

remanso do fluxo do rio Gualaxo do Norte na área da obra, foi prevista outra ensecadeira, situada no trecho de jusante da citada estrutura e para qual foram concebidas duas etapas de implantação, de forma a cobrir o período seco e o período chuvoso, ao longo dos quais a obra poderia se estender.

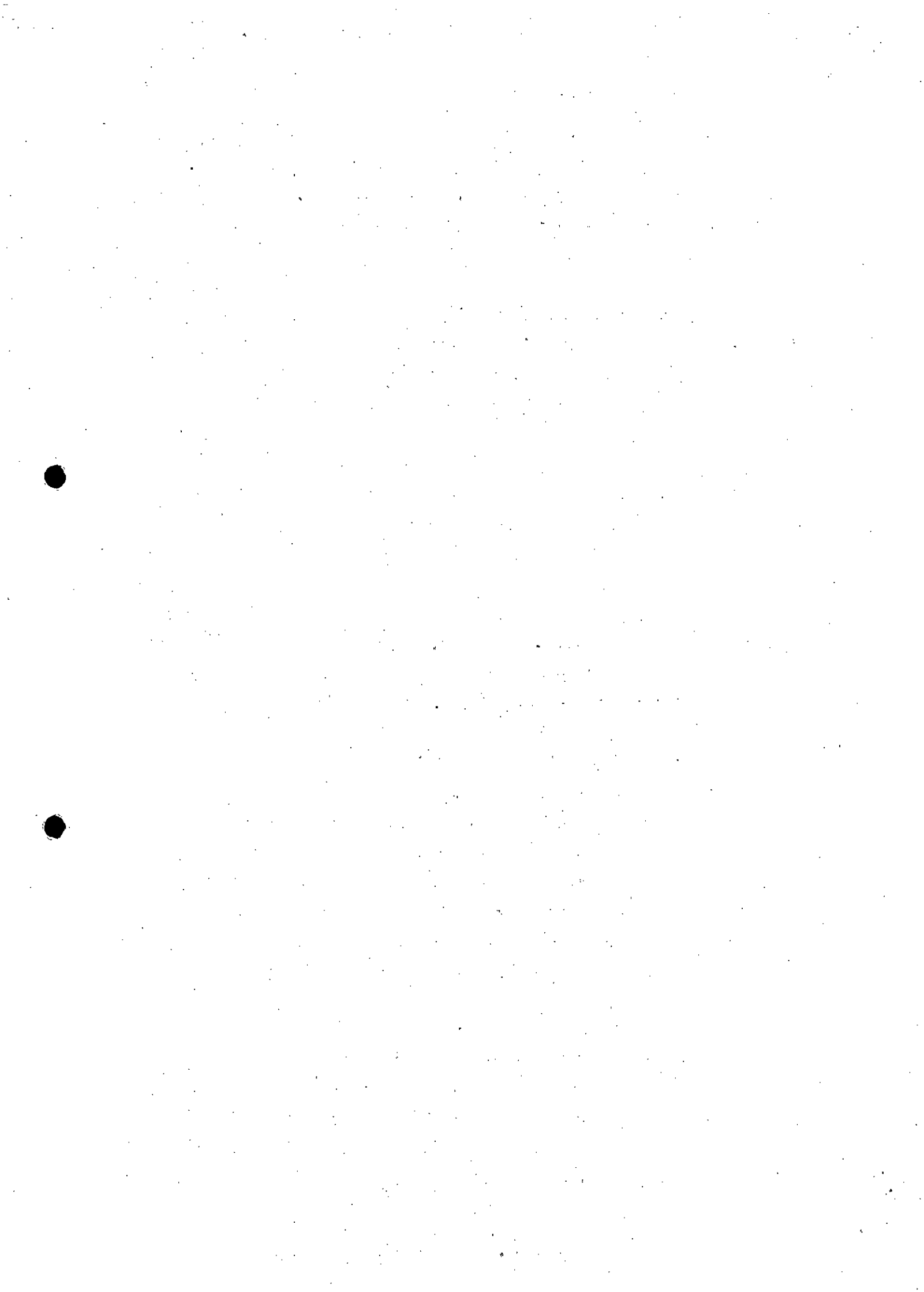
A estrutura final do Dique S4 foi concebida com maciço galgável, construído predominantemente com blocos de rocha de tamanhos variados e dimensões suficientes para suportar a passagem do fluxo de água, sem deslocamento dos mesmos. Sua seção é mista, considerando o uso de blocos com finos e pedra de mão, devido à maior disponibilidade desse material na área e em virtude de suas boas características de trabalhabilidade durante o período chuvoso. O aterro foi implantado até a cota 699,50 m, a partir da face de montante, com largura de crista igual 6,65 m. Os taludes de montante e jusante apresentam inclinação de 2H:1V para garantir a estabilidade geotécnica da estrutura.

Sobre a crista e faces de montante e jusante do aterro serão executadas proteções adequadas para impedir carreamento e percolação da fração em solo do material afluyente (areno-siltoso), além da construção de tapetes drenantes na área da fundação e implantação de sistemas de drenagem nas ombreiras direita e esquerda do maciço.

O extravasor da estrutura foi idealizado para a condição operacional, sendo dimensionado para uma cheia associada ao período de retorno de 1000 anos. Não foi realizada verificação para a condição de fechamento, uma vez que o Dique S4 será removido em etapa futura, assim como o material acumulado no seu reservatório.

As Tabelas 4.8 e 4.9 apresentam as fichas técnicas correspondentes às etapas de construção do Dique S4 e do projeto final do maciço. As Figuras 4.21 a 4.25 mostram a seção típica das ensecadeiras e o arranjo geral do canal de desvio e do maciço final e as Fotos 4.23 a 4.26 ilustram o atual estágio das obras do Dique S4. A Figura 4.26 apresenta o correspondente cronograma de implantação.

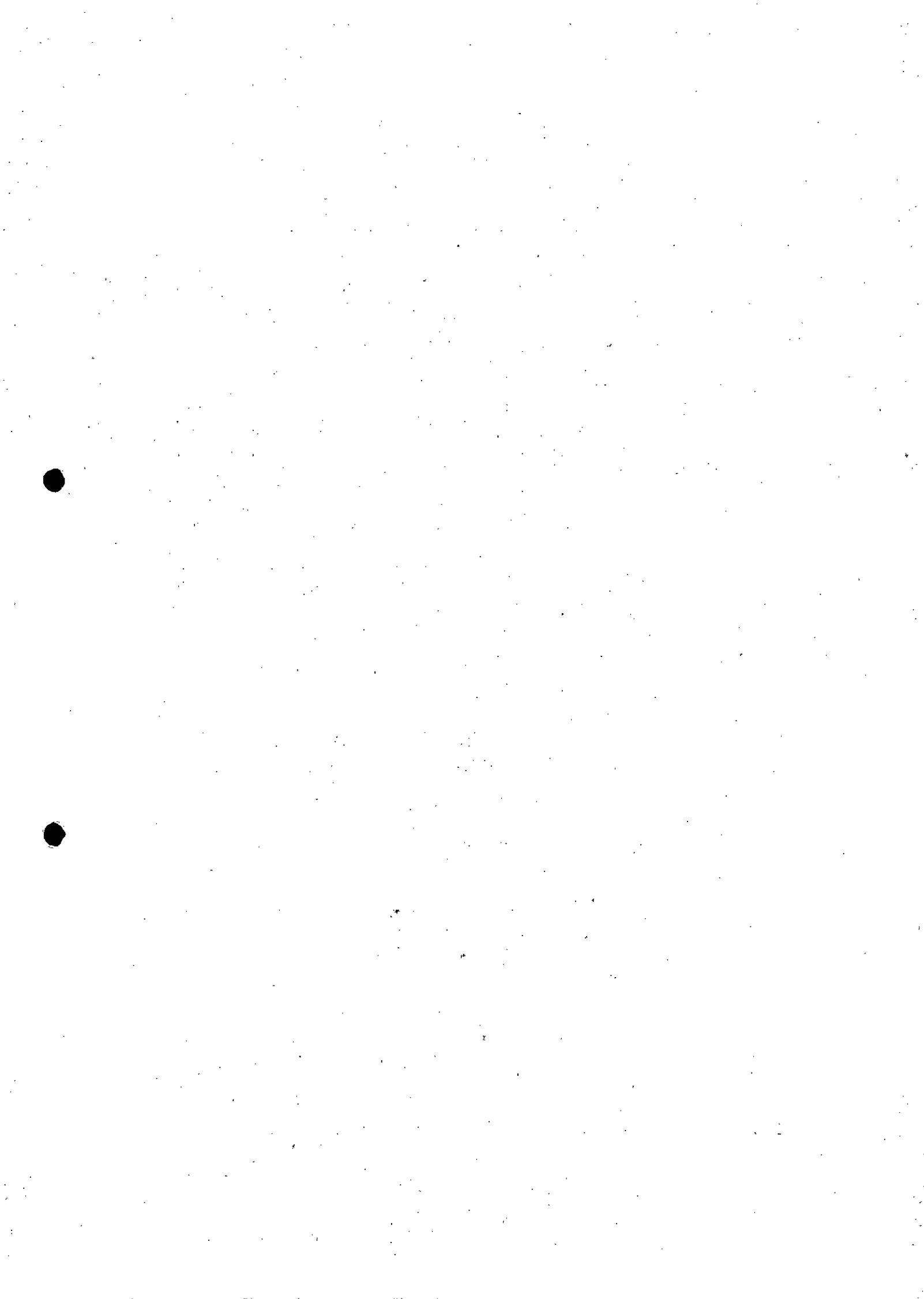
Vale mencionar que a cota da crista do maciço final do Dique S4 foi estabelecida de forma a preservar a área da antiga Capela São Bento, destruída pela onda de ruptura da Barragem do Fundão. A cota prevista garante distância de proteção superior a 5,0 m entre a margem do reservatório e o tapume localizado no entorno da antiga capela e do cemitério local.



Complementarmente, também foi prevista a colocação de sacos de solo-cimento e preenchimento entre as contenções com areia utilizada nas obras da SAMARCO, para proteção do curral de pedras e muro adjacente, também situados na área de Bento Rodrigues. A Figura 4.27 mostra a mancha de inundação final do Dique S4 para o nível de operação normal (El. 697,50 m) e crítico (El. 699,50 m), bem como a localização das benfeitorias a serem protegidas.

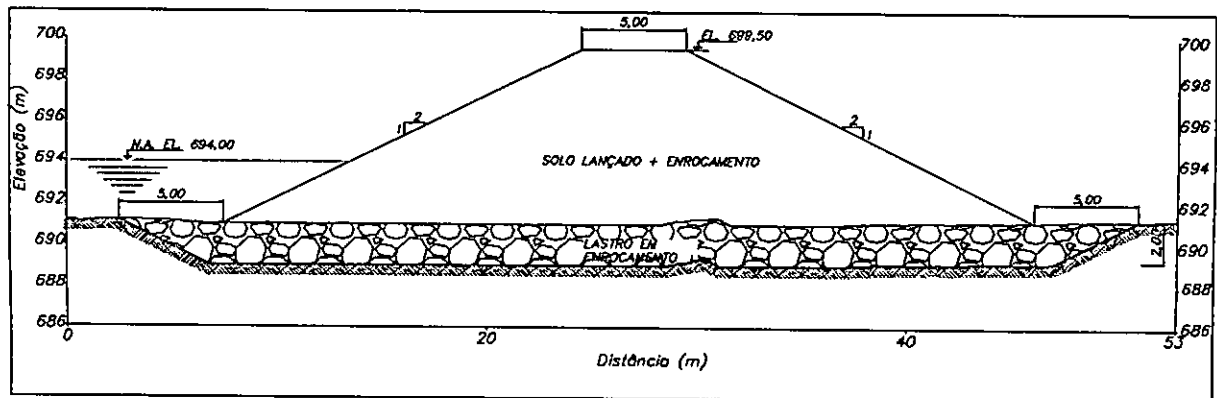
**Tabela 4.8 – Ficha técnica do canal de desvio e ensecadeiras do Dique S4.**

Parâmetros	DIQUE S4		
Coordenadas UTM SIRGAS 2000 (m)	Leste (m)	666.005	
	Norte (m)	7.761.088	
Curso de Água Barrado	Córrego Santarém		
Curso de Água a Jusante	Rio Gualaxo do Norte		
Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	47,0		
Início de Operação	31/12/2016		
Finalidade	Contenção de sedimentos e clarificação de água		
<b>Canal de Desvio</b>			
Tipo	Escavado na Margem Direita		
Dimensões (m)	5,0 x altura variável		
Cota de Fundo (m)	694,00		
Comprimento (m)	195		
Inclinação dos Taludes	1H:1V		
Declividade do Fundo	1%		
<b>Ensecadeiras</b>			
Parâmetro	Montante	Jusante	
		Período Seco	Período Chuvoso
Tipo	Solo Lançado e Enrocamento	Solo Lançado e Enrocamento	Solo Lançado e Enrocamento
Cota da Crista (m)	699,50	693,00	695,80
Altura do Maciço (m)	7,50	2,00m	4,80m
Comprimento da Crista (m)	121	38,0	63,0
Nível de Água Normal (m)	694,00	-	-
Largura da Crista (m)	5,0	5,0	5,0
Área do Reservatório (km <sup>2</sup> )	0,071	-	-
Volume do Reservatório (m <sup>3</sup> )	115.000	-	-
Inclinação dos Taludes	2H:1V	2H:1V	2H:1V

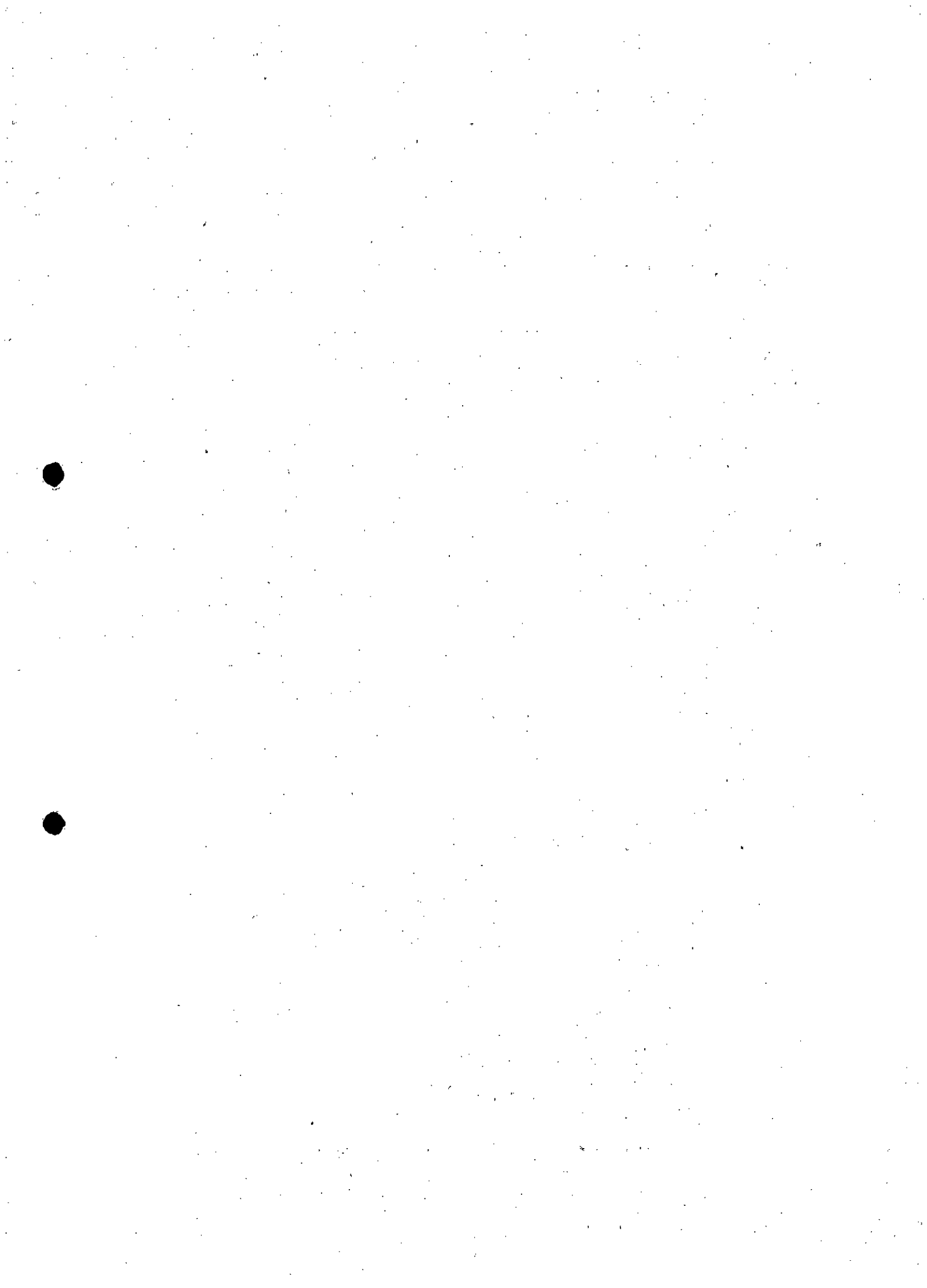


**Tabela 4.9 – Ficha técnica do maciço final do Dique S4.**

Parâmetros	DIQUE S4
Data da Conclusão	01/02/2017
Cota da Crista (m)	699,50
Altura do Maciço (m)	10,50
Comprimento da Crista (m)	22,0
Nível de Água Normal (m)	697,50
Largura da Crista (m)	10,00
Área do Reservatório (m <sup>2</sup> )	332.621
Volume do Reservatório (Mm <sup>3</sup> )	1,01
Sistema Extravassor	
Tipo	Rebaixamento do maciço em seção trapezoidal revestido em concreto com geocélula.
Inclinação das Paredes Laterais	2H:1V
Base Inferior (m)	65,0
Altura (m)	2,0
Canal Rápido	Largura variável e paredes com inclinação 2H:1V
Bacia de Dissipação	54,0 x 3,0 x 15,0
Período de Retorno da Chuva de Projeto (anos)	1000
Cota da Soleira (m)	697,50
Comprimento (m)	51,00
NA Máximo <i>Maximorum</i> (m)	699,40
Borda Livre Remanescente (m)	0,10



**Figura 4.21 – Seção típica da enscadeira de montante do Dique S4.**



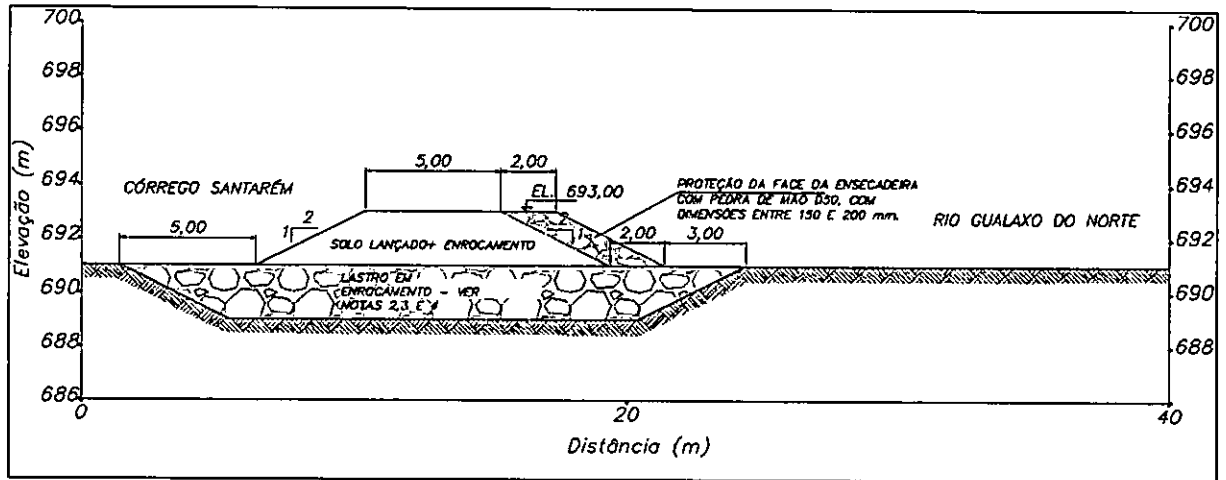


Figura 4.22 – Seção típica da ensecadeira de jusante do Dique S4 (período seco).

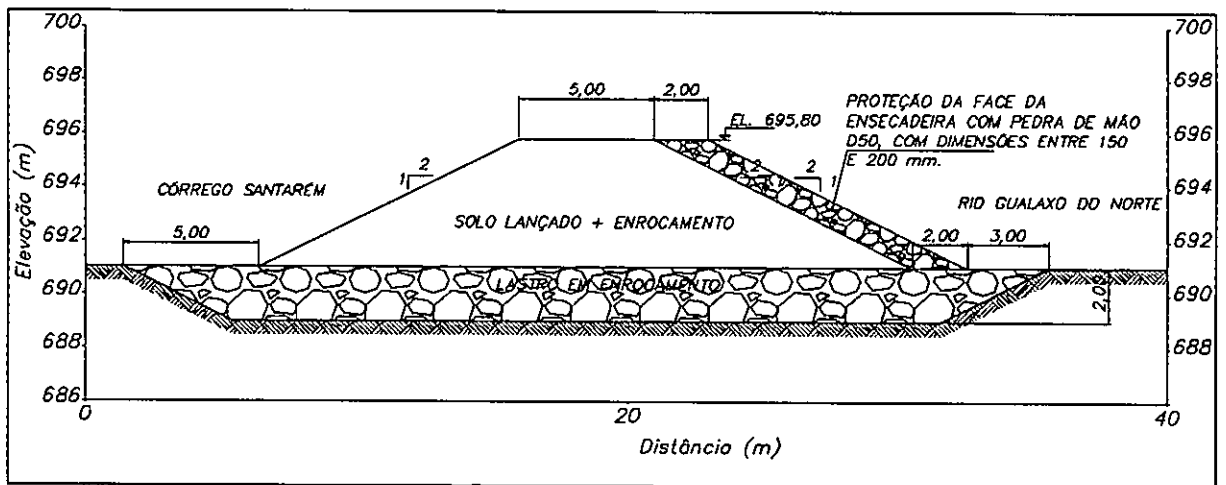


Figura 4.23 – Seção típica da ensecadeira de jusante do Dique S4 (período chuvoso).

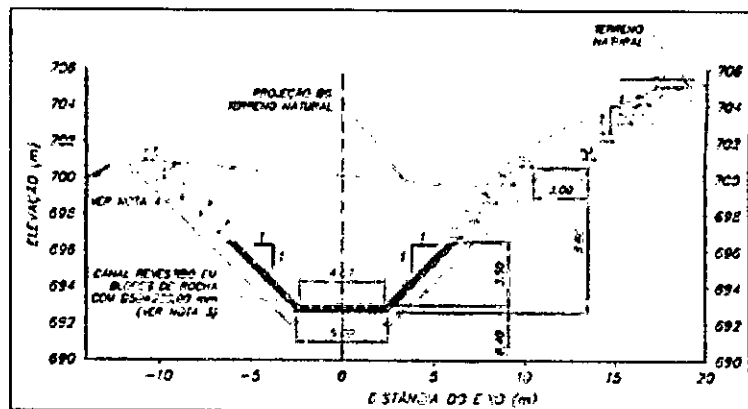
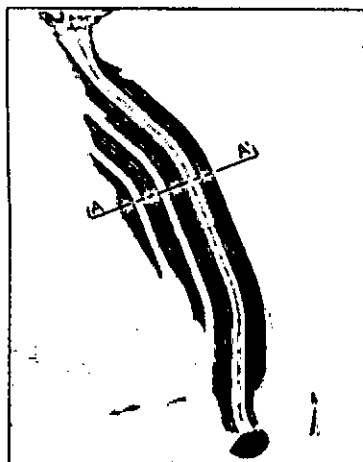
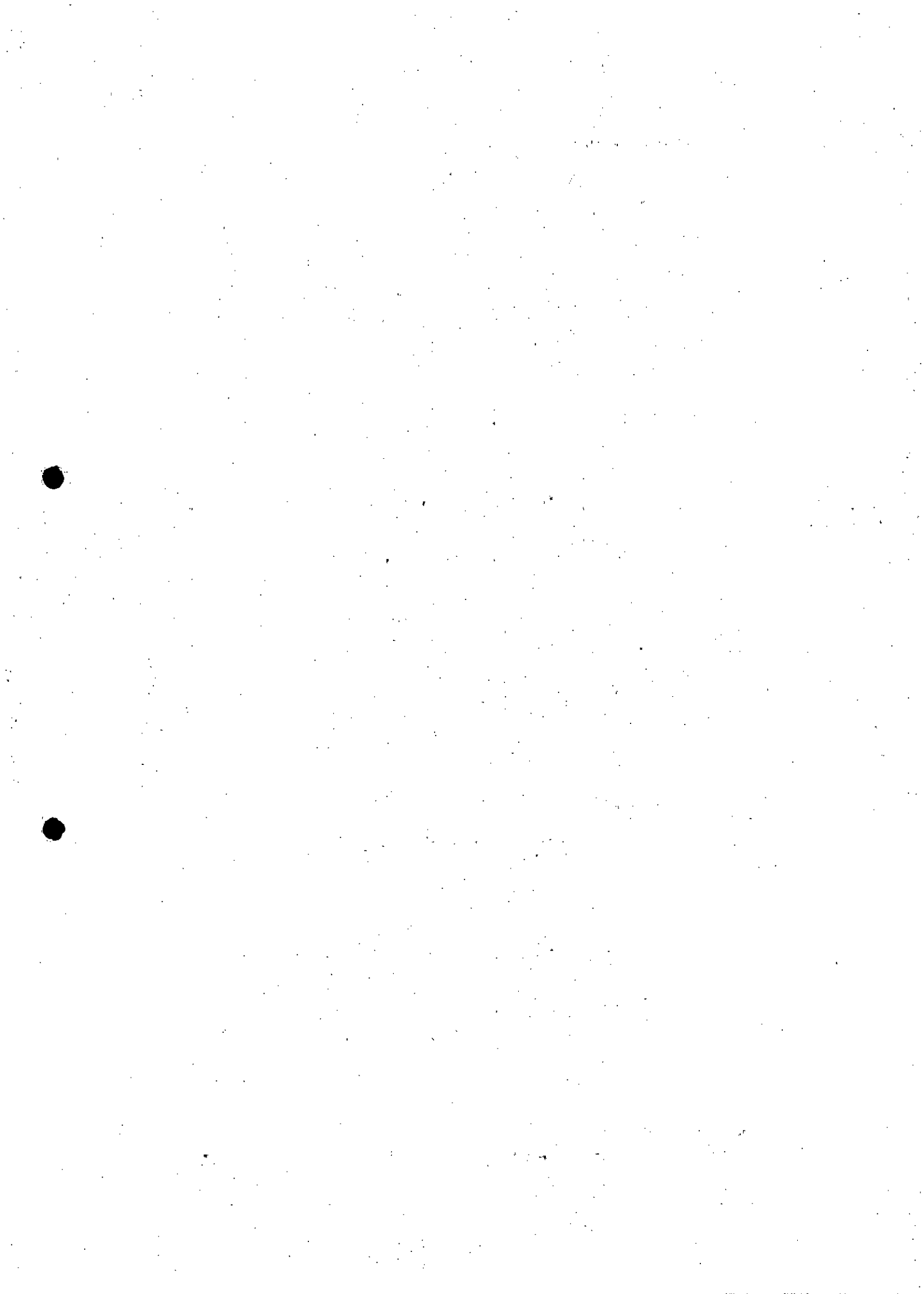
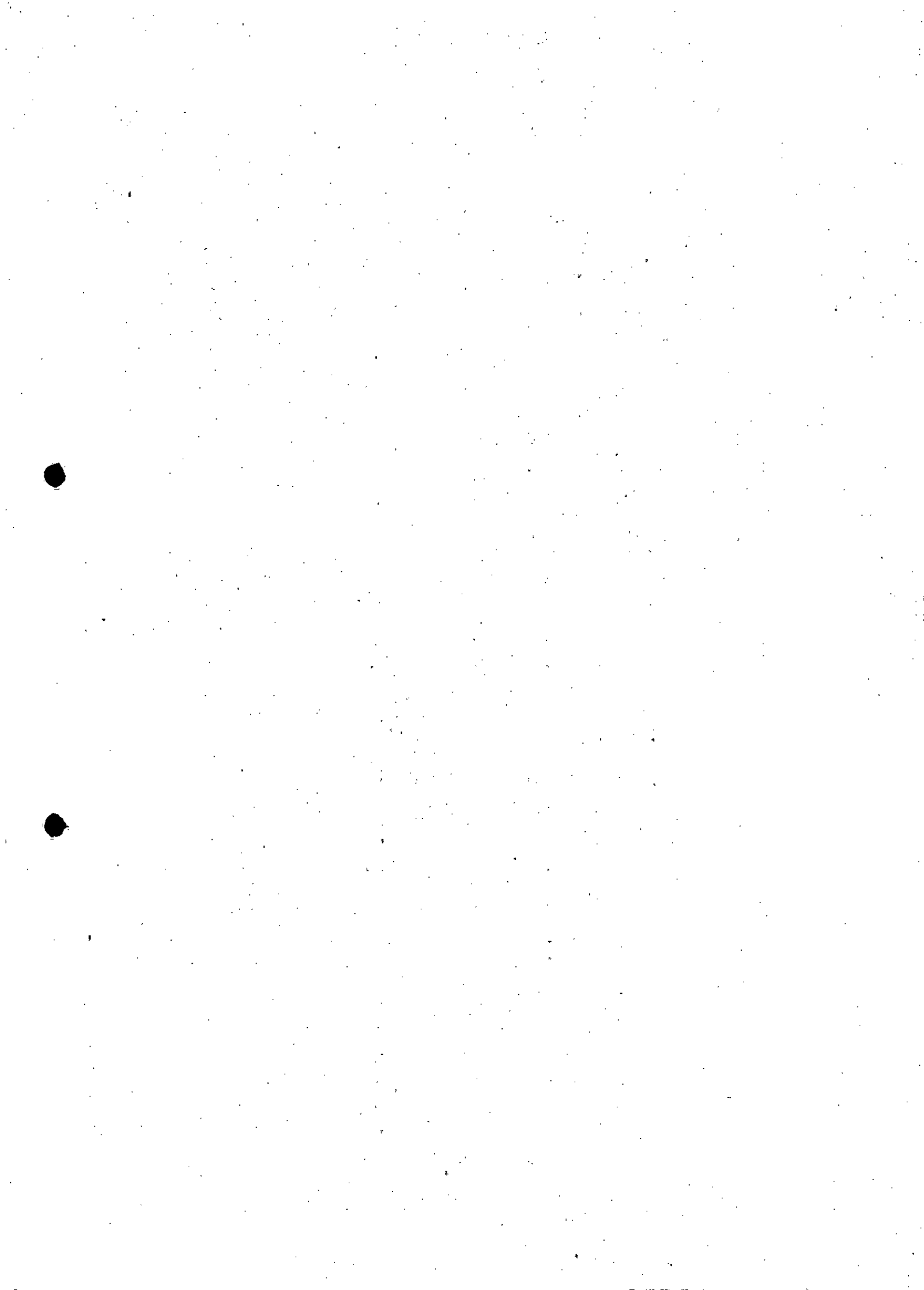


Figura 4.24 – Arranjo geral e seção típica do canal de desvio do Dique S4.







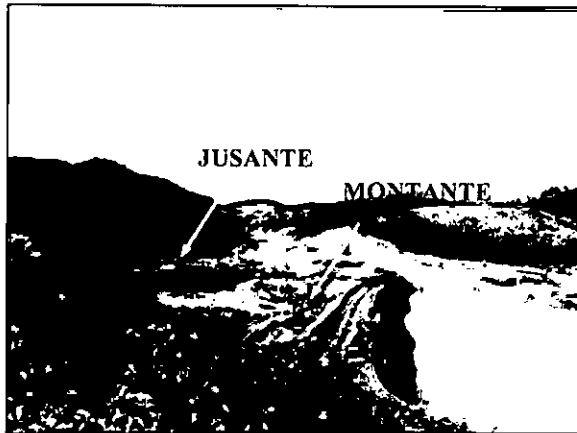


Foto 4.23 – Ensecadeiras para construção do maciço do Dique S4.



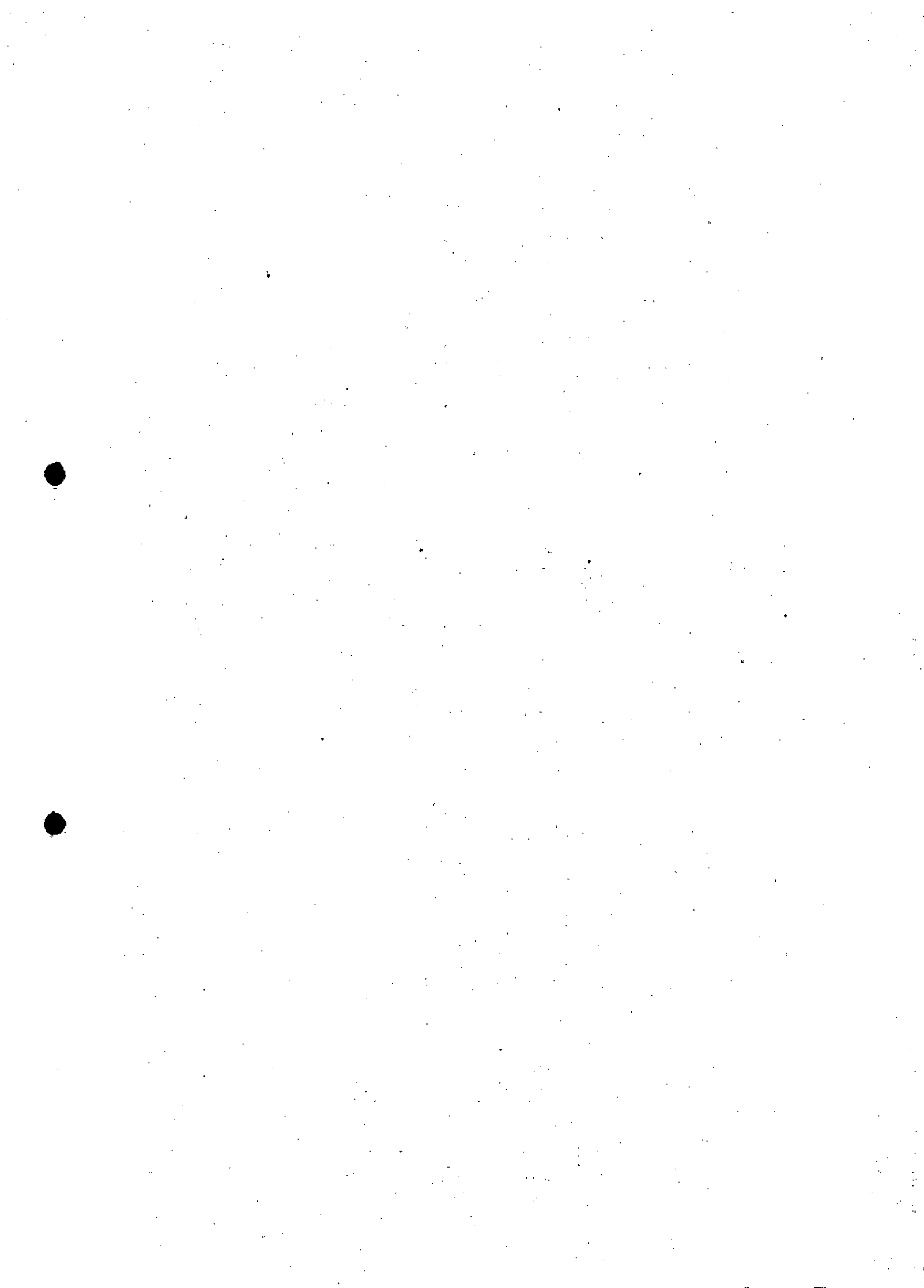
Foto 4.24 – Canal de desvio do Dique S4.

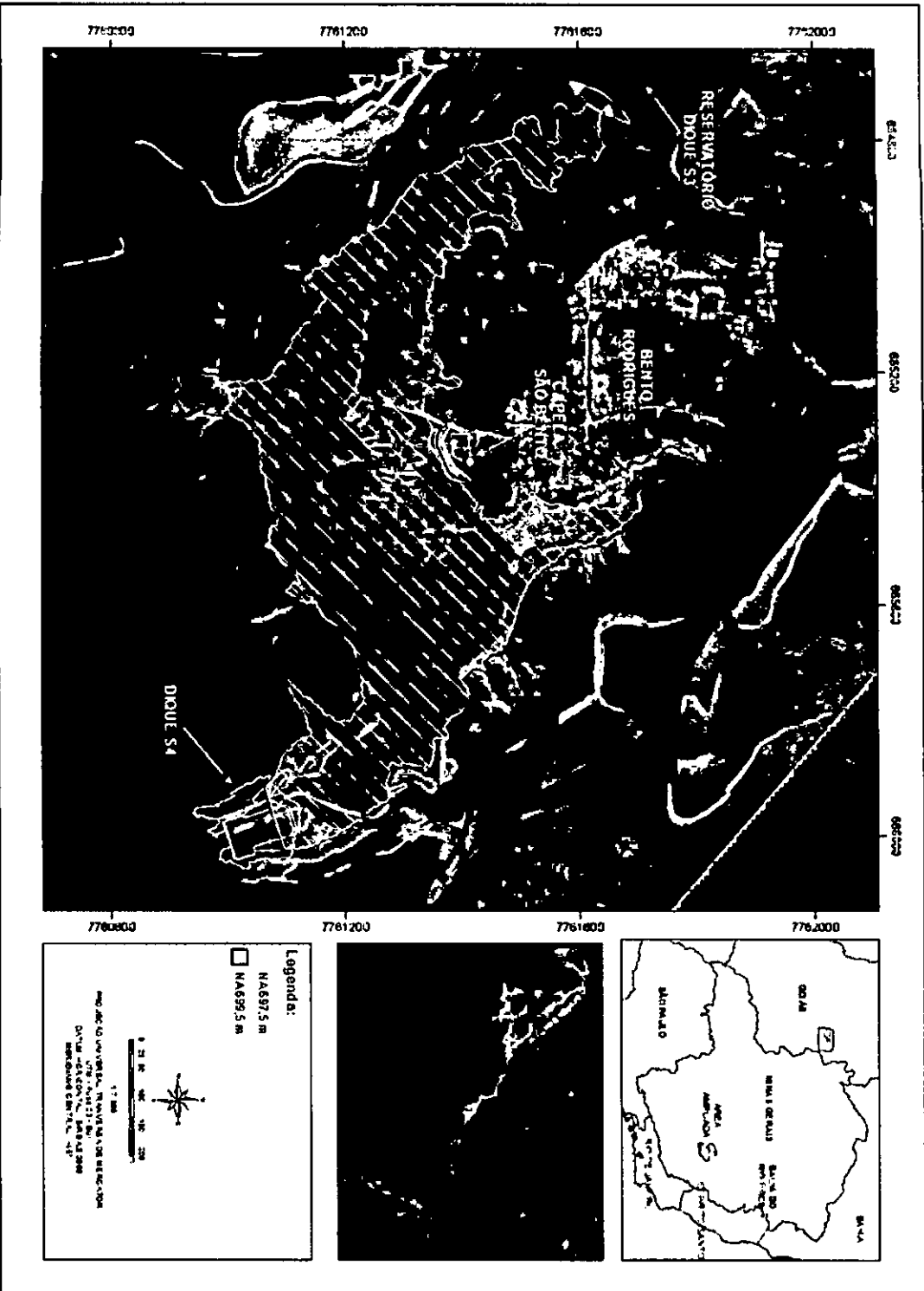


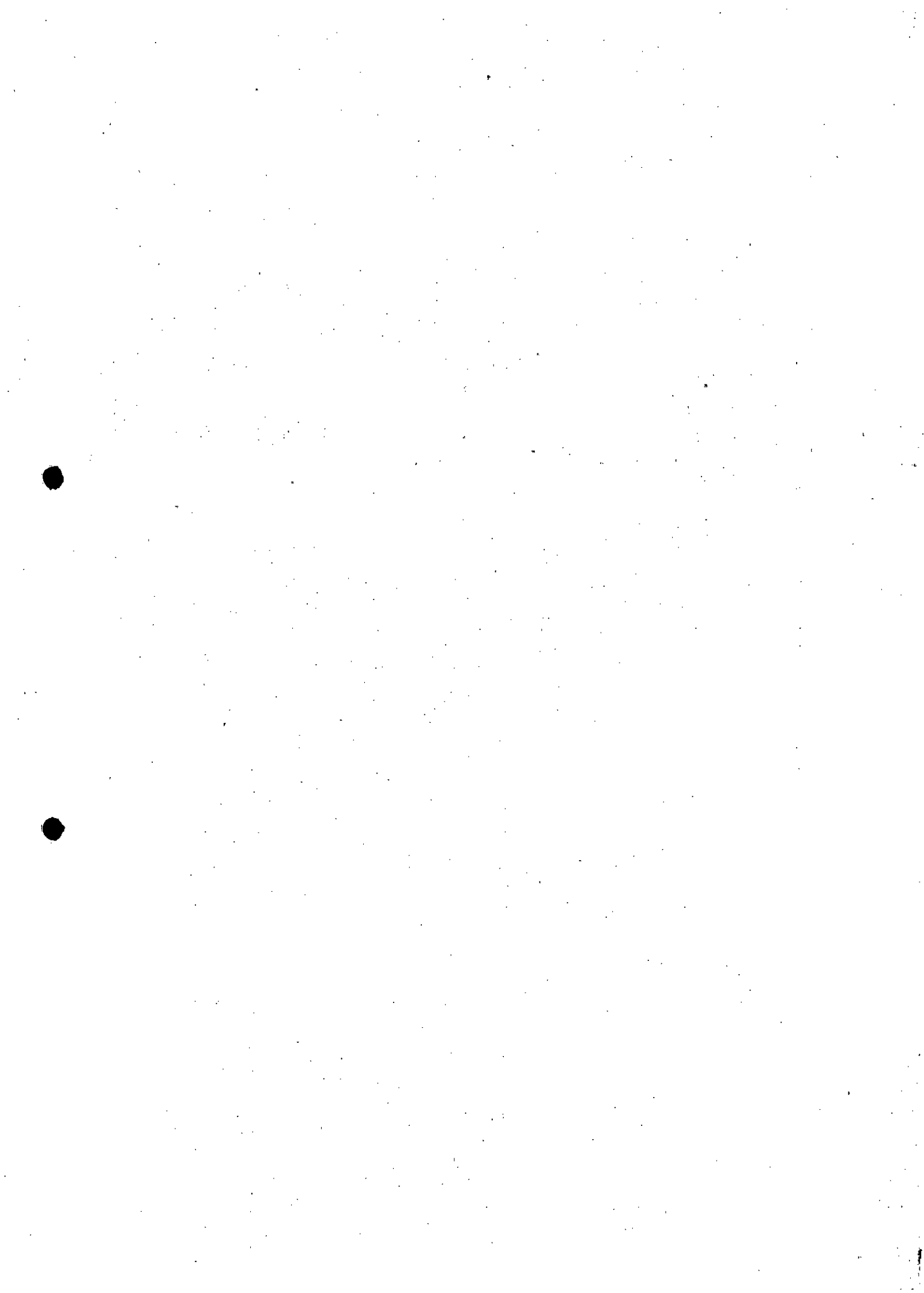
Foto 4.25 – Talude de jusante e bacia de dissipação do Dique S4.



Foto 4.26 – Maciço concluído e reservatório em fase de enchimento.







#### 4.1.8 Síntese das Estruturas de Contenção

A Tabela 4.10 apresenta uma síntese das principais características de todas as estruturas projetadas pela SAMARCO para contenção de rejeitos/lama e sedimentos na bacia do córrego Santarém, bem como manutenção da qualidade das águas compatíveis com os padrões dos cursos de água onde os efluentes dessa área deságuam. Na citada tabela são destacadas as estruturas projetadas, construídas ou em construção e em funcionamento para contenção do vazamento ou material ainda depositado no vale do Fundão e que, eventualmente, pode ser mobilizado para jusante pela ação de chuvas na região. Essas estruturas correspondem à enscadeira do Dique Eixo 1, à Barragem Nova Santarém e ao Dique S3.

Ressalta-se que os Diques S1 e S2 se encontram totalmente assoreados, tendo atendido plenamente ao objetivo pré-determinado de sua construção. Por esse motivo podem ser descaracterizados enquanto estruturas vigentes de contenção de sedimentos e controle de aspectos de qualidade das águas. Da mesma forma podem ser descaracterizadas as barreiras hidráulicas implantadas no vale da Barragem do Fundão, uma vez que as mesmas destinam-se a conter materiais deslocados que possam vir a impactar o avanço das obras do Dique Eixo 1.

Além disso, o Dique S4 também deve ser descaracterizado como estrutura de contenção do material passível de mobilização e carreamento no vale da Barragem do Fundão, tendo em vista que o mesmo está sendo implantado com o objetivo de conter apenas o material depositado, após o evento de ruptura da Barragem do Fundão, na região do povoado de Bento Rodrigues, e que ainda não foi mobilizado para o trecho de jusante. Essa estrutura, conforme citado anteriormente, não tem função de conter o vazamento de material da área onde ocorreu o evento de rompimento, apesar de poder contribuir eventualmente com essa tarefa.

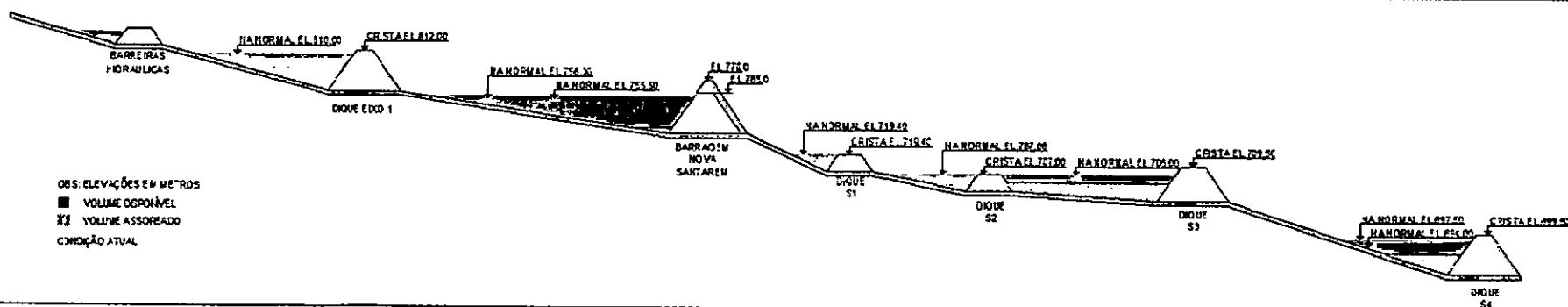
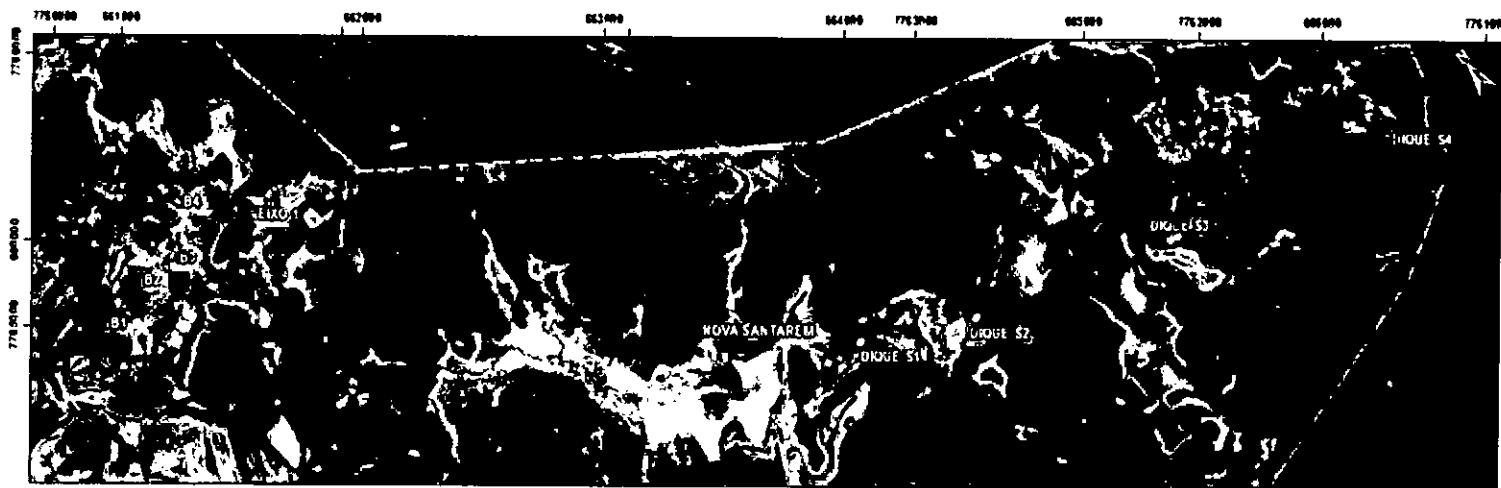
Já o futuro Dique Eixo 1, a Barragem Nova Santarém e o Dique S3, representam grande potencial de armazenamento, principalmente quando do término de suas respectivas implantações, como também das ações de dragagem e remobilização de material que podem ser realizadas eventualmente em seus reservatórios.

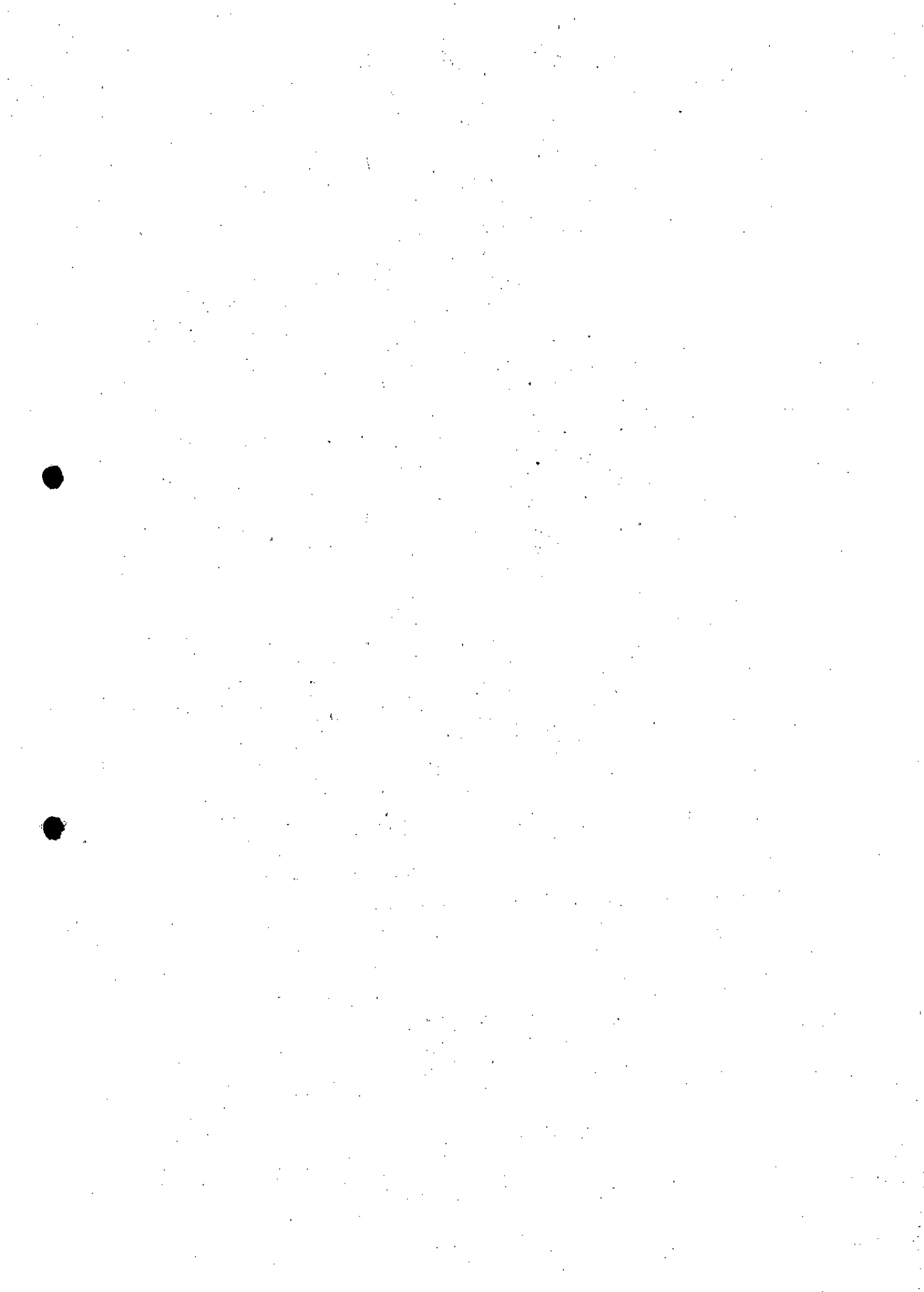
De acordo com a Tabela 4.10 verifica-se que os reservatórios de todas as estruturas de contenção somam uma capacidade atual de contenção de 8,30 Mm<sup>3</sup>, excluindo-se as Barreiras Hidráulicas, que juntas representam 89.500 m<sup>3</sup> e os Diques S1 e S2, totalmente assoreados. Entretanto, parte dessa capacidade de armazenamento já foi utilizada e de forma variável no tempo, conforme será descrito no Capítulo 6.



Tabela 4.10 – Síntese das características das estruturas de contenção implantadas ao longo e a jusante do vale da Barragem do Fundão, desconsiderando o material eventualmente armazenado.

Parâmetros	Especadeira do Dique Eixo 1	Barreiras Hidráulicas				Barragem Nova Santarém	Dique S1	Dique S2	Dique S3	Dique S4	
		B1	B2	B3	B4						
Área de Contribuição (km²)	4,78	2,08	2,16	2,28	2,04	21,7	22,2	23,1	37,6	47,0	
Cota da Crista (m)	Atual	812,00	820,00	820,00	810,00	815,00	765,00	719,40	707,00	709,50	699,50
	Final	EM ESTUDO	820,00	820,00	812,50	815,00	770,00	719,40	707,00	709,50	699,50
Cota do Extravador (m)	Atual	810,00	819,00	819,00	809,00	814,00	755,50; 759,00 e 764,00	VERTIMENTO SOBRE A CRISTA COM PROTEÇÃO DAS PAREDES LATERAIS.		706,00	694,00
	Final	EM ESTUDO	819,00	819,00	811,50	814,00	756,00; 760,00 e 766,00		706,00	697,50	
Volume do Reservatório (m³)	Atual	133.711	6343	40.644	16.622	25.859	MÁXIMO 5.217.000	16.000	45.000	2.950.000	ENCHIMENTO
	Final	EM ESTUDO	6343	40.644	16.622	25.859	MÁXIMO 6.940.000	16.000	45.000	2.950.000	1.006.317
Número de Alçamentos	8	-	-	-	-	1	-	2	-	-	
Início de Operação	01/12/2016	17/11/2016	29/10/2016	11/12/2016	03/01/2017	07/01/2017	15/02/2016	30/12/2016	21/02/2016	27/08/2016	
Término de Implantação	EM PLANEJAMENTO	17/11/2016	29/10/2016	11/12/2016	03/01/2017	30/06/2017	17/02/2016	18/02/2016	31/11/2016	26/01/2017	



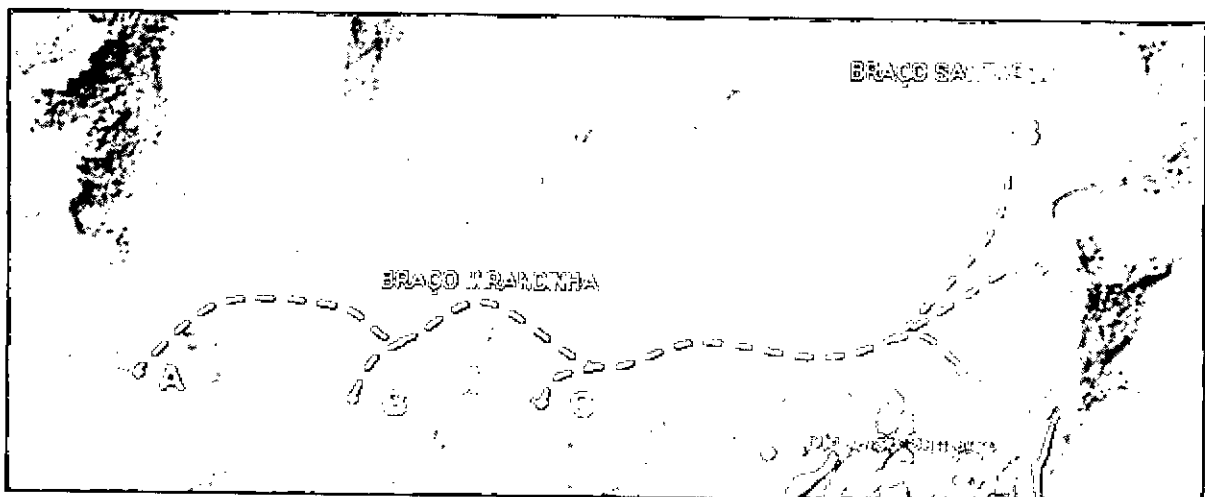


#### 4.2 AÇÕES DE DRAGAGEM E REMOBILIZAÇÃO DO MATERIAL NO DIQUE S3

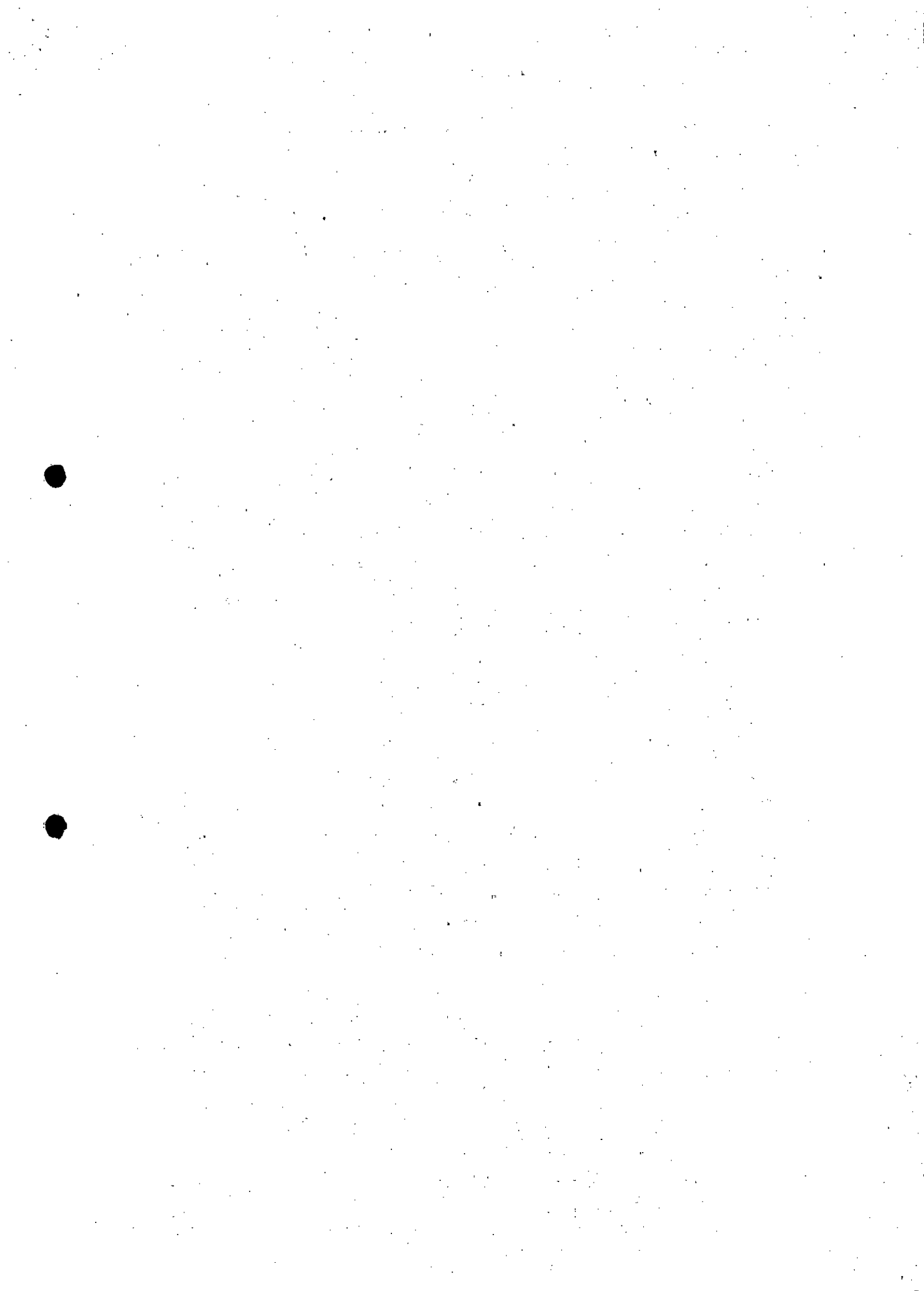
A eficiência de sedimentação em uma bacia de retenção de sólidos depende da área do espelho de água e do comprimento longitudinal do reservatório, de forma a se obter um tempo de residência que permita a deposição das partículas sólidas.

Os resultados das simulações de aporte e deposição de material ao longo do reservatório do Dique S3, realizadas pela SAMARCO, indicaram risco de assoreamento, mesmo após a execução das obras de alteamento complementar. Além disso, embora o reservatório formado pelo dique estivesse apresentando uma elevada eficiência na retenção de sólidos e, por conseguinte, contendo os eventuais vazamentos de rejeitos do vale do córrego do Fundão, a morfologia de seu espelho de água não estava sendo plenamente utilizada no processo de sedimentação. De fato, uma parte significativa do reservatório é constituída pelo braço do córrego Mirandinha, em posição lateral ao fluxo do córrego Santarém, tornando-se não efetiva para o tempo de residência total da estrutura.

Por essas razões, foi elaborado um plano de dragagem no reservatório, conforme mostrado na Figura 4.28, de forma a aproveitar ao máximo o volume útil disponível para a contenção de rejeitos/lama e sedimentos afluentes. O objetivo da dragagem é remover aproximadamente 600.000 m<sup>3</sup> de rejeitos depositados por gravidade no eixo principal do reservatório, armazenando o volume retirado no braço auxiliar do mesmo. Ou seja, o plano consiste em dragar o material depositado nos Pontos 1, 2 e 3, indicados na Figura 4.28 e situados ao longo do córrego Santarém, e conduzi-los por uma linha de tubulação flutuante para lançamento nos Pontos A, B e C, localizados no braço do córrego Mirandinha, também formador do reservatório do Dique S3.

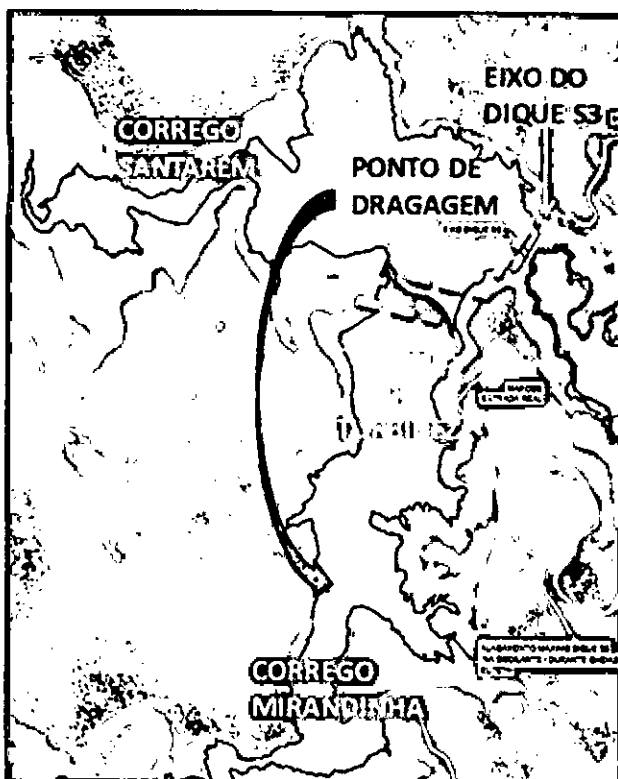


**Figura 4.28** – Programação da dragagem no reservatório do Dique S3.



Durante a operação da draga poderia ocorrer um aumento localizado da turbidez por emulsão do material succionado. Para evitar o vertimento desse material para o trecho jusante do Dique S3, foram implantadas cortinas de turbidez (geotêxtil filtrante ancorado nas ombreiras por meio de cabo de aço, boias e flutuadores) nas seções indicadas na Figura 4.29. Esse procedimento de contenção de sólidos em suspensão é comum em operações de dragagem e a eficiência do dispositivo por ser visualizada na Foto 4.27. Essa operação, já implantada, terá continuidade ao longo do corrente ano, para otimizar e aumentar a eficiência de retenção do reservatório do Dique S3.

Vale destacar que atualmente foram removidos ou remobilizados cerca de 300.000 m<sup>3</sup> de material e as atividades tem previsão de serem concluídas em março de 2017.

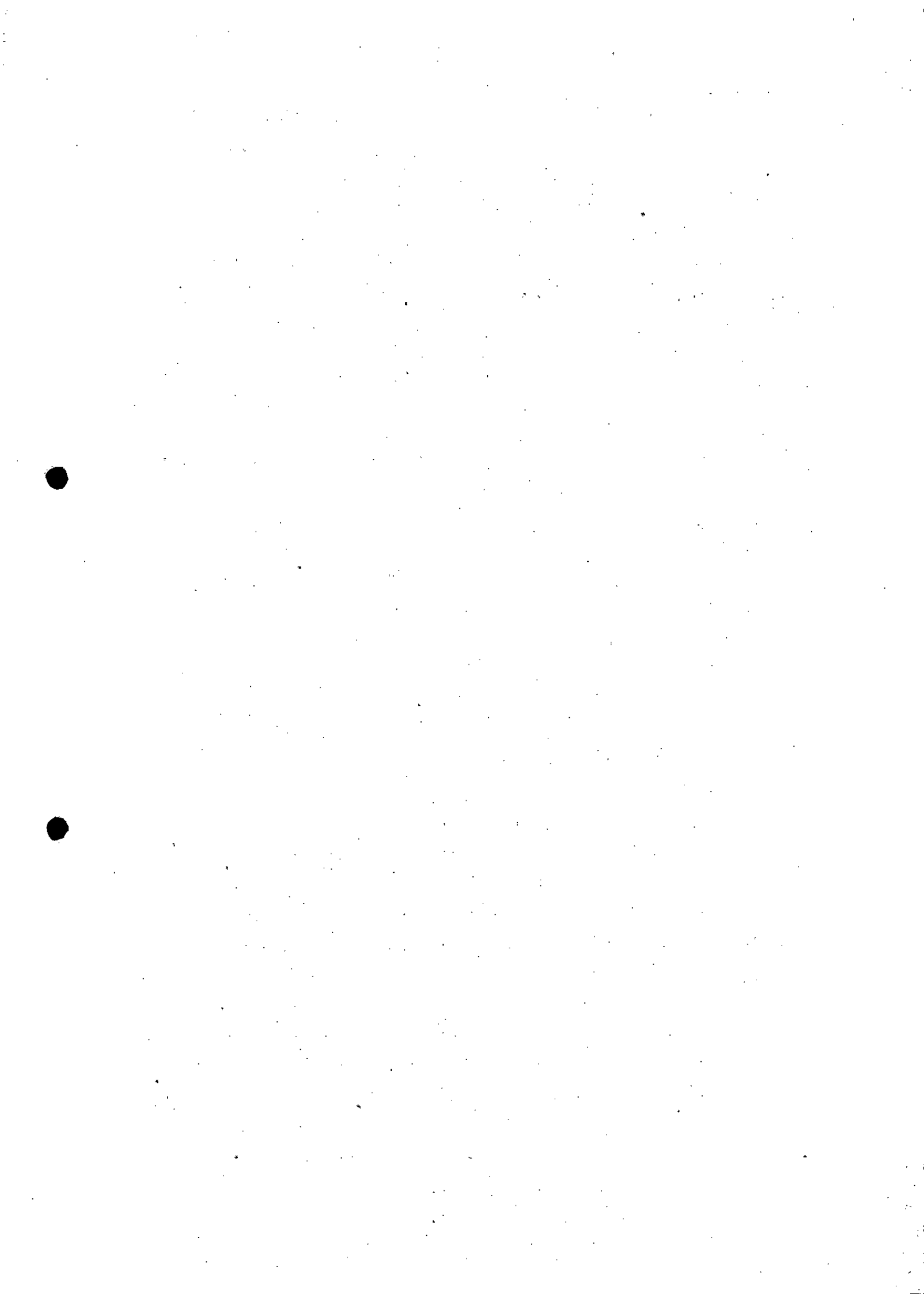


**Figura 4.29** – Seções de lançamento de cortinas de turbidez para contenção do emulsão do material dragado no Dique S3.



**Foto 4.27** – Efeito da implantação da cortina de turbidez no braço do córrego Mirandinha.

Como equipamentos estão sendo utilizados: (i) draga tipo hidráulica de Suction Dredge de 12” com baixo impacto na turbidez e alto teor de água no material dragado, ocasionando boa produtividade; (ii) embarcação; (iii) sistema de bombeamento com capacidade da ordem de 1000 m<sup>3</sup>/h de polpa e dotada de motor a diesel.



#### 4.3 LANÇAMENTO DE REAGENTES NO CÓRREGO SANTARÉM

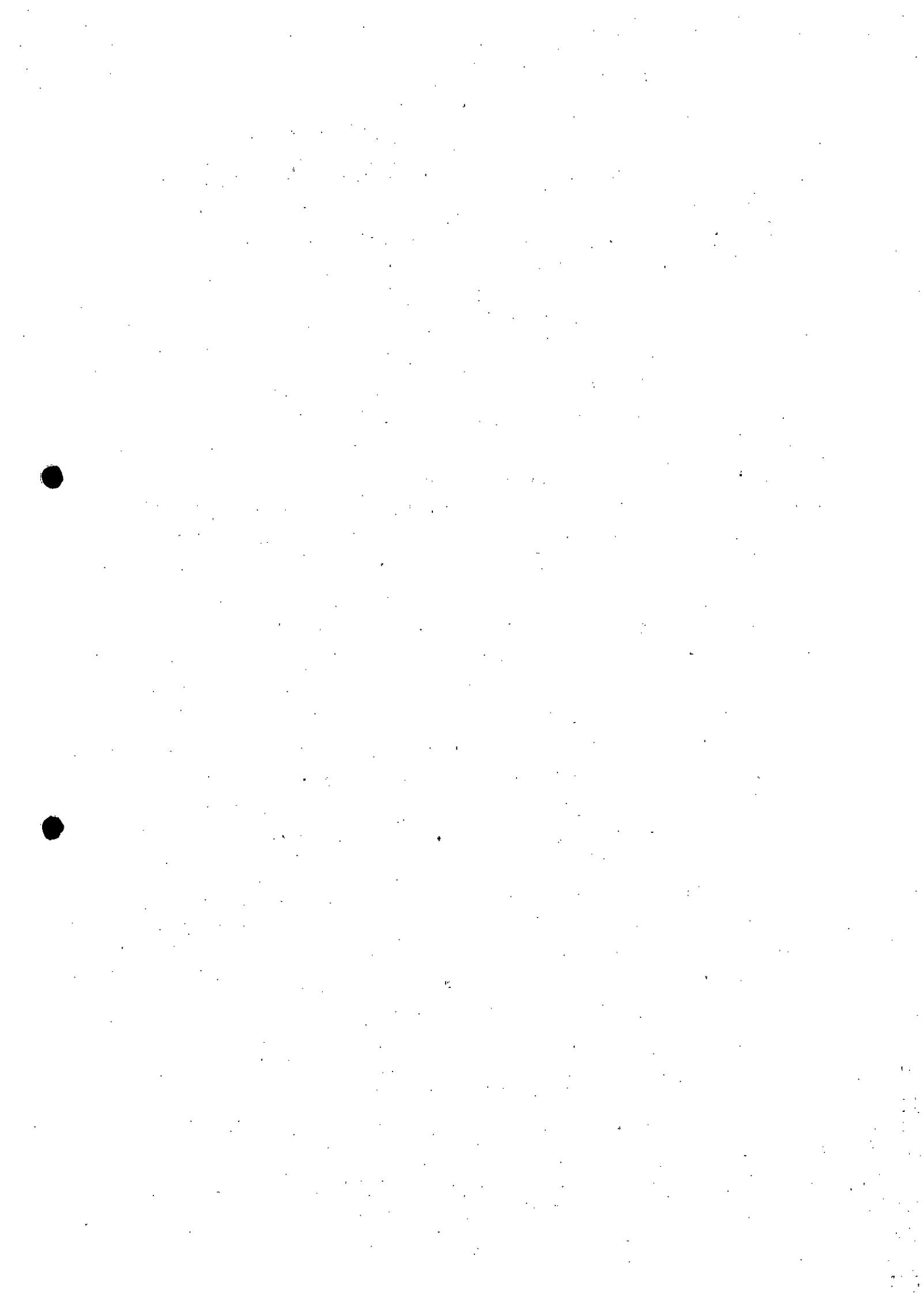
O emprego de reagentes é altamente empregado na indústria de mineração, como mecanismo indutor da floculação e separação das partículas sólidas presentes na água. Desde 1992, a SAMARCO utiliza substâncias coagulantes para promover a deposição das partículas sólidas em suspensão presentes nos efluentes das Barragens do Germano e Fundão, logo após o reservatório da Barragem Santarém. O mesmo procedimento também é aplicado no Complexo de Ubu, na usina de pelletização localizada no Espírito Santo, para adequar os lançamentos de efluentes nos corpos receptores, constituídos por lagoas litorâneas no município de Anchieta.

Após o evento de rompimento da Barragem do Fundão e tão logo houve segurança para o trabalho das equipes de campo, a SAMARCO solicitou a intensificação do lançamento de reagentes a jusante da estrutura remanescente da Barragem Santarém, como forma de auxiliar na coagulação do material vazado e induzir a retenção nas barreiras implantadas na calha do córrego Santarém, inicialmente nos Diques S1 e S2, e posteriormente no Dique S3.

Em 16 de janeiro de 2016 a SUPRAM CENTRAL de Minas Gerais autorizou o uso de reagentes (coagulantes e floculantes) no vertedouro da antiga Barragem Nova Santarém e a montante do lago formado pelo reservatório do Dique S3.

Dentre os coagulantes e floculantes existentes, destacam-se os polieletrólitos e coagulantes inorgânicos convencionais como sais de ferro e alumínio. Polieletrólitos são polímeros solúveis em água, constituídos tanto por compostos naturais como sintéticos. Dentre os polieletrólitos sintéticos estão incluídos as poliacrilamidas, que podem ser encontradas em diferentes formas iônicas (catiônicas, aniônicas e não-iônicas), e vários produtos catiônicos, principalmente as poliaminas (BOFFA MISKELL, 2016). Os processos de coagulação e floculação, dos reagentes adotados (polieletrólitos) cuja gênese é descrita no Capítulo 5 (item 5.3), foram empregados no intuito de remover o material articulado, presente na água.

O lançamento de reagentes (floculantes Flonex 934 VHM Superfloc A-100S; coagulantes Flonex 4540 e Superfloc C577) teve início em janeiro de 2016 dentro dos limites estabelecidos pelos órgãos ambientais. Sua eficiência foi avaliada por meio da realização de testes, ou seja, interrupção do lançamento e acompanhamento dos resultados. No Capítulo 6 os resultados dessa medida, integrada às demais medidas utilizadas pela SAMARCO, serão mostrados com maior nível de detalhe.



#### 4.4 LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS E BATIMÉTRICOS

Após o evento de ruptura da Barragem do Fundão, a SAMARCO intensificou a frequência e abrangência de levantamentos topográficos da área diretamente impactada, ou seja, do trecho que se estende desde o vale do Fundão até a foz do córrego Santarém no rio Gualaxo do Norte.

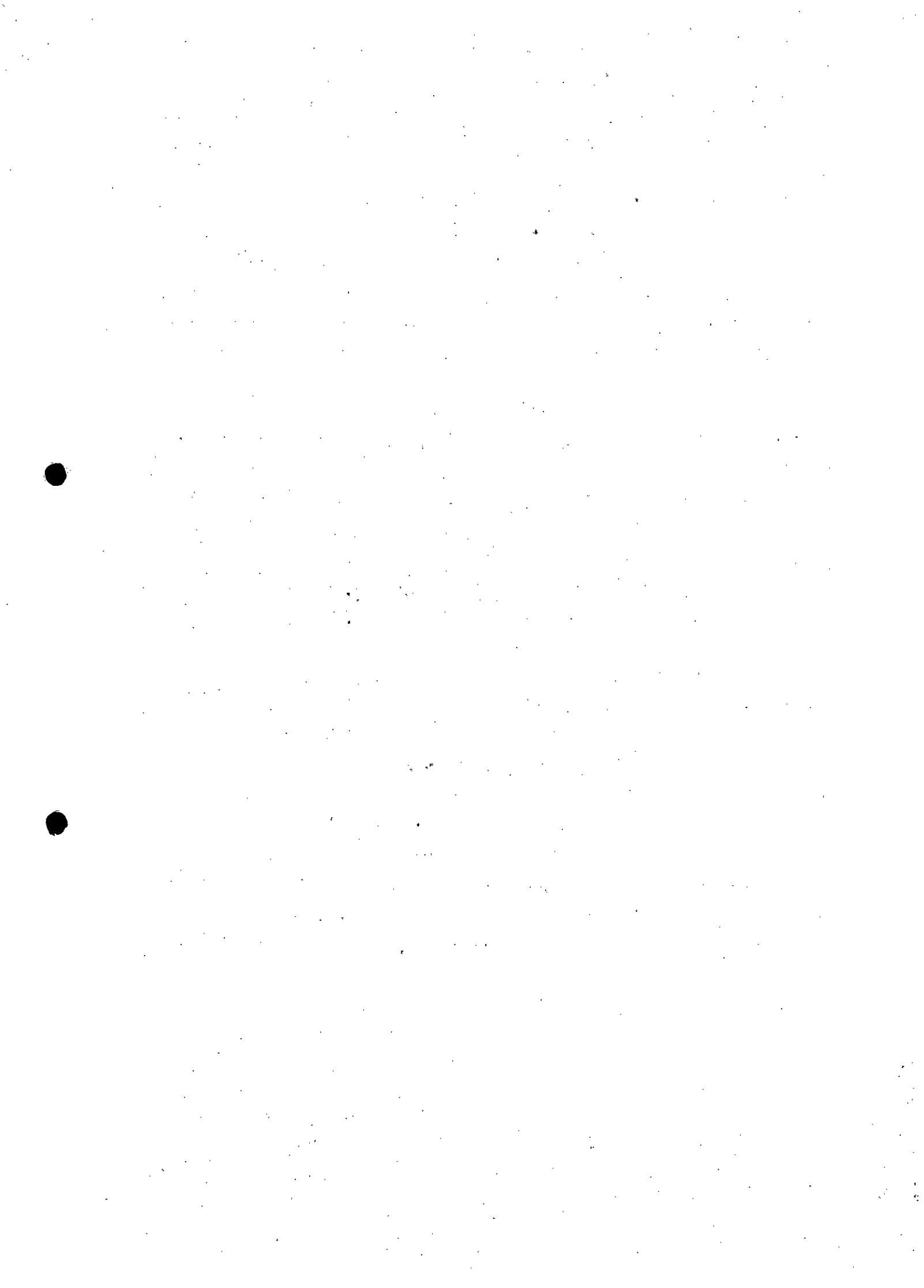
Essa diretriz foi tomada no intuito de permitir: (i) o acompanhamento da evolução e dinâmica do transporte de rejeitos/lama no vale da Barragem do Fundão e sua possível mobilização, transporte e deposição no trecho de jusante, juntamente com sedimentos gerados nas áreas de contribuição natural ao mesmo; e (ii) o acompanhamento da evolução e *status* das obras de reforço e/ou implantação de estruturas de contenção ao longo de toda a extensão fluvial citada (Barreiras hidráulicas, Dique Eixo 1, Barragem Nova Santarém, Diques S1, S2, S3 e S4), bem como de trechos afetados pela mobilização de terra, abertura de acessos e construção de canteiros de obra.

Além dos levantamentos topográficos citados também foram e estão sendo realizadas batimetrias nos reservatórios das estruturas já implantadas (Dique Eixo 1, Nova Santarém, Dique S3 e Dique S4) no intuito de avaliar a dinâmica de sedimentação do material afluyente ao longo dos mesmos, bem como determinar e acompanhar a perda de sua correspondente capacidade volumétrica, permitindo dar início à novas etapas de alteamento do maciço ou às operações de limpeza e dragagem dos mesmos.

A Tabela 4.11 lista todas as datas em que foram realizados levantamentos topográficos nos limites da área indicada na Figura 4.30, após o evento de rompimento, incluindo os dois levantamentos anteriores a esse fato. A Tabela 4.12 apresenta as informações acerca dos levantamentos batimétricos dos reservatórios das estruturas já implantadas no trecho.

É importante ressaltar que os levantamentos topográficos indicados na Tabela 4.11 nem sempre foram realizados em toda a extensão da área indicada na Figura 4.30, uma vez que os mesmos eram solicitados apenas quando informada ou identificada alguma alteração significativa no trecho, como movimentação de material ou alteração no *layout* das estruturas em construção. Por esse motivo, apenas a área solicitada era mapeada, incorporando-se essa atualização no levantamento anterior. Na Tabela 4.11 são listadas as áreas mapeadas em cada levantamento.

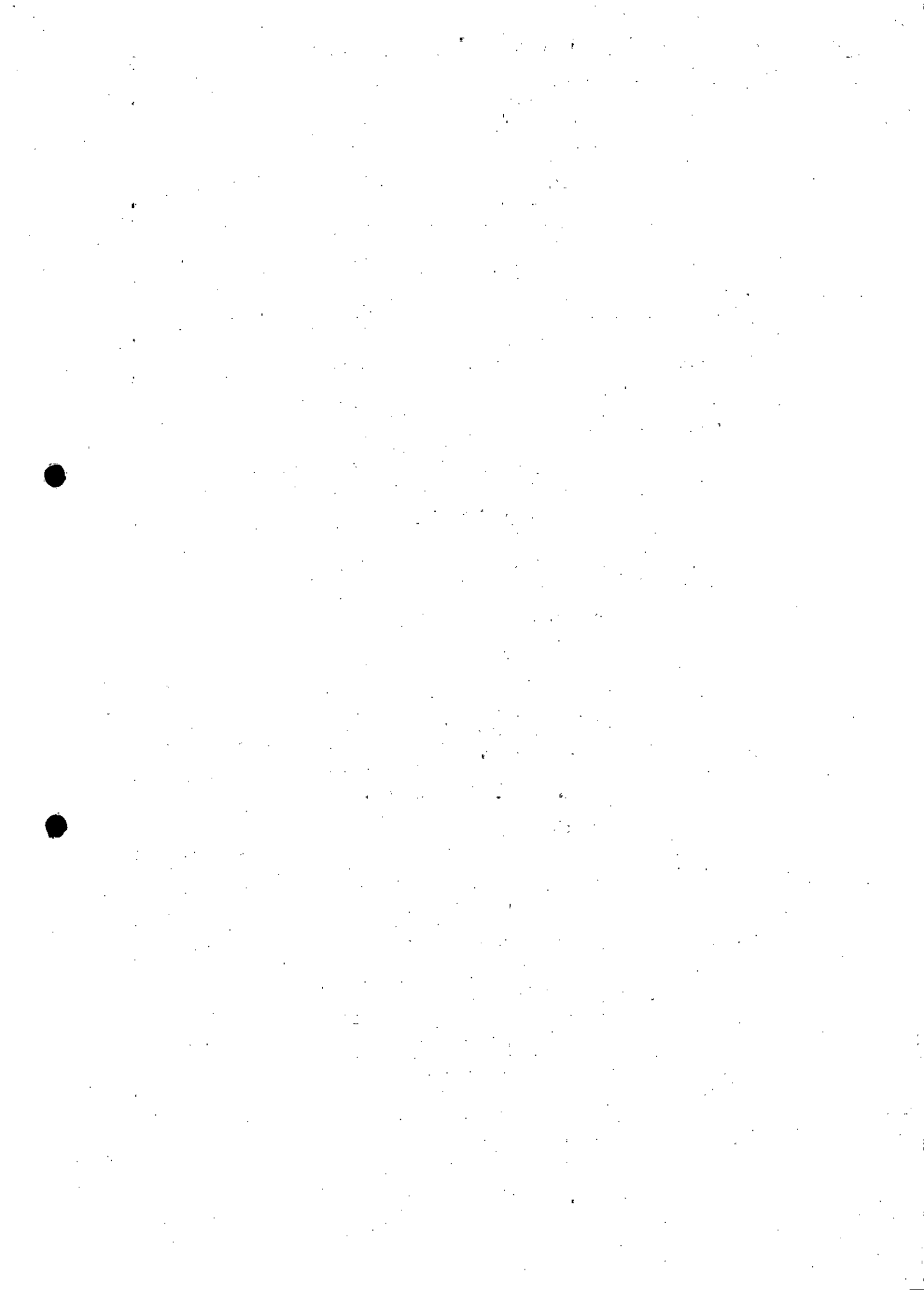
Todos os levantamentos topográficos e batimétricos citados foram realizados pela HGT Geoprocessamento (HGT), valendo-se dos equipamentos e procedimentos descritos na sequência.



**Tabela 4.11 – Datas em que foram realizados levantamentos topográficos na área diretamente afetada pelo rompimento da Barragem do Fundão.**

Data do Levantamento	Áreas Detalhadas	Data do Levantamento	Áreas Detalhadas	Data do Levantamento	Áreas Detalhadas
01/07/2015	GG-GE-AS-AS-AN	29/12/2015	FN-SA	26 a 28/04/2016	FN-SA-S3
27 a 28/10/2015	FN	01/01/2016	CG	04 a 06/05/2016	FN-SA-S3
06/11/2015	GE-FN-SA	08/01/2016	FN	09 a 12/05/2016	FN-SA-S3-AS-AN
08/11/2015	FN-AS-S3-S4	13/01/2016	FN-SA	19 a 20/05/2016	FN-SA-S3
09/11/2015	FN	17/01/2016	FN	27/05/2016	FN-SA-S3
11/11/2015	FN	19 a 20/01/2016	FN-SA	02 a 03/06/2016	FN-SA-S3
14/11/2015	FN	26/01/2016	FN	07 a 09/06/2016	FN-SA-S3
20/11/2015	FN-SA	28 a 29/01/2016	FN-AS	15 a 17/06/2016	FN-SA-S3-AS-AN
22/11/2015	FN	02 a 04/02/2016	FN-SA-S3	21/06/2016	CG
02 a 06/11/2015	GE	08 a 09/02/2016	CG-FN-AS-S3	27 a 29/06/2016	FN-SA-S3
28/11/2015	FN	16/02/2016	FN-SA-S3	15 a 19/07/2016	FN-SA-AS-AN
02 a 03/12/2015	FN-AS	22 a 23/02/2016	FN-SA-S3	26 a 28/07/2016	GE-FN-AS-S3
06/12/2015	FN	02/03/2016	FN-SA-S3	15 a 19/08/2016	FN-AS-S3-AS
08/12/2015	FN-AS	10/03/2016	FN-SA-S3	24 a 26/08/2016	FN-AS-S3-AN
10/12/2015	S3-S4	16 a 17/03/2016	FN-SA-S3	30/08/2016	GG-GE-S4
14/12/2015	GE	22 a 23/03/2016	FN-SA-S3	26/09/2016	FN-SA-S4-S3
16/12/2015	CG	30/03/2016	FN-SA-S3	25/10/2016	FN-SA-S4-S3
19/12/2015	FN	07/04/2016	FN-SA-S3	25/12/2016	FN-SA-S4-S3
20/12/2015	FN-AS	14/04/2016	FN-SA-S3	-	-
23/12/2015	S3-S4	21 a 22/04/2016	FN-SA-S3	-	-

AN – Alegria Norte, AS – Alegria Sul, CG – Cava Germano, FN – Barragem do Fundão, GE – Barragem do Germano, GG – Germano Geral, S3 – Dique S3, S4 – Dique S4, AS – Barragem Santarém.



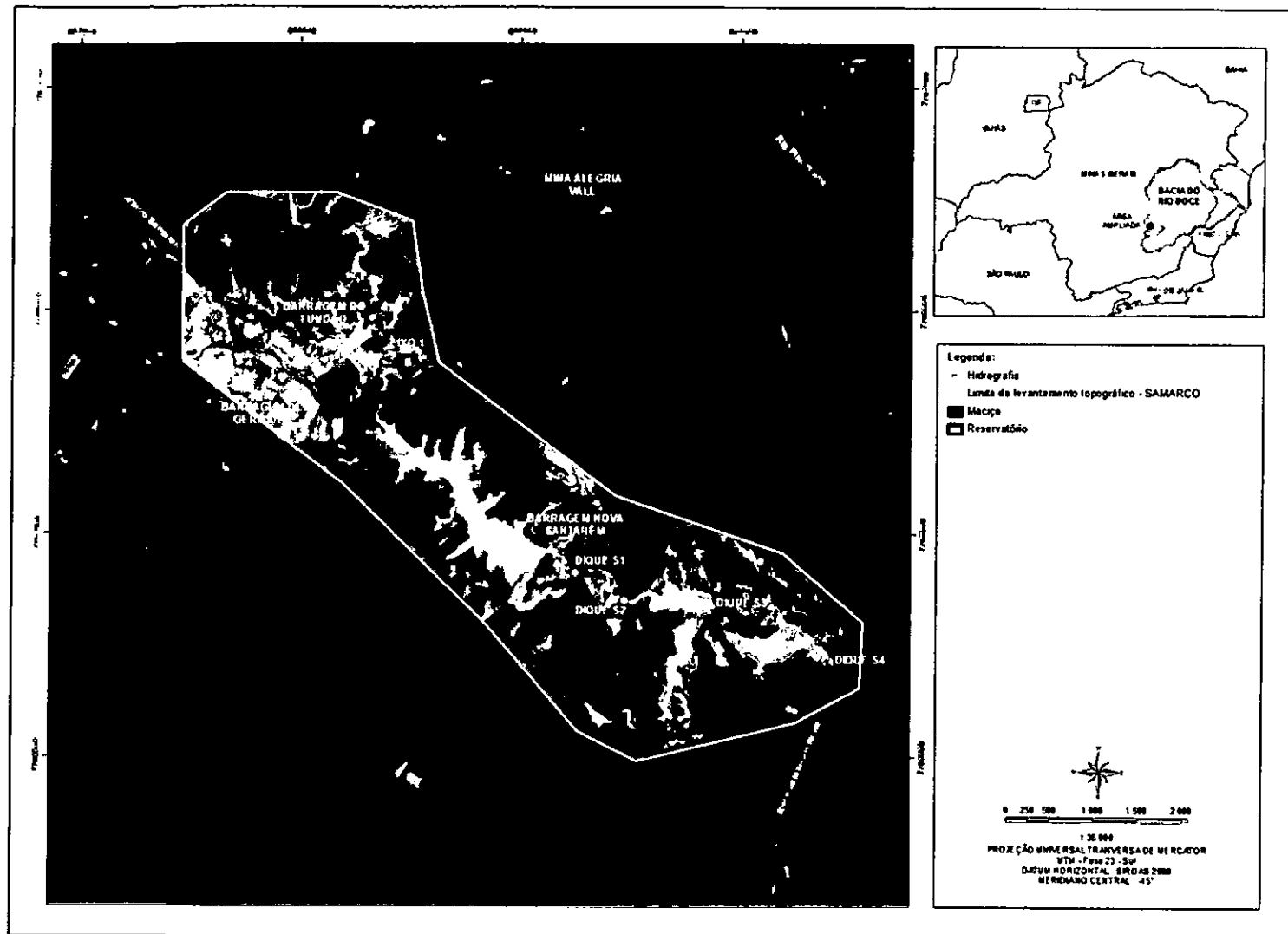
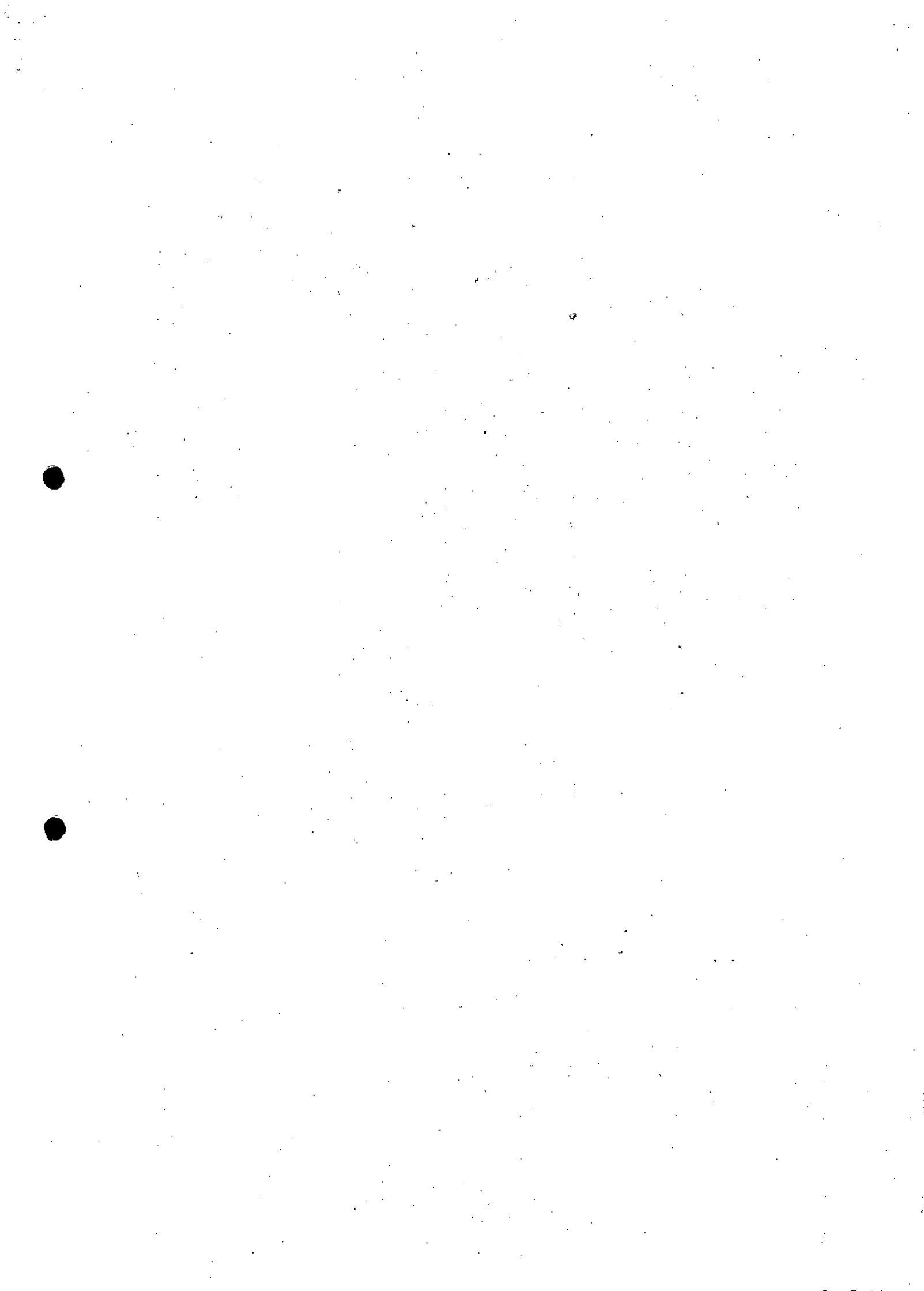


Figura 4.30 – Limite da área considerada nos levantamentos topográficos realizados pela SAMARCO após o evento de ruptura da Barragem do Fundão.



**Tabela 4.12 – Disponibilidade de levantamentos batimétricos nos reservatórios das estruturas de contenção implantadas pela SAMARCO ao longo dos córregos do Fundão e Santarém.**

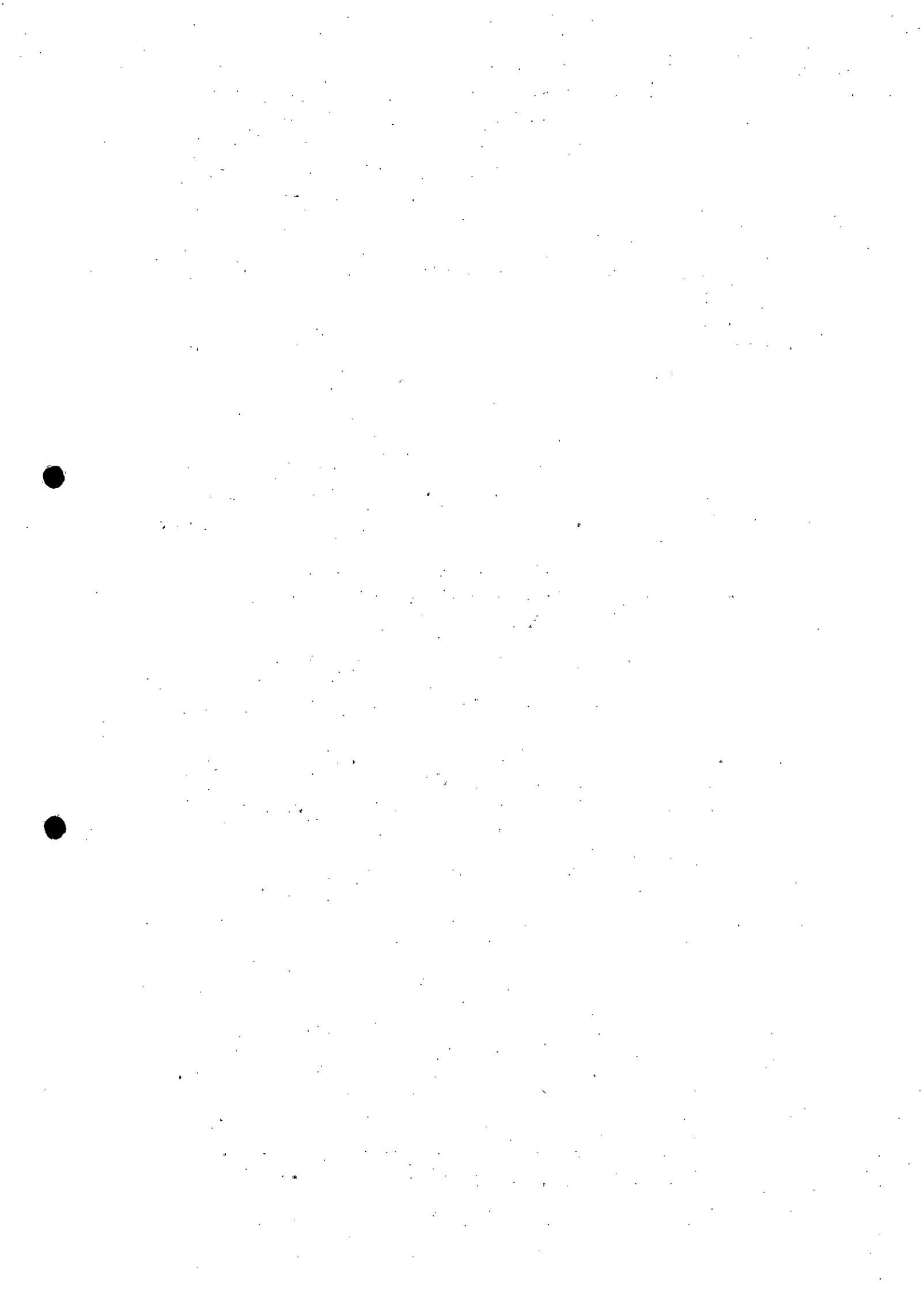
Estrutura de Contenção	Levantamentos Disponíveis
Dique Eixo 1	30/09/2016
Barragem Nova Santarém	04/01/2017
Dique S3	05/04/16, 04/05/16, 17/05/16, 24/05/16, 16/06/16, 13/07/16, 13/08/16, 30/11/16 e 16/12/2016
Dique S4	21/12/2016

(a) Os levantamentos topográficos são realizados por intermédio de técnicas de aerofotogrametria de precisão, utilizando câmeras digitais metrificadas, de lente fixa, de pequeno e médio formato, acopladas a um drone.

- Coleção de Imagens: coletadas imagens panorâmicas de baixa altitude da área de interesse, variando de 200 a 2000 imagens por levantamento.
- Apoio de Campo: instalados marcos visíveis na área de interesse, com densidade média de um marco a cada 2,0 ha, georreferenciados utilizando-se GPS L1L2 de alta precisão em modo estático, com erro máximo de 5,0 cm por ponto.
- Ajuste Fotogramétrico de Imagens: feito com erro médio menor ou igual a 5,0 cm, permitindo erro médio de projeto da ordem de 10,0 cm, valendo-se de softwares COTs de mercado e a suíte GeoExpert® desenvolvida pela HGT.
- Datum: Córrego Alegre e SIRGAS2000
- Software: ENDURANCE® (Módulos de processamento de imagens), GeoExpert® (módulos de ajuste fotogramétrico e restituição), PhotoScan, Pix4d, GlobalMapper, Autocad.
- Hardware: equipamento remotamente guiado, com autonomia de 15 min, peso de 500 g (sem câmera).

(a) Os levantamentos de batimetria dos reservatórios são feitos com equipamento de ecobatimetria remotamente guiados.

- Pulso de Sonar: utilizado para detecção da profundidade do reservatório em cada ponto de coleta, linear ao fundo, ou DOWNSCAN, nas frequências de 200 e 400 kHz. A frequência



de 200 kHz é utilizada para determinação de cota de profundidade e a de 400 kHz é utilizada para comparar os resultados obtidos com a de 200 kHz, indicando turbidez ou maior concentração de material sólido antes da cota de maior profundidade. A profundidade mínima adotada é de 40 cm, pois o sensor é posicionado 10,0 cm abaixo da linha de água e possui uma distância de ruído de 30 cm. A precisão do equipamento é de 0,1 FT ou 0,03 m.

- **Mapeamento Planialtimétrico:** define a posição de cada pulso do sonar e é realizado por um GPS L2 e/ou um GPS L1L2 cinemático. São realizadas varreduras em perfis sobre a área do reservatório para determinação do posicionamento de curvas de nível e/ou triangulação de volumes. A precisão do equipamento é de 1,0 m em coleta e de 0,02 m pós-processado.
- **Nível de Água:** consiste na cota de referência utilizada para determinação da altitude de cada pulso de batimetria, subtraindo a cota de profundidade. A cota é determinada por GPS L1L2 estático no nível de água medido ao início ou no fim da atividade, em reservatório com lâmina de água uniforme e/ou dinâmica, para determinação da alteração das elevações do mesmo ao longo da atividade. A precisão do equipamento é de 0,01 m estático e 0,05 m dinâmico.
- **Datum:** Córrego Alegre e SIRGAS2000.
- **Software:** ENDURANCE® (Módulo Processamento de Coleta de Pontos), SonarViewer, Excel, GlobalMapper, AutoCad.
- **Hardware:** equipamento remotamente guiado com alcance de 750 m, englobando posicionamento em tempo real, vídeo *stream* e autonomia de 4 h de coleta.

As Fotos 4.26 e 4.27 ilustram os equipamentos utilizados em cada um dos serviços.

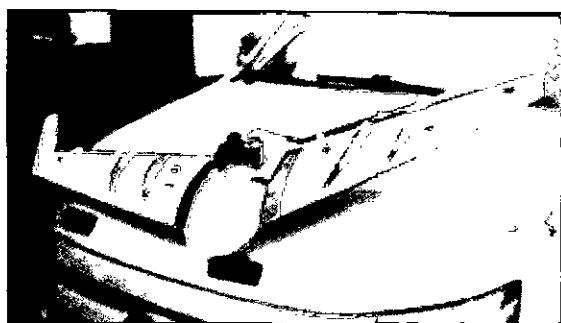


Foto 4.27 – Equipamento utilizado no levantamento topográfico.

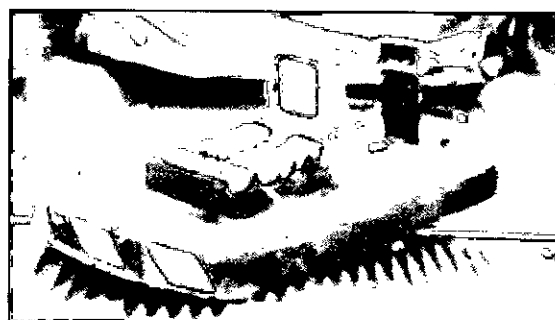
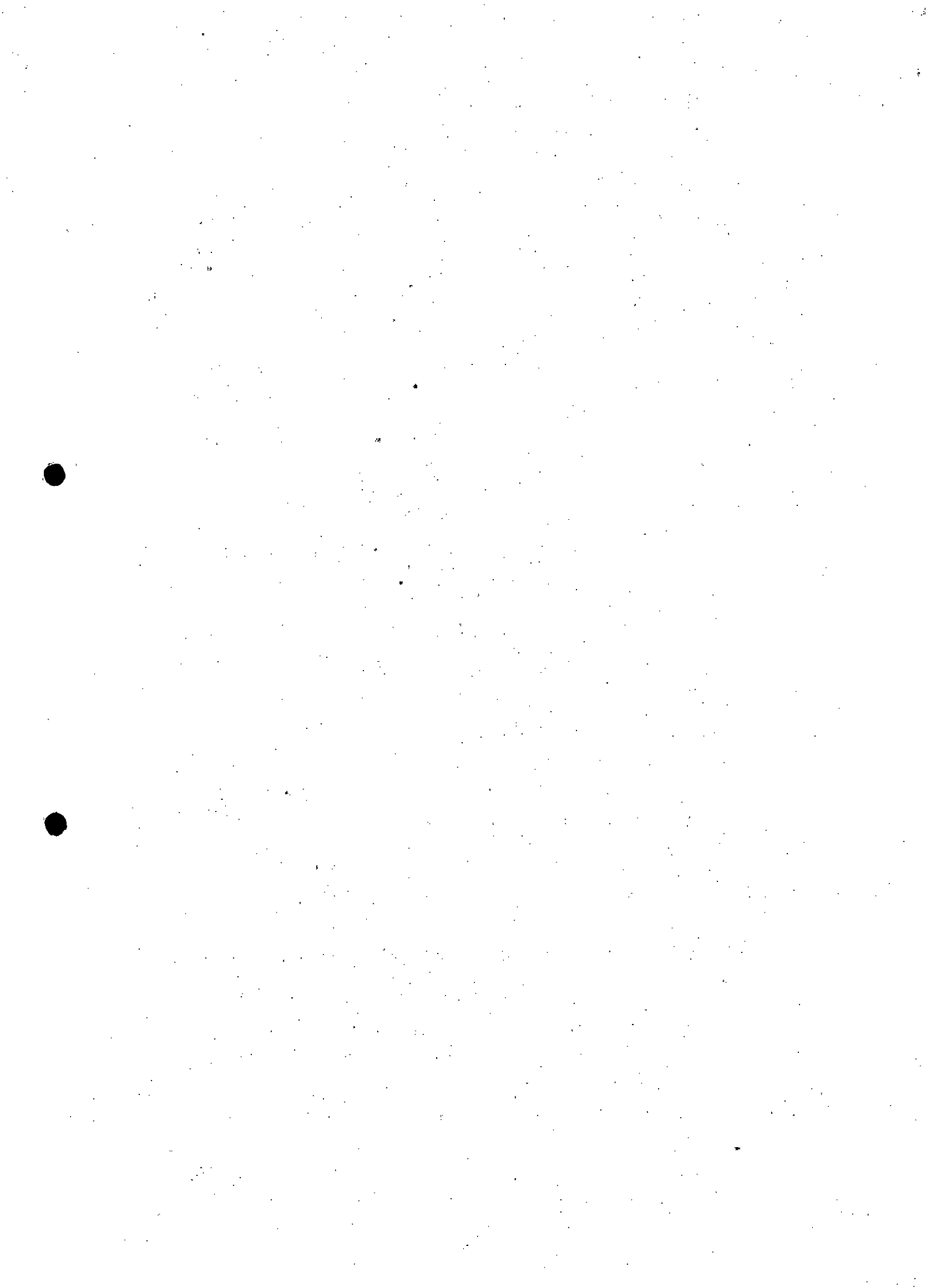


Foto 4.28 – Equipamento utilizados no levantamento batimétrico.



#### 4.5 REDE DE MONITORAMENTO

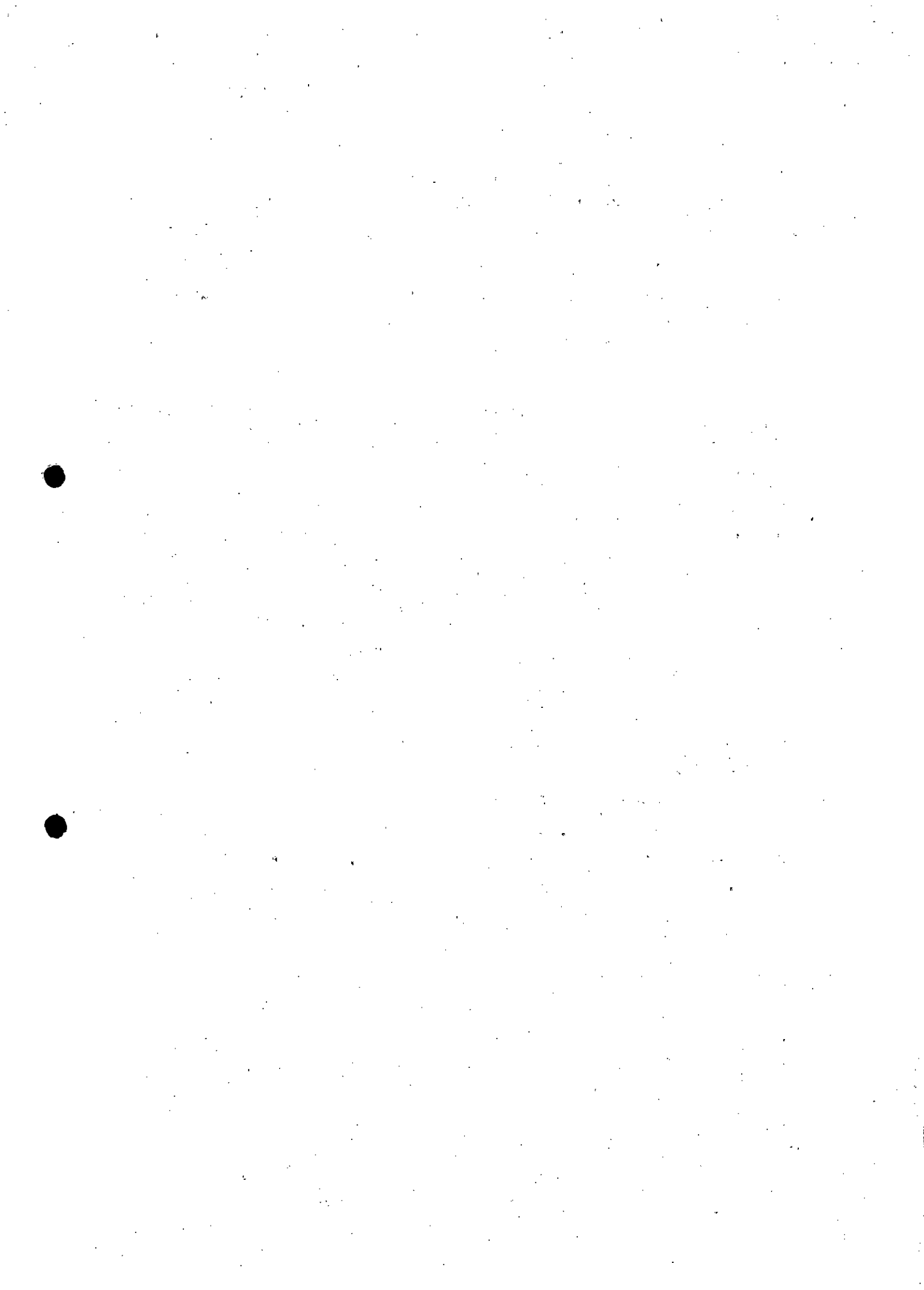
Complementarmente à realização das obras descritas no item 4.1, a SAMARCO deu início à implantação e operação imediata de uma rede de monitoramento de parâmetros para avaliação da qualidade das águas dos cursos de água afetados pela onda de ruptura da Barragem do Fundão, e de variáveis relacionadas ao transporte do material (rejeitos/lama) defluente do citado reservatório.

Tal rede foi implantada em toda a extensão da bacia hidrográfica do rio Doce, ao longo dos cursos de água diretamente afetados pelo evento, como também naqueles livres dos efeitos da onda de ruptura ou de remanso desta, para efeito de comparação dos resultados de eficiência obtidos com a implantação das estruturas de controle e retenção do material defluente do vale do Fundão e córrego Santarém. A Figura 4.31 mostra a espacialização desses pontos até as proximidades da UHE Candonga e a Tabela 4.13 resume as principais informações relacionadas a essa rede.

Conforme indicado na referida tabela, a rede de monitoramento é bastante diversificada, sendo mantida por diferentes laboratórios acreditados, incluindo a equipe especializada da própria SAMARCO, os quais acompanham a evolução temporal de diferentes variáveis, tais como: turbidez, cor aparente, cor verdadeira, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos e sólidos totais, entre outras que não de interesse para o presente trabalho. As empresas contratadas que monitoram tais parâmetros incluem a SAMARCO, Limnus, Goercix, Merieux, Tommasi e SGS Geosol e a frequência adotada nas coletas varia de diária e quinzenal a mensal.

Levando-se em conta os objetivos do presente estudo, foram selecionados alguns pontos para análise de resultados, levando-se em conta sua localização ao longo da rede de drenagem a ser avaliada e o período e disponibilidade de registros. Os pontos selecionados são apresentados em destaque na Tabela 4.13 e Figura 4.31.

Mediante a demanda do Ministério Público para que a SAMARCO demonstrasse a ocorrência de vazamento dos rejeitos/lama depositados no vale do Fundão, a empresa intensificou a rede de monitoramento e a frequência de coleta na bacia do córrego Santarém, incluindo também alguns pontos situados em cursos de água não impactados pelo evento de ruptura e cujos registros pudessem ser utilizados como comparação. A Figura 4.32 mostra a espacialização da rede de monitoramento implantada pela empresa e a Tabela 4.14 lista as informações correspondentes.

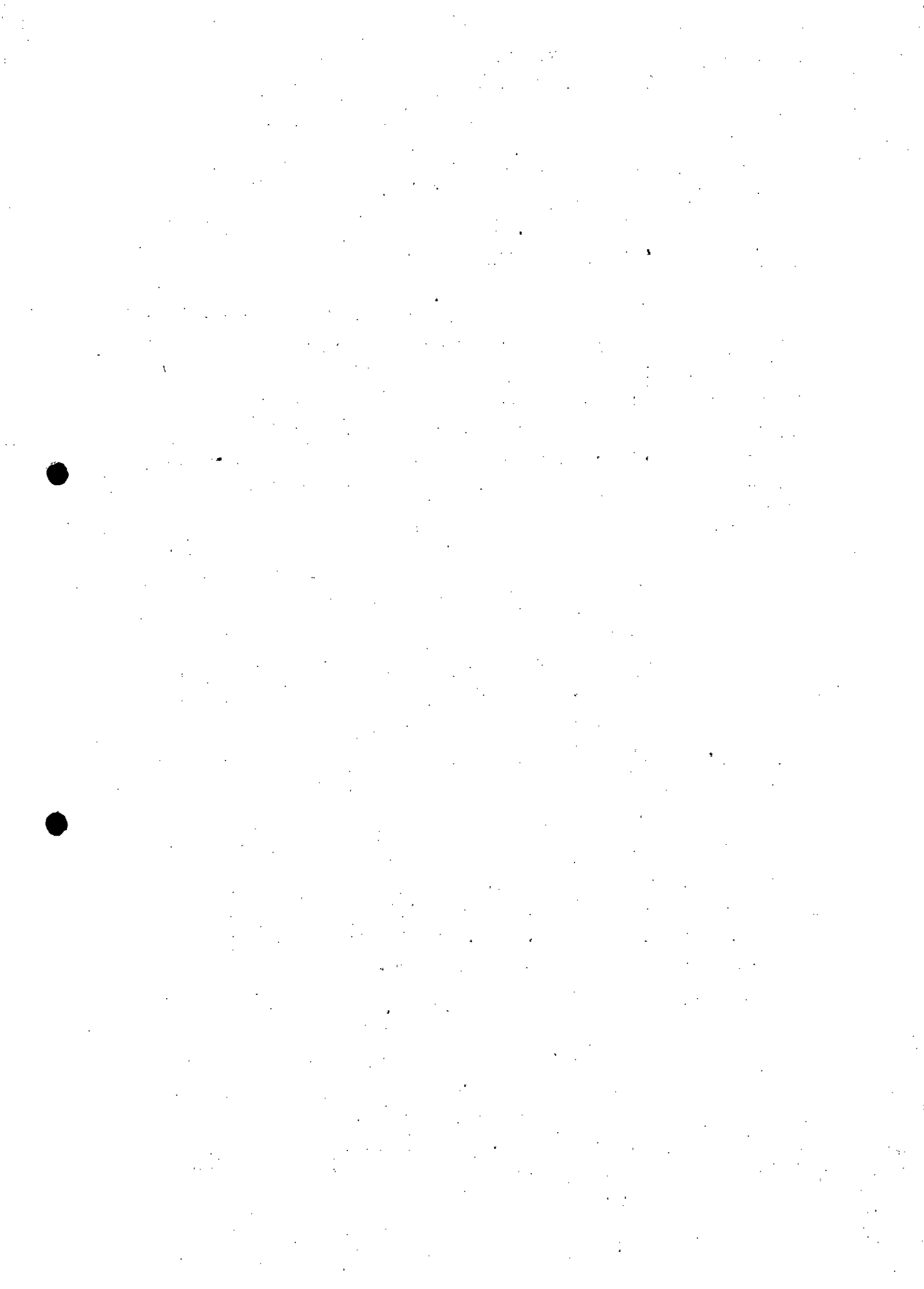


Essa rede complementar da SAMARCO foi especificada em dezembro de 2016 e as coletas foram iniciadas em 26/12/2016. Considerando a limitação dos laboratórios da empresa para realizar análises mais sofisticadas, referentes aos parâmetros sedimentológicos e de qualidade das águas, apenas os ensaios para determinação da turbidez e da concentração de sólidos suspensos foram solicitados. Além disso, em alguns desses pontos e/ou em regiões próximas, conforme indicado na Figura 4.32 e Tabela 4.15, também foi solicitada a realização de pelo menos três coletas de material para análise granulométrica do material em suspensão e de fundo. Entretanto, em virtude das características do material transportado em suspensão (granulometria muito fina) foi possível apenas a composição das curvas granulométricas do material de fundo, conforme resultados apresentados posteriormente.

Para dar maior assertividade aos resultados das análises das coletas realizadas pela equipe da SAMARCO, a partir da rede complementar de monitoramento, foi solicitada a realização de oito campanhas de material em suspensão em conjunto com a equipe do laboratório acreditado Tommasi e pelo menos uma de material de fundo. Dessa forma, os resultados obtidos poderiam ser comparados, validando as demais coletas realizadas pela empresa e permitindo, assim, a realização de análises e o estabelecimento de conclusões a partir desses dados. De certa forma, esse procedimento já vinha sendo mantido pela SAMARCO, que operava pontos de coleta em locais próximos ou equivalentes àqueles monitorados pelos laboratórios acreditados, realizando comparação dos resultados sempre que possível.

Ainda com o intuito de aumentar a acurácia dos resultados de campo, a equipe da SAMARCO foi devidamente instruída por técnicos especializados a: (i) fazer, sempre que possível, as coletas de forma semelhante àquelas realizadas pelos laboratórios acreditados; (ii) seguir alguns critérios padronizados de coleta, armazenamento e tratamento de dados; (iii) realizar registros fotográficos *in loco* das amostras coletadas individualmente e de forma sequencial e em conjunto no laboratório; e (iv) fornecer resultados a cada dois dias para a equipe responsável pelo tratamento e avaliação dos resultados.

A Figura 4.33 apresenta o diagrama unifilar correspondente à rede de monitoramento indicada nas Tabelas 4.13 e 4.14, com destaque para os pontos de monitoramento selecionados na rede pré-existente para a análise, posteriormente descrita neste documento, e todos aqueles pertencentes à rede complementar da SAMARCO, implantada em dezembro de 2016.



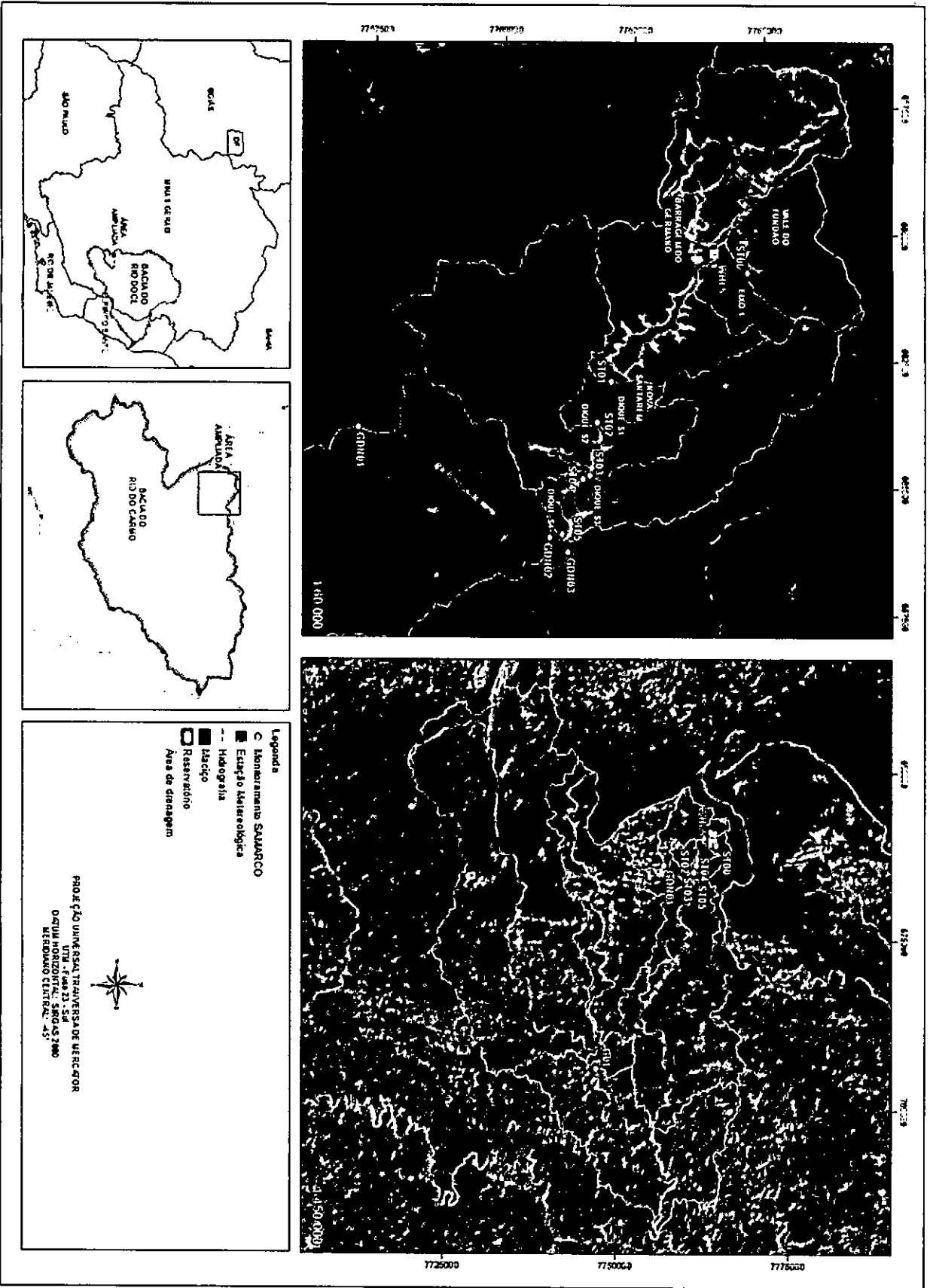


Figura 4.31 – Espacialização da rede de monitoramento mantida pela SAMARCO na bacia do rio Doce após o evento de ruptura da Barragem do Fundão.

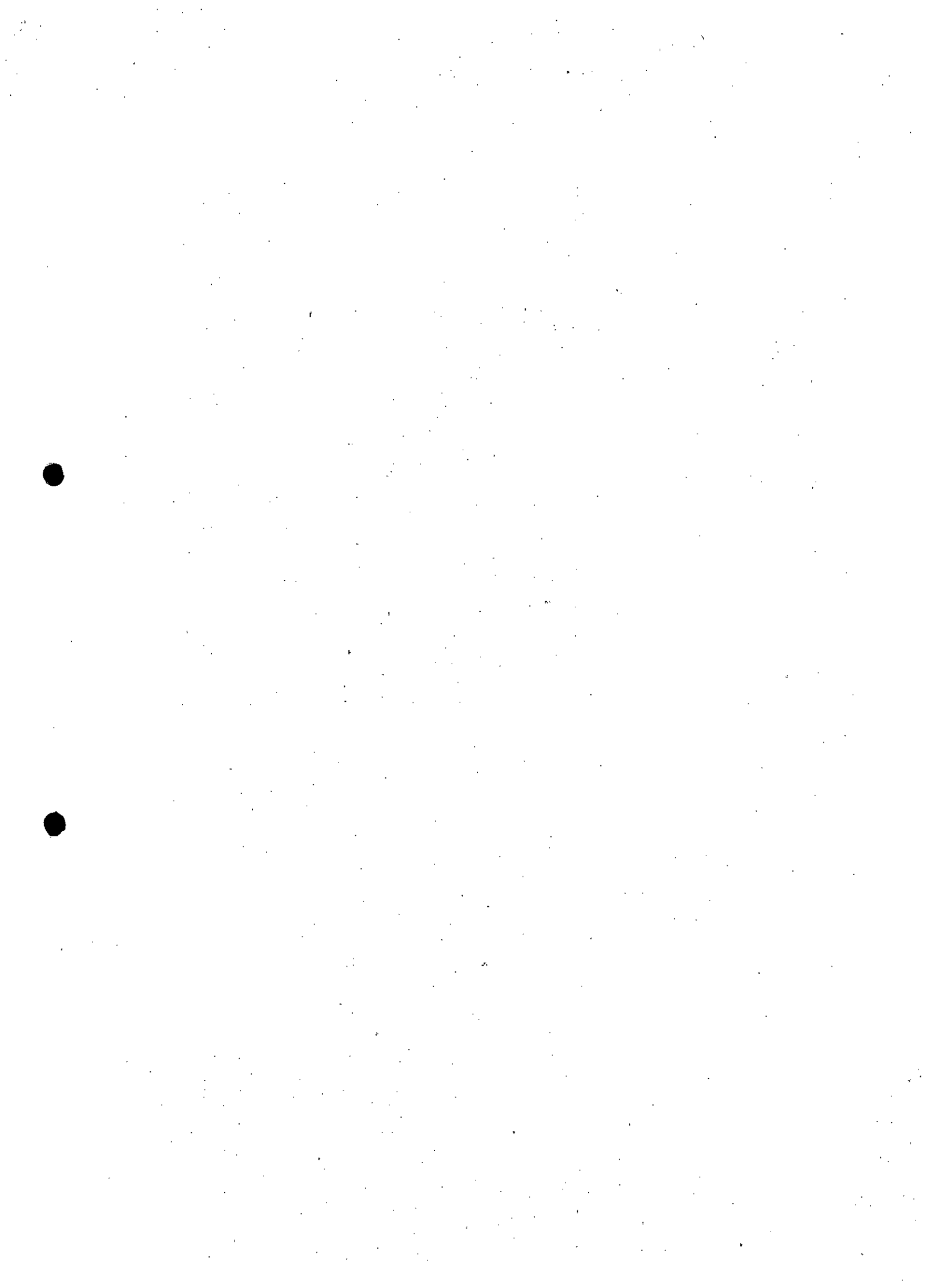


Tabela 4.13 – Principais informações referentes à rede de monitoramento mantida pela SAMARCO na bacia do rio Doce logo após o evento de ruptura da Barragem do Fundão.

Índice	Código	Descrição	UTM SIRGAS 2000 23S		Período de Dados	Laboratório	Variáveis de Interesse Monitoradas
			Norte (m)	Leste (m)			
1	TUR-80	Vertedouro de Santarém	7.762.158	662.720	01/15 a 12/16	Samarco	Turbidez, Sólidos Suspensos
2	TUR-11	Jusante Dique S2	7.761.763	663.702	01/16 a 12/16	Samarco	Turbidez
3	RDC-125	Dique S3 - Lado Esquerdo	7.761.854	664.472	09/16 a 09/16	Tommasi	Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais
4	RDC-126	Dique S3 - Lado Direito	7.761.593	664.499	09/16 a 09/16	Tommasi	Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais
5	RDC-123	Dique S3 - Centro	7.761.717	664.666	09/16 a 09/16	Tommasi	Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais
6	RDC-120	Dique S3	7.761.751	664.710	03/16 a 12/16	Limnos	Turbidez, Sólidos Sedimentáveis, Dissolvidos, Suspensos e Totais
7	TUR-69	Montante Dique S3	7.761.660	664.745	04/16 a 12/16	Samarco	Turbidez
8	TUR-77	Jusante Dique S3	7.761.602	664.779	02/16 a 12/16	Samarco	Turbidez, Sólidos Suspensos
9	RDC-124	Dique S3 Jusante	7.761.505	664.804	06/16 a 12/16	Tommasi	Turbidez, Cor Aparente e Verdadeira, Sólidos Sedimentáveis, Dissolvidos, Suspensos e Totais
10	TUR-78	Jusante Dique S4	7.761.174	665.966	03/16 a 12/16	Samarco	Turbidez, Sólidos Suspensos
11	RDC-130	Dique S4 Jusante	7.760.995	666.007	11/16 a 11/16	Tommasi	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Sedimentáveis, Dissolvidos, Suspensos e Totais
12	TUR-26	Rio Gualaxo do Norte Branco	7.756.195	658.984	12/15 a 12/16	Samarco	Turbidez
13	MG-01	Antônio Pereira Montante de Fundão	7.756.196	658.994	12/15 a 03/16	Gorceix	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos
14	AFL-03	Gualaxo do Norte Montante	7.756.230	659.022	12/15 a 11/16	Merieux	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais
15	MG-02	Camargos Jusante	7.759.289	665.471	12/15 a 03/16	Gorceix	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos
16	TUR-79	Rio Gualaxo do Norte Captação	7.761.219	666.298	02/16 a 12/16	Samarco	Turbidez
17	TUR-81	PCH Bicas (Gualaxo Dique 01)	7.759.443	671.519	04/16 a 12/16	Samarco	Turbidez, Sólidos Suspensos
18	TUR-104	Gualaxo Dique 02 (GD02)	7.760.552	674.070	09/16 a 12/16	Samarco	Turbidez, Sólidos Suspensos
19	TUR-72	Águas Claras Ponte	7.753.958	682.787	04/16 a 12/16	Samarco	Turbidez
20	TUR-73	Bução Ponte	7.753.958	682.787	04/16 a 12/16	Samarco	Turbidez
21	MG-05	Paracatu de Baixo Jusante	7.753.739	686.174	12/15 a 03/16	Gorceix	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos
22	TUR-105	Gualaxo Dique 03 (GD03)	7.757.016	699.446	09/16 a 12/16	Samarco	Turbidez, Sólidos Suspensos
23	RDC-24	Barra Longa Montante	7.755.676	701.975	11/15 a 12/16	Limnos	Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais
24	TUR-25	Rio Gualaxo do Norte	7.755.255	702.030	12/15 a 12/16	Samarco	Turbidez
25	MG-06A	Gualaxo Montante Encontro com Carmo	7.755.251	702.205	12/15 a 03/16	Gorceix	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos
26	AFL-02	Rio do Carmo 2 Montante	7.747.275	693.778	12/15 a 11/16	Merieux	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais
27	TUR-20	Ribeirão do Carmo Branco	7.754.699	701.495	12/15 a 12/16	Samarco	Turbidez
28	MG-08	Rio do Carmo Montante encontro Gualaxo	7.754.499	702.082	12/15 a 03/16	Gorceix	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos
29	RDC-25	Ponte do Rio Carmo	7.755.131	703.132	11/15 a 12/16	Limnos	Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais
30	MG-07	Rio do Carmo Jusante encontro Gualaxo	7.755.662	703.222	12/15 a 03/16	Gorceix	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos
31	TUR-68	Barra Longa	7.755.986	705.477	11/15 a 11/15	Samarco	Turbidez
32	RDC-22	Barra Longa Jusante	7.755.986	705.477	11/15 a 12/16	Limnos	Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais
33	MG-09	Barra Longa Jusante	7.757.273	709.374	12/15 a 03/16	Gorceix	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos



Tabela 4.13 (continuação) – Principais informações referentes à rede de monitoramento mantida pela SAMARCO na bacia do rio Doce logo após o evento de ruptura da Barragem do Fundão.

Índice	Código	Descrição	UTM SIRGAS 2000 23S		Período de Dados	Laboratório	Variáveis de Interesse Monitoradas
			Norte (m)	Leste (m)			
34	TUR-19	Ribeirão do Carmo	7.756.257	717.267	11/15 a 12/16	Samarco	Turbidez
35	RDC-131	Rio do Carmo Margem Esquerda	7.756.378	717.604	09/16 a 09/16	Tomnasi	Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais
36	RDC-129	Rio do Carmo Centro	7.756.357	717.602	09/16 a 09/16	Tomnasi	Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais
37	RDC-132	Rio do Carmo Margem Direita	7.756.339	717.603	09/16 a 09/16	Tomnasi	Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais
38	AFL-06	Piranga Montante	7.744.747	718.948	12/15 a 11/16	Merieux	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais
39	AFL-09	Córrego de Santarém	7.744.790	718.942	12/15 a 12/15	SGSGeosol	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Sólidos Suspensos
40	TUR-29	Rio Piranga	7.754.224	719.943	11/15 a 12/16	Samarco	Turbidez
41	RDC-82	Rio Doce Montante	7.758.867	718.093	11/15 a 12/16	Limnos	Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais
42	TUR-24	Rio Doce	7.759.647	720.898	11/15 a 12/16	Samarco	Turbidez
43	RDC-80	Rio Doce Jusante	7.759.673	720.925	11/15 a 12/16	Limnos	Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais
44	CAN-06	Montante ao Lago UHE Candonga	7.760.394	720.964	08/16 a 12/16	Merieux	Turbidez, Sólidos Suspensos
45	CAN-09	Montante ao Lago UHE teste	7.762.299	721.375	08/16 a 08/16	Merieux	Sólidos Suspensos
46	CAN-07	Entrada setor 4	7.764.440	721.584	08/16 a 12/16	Merieux	Sólidos Suspensos
47	CAN-08	Saída Setor 4	7.764.629	721.846	08/16 a 12/16	Merieux	Sólidos Suspensos
48	CAN-05	Jusante Setor 4	7.764.765	722.742	08/16 a 12/16	Merieux	Sólidos Suspensos
49	TUR-14	Montante UHE Candonga	7.764.870	723.085	12/15 a 12/16	Samarco	Turbidez
50	RDC-78	Barragem UHE Candonga	7.765.035	723.405	11/15 a 12/15	Limnos	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais
51	CAN-02	Montante UHE Candonga 2	7.764.596	723.611	06/16 a 12/16	Samarco	Turbidez, Sólidos Suspensos
52	CAN-03	Jusante UHE Candonga 2	7.763.975	724.552	06/16 a 12/16	Samarco	Turbidez, Sólidos Suspensos
53	TUR-12	Jusante UHE Candonga	7.764.868	726.530	12/15 a 12/16	Samarco	Turbidez
54	MG-15	Sem-Peixe	7.780.022	732.751	12/15 a 03/16	Gorceix	Turbidez
55	TUR-33	Sem-Peixe	7.785.144	735.832	11/15 a 12/16	Samarco	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Sólidos Suspensos
56	CAN-01	Sem-Peixe 2	7.785.361	735.995	06/16 a 12/16	Samarco	Turbidez
57	AFL-01	Rio do Carmo 1 Montante	7.769.785	677.943	12/15 a 11/16	Merieux	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais



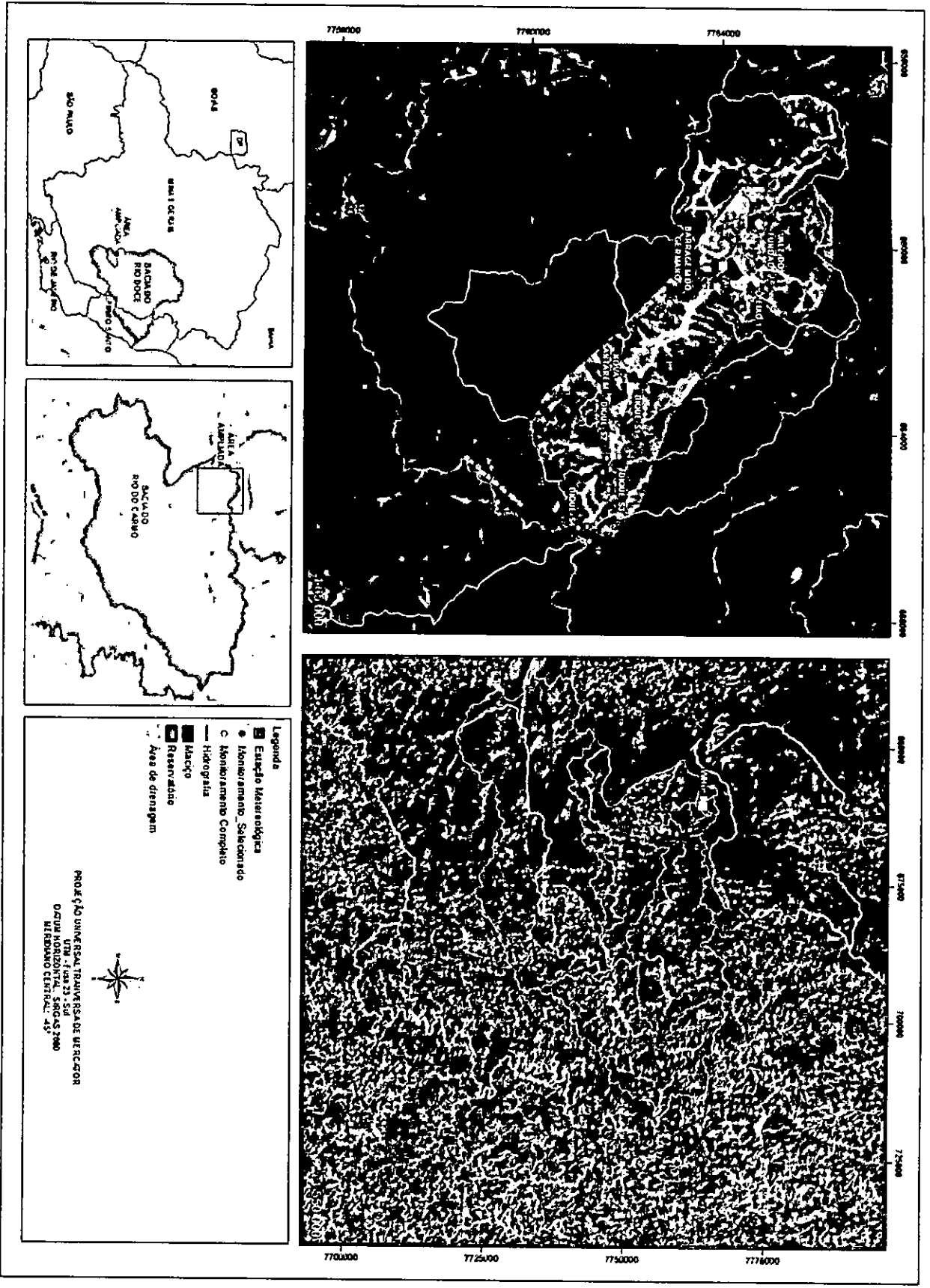
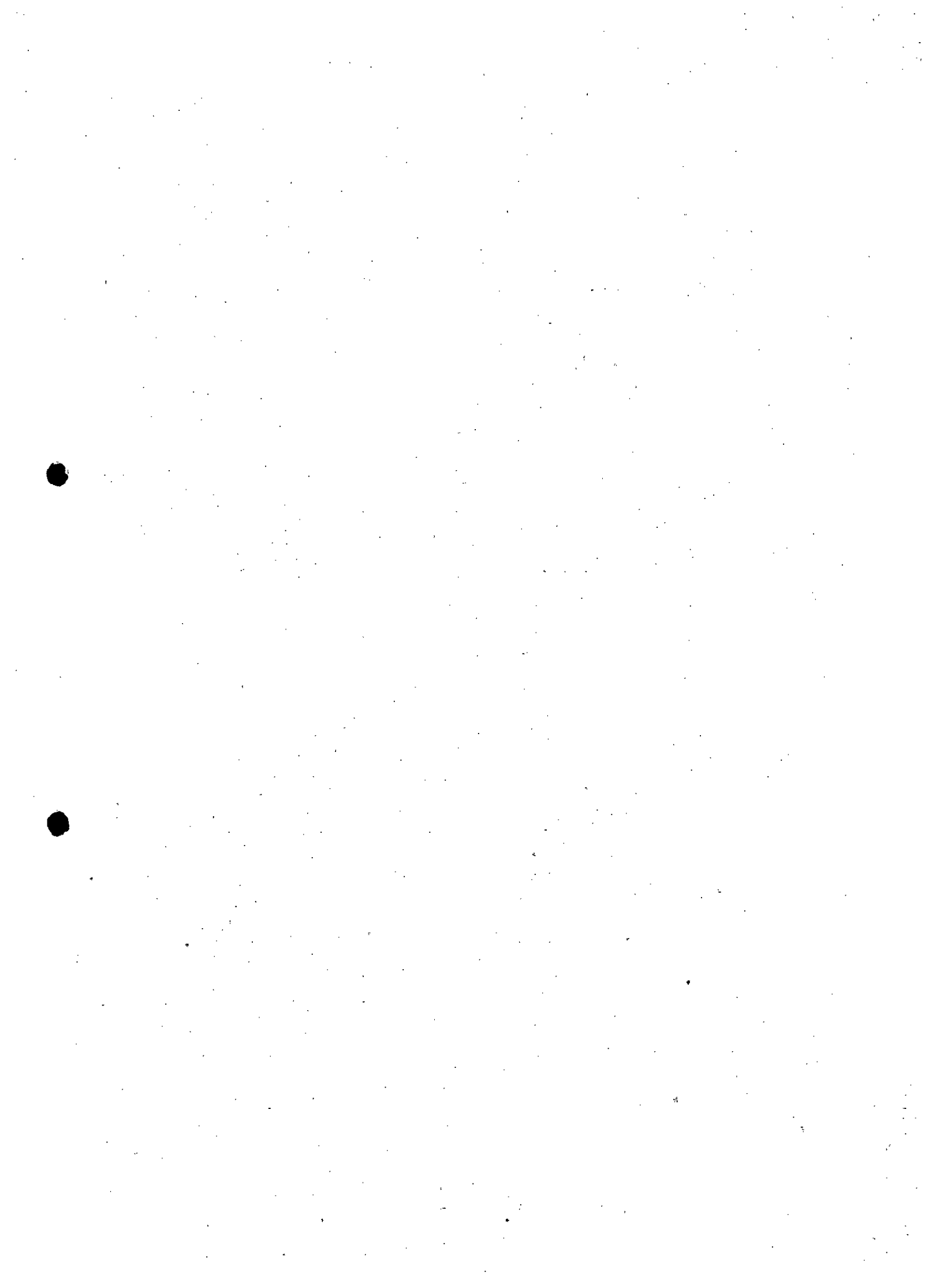


Figura 4.32 – Espacialização da rede de monitoramento complementar implantada pela SAMARCO em dezembro de 2016 na bacia do rio do Carmo.

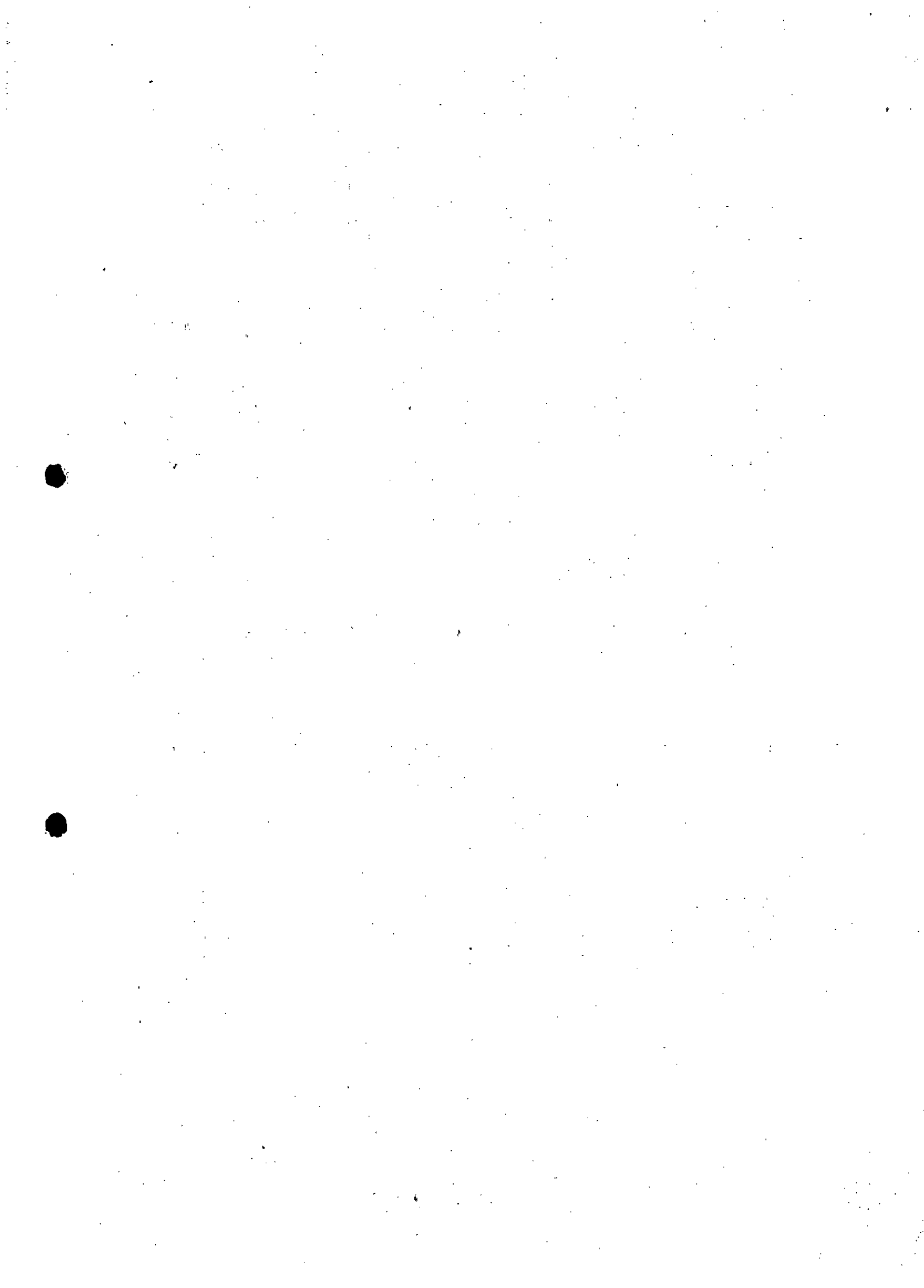


**Tabela 4.14 – Informações referentes à rede de monitoramento complementar implantada pela SAMARCO em dezembro de 2016 na bacia do rio do Carmo.**

Código	Descrição	Curso de Água	Coordenadas UTM SIRGAS 2000		Período de Dados	Frequência de Coleta	Responsável
			Norte (m)	Leste (m)			
ST00	Lago Dique Eixo 1	Santarém	7.764.678	660.750	26/12/16 a 27/01/17	Diária	SAMARCO
ST01	Jusante Nova Santarém (Vertedouro)	Santarém	7.762.041	662.886			
ST02	Antigo Dique S2	Santarém	7.761.763	663.702			
ST02	Eixo Dique S3 (Montante )	Santarém	7.761.623	664.744			
ST03	Jusante Dique S3	Santarém	7.761.482	664.817			
ST04	Jusante Dique S4	Santarém	7.761.099	665.893			
GDN01	GN Ponte Sentido Bento Rodrigues	Gualaxo do Norte	7.757.140	663.786			
GDN02	GN montante confluência	Gualaxo do Norte	7.760.852	665.953			
GDN03	GN jusante confluência (captação)	Gualaxo do Norte	7.761.197	666.250			
C01	Rio do Carmo em Acaiaca	Rio do Carmo	7.748.970	697.026			

**Tabela 4.15 – Informações referentes à rede de monitoramento complementar implantada pela SAMARCO em dezembro de 2016 na bacia do rio Gualaxo do Norte, para análise granulométrica do material de fundo.**

Ponto de Referência	Descrição	Curso de Água	Coordenadas UTM SIRGAS 2000		Número de Campanhas	Responsável
			Norte (m)	Leste (m)		
ST00	Lago Dique Eixo 1	Santarém	7.764.671	660.733	4	SAMARCO
ST01	Nova Santarém	Santarém	7.762.034	662.874	1	
ST02	Jusante Dique S2	Santarém	7.761.760	663.704	3	
ST03	Eixo Dique S3	Santarém	7.761.667	664.740	3	
ST04	Jusante Dique S3	Santarém	7.761.390	664.860	3	
ST05	Jusante Dique S4	Santarém	7.761.125	665.874	3	
GDN01	GN Ponte Camargos	Gualaxo do Norte	7.757.137	663.777	4	
GDN02	GN montante confluência	Gualaxo do Norte	7.760.847	665.941	4	
GDN03	GN jusante confluência (captação)	Gualaxo do Norte	7.761.201	666.250	3	
C01	Rio do Carmo em Acaiaca	Rio do Carmo	7.748.970	697.026	3	



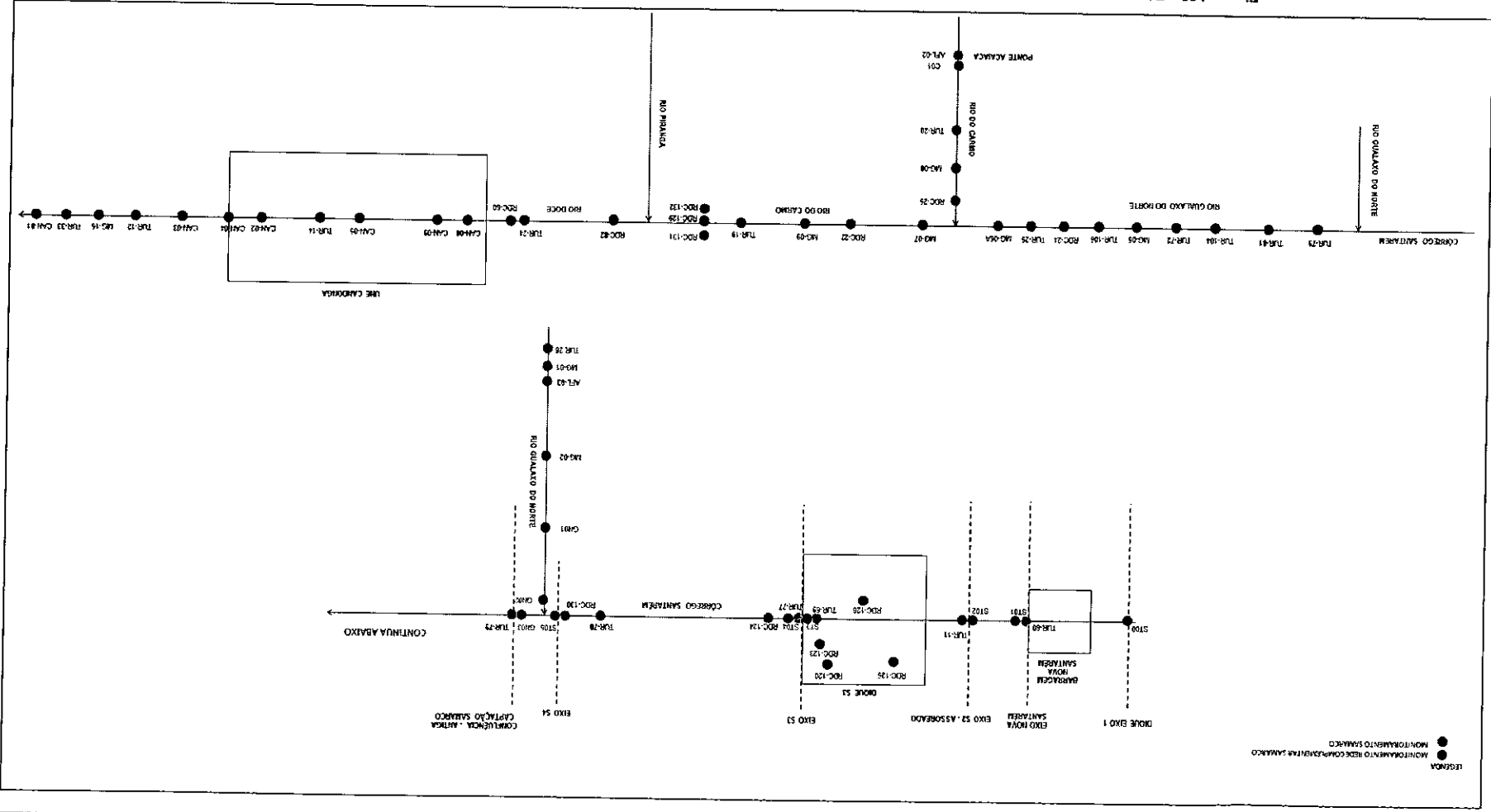
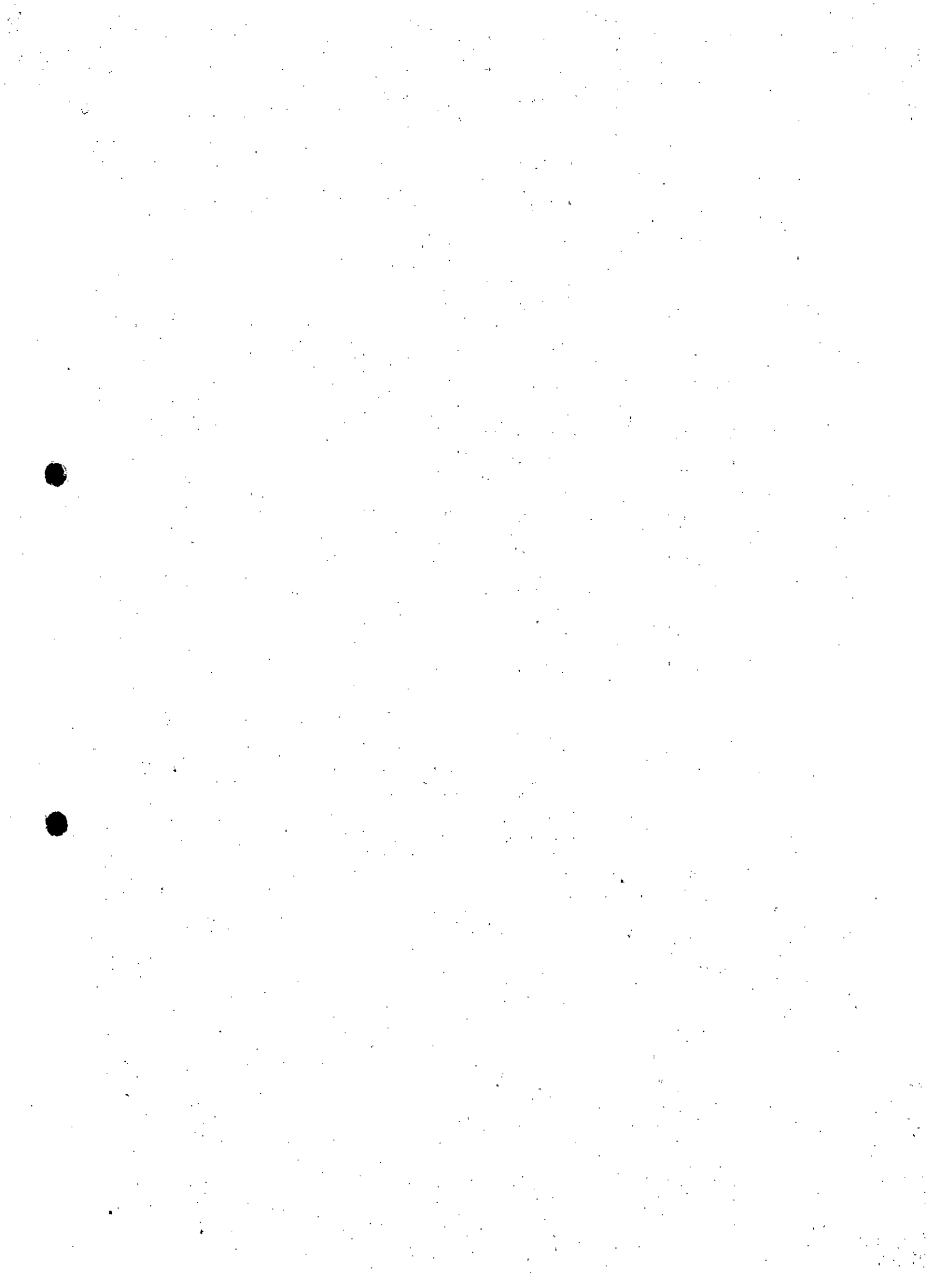


Figura 4.33 – Diagrama unifilar da rede de monitoramento mantida pela SAMARCO na bacia do rio Doce após o evento de ruptura da Barragem do Fundão.



O processo de coleta de amostras e análise laboratorial da SAMARCO para análise de turbidez e sólidos em suspensão envolve basicamente:

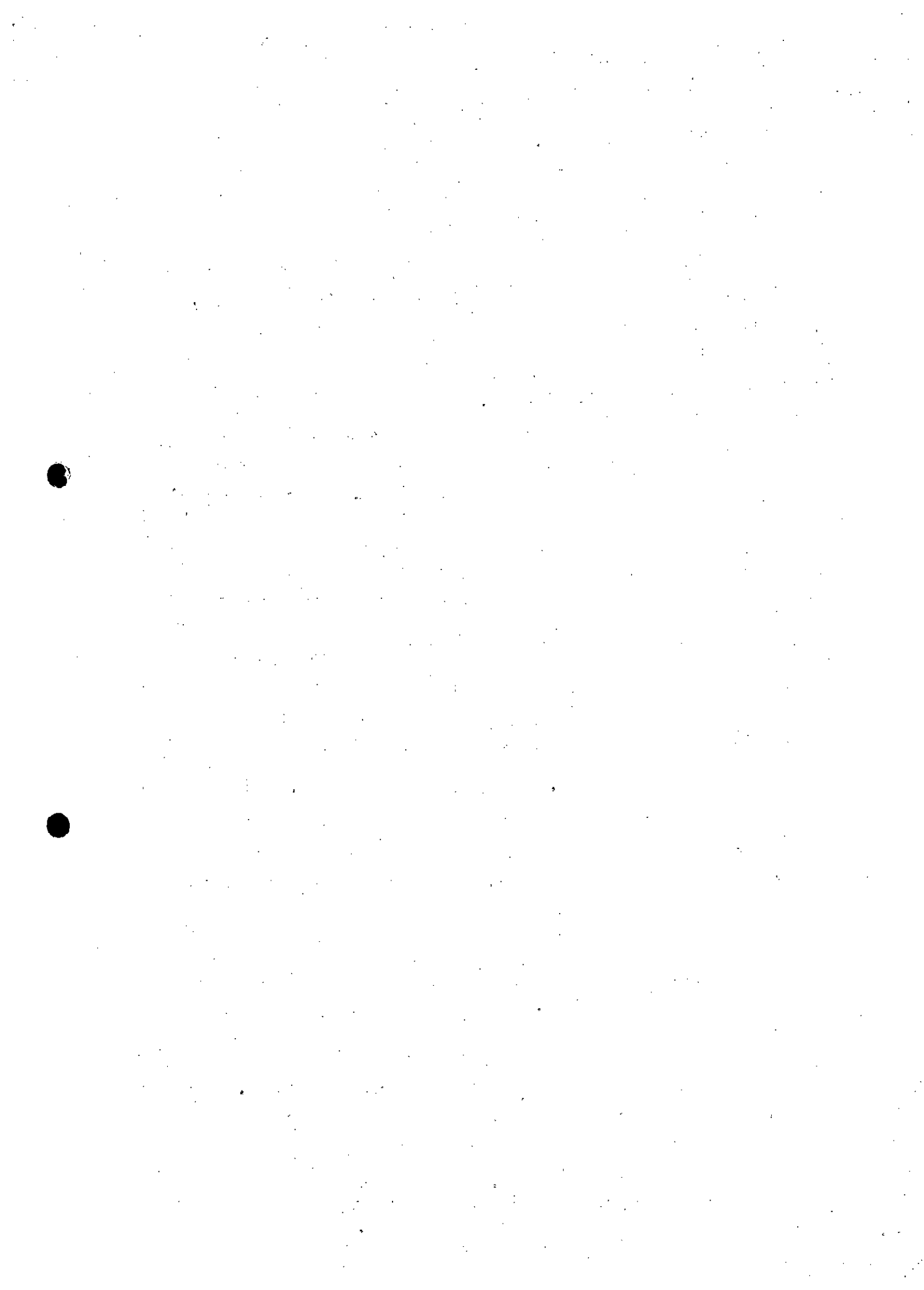
- Emprego de amostrador de braço retrátil, comumente utilizado em locais de difícil acesso para coleta das amostras de água. Este amostrador, ilustrado na Foto 4.29, permite que o local desejado para coleta seja alcançado, mesmo que o observador permaneça na margem do curso de água.

O copo coletor utilizado é constituído de material acrílico, liso e polido para evitar incrustações. As amostras são coletadas o mais distante das margens possível (Foto 4.30), em local onde o fluxo de água demonstra maior velocidade de escoamento (visual), correspondendo, dessa forma e sempre que possível, à calha principal ou ao canal preferencial do escoamento. A primeira coleta é sempre descartada.

- Utilização de frascos de plástico de 500 mL, novos ou devidamente lavados e descontaminados, etiquetas/rótulos para identificação das amostras e luvas para manuseio dos mesmos. Cada frasco é preenchido com a amostra coletada pelo procedimento acima descrito, sendo armazenada no frasco e identificada, em rótulo com o nome do local, horário e data da coleta. Os frascos são posicionados em frente ao local de coleta para serem devidamente fotografados, conforme indicado na Foto 4.31. Posteriormente são acondicionados em caixa de isopor para serem conduzidos aos respectivos laboratórios de análise.
- No laboratório de análise do parâmetro de turbidez (laboratório de controle de processos), as amostras coletadas são posicionadas de acordo com sua localização na bacia, ou seja, seguindo a sequência de montante para jusante dos cursos de água a serem analisados, sendo fotografadas em conjunto, conforme ilustrado na Foto 4.32.

O equipamento utilizado na análise consiste em um Turbidímetro Portátil, modelo DM-TU Digimed, NCM 9027.50.90, constituído de 3 Cubetas com Padrões Formazina Estabilizada (10, 100 e 500 NTU), modelo DM-S14E-C (Foto 4.33). Para as análises é empregado o Método ISO7027.

- Posteriormente, as amostras são conduzidas ao laboratório de análises químicas para determinação da concentração de sólidos em suspensão. Para tanto é empregada uma bomba da marca Fisatom modelo 825 T, 230 volts/60Hz/300W, papel milipore AP40 com 4,7 mm de diâmetro e um conjunto de filtração (1 kitazato, 1 filtro com resina porosa e um funil). A Foto 4.34 ilustra os referidos equipamentos.



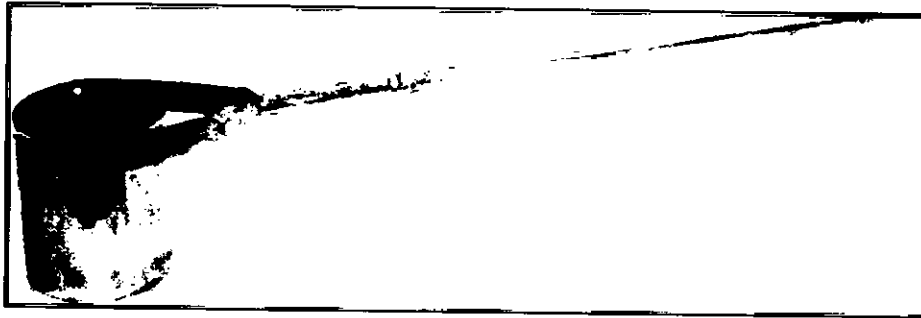


Foto 4.29 – Equipamento utilizado na coleta de amostras para análise de turbidez e sólidos em suspensão.

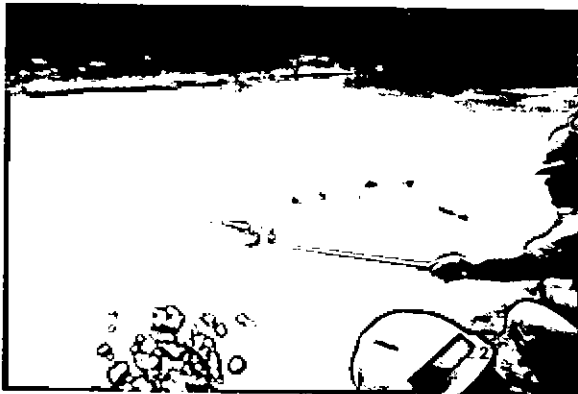


Foto 4.30 – Procedimento de coleta das amostras de água.

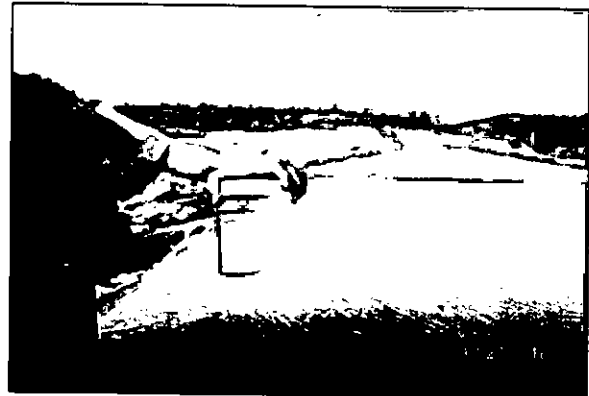


Foto 4.31 – Registro das amostras coletadas *in loco*.



Foto 4.32 – Registro das amostras coletadas em campo para análise do parâmetro de turbidez

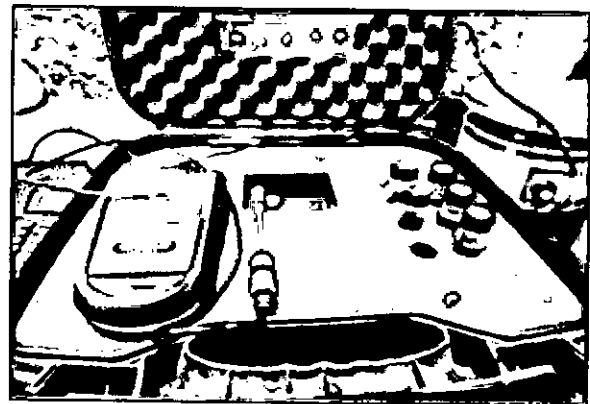


Foto 4.33 – Equipamento utilizado na análise de turbidez.



Foto 4.34 – Equipamentos utilizados na análise da concentração de sólidos em suspensão das amostras.



As coletas para análise granulométrica do material de fundo foram feitas de maneira simplificada, ou seja, o material foi colhido próximo às margens, sendo armazenadas em sacos plásticos e conduzidas ao laboratório para análise. Para tanto foram empregados um agitador de peneiras eletromecânico modelo Ro-tap, para peneiramento até 37  $\mu\text{m}$ , e um analisador de tamanho de partículas por difração a laser modelo Mastersizer microplus MAF5001, para análises abaixo de 37  $\mu\text{m}$ . As Fotos 4.35 a 4.38 ilustram o procedimento de coleta e os equipamentos utilizados em laboratório.

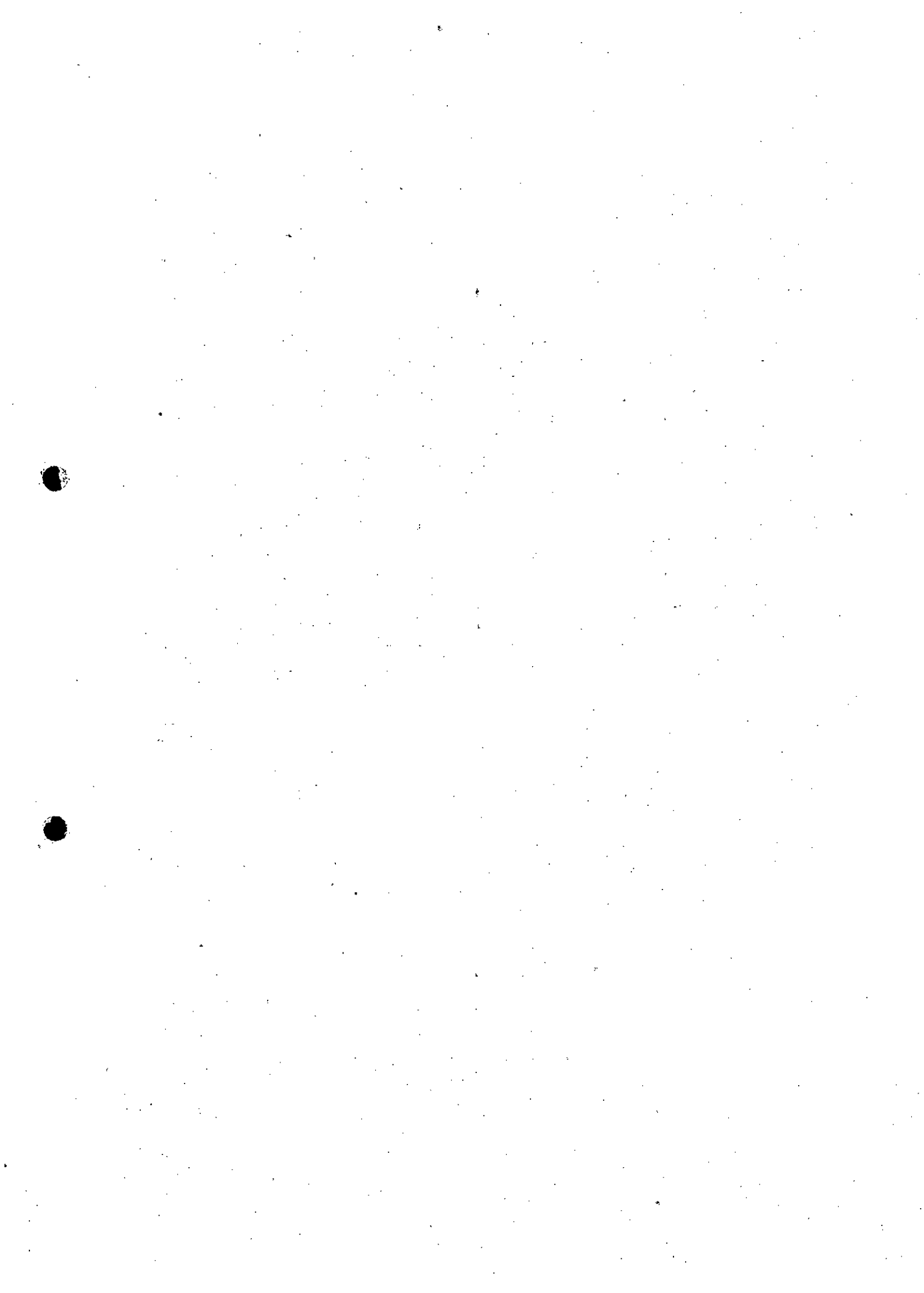


Foto 4.35 e 4.36 – Procedimento de coleta das amostras.



Foto 4.37 e 4.38 - Equipamentos utilizados na análise laboratorial.

Os laboratórios contratados pela SAMARCO são todos devidamente acreditados, de maneira a conferir o aperfeiçoamento dos padrões de ensaio e, principalmente, o reconhecimento oficial e aceitação dos resultados das análises realizadas. Destaque especial merece o laboratório Tommasi, selecionado para realizar amostras juntamente com a equipe da SAMARCO, de forma a validar as coletas feitas diariamente pela empresa.

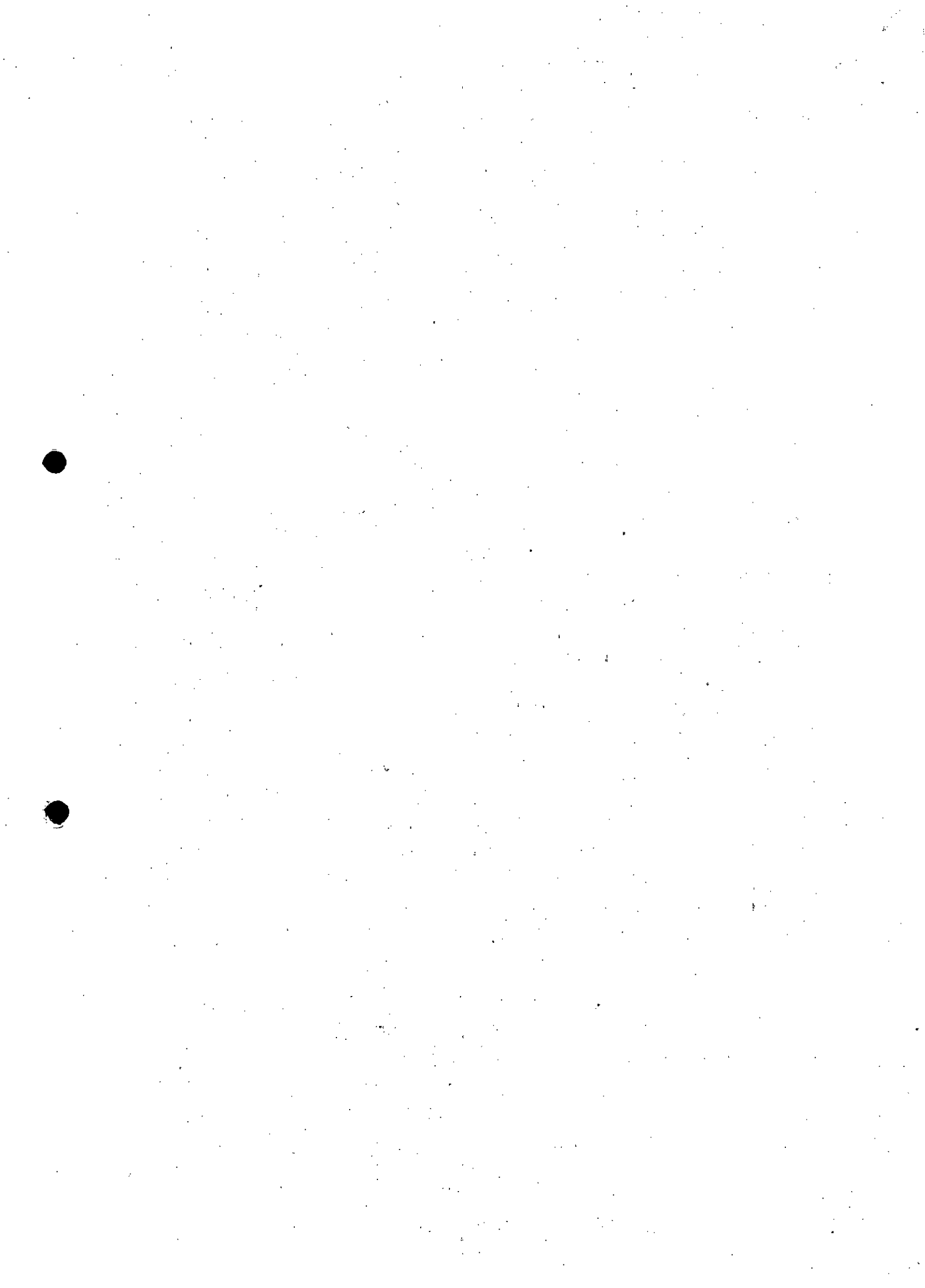


A Tommasi Ambiental é um laboratório de ensaio acreditado pelo Cgcre (Coordenação Geral de Acreditação) do INMETRO, na norma ABNT NBR ISO/IEC 17025, de acordo com o CRL 0442 (Unidade Vila Velha, para amostragem, físico-química, metais, cromatografia e microbiologia) e o CRL 0580 (Unidade Brasília). Nas análises de turbidez realizadas em campo, a Tommasi utilizou o Turbidímetro Hach - 2100Q. Em laboratório foi empregado o Turbidímetro Hach - 2100P.

É importante destacar que, além dos pontos de monitoramento apresentados anteriormente na Tabela 4.13, a SAMARCO mantinha uma rede de coleta de água superficial em cinco pontos localizados ao longo do vale do córrego Santarém, com período de dados anteriores ao evento de ruptura da Barragem do Fundão. A Tabela 4.16 lista as principais informações referentes a esses dados, cuja localização é indicada na Figura 4.34, sendo que apenas os registros dos Pontos 3 e 4 foram utilizados nas análises constantes no Capítulo 6.

**Tabela 4.16** – Informações referentes à rede de monitoramento anterior ao evento de ruptura.

Ponto	Descrição	Coordenadas UTM SIRGAS 2000		Período de Dados
		Norte (m)	Leste (m)	
1	Contribuição da pilha de estéril da Vale	7.764.533	660.905	01/15 a 05/15
2	Bueiro de contribuição ao vale do fundão	7.764.459	660.773	01/15 a 05/15
3	Córrego do Fundão a jusante da barragem homônima	7.764.407	660.856	01/15 a 05/15
4	Córrego de Santarém a jusante da barragem homônima	7.762.032	662.868	01/15 a 07/15
5	Córrego de Santarém a montante do eixo do Dique S3	7.761.737	664.544	01/15 a 07/15



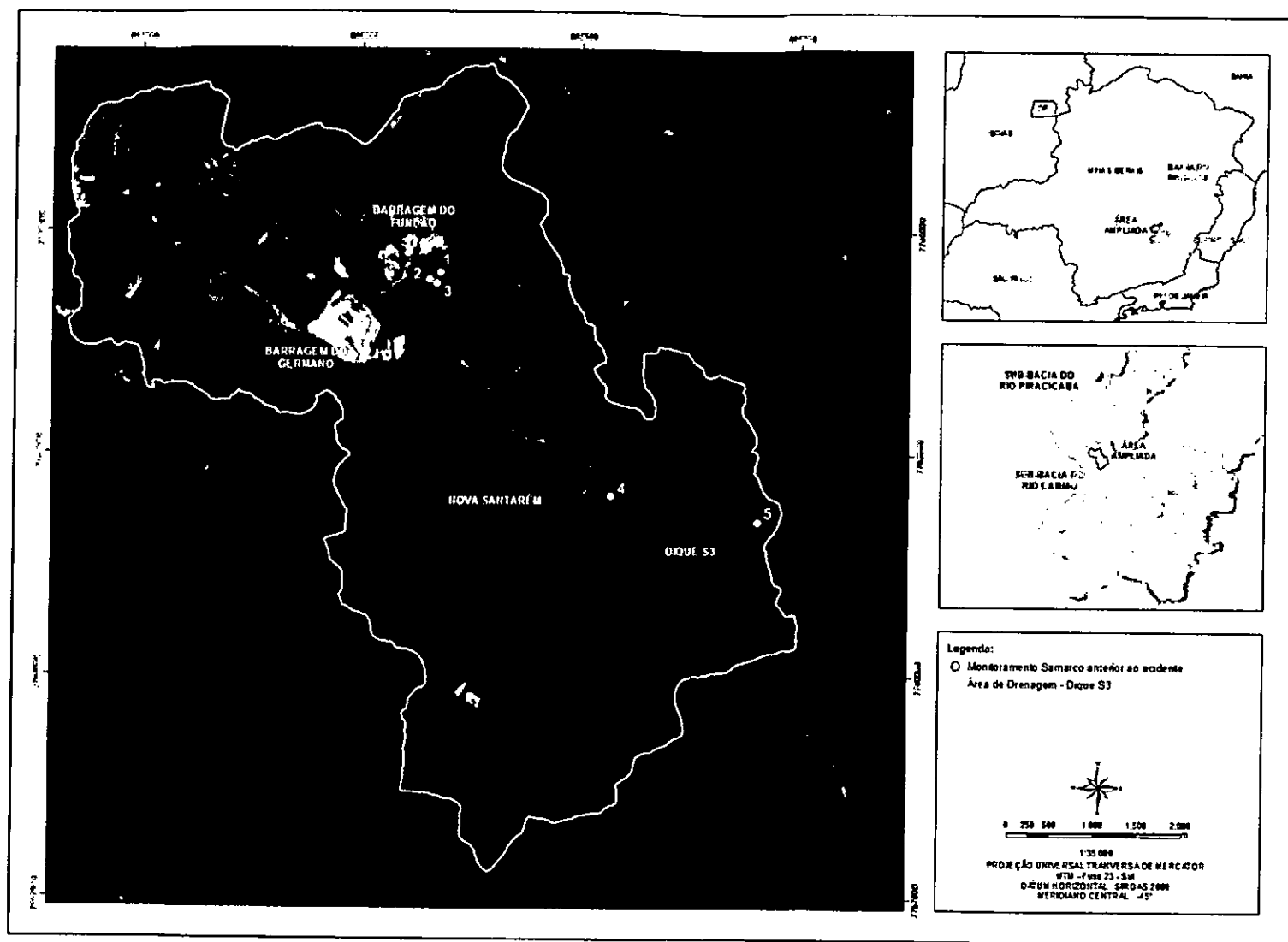
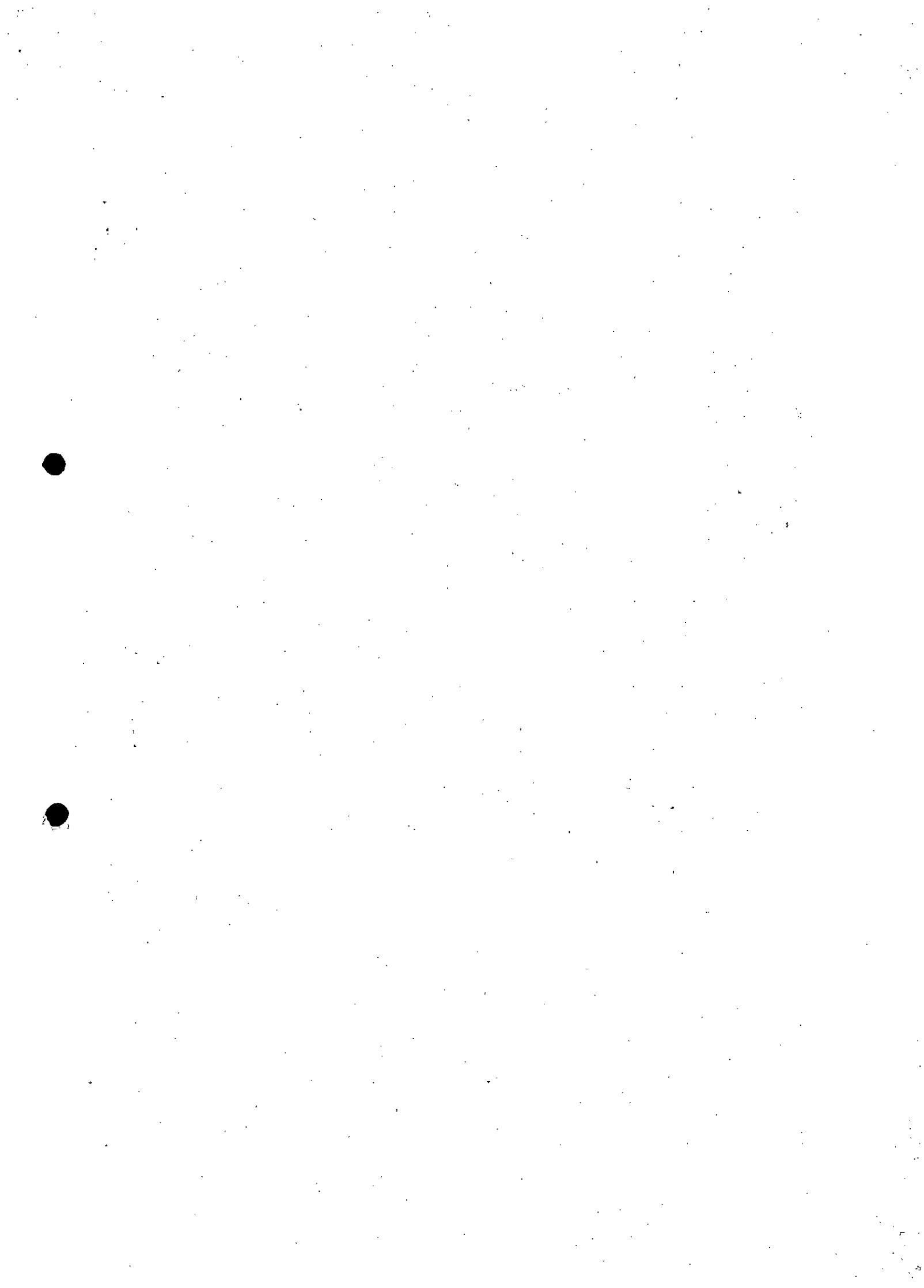


Figura 4.34 – Localização dos pontos de monitoramento mantidos pela SAMARCO na área de interesse anteriormente ao evento de ruptura da Barragem do Fundão.



## 5.0 ESTUDOS BÁSICOS

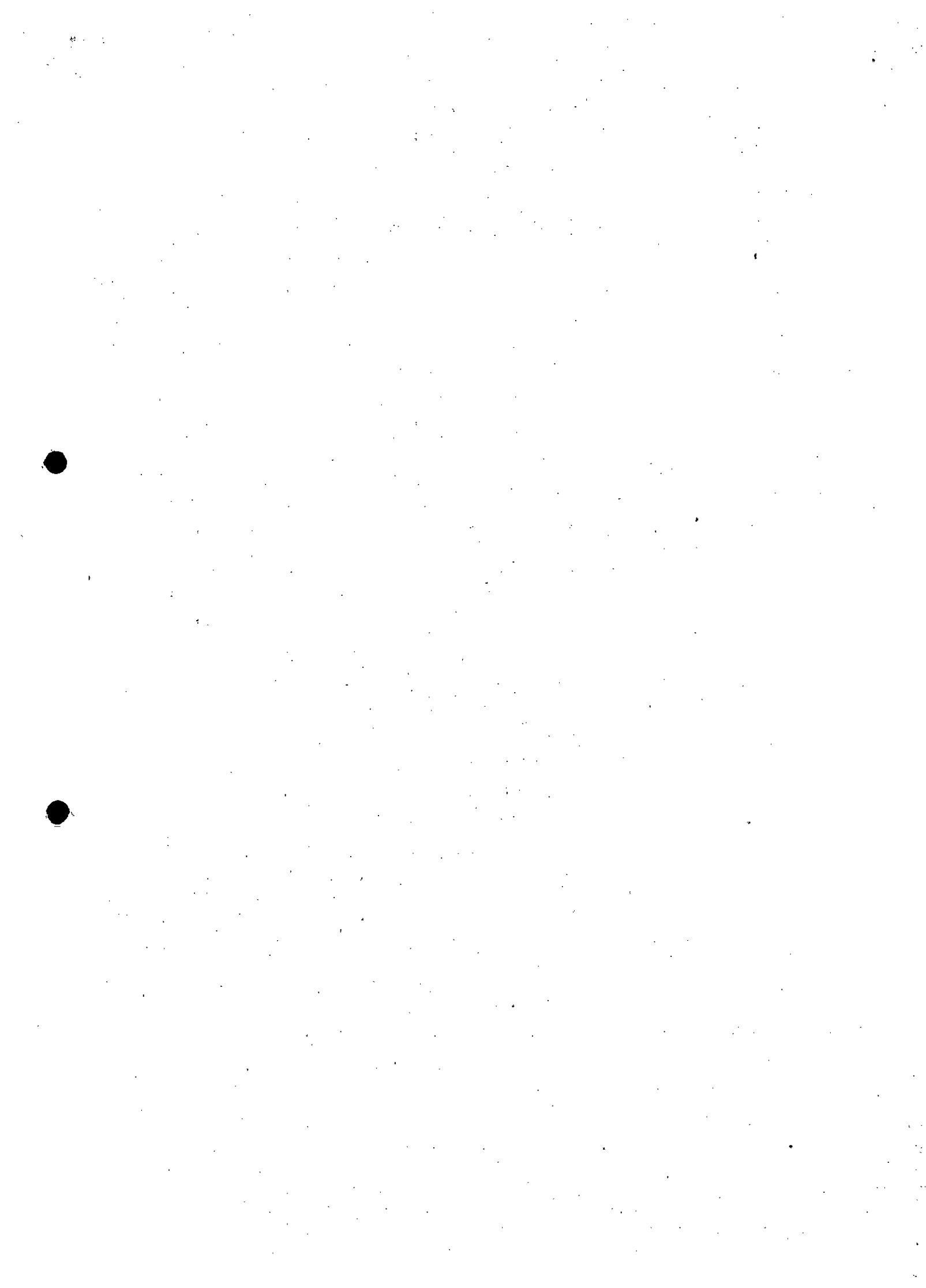
### 5.1 HIDROLOGIA

Para a caracterização do regime hidrológico ou determinação dos indicadores de oferta hídrica da área de interesse, foram selecionadas sub-bacias hidrográficas pertencentes à bacia do rio do Carmo, nos limites da qual foi registrado o rompimento da Barragem de Fundão e ao longo da qual se encontram as estruturas de contenção em análise. Conforme apresentado na Figura 5.1 foram delimitadas doze sub-bacias do rio do Carmo de forma a englobar toda a extensão e limites da ADA (Área Diretamente Afetada), AID (Área de Influência Direta) e AII (Área Indiretamente Afetada) do Complexo Germano, e não da onda de ruptura da Barragem do Fundão.

No âmbito desse trabalho, foram consideradas apenas as ofertas hídricas relacionadas à vazão média de longo termo e à vazão específica de longo termo, variáveis atreladas à avaliação da eficiência de retenção das estruturas implantadas e ao computo da produção de sedimentos naturais nas bacias de contribuição. Os demais indicadores (vazão mínima, curva de permanência e de regularização) não contribuem com as análises ora apresentadas.

Como na maioria das seções fluviais de interesse geralmente não existe monitoramento sistemático de vazões, as ofertas hídricas são determinadas para estações fluviométricas localizadas nas proximidades da área de estudo ou na bacia hidrográfica e posteriormente transferidas aos locais citados, levando-se em conta critérios de regionalização coerentes e pré-estabelecidos. Os dados climatológicos e principalmente os dados pluviométricos, que têm relação direta com os registros fluviométricos, auxiliam e complementam os estudos de regionalização, sempre que possível, além de permitirem caracterizar o clima e o regime de chuvas da área de interesse.

A SAMARCO mantém uma rede de monitoramento hidrométrico de águas superficiais em pontos estratégicos das bacias hidrográficas que drenam a área do empreendimento, composta basicamente por vertedouros fluviométricos e algumas estações linimétricas. Porém o objetivo dessa rede é: (i) monitorar as vazões efluentes das áreas de entorno e de barragens de água, rejeitos e/ou contenção de finos; (ii) acompanhar o regime hidrológico dos cursos de água onde é realizada captação para suprir as demandas do empreendimento; e, principalmente, (iii) avaliar a ocorrência de impacto do rebaixamento de nível de água decorrente da exploração do minério de ferro na área das minas. Apesar do exposto, a espacialização dessa rede está concentrada no entorno imediato do empreendimento e o período de dados disponível e a frequência de leitura/medição não são suficientes para permitir a caracterização completa do regime hidrológico local.



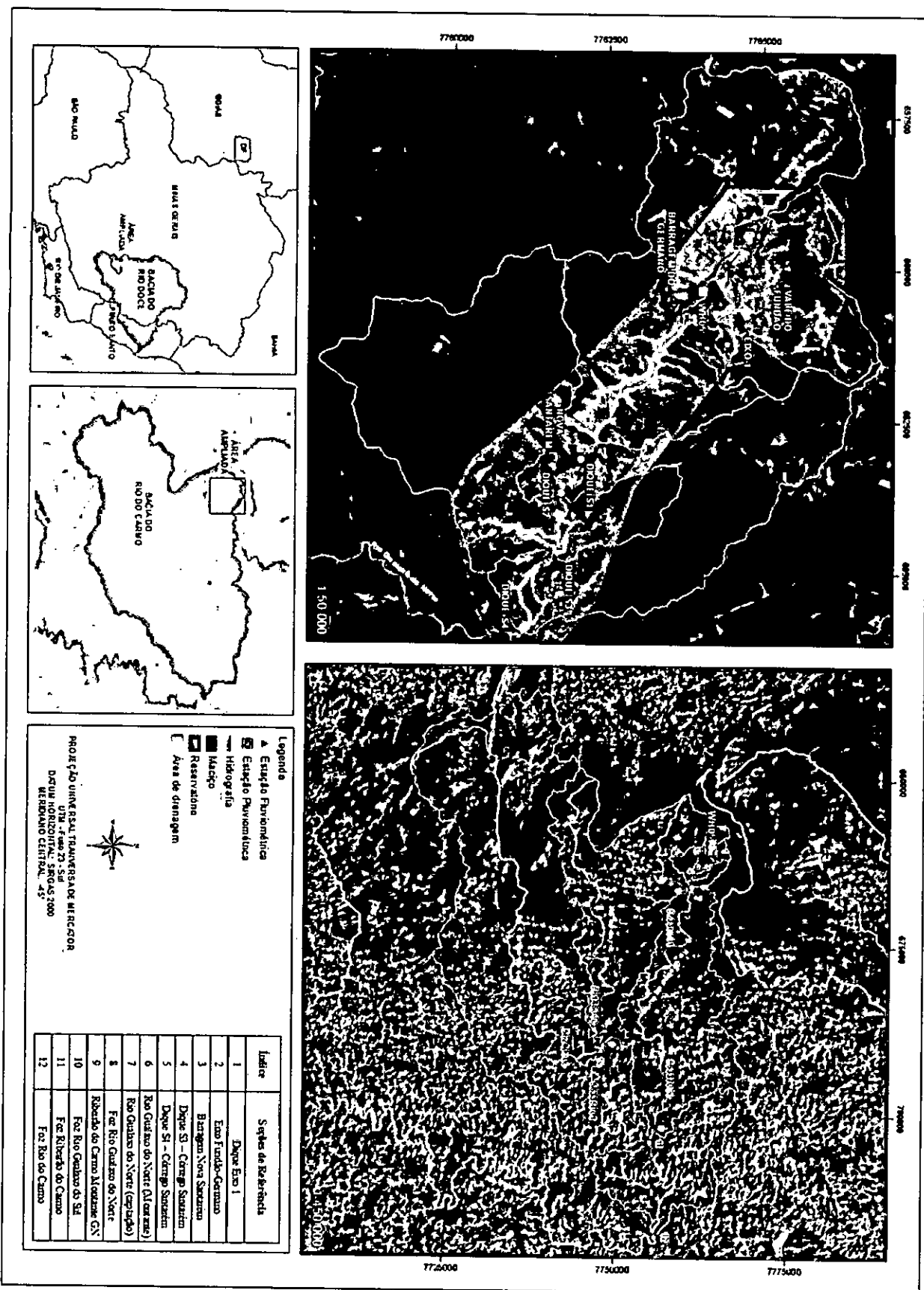


Figura 5.1 – Seções fluviais consideradas como base para caracterização fluviométrica da bacia hidrográfica do rio do Carmo, incluindo indicação das estações fluviométricas selecionadas como base para caracterização do regime hidrológico.



Nesse contexto, foram inventariadas a partir da rede de monitoramento da Agência Nacional de Águas (ANA, 2016), todas as estações fluviométricas que pudessem ser utilizadas para representar o comportamento hidrológico dos cursos de água da região. A partir dessa pesquisa, foram selecionadas as estações indicadas na Figura 2.1, cujos registros disponíveis foram submetidos a uma avaliação geral de consistência e, posteriormente, ao processo de homogeneização, de modo a se obter um período comum de dados e o mais extenso possível. Como resultado desse trabalho foi possível obter séries de vazões médias mensais homogeneizadas para o período de janeiro de 1931 a dezembro de 2016, cujos indicadores de interesse são sintetizados na Tabela 5.1.

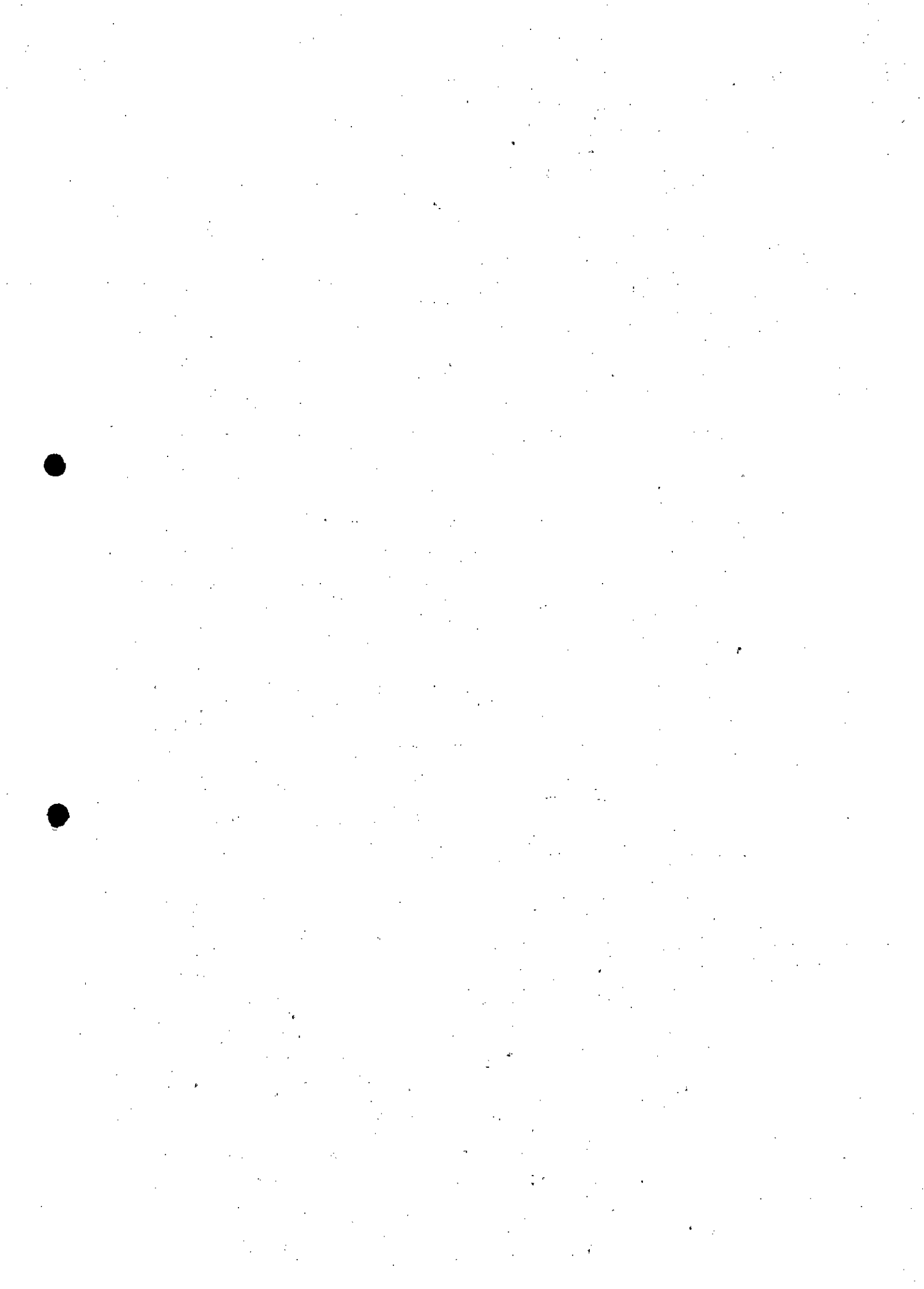
**Tabela 5.1 - Valores de vazão média e específica de longo termo das estações fluviométricas selecionadas como base para caracterização do regime fluviométrico da bacia do rio do Carmo.**

Código	Estação	Curso de Água	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Q <sub>MLT</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ESP</sub> (L/s.km <sup>2</sup> )
56148000	Furquim	Ribeirão do Carmo	304	9,38	30,8
56240000	Fazenda Paraíso	Rio Gualaxo do Sul	857	19,3	22,5
56335001	Acaiaca	Rio do Carmo	1371	32,1	23,4
56336001	Bicas Jusante	R Gualaxo do Norte	196	6,24	31,9
56337000	Fazenda Ocidente	R Gualaxo do Norte	531	12,7	23,8

Os indicadores listados na Tabela 5.1 foram regionalizados para cada uma das sub-bacias indicadas na Figura 5.1, ou seja, os valores de vazão média de longo termo (Q<sub>MLT</sub>) de cada seção fluvial de interesse foram determinados a partir dos valores de área de drenagem correspondentes e da vazão específica de longo termo (q<sub>MLT ESP</sub>) da estação fluviométrica adotada como base. Os valores obtidos são mostrados na Tabela 5.2.

**Tabela 5.2 - Valores de vazão média e específica de longo termo nas seções fluviais selecionadas como base para caracterização do regime fluviométrico da bacia do rio do Carmo.**

Seção	Seção Fluvial/Curso de Água	Área Drenagem (km <sup>2</sup> )	Estação de Referência	q <sub>MLT ESP</sub> (L/s.km <sup>2</sup> )	Q <sub>M.10 ESP</sub> (L/s.km <sup>2</sup> )	Q <sub>MLT</sub> (m <sup>3</sup> /s)
1	Dique Eixo 1 (córrego do Fundão)	6,20	56336001	31,9	9,34 <sup>(1)</sup>	0,198
2	Eixo Fundão-Germano	15,9	56336001	31,9	9,34 <sup>(1)</sup>	0,507
3	Barragem Nova Santarém	22,2	56336001	31,9	9,34 <sup>(1)</sup>	0,707
4	Dique S3 (córrego Santarém)	38,1	56336001	31,9	9,34 <sup>(1)</sup>	1,21
5	Dique S4 (córrego Santarém)	45,6	56336001	31,9	9,34 <sup>(1)</sup>	1,45
6	Rio Gualaxo do Norte (Montante)	122	56336001	31,9	9,34 <sup>(1)</sup>	3,89
7	Rio Gualaxo do Norte (captação)	171	56336001	31,9	9,34 <sup>(1)</sup>	5,45
8	Foz Rio Gualaxo do Norte	600	56337000	23,8	8,39	14,3
9	Rib. do Carmo Montante Gualaxo do Norte	319	56148000 <sup>(1)</sup>	30,8	9,34	9,84
10	Foz Rio Gualaxo do Sul	985	56240000	22,5	7,03	22,2
11	Foz Ribeirão do Carmo	1498	56335001	23,4	7,76	35,0
12	Foz Rio do Carmo	2279	56335001/56337000	23,5	7,94	53,6



A partir das séries de vazões médias mensais homogêneas para cada estação de referência e adimensionalizadas pela respectiva  $Q_{MLT}$ , foi possível determinar as séries de vazões médias mensais para cada uma das seções fluviais de interesse, bastando considerar o valor de  $Q_{MLT}$  indicado na Tabela 5.2. A partir dessas séries foram calculados os valores médios mensais de vazão média, mínima e máxima, utilizados na estimativa do aporte de sedimentos e na análise de cálculo da eficiência de retenção das estruturas de contenção.

Além dos registros de vazão, também foram selecionados para complementar as análises constantes no Capítulo 6, os registros das estações meteorológicas existentes na região. Dentre as cinco estações mantidas pela SAMARCO na área do empreendimento, foi selecionada a estação WH05, situada na área da Barragem do Germano e, portanto, mais próxima do trecho de interesse. Tal estação também apresenta o maior período de registros disponíveis (21/07/2008 a 31/01/2017) e índices de precipitação diária e média mensal coerentes com aqueles registrados na estação pluviométrica Colégio Caraça (02043059), pertencente à rede de monitoramento da ANA. A localização da referida estação (WH05) também é indicada na Figura 5.1. A Tabela 5.3 apresenta uma síntese dos dados dessa estação, comparando-os com os dados da estação Colégio Caraça.

**Tabela 5.3 – Síntese e comparação dos registros de precipitação média mensal da estação WH05 (SAMARCO) e da estação Colégio Caraça (ANA).**

ESTAÇÃO	Precipitação Anual (mm)							
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
WH05	2522	1706	2424	1880	1988	1146	1003	2432
CARAÇA	2364	1382	2534	1227	1673	INCOMPLETO	1365	INCOMPLETO

## 5.2 SEDIMENTOLOGIA

A dinâmica de erosão, transporte e deposição de sedimentos é um fato extremamente complexo para ser analisado, pois envolve um grande número de variáveis na sua geração e evolução. Além disso, há uma grande carência de dados relacionados ao monitoramento desse processo no país. As únicas informações disponíveis provêm das campanhas de medição de material em suspensão, realizadas em algumas estações fluviométricas pertencentes à rede de monitoramento da ANA. No entanto, nessas campanhas não é realizada a coleta e análise de material de fundo e/ou arraste, nem a análise granulométrica de ambos os materiais (suspensão e fundo), impossibilitando muitas vezes a caracterização sedimentométrica completa dos cursos de água e sua aplicação em diversos ramos de estudos.



Atualmente, os empreendedores de algumas usinas hidrelétricas têm instalado e mantido estações fluviossedimentométricas, por exigência dos órgãos de controle (ANA e ANEEL), para monitorar o aporte de sedimentos aos reservatórios dessas estruturas e acompanhar o eventual processo de assoreamento dos mesmos. Porém, infelizmente nos limites da área de abrangência dos estudos não há empreendimentos deste tipo.

Por outro lado, em decorrência do evento de rompimento da Barragem do Fundão, a SAMARCO está monitorando, ainda de maneira pontual, as descargas sólidas decorrentes da área de contribuição de suas estruturas e atividades, conforme indicado no Capítulo 4. Paralelamente, a empresa está trabalhando nos estudos, especificação e implantação de uma rede de monitoramento sedimentométrica que possa abranger toda a área de interesse e seja capaz de representar todas as contribuições associadas. Os dados obtidos por meio desse controle permitirão, futuramente, caracterizar de forma mais eficaz o regime hidrossedimentológico da região e cursos de água que drenam a área do empreendimento.

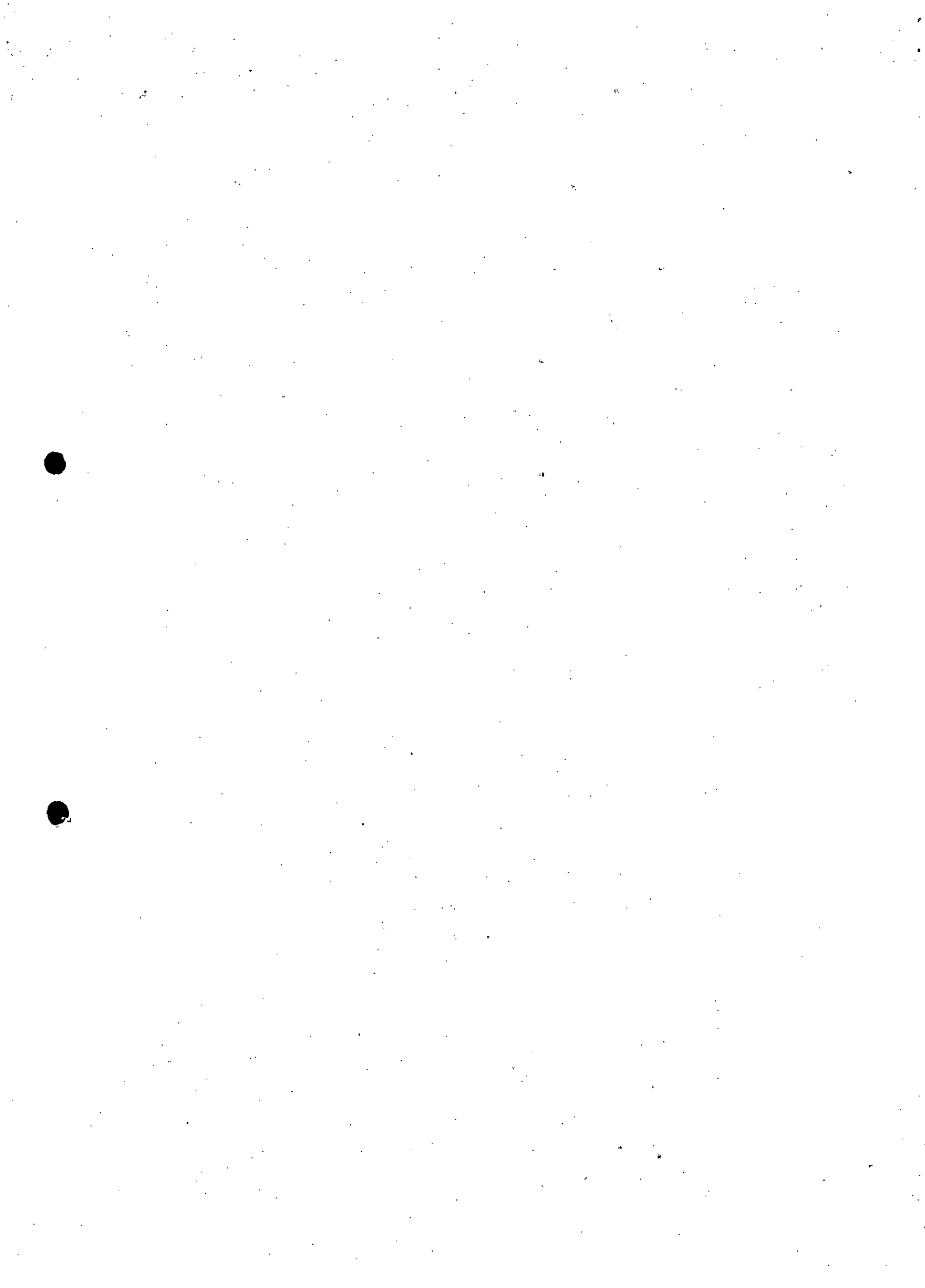
Diante desse cenário de disponibilidade de dados, foram utilizadas informações regionais e os dados das estações fluviossedimentométricas da ANA para caracterizar, de forma abrangente, o comportamento sedimentométrico dos cursos de água inseridos na área de abrangência dos estudos.

#### 5.2.1.1 Caracterização Regional

De acordo com ELETROBRÁS (1998), estudo que tem como objetivo dar indicações da real situação de um ponto específico dentro da bacia com relação à sua propensão a apresentar problemas de sedimentos, a área de interesse localiza-se na Região Leste (Zona E6).

Essa área, denominada de Zona Mineira, é constituída pela bacia do Alto Rio São Francisco e bacias vizinhas, tanto a leste da Serra do Espinhaço como nas cabeceiras dos rios Doce, Grande e Paranaíba. A região é caracterizada pelo relevo acentuado e vegetação pouco densa, resultante da ação antrópica. Há grande variabilidade na erodibilidade dos solos e da erosividade das chuvas, representando comportamento hidrossedimentológico bastante complexo dos cursos de água.

Esta zona é marcada por altas concentrações médias anuais de sedimentos (CMA) e altas taxas de erosão ou produção específica de sedimentos (PES). A primeira variável assume valores entre 100 e 1200 mg/L, em torno de uma média de 315 mg/L, e a segunda varia de 90,0 a 1500 t/km<sup>2</sup>.ano, com média de 250 t/km<sup>2</sup>.ano para bacias de 5000 km<sup>2</sup> de área de drenagem.



Além dessas informações, são apresentados na citada publicação os valores de CMA e PES para uma estação inserida nos limites da área de estudo, conforme indicado na Tabela 5.4. O número de registros sedimentométricos utilizados para obtenção das informações listadas na citada tabela não é indicado na publicação, mas provavelmente refere-se a um período curto de dados, anterior ao ano de 1986 (data da primeira publicação do estudo).

Por esse motivo, foram utilizados o valor regional médio de CMA (315 mg/L), as vazões médias de longo termo ( $Q_{MLT}$ ) estimadas para cada uma das seções fluviais de interesse (Tabela 5.2) e o valor de 0,10 para a relação DSA/DSS (descarga sólida de arraste/ descarga sólida em suspensão), tal como indicado em ELETROBRÁS (1998); este último para estimar, pelo método regional, os valores de descarga sólida total afluente, indicados na Tabela 5.5 (item seguinte). Tais valores indicam produção de sedimentos máxima da ordem de 535.000 t/ano na bacia do rio do Carmo.

**Tabela 5.4 - CMA e PES regionais da estações fluviossedimentométrica localizada nos limites da área de abrangência dos estudos (ELETROBRÁS, 1998).**

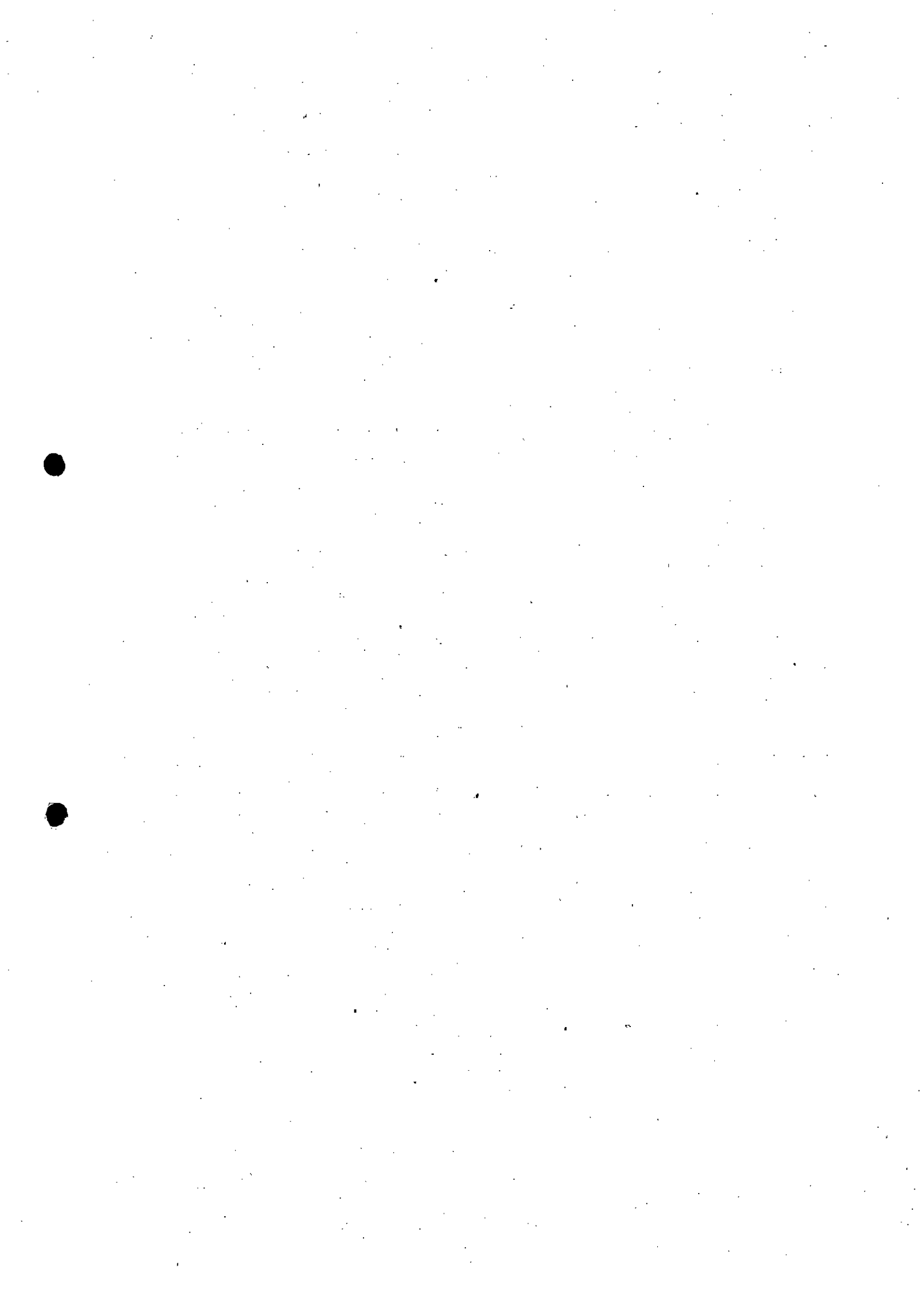
Código	Estação	Curso de Água	CMA (mg/L)	PES (t/km <sup>2</sup> .ano)
56335001	Acaiaca Jusante	Rio do Carmo	337	176

#### 5.2.1.2 Caracterização com Base em Dados Sedimentométricos

A partir do banco de dados da ANA (2016) foi identificada nos limites e/ou entorno da área de abrangência dos estudos apenas a estação fluviométrica do rio do Carmo em Acaiaca Jusante (56335001), cujos dados são mostrados nas Figuras 5.3 e 5.4. Vale ressaltar que a seção fluvial de medição onde se encontra a citada estação não foi influenciada pela onda de ruptura da Barragem do Fundão e, portanto, serve como referência para avaliação do comportamento e capacidade de produção de sedimentos dos cursos de água regionais.

Analisando as citadas figuras pode-se notar que não há uma tendência homogênea e crescente entre os valores de vazão e as respectivas concentrações de sedimentos em suspensão – CSS (Figura 5.3), nem tampouco o atendimento aos limites de padrão de qualidade requisitados pelo COPAM 01/2008 para rios de Classe 2, como é o caso do rio do Carmo (Figura 5.4).

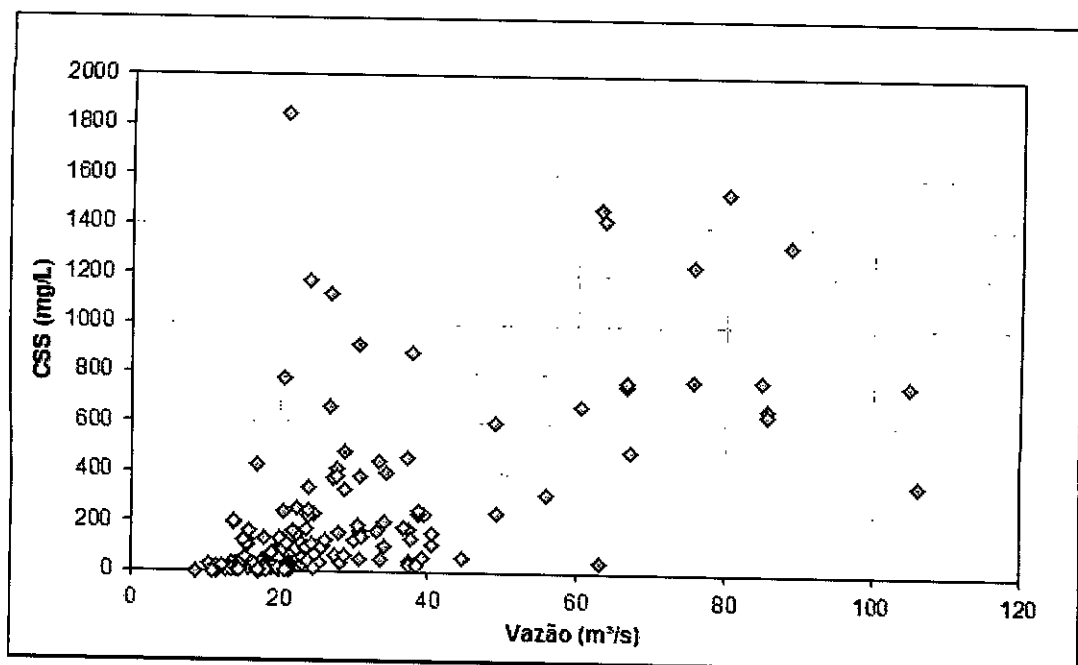
Ou seja, os valores de sólidos em suspensão monitorados em Acaiaca (Figura 5.4) deveriam ser iguais ou estar sempre abaixo do limite legal de 100 mg/L, correspondente ao enquadramento em Classe 2. No entanto, dos 152 registros disponíveis, 20% registrados no período seco e 31% monitorados no período chuvoso estão acima do limite legal. Dessa forma, pode-se concluir que



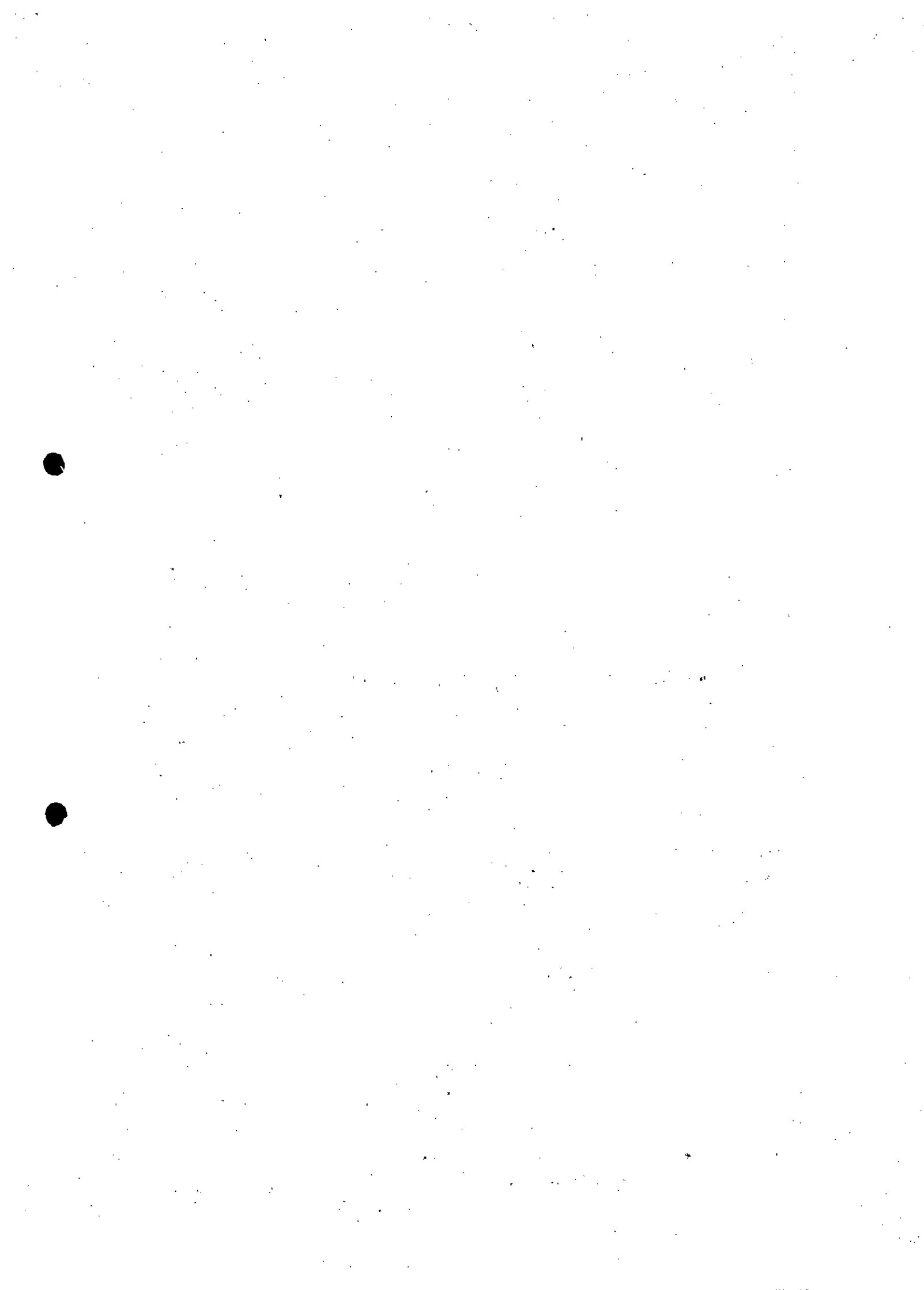
não só apenas durante a ocorrência de chuvas na bacia, com potencial de carreamento de material sólido para os cursos de água, é que os índices de sólidos em suspensão e, conseqüentemente de turbidez, são afetados. Outras ações, não mapeadas, também influenciam a alteração dos parâmetros de qualidade das águas ao longo de todo o ano.

Diante da disponibilidade de dados citada, foi possível estimar a descarga sólida total afluyente à seção do rio do Carmo em Acaiaca pela aplicação do método de Colby, descrito detalhadamente em Carvalho (2008). Esse método, que se baseia nas formulações do método modificado de Einsten, foi escolhido em função da disponibilidade apenas de descargas sólidas em suspensão. A Figura 5.5 mostra a relação entre as descargas líquidas e as descargas sólidas totais resultantes da aplicação do método descrito anteriormente.

Utilizando a série de vazões médias mensais homogeneizadas para a estação Acaiaca Jusante, mas referentes apenas ao período de dados sedimentométricos disponíveis 07/1976 a 05/2016, bem como a equação decorrente do ajuste matemático aos dados de descarga sólida total (Figura 5.5), foi estimado o valor de 508.800 t/ano de sedimentos afluentes, correspondente ao valor de produção específica de sedimentos de 371 t/km<sup>2</sup>.ano.



**Figura 5.3** – Relação entre os valores de vazão e descarga sólida em suspensão do rio do Carmo em Acaiaca (56335001).



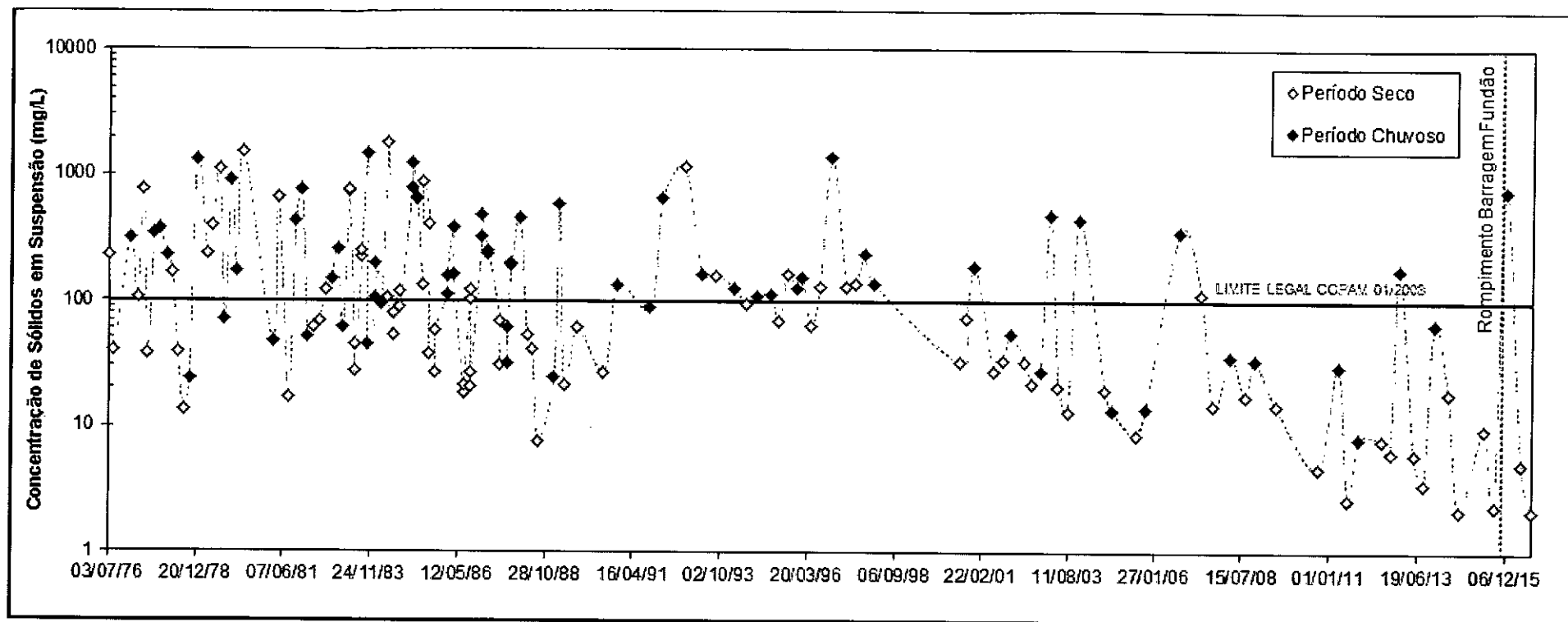
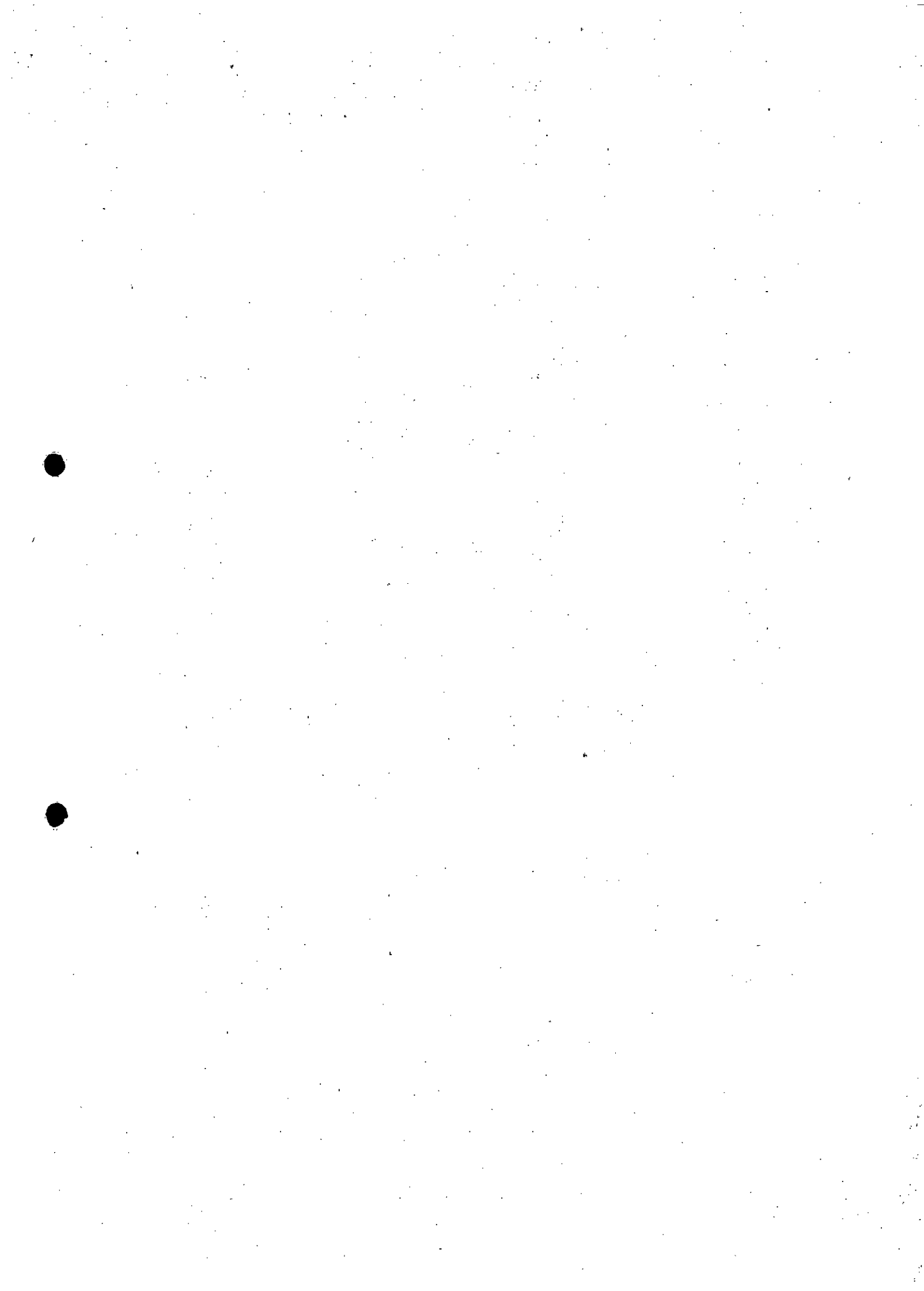


Figura 5.4 – Registros descarga sólida em suspensão (CSS) do rio do Carmo em Acaiaca (56335001).



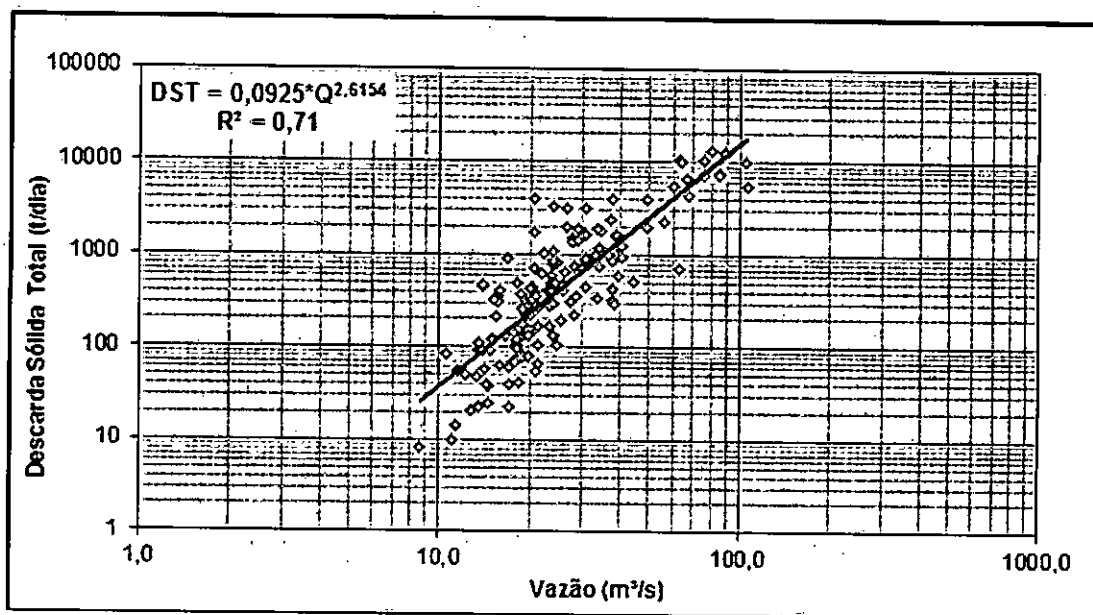
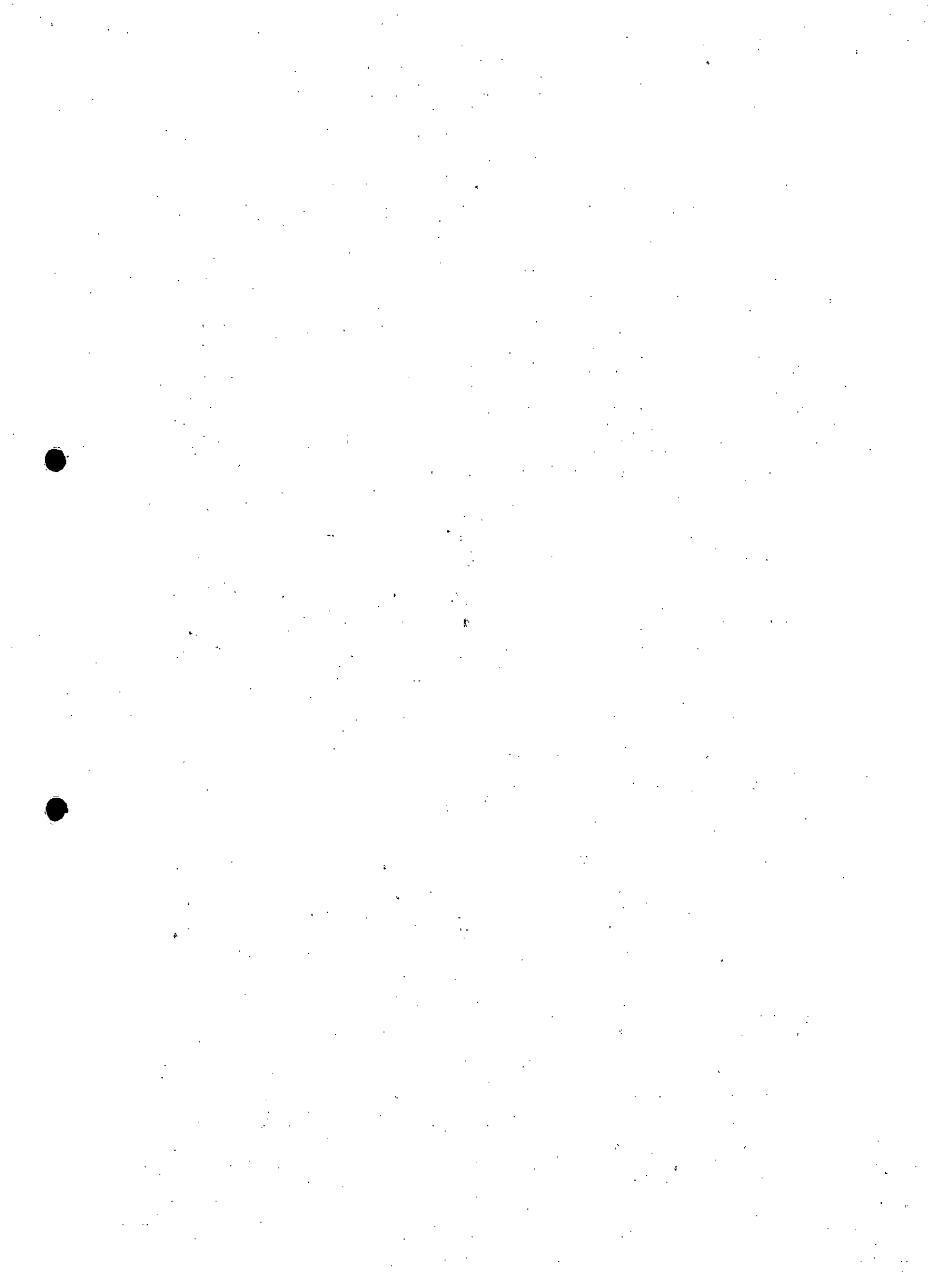


Figura 5.5 - Curva-chave de sedimentos totais e do rio do Carmo em Acaiaca Jusante (56335001).

O valor obtido (371 t/km<sup>2</sup>.ano) é bastante coerente com a faixa de valores indicados pelos estudos regionais (ELETROBRÁS, 1998), citados no item 5.2.1.1 (90,0 a 1500 t/km<sup>2</sup>.ano), porém, significativamente diferente do valor indicado na Tabela 5.4 (176 t/km<sup>2</sup>.ano), provavelmente em decorrência do período de dados utilizados. Independente disto, o valor estimado para a estação Acaiaca Jusante pelos dados disponíveis foi regionalizado para cada uma das seções de interesse (Figura 2.1). Os resultados obtidos, mostrados na Tabela 5.5, indicam produção de sedimentos máxima da ordem de 860.000 t/ano na bacia do rio do Carmo.

Tabela 5.5 - Estimativa da descarga sólida total afluyente ao eixo das seções de referência.

Índice	Seções de Referência	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Descarga Sólida Total (t/ano) Método: Regional	Descarga Sólida Total (t/ano) Método: Estação
1	Dique Eixo 1	4,78	1.966	1.775
2	Eixo Fundão-Germano	15,8	5.041	5.875
3	Barragem Nova Santarém	21,5	7.038	7.984
4	Dique S3 – Córrego Santarém	37,6	12.079	13.963
5	Dique S4 – Córrego Santarém	47,0	14.457	17.454
6	Rio Gualaxo do Norte (Montante)	123	38.678	45.678
7	Rio Gualaxo do Norte (captação)	171	54.212	63.503
8	Foz Rio Gualaxo do Norte	566	142.361	210.191
9	Ribeirão do Carmo Montante GN	321	97.893	119.207
10	Foz Rio Gualaxo do Sul	998	220.487	370.619
11	Foz Ribeirão do Carmo	1498	348.652	556.300
12	Foz Rio do Carmo	2305	533.375	855.990



### 5.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS

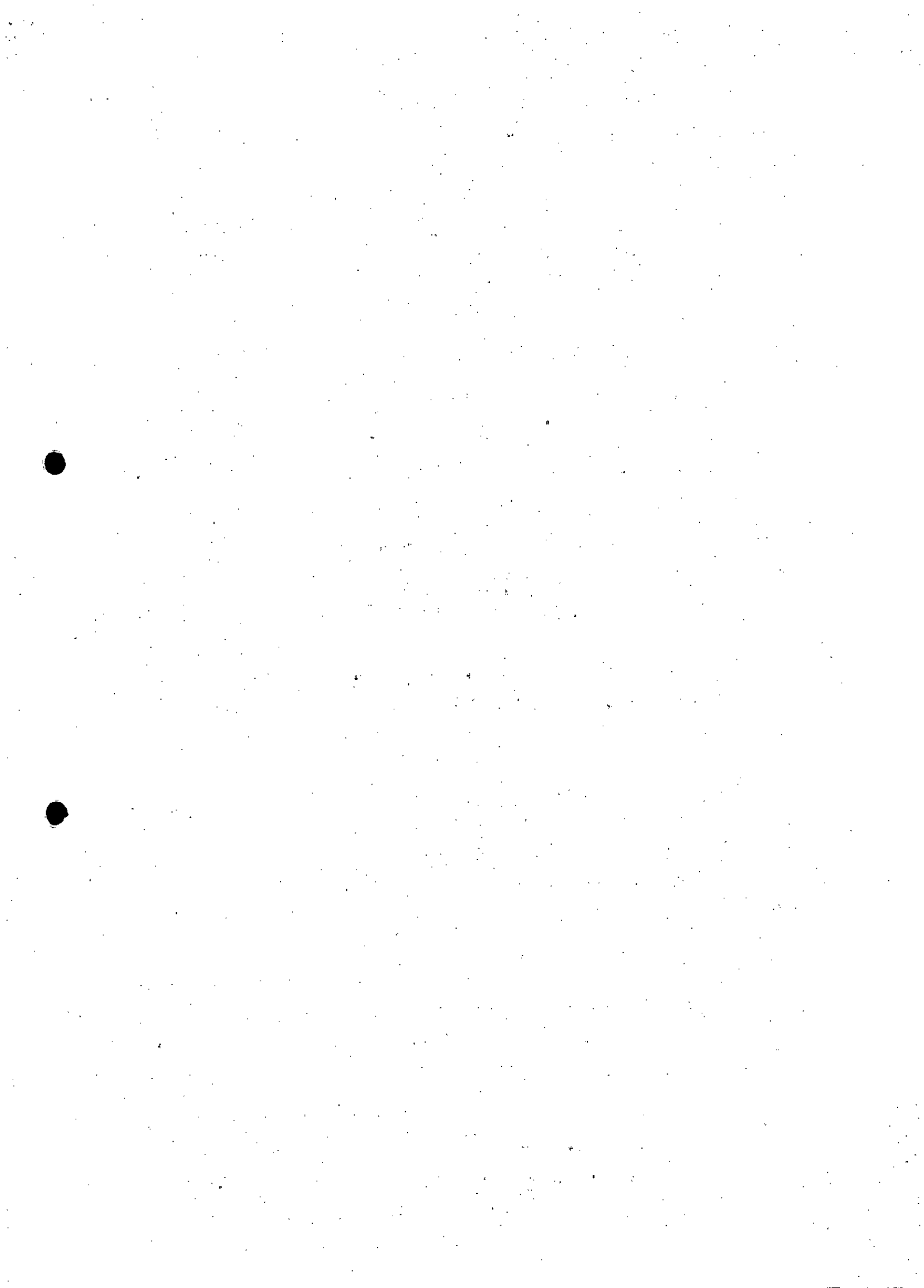
De acordo com o Artigo 37 da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH Nº 01/2008, “enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente”.

Neste contexto, como os córregos do Fundão e Santarém, bem como o ribeirão do Carmo e os rios Gualaxo do Norte, Gualaxo do Sul e rio do Carmo, pertencentes à bacia do rio Doce e situados na área de análise deste estudo, não possuem enquadramento, pode-se atribuir aos mesmos a Classe 2. Segundo a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH Nº 01/2008 e a Resolução CONAMA 357/2005, tais cursos de água podem ser utilizados para o abastecimento público após tratamento convencional, proteção do ambiente aquático, recreação primária, irrigação de hortaliças e aquicultura. A Tabela 5.6 indica os limites dos parâmetros de qualidade das águas e variáveis sedimentológicas para cursos de água de Classe 2, de maior interesse para o presente trabalho, segundo as normas citadas anteriormente.

**Tabela 5.6** - Limites das principais variáveis e parâmetros de análise de qualidade das águas para os cursos de água de Classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005 e a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH Nº 01/2008.

Parâmetro/Variável	Limites Máximos
Turbidez	≤100 UNT
Sólidos em Suspensão Totais	100 mg/L
Sólidos Dissolvidos Totais	500 mg/L
Sólidos Totais	-
Cor Aparente	-
Cor Verdadeira	75,0 mg/L

Os parâmetros de turbidez e sólidos dissolvidos (LIBÂNIO, 2016) referem-se predominantemente à concentração de partículas suspensas e coloidais presentes na massa líquida e apresentam significados semelhantes em termos de qualidade de água. Comumente, respondem pela turbidez das águas naturais fragmentos de argila, silte, plâncton, microrganismos e matéria orgânica e inorgânica particulada. Ainda com menor frequência, a turbidez pode também ser causada pela precipitação de carbonato de cálcio para águas de dureza mais significativa, situação incomum para maioria das águas superficiais brasileiras.



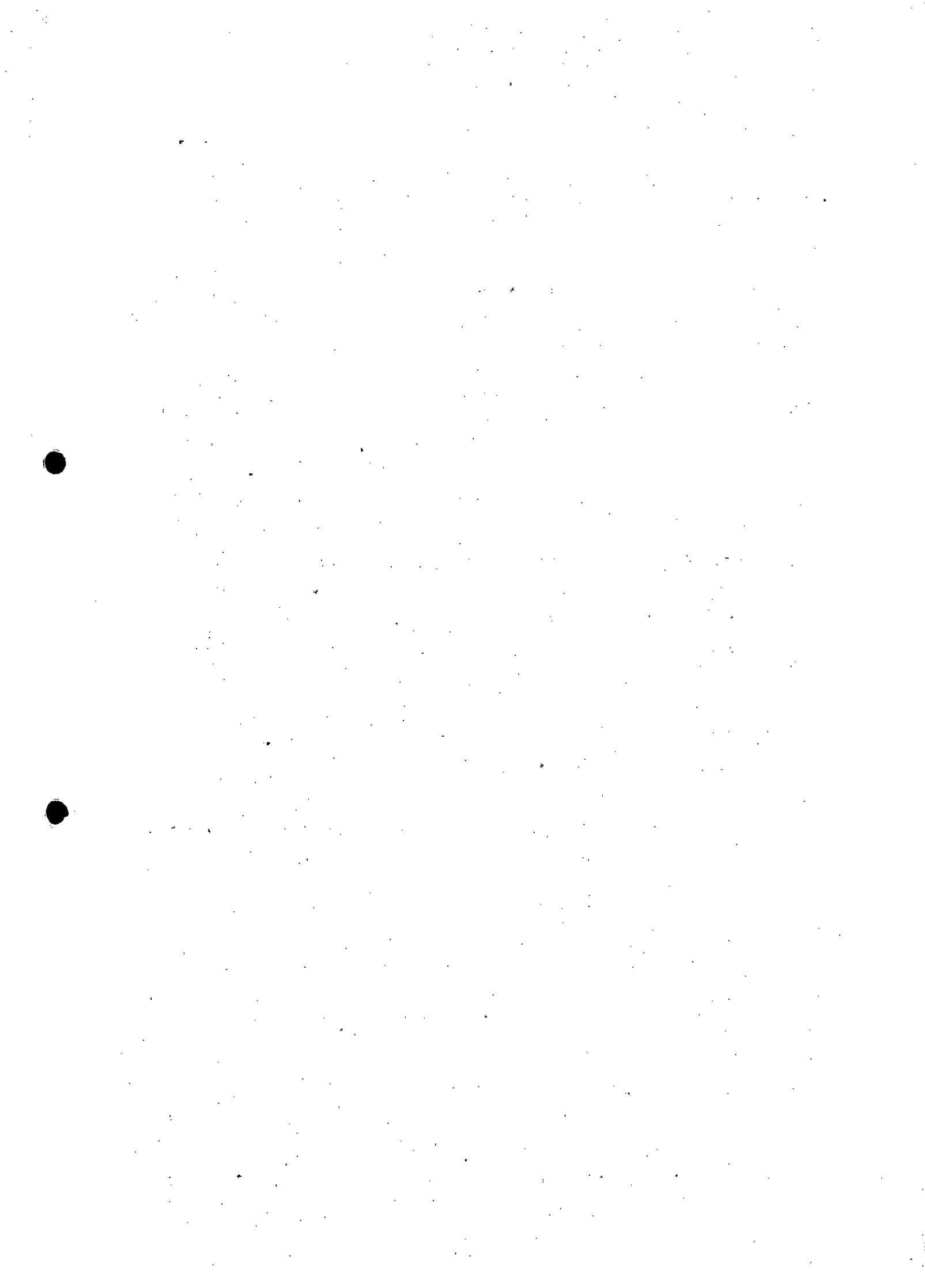
A turbidez como característica física acaba por se constituir na inferência da concentração de partículas suspensas na água, obtida a partir da passagem de um feixe de luz através da amostra, sendo expressa por meio de unidades de turbidez (uT), também denominadas unidades nefelométricas de turbidez (UNT ou NTU – unidades inglesas) ou, já em desuso unidades Jackson. A despeito do grande número de materiais que confere turbidez às águas, a prevalência das partículas de silte e argila testifica-se pelo fato de 1,0 NTU representar aproximadamente 1,0 mg SiO<sub>2</sub>/L.

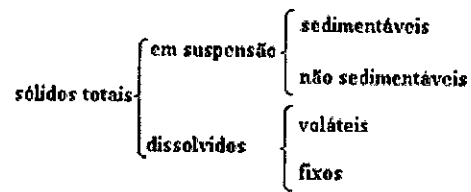
Cursos de água naturais usualmente apresentam valores de turbidez compreendidos na faixa de 3 a 500 NTU. Para as águas subterrâneas, com significativa frequência decorrente da presença de ferro e manganês, esse valor é inferior a 1,0 NTU. Em lagos e represas, onde a velocidade de escoamento da água é menor, a turbidez tende a ser bastante baixa, com muita frequência inferior a 10 NTU. Além da ocorrência de origem natural, a turbidez da água pode também ser causada por lançamento de esgotos domésticos ou industriais.

A mencionada Resolução CONAMA 357 estabelece para águas de Classe 1 turbidez inferior a 40 NTU e para águas classes 2 e 3 valores iguais ou inferiores a 100 NTU. Para classe especial não há menção a limite para qualquer parâmetro. O monitoramento da qualidade das águas superficiais do estado de Minas Gerais, realizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas, mostrou que a turbidez integrou 12,6% das violações de enquadramento em 2015 (sólidos suspensos totais 14%), a significativa maioria no período chuvoso (IGAM, 2016). Tal monitoramento contemplou 51 parâmetros em 553 estações inseridas em 17 bacias hidrográficas do estado.

As águas dos reservatórios de barragens de rejeito, consequência da própria atividade minerária, apresentam teores de turbidez significativamente mais elevados. Como exemplo, o monitoramento realizado pela SAMARCO a jusante da Barragem do Germano no período 2008 a 2011 indicou valores variando entre os extremos de 292 a 745.254 NTU. No mesmo período, a jusante da Barragem do Fundão verificou-se também significativa amplitude nos teores de turbidez (18 a 166.250 NTU), com médias mensais de magnitude da ordem de 6000 a 10.000 NTU (VON SPERLING & LIBÂNIO, 2011).

Nos reservatórios das barragens de rejeitos, os sólidos suspensos integram a parcela significativa dos sólidos totais, complementada pela concentração de sólidos dissolvidos. Nas águas naturais, esquematicamente a distribuição dos sólidos apresenta-se de acordo com a Figura 5.6.





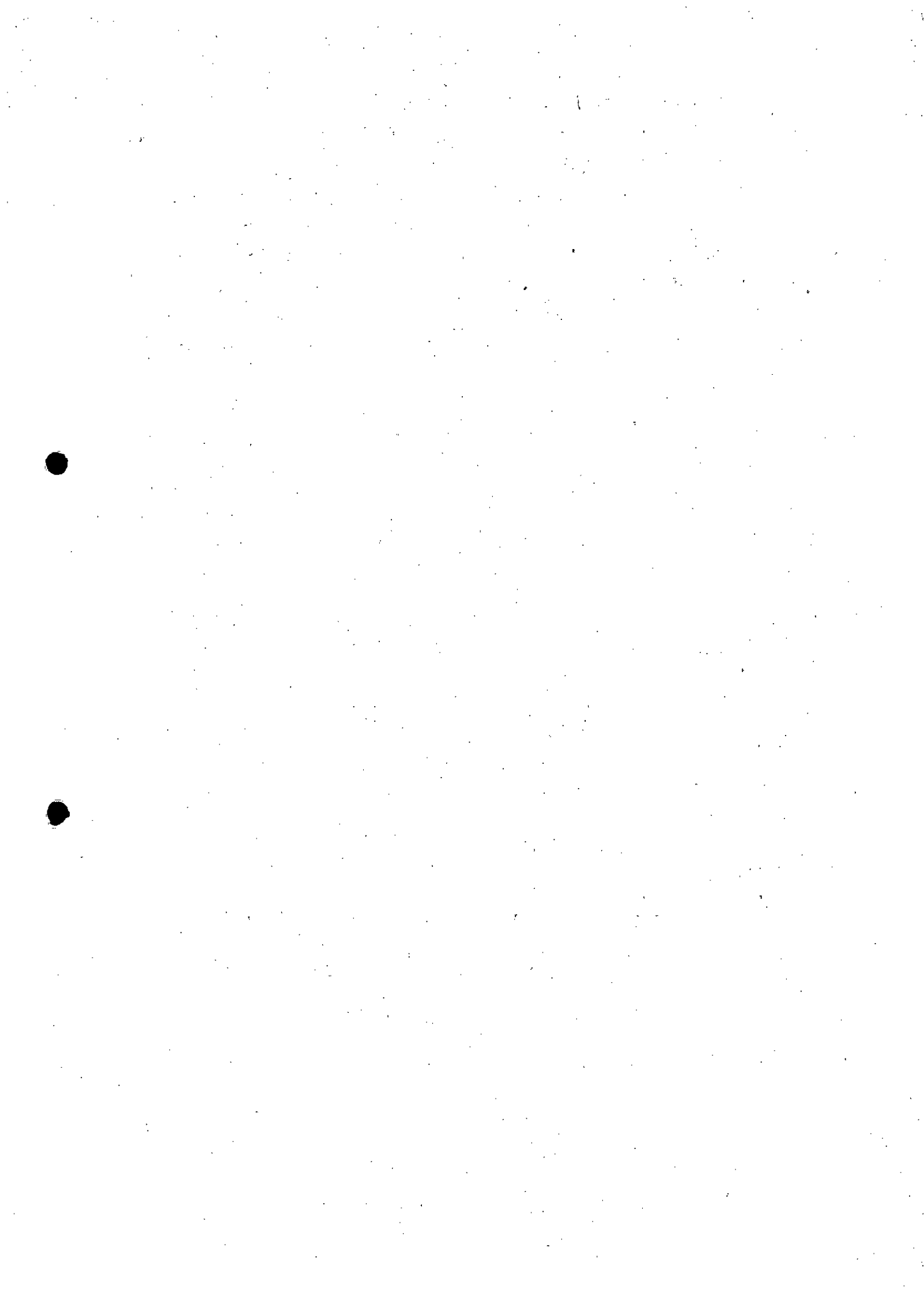
**Figura 5.6** - Distribuição genérica dos sólidos presentes nos cursos de água naturais.

As frações de sólidos podem ser definidas segundo Piveli & Kato (2006) da seguinte forma:

- Sólidos Totais: constituem os resíduos de material, após evaporação em banho-maria e posterior secagem a 103~105°C.
- Sólidos Suspensos: constituem-se a porção em massa com dimensões superiores a 1,2 µm, retida após filtração.
- Sólidos Dissolvidos: conjunto de todas as substâncias orgânicas e inorgânicas contidas na água sob formas moleculares, ionizadas ou micro-granulares.
- Sólidos Sedimentáveis: porção de sólidos suspensos que se sedimenta quando mantida em repouso em cone *Imhoff* de um litro durante uma hora.
- Sólidos Voláteis: porção dos sólidos totais, dissolvidos ou suspensos que se volatiliza após calcinação a 550~600°C, por 15 min para sólidos suspensos ou 60 min para sólidos totais e dissolvidos.
- Sólidos Fixos: analogamente, constituem-se na porção dos sólidos totais, dissolvidos ou suspensos, que restam após calcinação a 550~600°C, por 15 min para sólidos suspensos ou 60 min para sólidos totais e dissolvidos.

A parcela dissolvida dos sólidos confere principalmente cor às águas. A cor é produzida pela reflexão da luz em partículas minúsculas, denominadas colóides, finamente dispersas, de origem predominantemente orgânica e dimensão inferior a 10 µm. Relacionam-se, em muitas águas naturais, à concentração de carbono orgânico presente no ambiente aquático. Pode também ser resultado da presença de compostos de ferro e manganês, como em efluentes de barragens de rejeitos, ou fruto do lançamento de diversos tipos de resíduos industriais.

Para efeito de caracterização de águas, distingue-se a cor aparente, na qual se consideram as partículas suspensas, da cor verdadeira. A determinação da segunda realiza-se após centrifugação



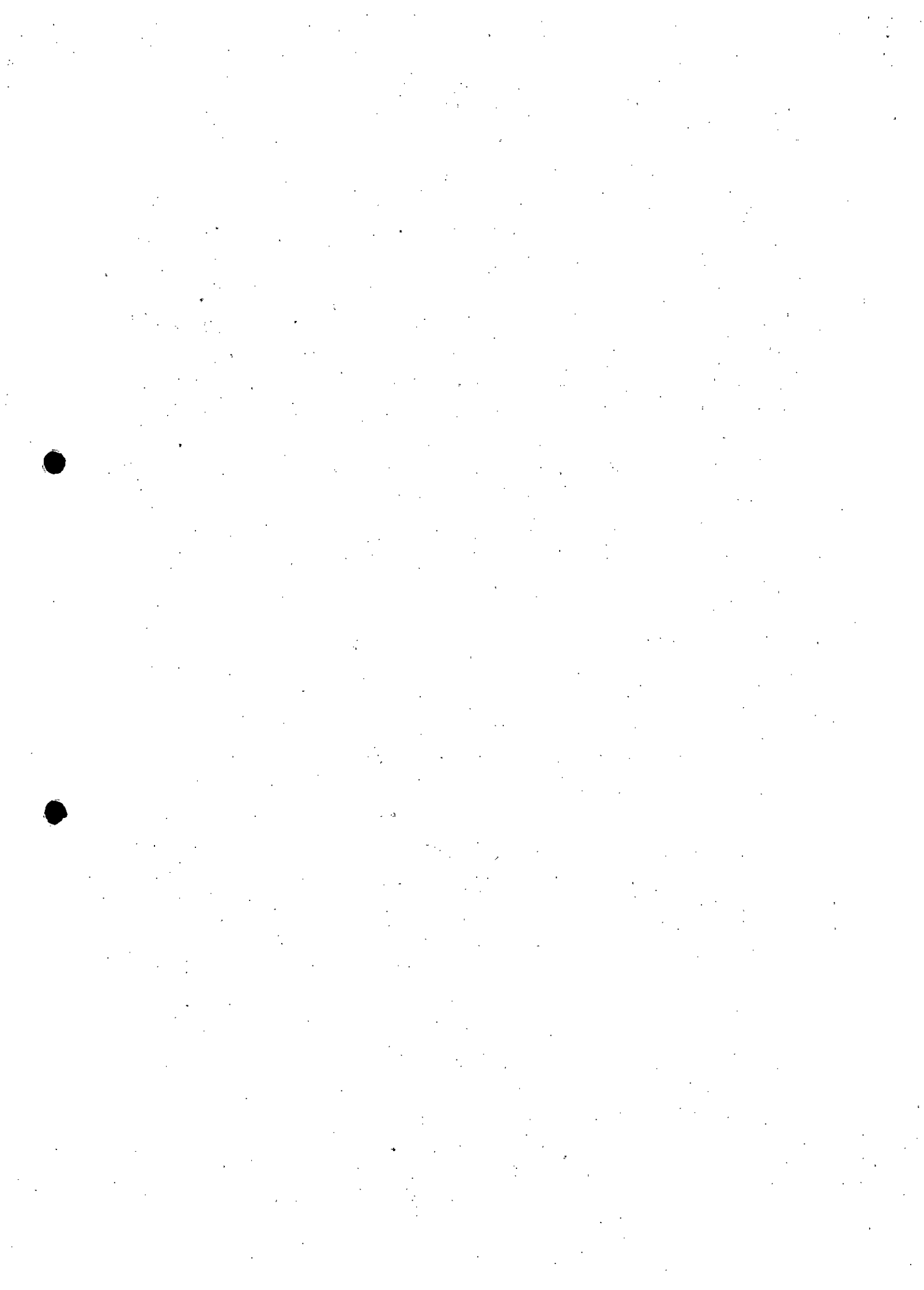
(a 3500 rpm por 30 min) ou filtração da amostra em filtro de papel para remoção das partículas suspensas. A determinação da intensidade da cor da água é realizada comparando-se a amostra ao padrão de cobalto-platina, sendo o resultado apresentado em unidades de cor (uC), unidade Hazen (uH) ou em mg Pt/L.

Reportando-se ao mesmo monitoramento na antiga Barragem do Germano, realizado pela SAMARCO, observou-se valores absolutamente variáveis para cor aparente, na amplitude significativa de 147 a 386.000 uH. A evolução temporal dos teores de cor aparente seguiu aproximadamente o comportamento da turbidez. Cabe novamente ressaltar que tais valores extremos, com médias mensais superiores a 10.000 uH, não se manifestam em corpos de água naturais, só sendo possível em situações de descargas de sedimentos.

A Resolução CONAMA 357 estabelece limite de 75,0 uH para cor verdadeira para as classes 2 e 3, e é vaga ao aludir à Classe 1 como nível de cor natural do curso de água. A menor magnitude da cor verdadeira nas águas naturais confirmou-se no mencionado monitoramento da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais, o qual apontou que em apenas 6,3% das violações de enquadramento a cor verdadeira fez-se presente em 2015 (sólidos dissolvidos totais em apenas 1,1%).

Quando os parâmetros de qualidade das águas são ou podem ser alterados em virtude de atividades antrópicas, principalmente aquelas relacionadas às atividades de mineração, a otimização da retenção de sólidos é realizada em reservatórios, aos quais geralmente são adicionados reagentes (floculantes ou coagulantes) para favorecer a aglutinação das partículas suspensas e coloidais e induzir sua posterior sedimentação. A distinção entre partículas suspensas e coloidais, ou partículas e colóides, frequentemente é reportada à dimensão de 1 µm. A magnitude, frequência e gradação das alterações das características da água são significativamente influenciadas pelos movimentos de terra e pelos eventos de precipitação nas áreas de contribuição, onde se verifica o carreamento de partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rocha e óxidos metálicos do solo, favorecido pelas atividades minerárias, caso presentes.

A coagulação consiste essencialmente na desestabilização das partículas coloidais e suspensas realizada pela conjunção de ações físicas e reações químicas, com duração de poucos segundos, entre o coagulante (no caso também o auxiliar de coagulação), a água e as impurezas presentes. No emprego dos polímeros, coagulantes comumente utilizados como auxiliares de coagulação, este processo pode efetuar-se por intermédio da formação de ligações químicas, quando as



partículas coloidais são adsorvidas na superfície das diversas cadeias dos polímeros. Usualmente os flocos formados nestas condições – quando as doses aplicadas são definidas por meios de ensaios de tratabilidade – apresentam maior resistência aos efeitos de cisalhamento e maior velocidade de sedimentação.

Já a floculação constitui-se conjunto de fenômenos físicos, nos quais se objetiva reduzir o número e partículas suspensas e coloidais presentes no efluente. Para tal, fornecem-se condições, em termos de tempo e agitação, para que ocorram os choques entre as partículas anteriormente adsorvidas pela ação do polímero objetivando a formação dos flocos a serem posteriormente removidos por sedimentação.

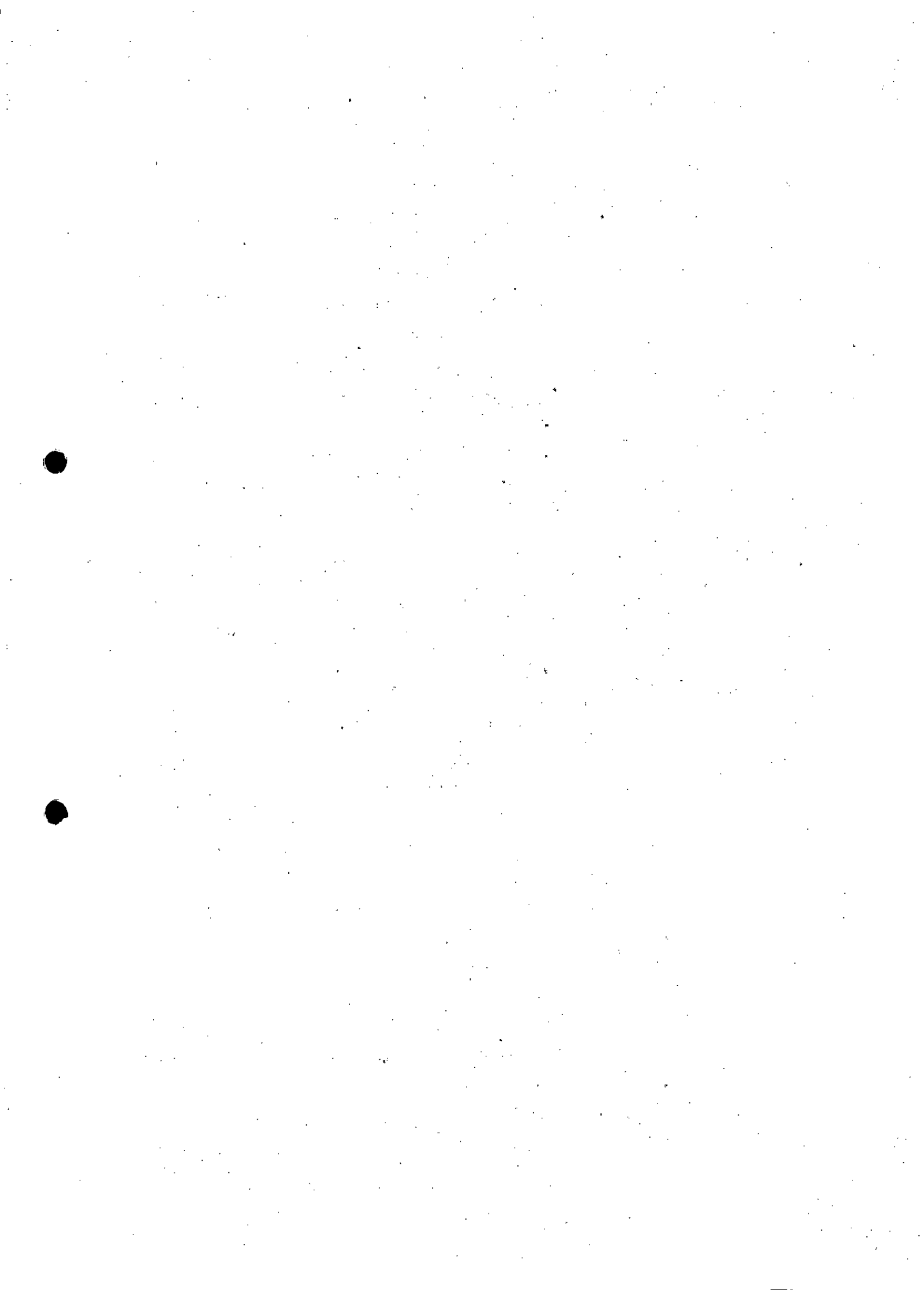
Desta forma, o objetivo principal da coagulação e da floculação como via de consequência, consiste em elevar significativamente a velocidade de sedimentação do aglomerado de partículas a ser formado pela adição dos polímeros para posterior sedimentação.

#### 5.4 EROSÃO E PERDA DE SOLO NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DOS ESTUDOS

O cenário atual da dinâmica de erosão, transporte e deposição de sedimentos na área em análise, apresenta um quadro bastante complexo, tendo em vista a existência de espaços fortemente alterados pelas infraestruturas e atividades de mineração que coabitam com outras intervenções ainda portadoras de condições ambientais caracterizadas por razoáveis graus de estabilidade.

Para efeito de caracterização do sistema erosivo nos limites dessa área, faz-se necessário distinguir as diversas áreas componentes da atual configuração da bacia hidrográfica do córrego Santarém, uma vez que esta se encontra segmentada, no sentido longitudinal, pelos barramentos implantados antes e após o rompimento da Barragem do Fundão (Barragem do Germano, Barragem Nova Santarém e Diques Eixo 1, S1, S2, S3 e S4).

Posteriormente, foi aplicada a Equação Universal de Perda de Solos nas microbacias delimitadas por esses barramentos, separando os comportamentos diferenciais das contribuições (i) da erosão gerada em condições naturais, no sentido “vertente - fundo do vale”, e (ii) da movimentação no sentido “alto curso - baixo curso”, das massas residuais de rejeitos/lama armazenadas nos fundos do vale e no interior dos reservatórios dos diversos barramentos, incluindo o da antiga Barragem do Fundão.

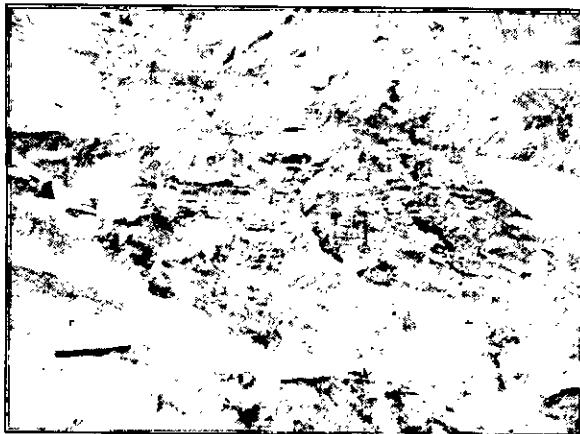


#### 5.4.1 Bacia Hidráulica de Fundão

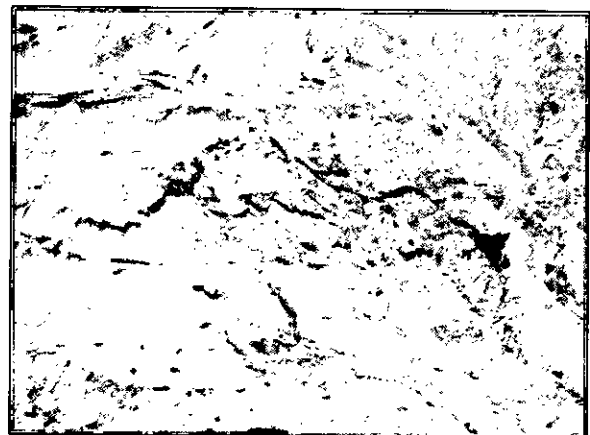
A bacia hidráulica de Fundão deve ser considerada, atualmente, como uma microbacia comum, onde a erosão se desenvolve em função das características ambientais clássicas (clima, relevo, substrato litológico, cobertura vegetal, entre outras). No entanto, especial atenção deve ser dedicada à especificidade litológica das massas residuais de rejeitos/lama que ficaram retidos em alguns de seus vales. Além disso, a microbacia atual é caracterizada pela predominância de espaços desprovidos de cobertura vegetal, onde resíduos de rejeitos/lama e solos se apresentam totalmente desnudos.

Observações realizadas, tanto em imagens de satélite com periodicidade mensal e alta resolução (até 5 m), bem como *in loco* (investigação de campo), mostraram que os processos dominantes atualmente nessa área são os de ravinamento, *bad-lands* e *piping* (Foto 5.1) que, periodicamente, colocam pequenos pacotes de rejeitos em situação de desequilíbrio, conduzindo-os a alcançar o fundo de vale por movimentos de massa (desmoronamento e deslizamentos, frequentemente denominados localmente de deslocamentos), conforme denota a Foto 5.2.

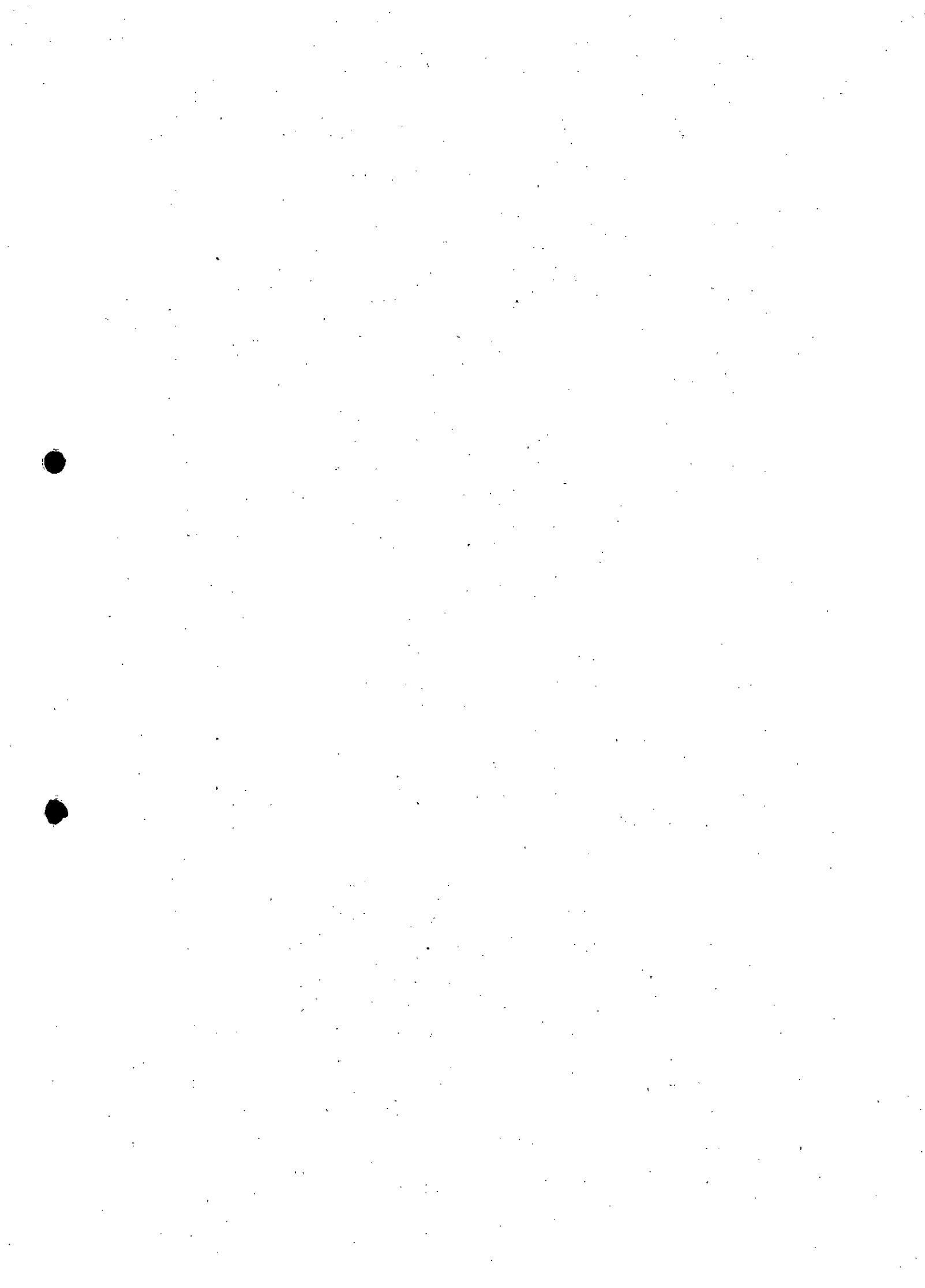
Analisando-se os estudos de simulação baseados na configuração atual do vale de Fundão, elaborados pela NORWEST e citados no item 4.1.2, pode-se concluir que não há mais condições para ocorrência de movimentos muito volumosos de massa, pois esses materiais apresentam característica arenosa, porosa e praticamente dissociados ou livres de sua componente argilosa (Foto 5.3). Os materiais, eventualmente mobilizados, se deparam com os barramentos locais (barreiras hidráulicas implantadas no vale de Fundão) ou nas estruturas de maior porte, instaladas ainda no córrego de Fundão (Dique Eixo 1), as quais apresentam relativa eficiência de retenção (Fotos 5.4 a 5.6), conforme mostrado posteriormente nesse documento.



**Foto 5.1** – Processos de ravinamentos, *bad-lands* e *piping* afetando as vertentes atuais da bacia hidráulica do Fundão.



**Foto 5.2** – Movimentos de massa (deslocamentos) mobilizando rejeitos residuais presentes no vale do Fundão.



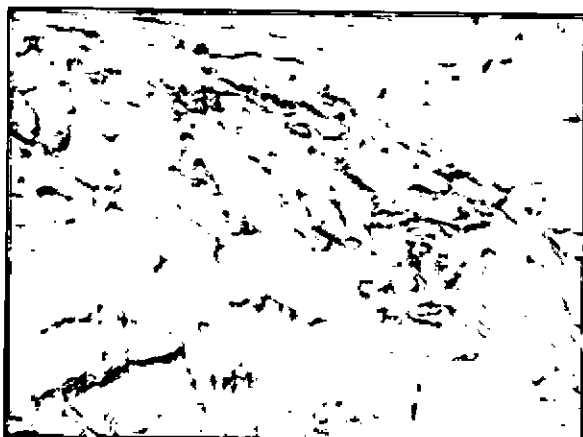
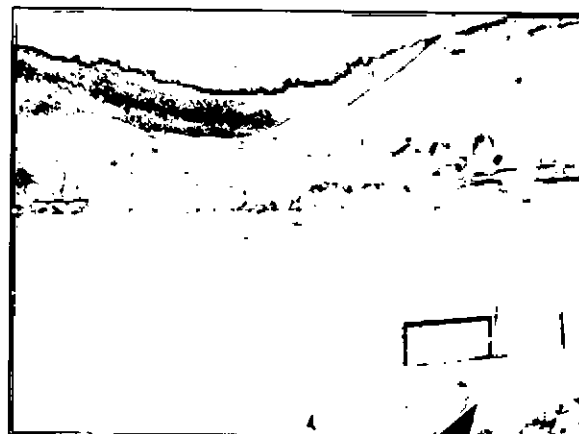


Foto 5.3 – Aspecto das areias que compõem os rejeitos residuais presentes no vale do Fundão.



Foto 5.4 – Aspecto atual das áreas de barramento no vale do Fundão (barreiras hidráulicas).



Fotos 5.5 e 5.6 – Aspecto atual das áreas de barramento no vale do Fundão (barreiras hidráulicas e Dique Eixo 1).

#### 5.4.2 Vale do Santarém

Ao longo do vale do córrego Santarém, situado a jusante da foz do córrego do Fundão (Dique Eixo 1) onde se localizava a barragem homônima, o sistema erosivo apresenta as especificidades descritas nos itens subsequentes.

##### (a) Trecho compreendido entre o Dique Eixo 1 e o Dique S3

O trecho compreendido entre o Dique Eixo 1 e o Dique S3, que engloba a Barragem Nova Santarém, é caracterizado pela erosão desenvolvida nas áreas de vertentes e microvales em condições naturais (florestas com diversos graus de conservação, pastos, entre outras, Foto 5.7) e/ou diferentemente impactadas pelas infraestruturas ligadas às atividades da mineração (vias de acesso, desmatamentos localizados, construções diversas, entre outras, Foto 5.8), ambas afluentes



ao córrego Santarém. Trata-se de uma erosão processada no sentido “vertente-fundo do vale”, por desnudação laminar ou ravinamentos, transferindo seus produtos aos respectivos fundos de vale.

Deve-se destacar que as baixas vertentes que tinham sido afetadas pela corrida de rejeitos/lama, no momento do rompimento, se encontram atualmente em processo de recuperação da cobertura vegetal, devido ao plantio de espécies locais nelas realizado. Sua contribuição à erosão se assemelha à de vertentes sobre solos frágeis e cobertura vegetal rala, tipo pasto ou pasto sujo.

Os fundos de vale estão, atualmente, segmentados pelas estruturas de contenção implantadas pela SAMARCO, o que elimina a possibilidade de ocorrer um fluxo contínuo em todo o trecho. Deste modo, a erosão fluvial que poderia processar-se no sentido “alto curso - baixo curso” é substituída por um processo de transferência de material entre reservatórios. Estas transferências são, a cada dia, mais fortemente controladas pelas estruturas de contenção, em função do avanço das obras (Fotos 5.9 e 5.10).

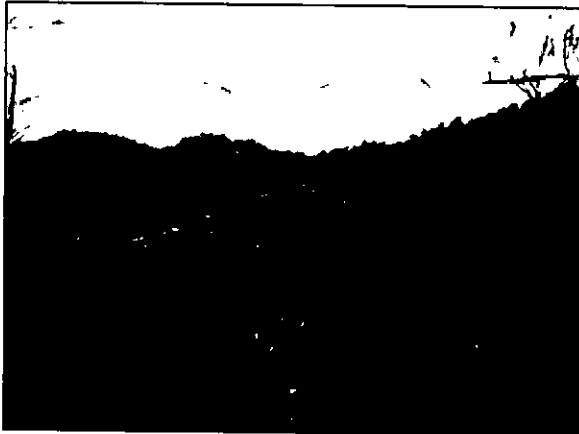


Foto 5.7 – Floresta semidecidual em estágio médio de regeneração ocupada boa parte das vertentes.

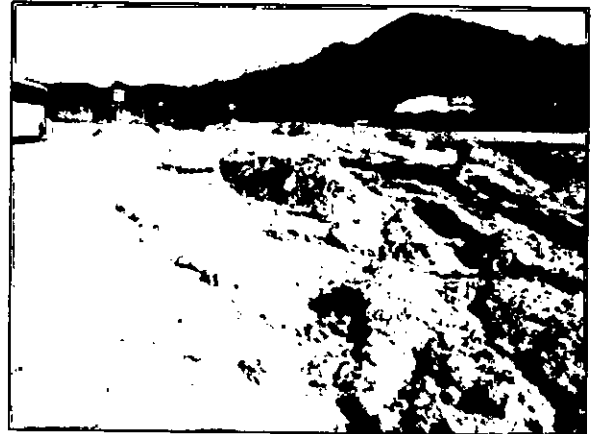


Foto 5.8 - Áreas impactadas por atividades ligadas à mineração.



Foto 5.9 – Retenção de material afluyente na Barragem Nova Santarém.



Foto 5.10 - Retenção de material afluyente no Dique S3.

