+ 86 21 6258 5522
Oceania	+ 61 3 8862 3500
Europa	+ 44 1628 851851
América do Norte	+ 1 800 275 3281
América do Sul	+ 56 2 2616 2000

solutions@golder.com
www.golder.com

Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda.
Rua Pernambuco, 1000 - 10º andar
Bairro Funcionários
Belo Horizonte - MG
CEP: 30.130-151
Brasil
T: +55 (31) 2121 9800

