

Tributário 49 do Rio Gualaxo do Norte (TG49)

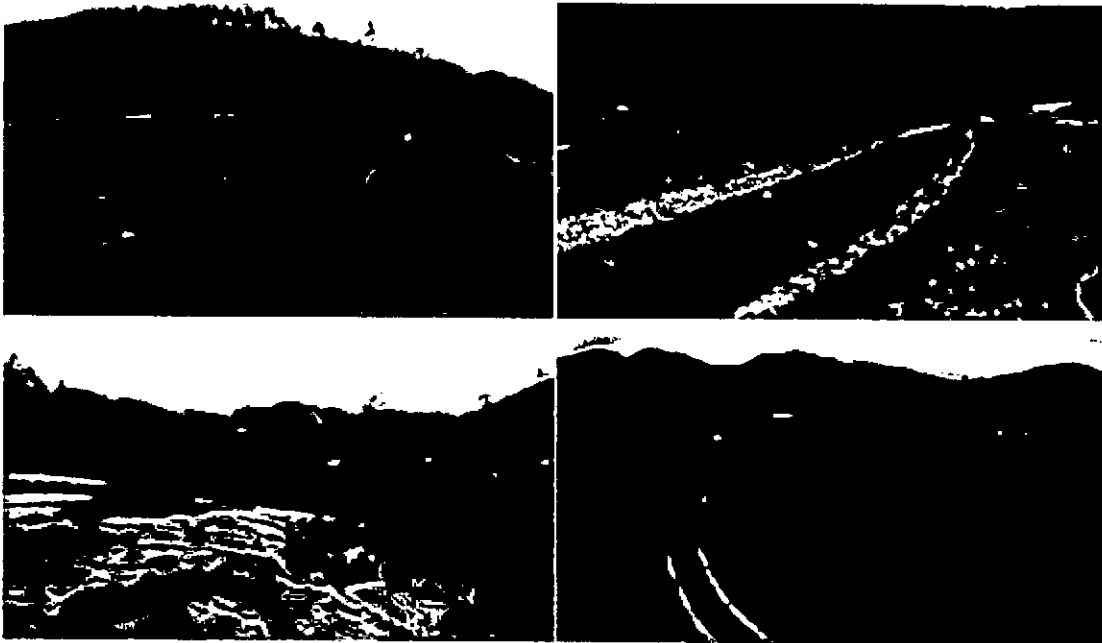


Figura 30: Recuperação ambiental do tributário TG49.

Tributário 51 do Rio Gualaxo do Norte (TG51)

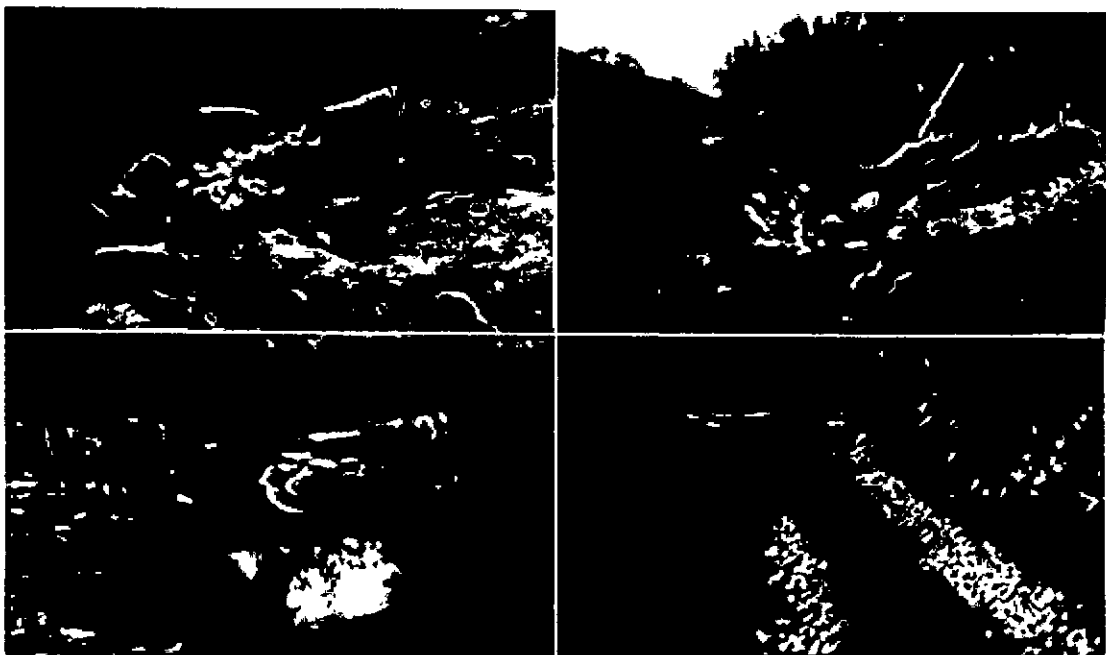


Figura 31: Recuperação ambiental do tributário TG51.



reparar, restaurar, reconstruir

O controle de danos ambientais nas margens e calha do Rio Gualaxo do Norte tem como foco principal a contenção de sedimentos, por meio de aplicação de técnicas de estabilização de margens, bioengenharia e recuperação dos tributários impactados. Estas atividades terão manutenção visando otimizar sua eficácia e poderão sofrer ajustes de acordo com os resultados das avaliações da forma de manejo do material depositado nas margens e calha do rio e seus tributários. Estas avaliações apresentarão respostas em 2017.

Em 2017 está prevista a conclusão das atividades de recuperação dos tributários impactados, reconformação e controle de erosão nas planícies, regularização das margens dos rios, revegetação das margens e planícies.

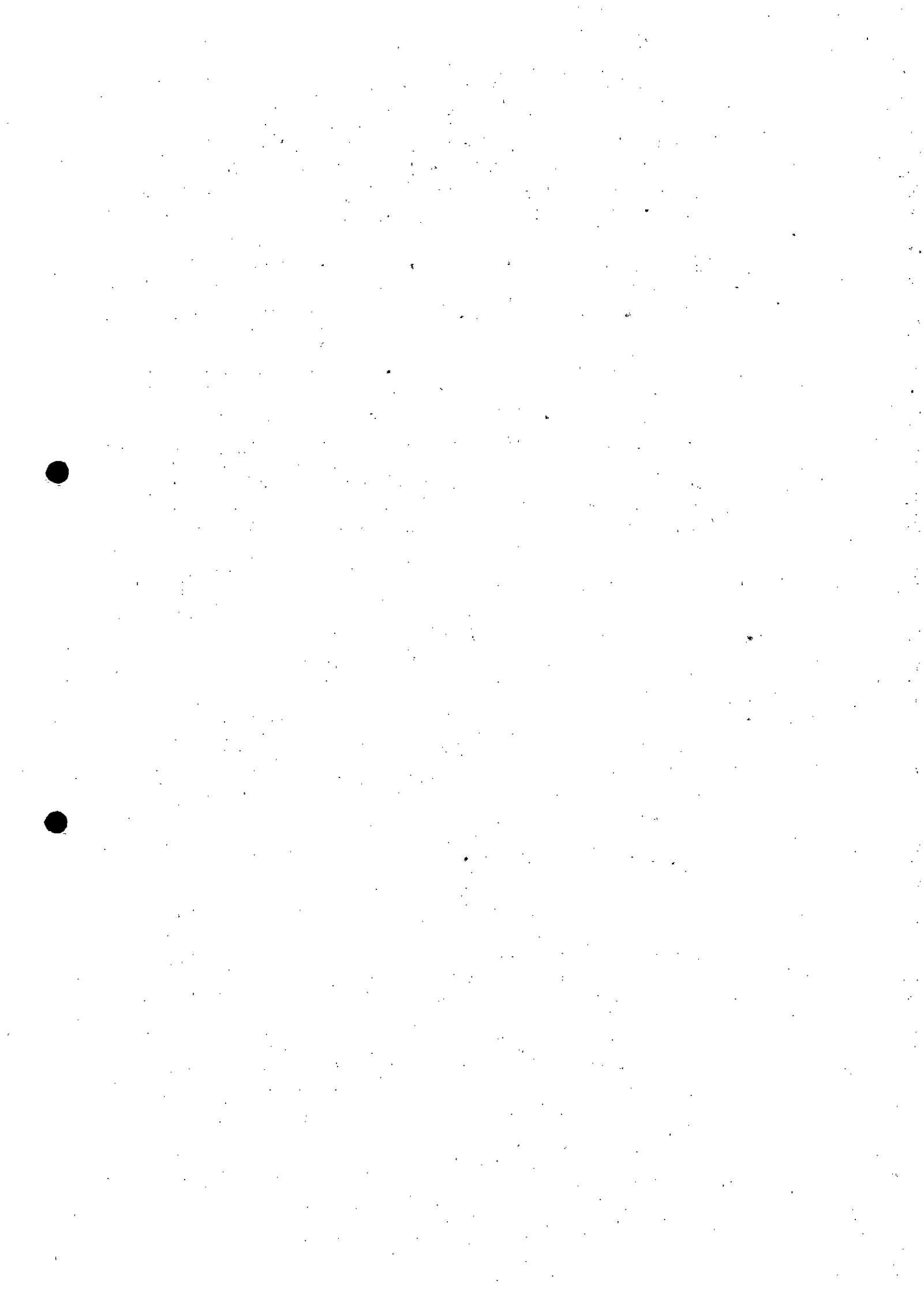
O plantio emergencial realizado antes do período de chuvas 2016/2017 continua passando por manutenções. Paralelamente a estas atividades, foram iniciados os plantios piloto de espécies arbóreas, com foco na recuperação da vegetação nativa da região. Os resultados destes testes que forem obtidos em 2017 já serão aplicados para o início do plantio definitivo na estação de chuvas 2017/2018.

Além destas atividades, outras intervenções específicas que poderão apresentar bons prognósticos serão postas em prática de acordo com sua aplicabilidade, sempre em discussão e consenso com os órgãos ambientais.

Ações realizadas no período:

- Equipes de bioengenharia mobilizadas;
- Recuperação de 63 tributários (acumulado desde janeiro/16);
- Execução de 52% das obras de reconformação das calhas e controle de erosão nas áreas prioritárias;
- Início da elaboração de projetos para as áreas não prioritárias;
- Atividades de manutenção da revegetação inicial, emergencial nos 800 ha;
- Entrega dos projetos de 7 áreas de empréstimo definidas na região afetada.

As ações de recuperação ambiental também já refletem no monitoramento de turbidez da região, visto que o ponto de monitoramento da Figura 32 a seguir, o qual representa o Ribeirão do Carmo próximo à confluência com o Rio Piranga, formadores do Rio Doce, já tem apresentado medições dentro do limite preconizado pela resolução CONAMA 357/05 para turbidez, ou seja, abaixo de 100 NTU. Importante destacar que em vários momentos de recuperação ambiental desses tributários e da calha principal foi e é preciso manejar as margens do curso d'água e isso pode provocar a ressuspensão de material



sedimentado, o que aumenta a turbidez da água. Além disso o período chuvoso interfere consideravelmente na ressuspensão de sólidos, o que também aumenta a turbidez. Com o início do período seco após março será possível melhor avaliar os impactos da recuperação ambiental nas calhas dos rios através do monitoramento da turbidez.

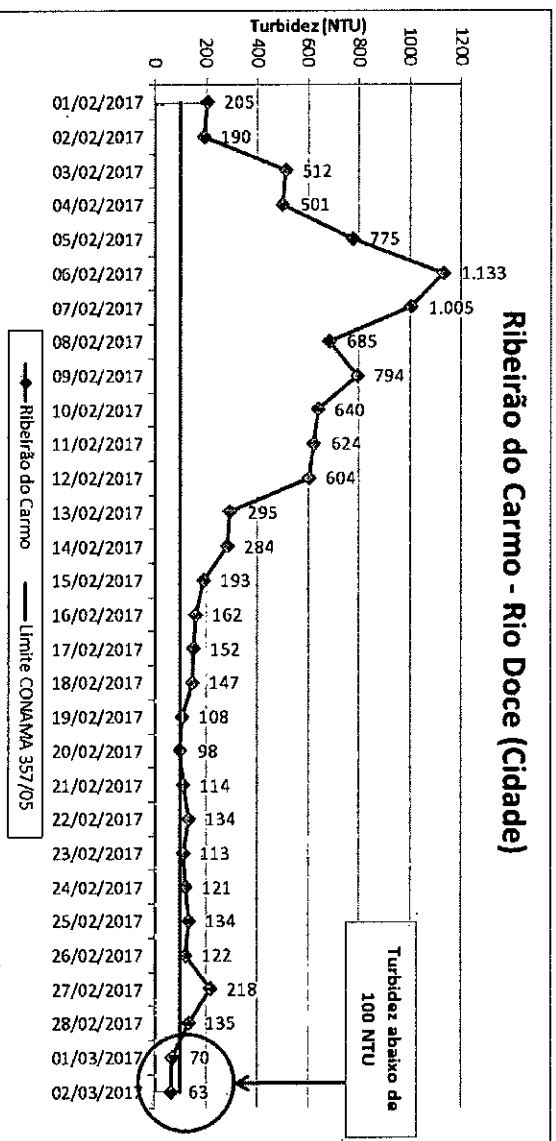


Figura 32: Monitoramento do ponto Ribeirão do Carmo.

POTAMOS ENGENHARIA E HIDROLOGIA LTDA.

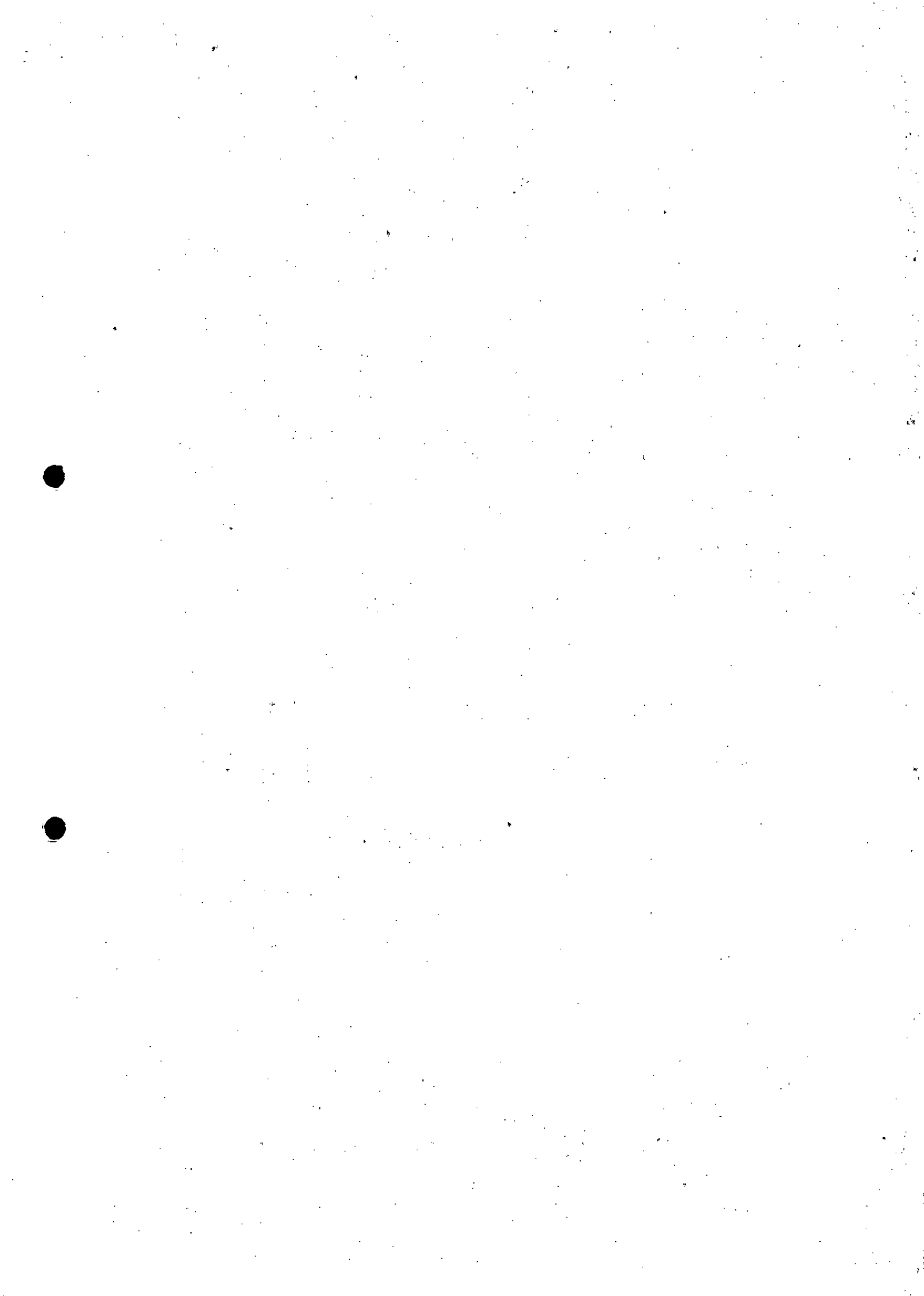
GERMANO - GERAL

**DIAGNÓSTICO ATUAL DO TRANSPORTE DE MATERIAL
DEFLUENTE DO VALE DA BARRAGEM DO FUNDÃO**

RELATÓRIO TÉCNICO

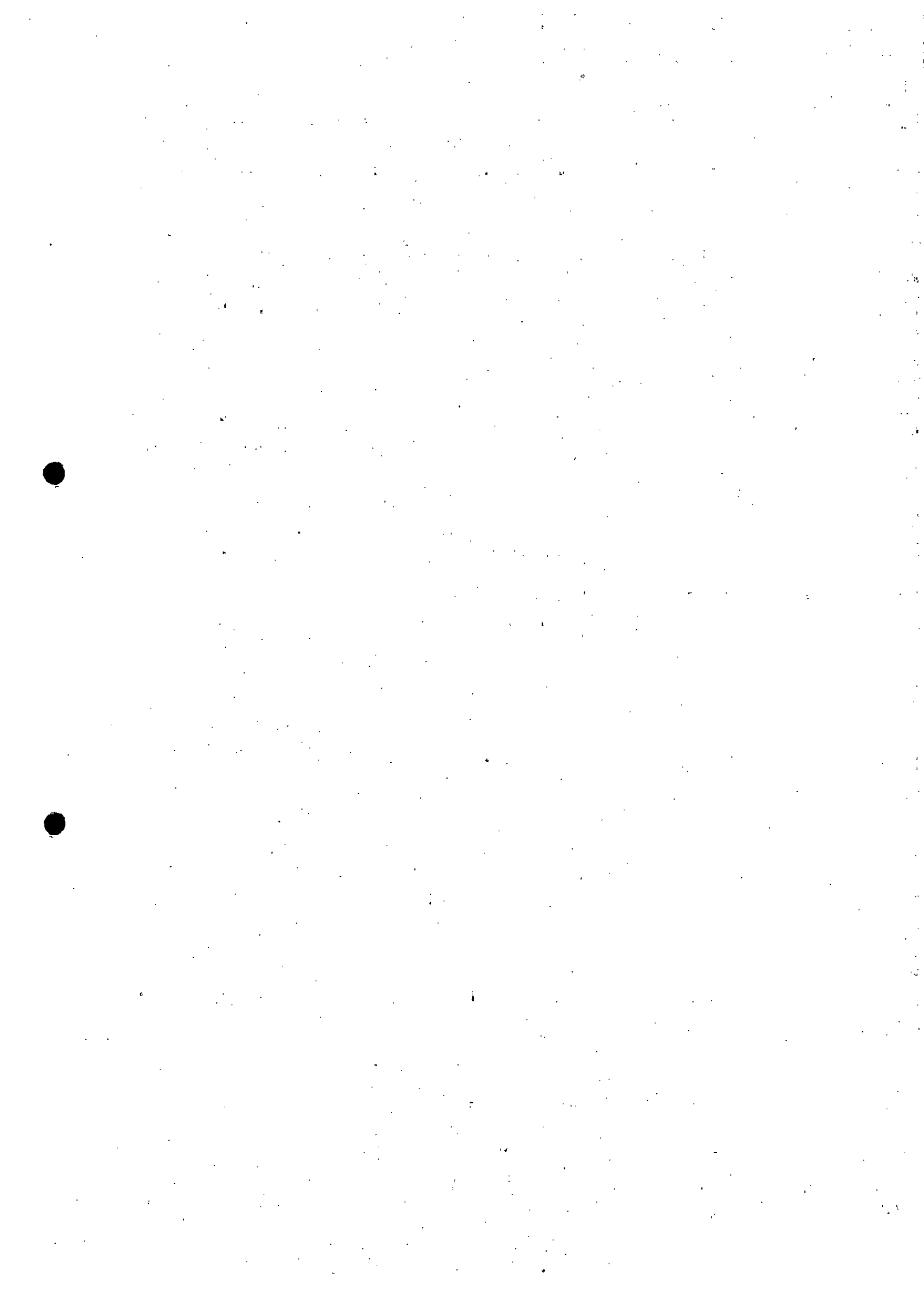
POTSAM0023-001-1-TC-RTE-0001

JANEIRO DE 2017

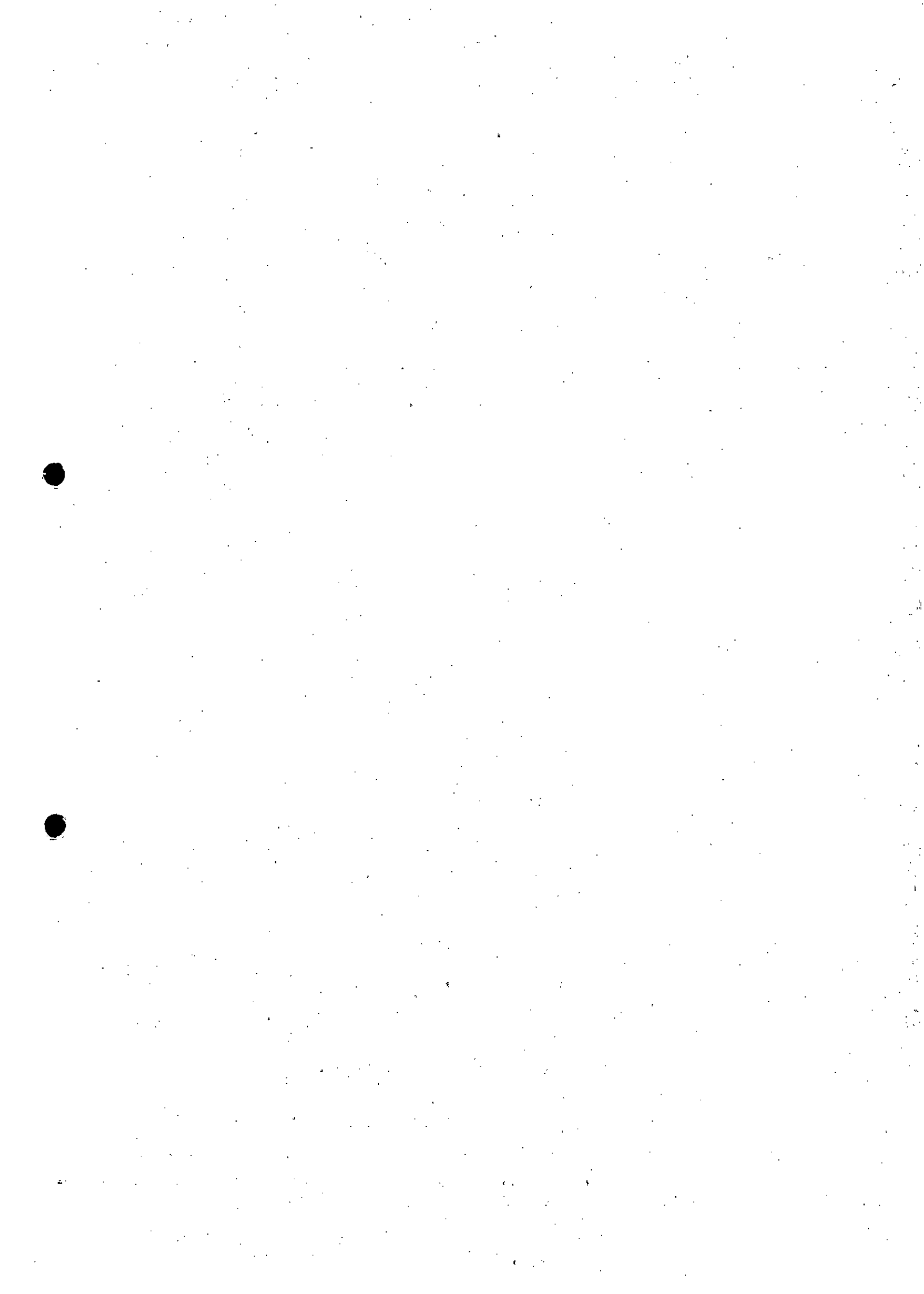


ÍNDICE

1.0	INTRODUÇÃO	10
2.0	ÁREA DE ABRANGÊNCIA DOS ESTUDOS	11
3.0	CONTEXTUALIZAÇÃO DOS FATOS	15
4.0	MEDIDAS DE CONTROLE ADOTADAS	18
4.1	PLANO DE OBRAS	19
4.1.1	Sistema de Manejo de Águas da Barragem do Germano	24
4.1.2	Barreiras Hidráulicas do Vale do Fundão	28
4.1.3	Dique Eixo 1	32
4.1.4	Barragem Nova Santarém	38
4.1.5	Diques S1 e S2	49
4.1.6	Dique S3	53
4.1.7	Dique S4	58
4.1.8	Síntese das Estruturas de Contenção	67
4.2	AÇÕES DE DRAGAGEM E REMOBILIZAÇÃO DO MATERIAL NO DIQUE S3	69
4.3	LANÇAMENTO DE REAGENTES NO CÓRREGO SANTARÉM	71
4.4	LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS E BATIMÉTRICOS	72
4.5	REDE DE MONITORAMENTO	77
5.0	ESTUDOS BÁSICOS	90
5.1	HIDROLOGIA	90
5.2	SEDIMENTOLOGIA	93
5.3	QUALIDADE DAS ÁGUAS	99
5.4	EROSÃO E PERDA DE SOLO NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DOS ESTUDOS	103
5.4.1	Bacia Hidráulica de Fundão	104
5.4.2	Vale do Santarém	105
5.4.3	Estimativa da Produção de Sedimentos de Bacias em Condições Naturais	108
6.0	ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE CONTENÇÃO DAS ESTRUTURAS	125
6.1	VOLUMES RETIDOS	126
6.2	VARIÁVEIS SEDIMENTOLÓGICAS E PARÂMETROS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS	137
6.2.1	Análise dos Registros Históricos de Monitoramento	138
6.2.2	Análise dos Registros Atuais de Monitoramento	147



6.2.3	Comentários Gerais sobre a Análise da Eficiência de Retenção por meio de Parâmetros de Qualidade	148
7.0	PRINCIPAIS LIMITAÇÕES E INCERTEZAS	154
8.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS	156
9.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158
10.0	ANEXOS	162



SUMÁRIO EXECUTIVO

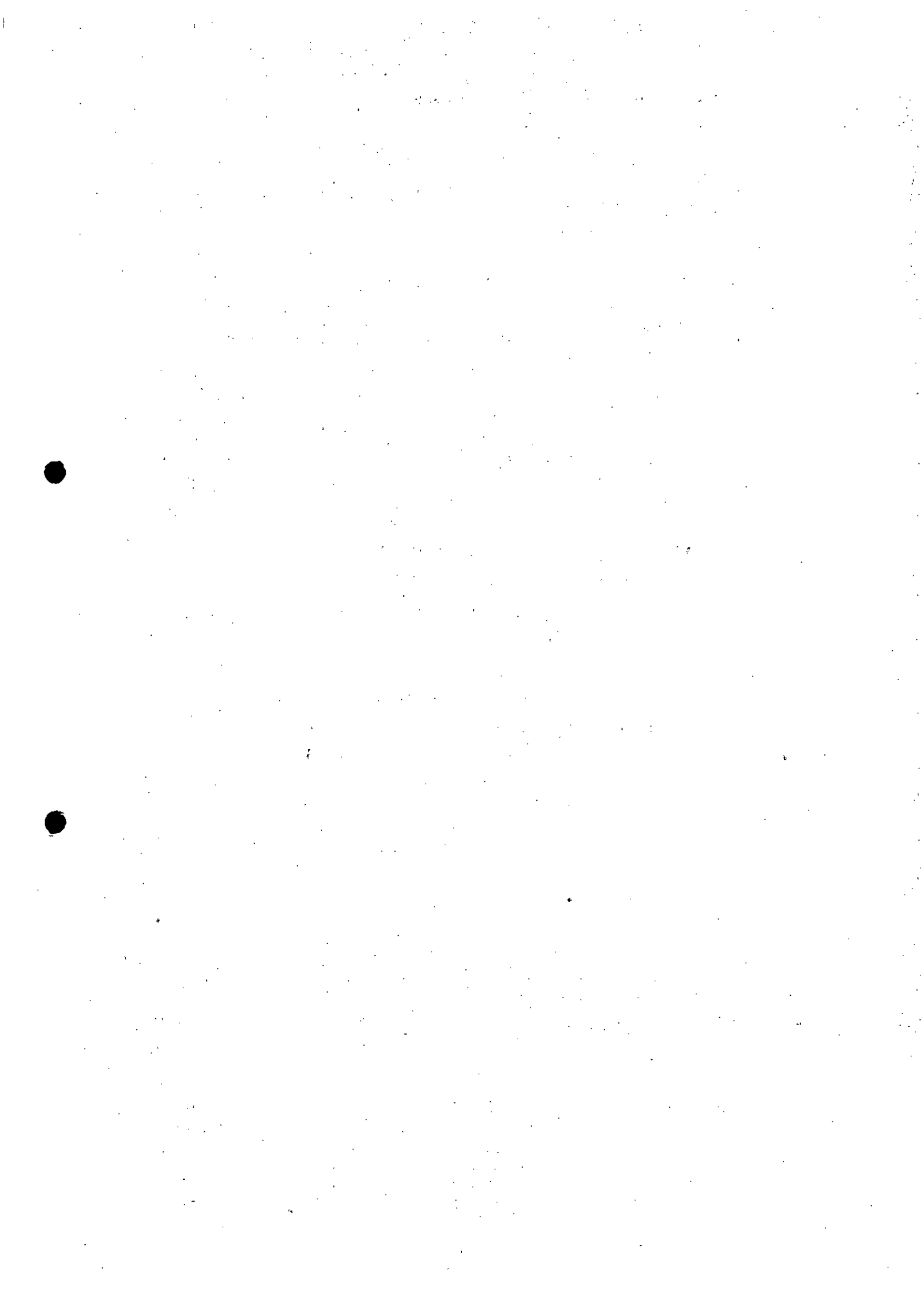
Após o evento de rompimento da Barragem do Fundão, ocorrido em 05/11/2015, foi estudada e implantada pela SAMARCO uma série de medidas para estancar ou reduzir a propagação de eventuais movimentos de massa de rejeitos/lama pelo vale do córrego Santarém. Algumas medidas foram tomadas em caráter emergencial, logo após o evento, e outras foram estudadas e planejadas de forma integrada, e posteriormente inseridas em um plano de obras, para implantação gradual ao longo do ano de 2016.

Embora o conceito das obras e a estimativa de desempenho tenham sido apresentados em diversas ocasiões para os órgãos licenciadores e reguladores, em 04/11/2016 a 12ª Vara Federal em Belo Horizonte, Minas Gerais, entendeu que *"... não há nos autos prova definitiva de cessação do vazamento e nem de que as medidas que estão sendo tomadas são totalmente eficazes para esse fim"* e determinou a apresentação de provas pela SAMARCO de que *"... os vazamentos de rejeitos foram definitivamente estancados"*.

Isto posto, coloca-se a finalidade deste documento que é a de apresentação de elementos técnicos, na forma de provas, para possibilitar à Justiça Federal verificar que foram tomadas as medidas cabíveis e necessárias para a contenção de eventuais vazamentos do vale do Fundão, incluindo a indicação das obras e ações realizadas para esse fim, bem como as respectivas análises de eficiência.

O termo VAZAMENTO representa o ato ou efeito de vazar alguma coisa, que pode ser um líquido ou gás de um recipiente, ou até uma informação sigilosa. Para efeito da presente demanda judicial, não havia a priori uma definição contendo conceitos técnicos e/ou legais que pudessem caracterizar o termo. Assim, para que o trabalho de apresentação de provas pudesse ser desenvolvido, definiu-se VAZAMENTO como a movimentação e carreamento do volume remanescente de rejeitos/lama do rompimento da Barragem do Fundão, para o trecho situado a jusante da área de propriedade da SAMARCO, podendo alcançar a calha do rio Gualaxo do Norte e escoar para o restante dos cursos de água da bacia do rio Doce, observados os parâmetros de turbidez e de sólidos em suspensão explicados no texto do relatório.

Dentro desse contexto, a ocorrência de VAZAMENTO foi avaliada segundo os critérios de: (i) cálculo do volume total de sedimentos (rejeitos/lama) depositados e retidos na área do empreendimento da SAMARCO, desde o vale do Fundão até o eixo do Dique S3; (ii) análise da evolução temporal dos parâmetros de turbidez (NTU) e sólidos em suspensão (TSS), condensados



em gráficos comparativos das seções de amostragem situadas dentro e fora da área do empreendimento da SAMARCO. Conforme demonstrado nesse documento, considera-se que esses critérios sejam adequados para provar que, atualmente, não há vazamento para a área externa ao empreendimento da SAMARCO.

Imediatamente após o evento de ruptura, foi feito um plano de contenção dos possíveis vazamentos, baseado na implantação de obras transversais de retenção na calha fluvial de jusante. As obras não tiveram início imediato, pois era necessário averiguar a segurança das estruturas da Barragem do Germano que foram submetidas ao rápido desaguamento dos taludes de jusante, bem como assegurar que o maciço da Barragem Santarém, que fora galgado pela onda de choque do rompimento, apresentava a devida estabilidade, de forma a permitir a movimentação de pessoas e equipamentos no trecho de jusante.

Passada essa fase de averiguação de segurança e reforço das estruturas remanescentes, ainda no mês de novembro de 2015 foram iniciadas, em caráter emergencial, as obras estruturais de contenção de fluxo e/ou material (plano de manejo de águas, barreiras hidráulicas, diques galgáveis, reforço de barragem existente e construção de nova estrutura). A localização das obras implantadas é mostrada na Figura 1, atreladas ao cronograma de construção indicado na Figura 2.

Dentre as medidas de contenção, a obra de maior impacto positivo, no que diz respeito à capacidade de contenção do material efluente do vale do Fundão e de manutenção dos padrões de qualidade das águas dos cursos de água de jusante, até o momento, correspondeu ao Dique S3. A localização desse dique foi selecionada com base em critérios de engenharia e por representar o limite da área de propriedade da SAMARCO, dentro da qual havia permissão inicial para execução das obras de contenção necessárias. Por esse motivo, essa estrutura foi considerada como seção de referência para avaliação dos possíveis e eventuais vazamentos de rejeitos/lama do vale do Fundão para o trecho de jusante, bem como para estabelecer métricas que indicassem a eficiência do sistema.

O conceito de engenharia das obras transversais de retenção implantadas consistiu na formação de reservatórios que reduziam a velocidade das águas correntes e assim possibilitava a sedimentação do material transportado, precipitando os sólidos em suspensão e liberando uma água decantada mais limpa, compatível com o enquadramento legal do córrego Santarém. Para acelerar e catalisar o processo de sedimentação dos rejeitos/lama foram adicionadas substâncias floculantes naturais acima do reservatório formado pelo Dique S3.



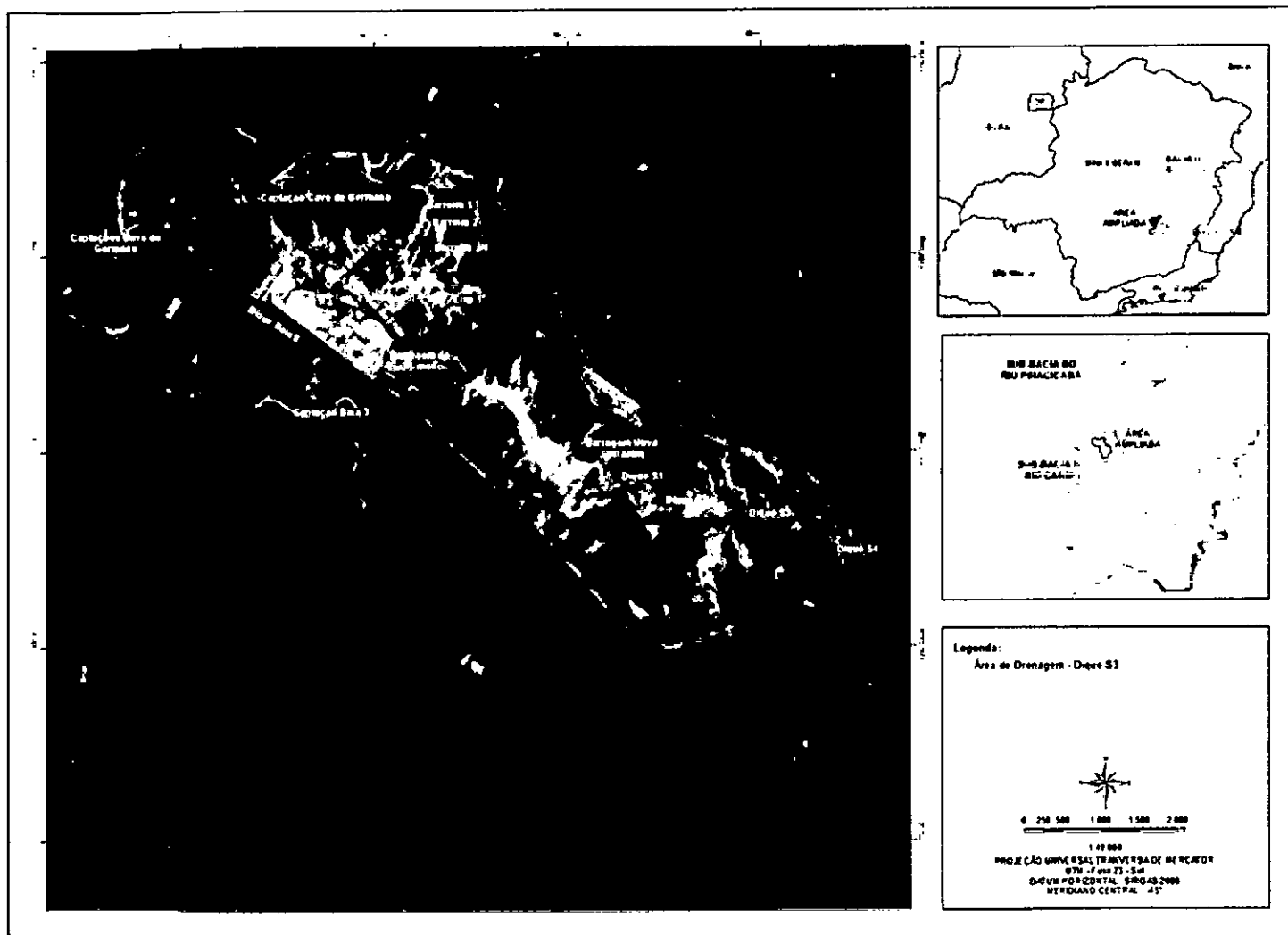


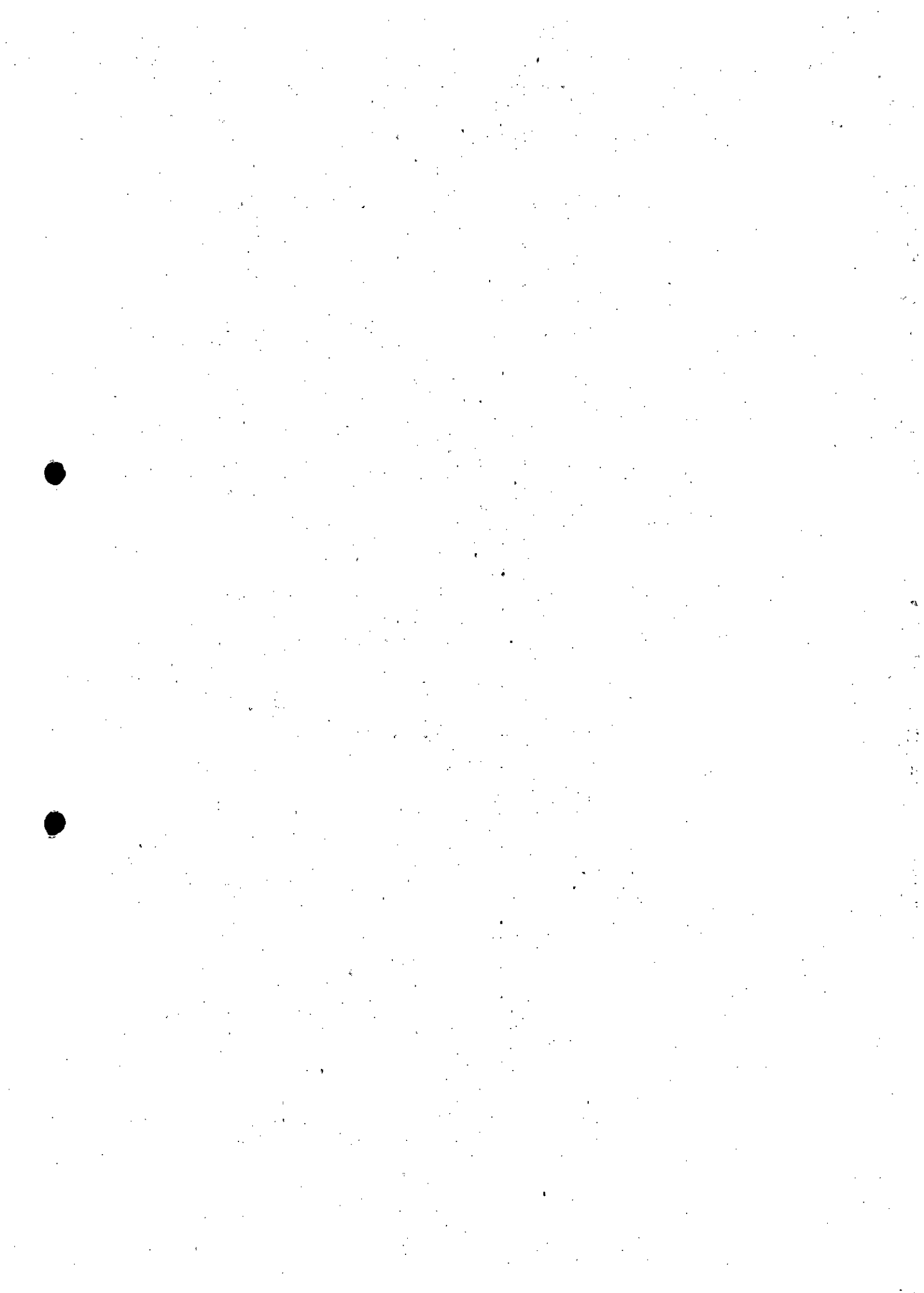
Figura 1 – Localização das obras de contenção implantadas e planejadas.

ESTRUTURA	ANO 2015		ANO 2016												ANO 2017					
	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
MANEJO DE ÁGUAS BARRAGEM GERMANO	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
RECUPERAÇÃO GERMANO					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
											■	■	■	■						
													■	■	■	■	■			
BARREIRA 1													■	■						
BARREIRA 2									■	■	■	■	■	■						
BARREIRA 3												■	■	■						
BARREIRA 4													■	■	■					
DIQUE EXO 1 (1ª ETAPA - EL. 820,00 m)					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
BARRAGEM SANTARÉM			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
																	■	■	■	■
DIQUE S1				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
DIQUE S2		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
DIQUE S3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
DIQUE S4													■	■	■	■	■	■	■	

LEGENDA

CONCLUÍDO ■■■
PREVISÃO ■■■
PARALISADO ■■■

Figura 2 – Cronograma de implantação das obras de contenção.



No que se refere à análise do volume de sedimentos depositado no sistema, foi constatado que houve uma movimentação de massas e esse vazamento ficou retido nos reservatórios das obras implantadas. Na Figura 3 pode ser visualizada a condição de retenção dos vazamentos em julho de 2016, em uma das obras transversais implantadas (Dique S3). Nota-se a presença de um cone de dejeção na cabeceira do reservatório, indicando a efetiva deposição dos sedimentos transportados pelo córrego Santarém e que poderiam ter se transformado, teoricamente, em um vazamento, caso não tivessem sido retidos pelo reservatório do Dique S3.

O cone de dejeção, na forma de um delta fluvial, é o indicativo geomorfológico mais nítido da ocorrência de deposições, que ocorre inicialmente pela interrupção do transporte de arraste dos sedimentos, que ocorre pelo fundo do leito fluvial e corresponde ao material mais grosso dos sólidos. A parcela do transporte em suspensão, de granulometria mais fina, é transportada pelo corpo do reservatório e se deposita gradativamente em pontos mais distantes das cabeceiras, podendo alcançar as proximidades do eixo do dique. Na Figura 3, nota-se uma gradação na turbidez da água ao longo do estirão do reservatório, com redução progressiva até atingir índices compatíveis com as normas de enquadramento.

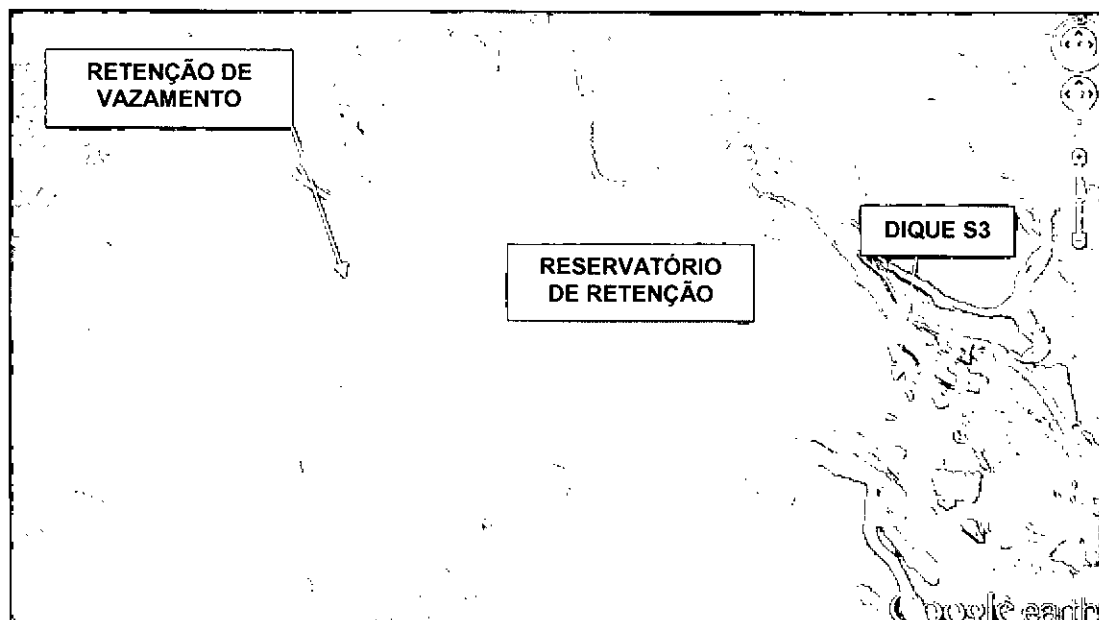
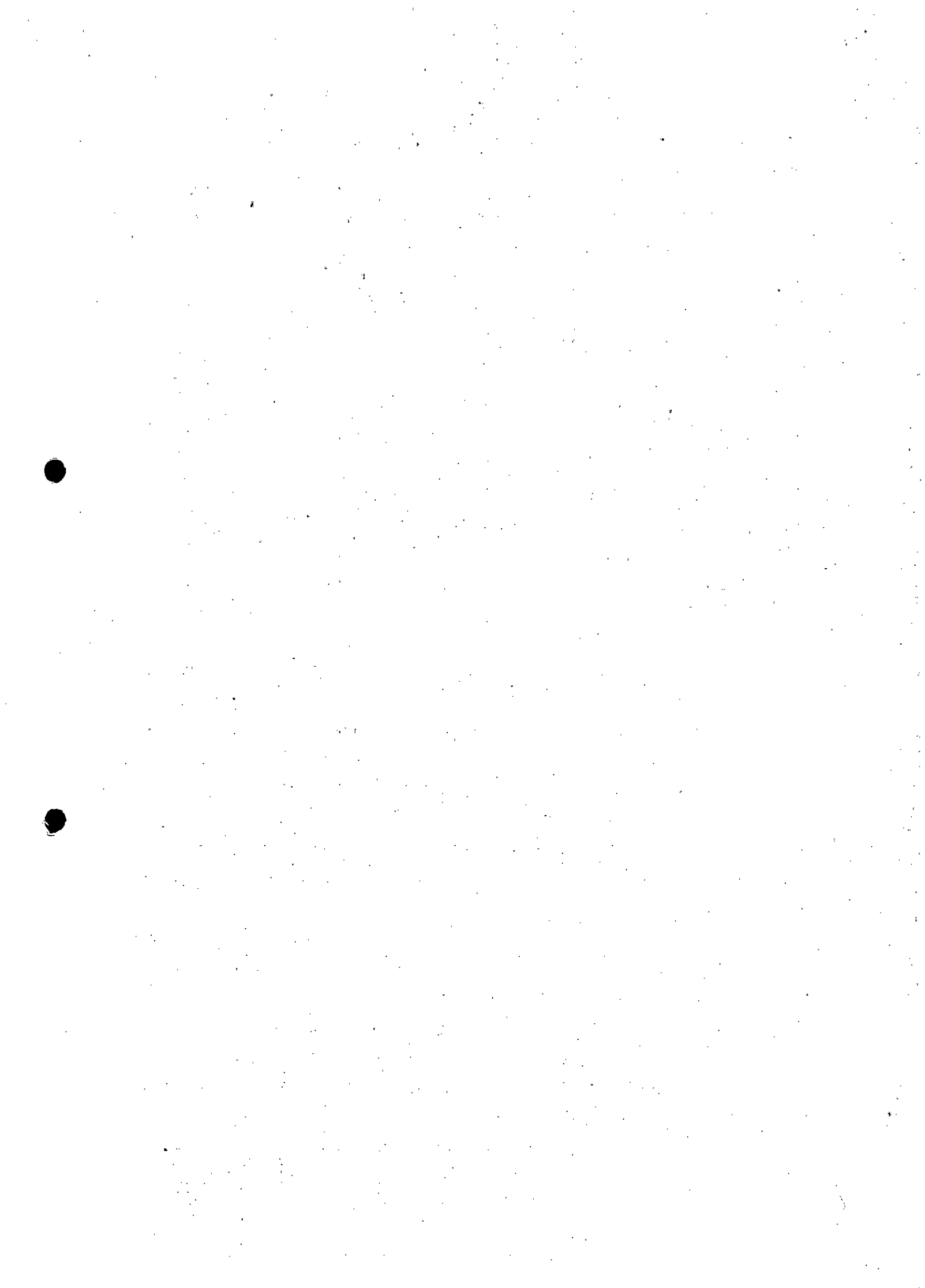


Figura 3 – Retenção de vazamento no reservatório do Dique S3.

Durante todo o ano de 2016 e até o presente momento, foi monitorada a turbidez das águas afluentes ao reservatório da Barragem Santarém, e defluentes do sistema de obras de contenção, logo abaixo do Dique S3. Ao término da estação chuvosa 2015/2016, a movimentação de massas



foi reduzida e mesmo a turbidez na Barragem Santarém teve redução acentuada, adequando-se aos parâmetros de enquadramento legal do corpo hídrico.

Os valores de turbidez continuam sendo monitorados na atual estação chuvosa, registrando valores na saída do Dique S3 inferiores àqueles verificados em outros cursos de água da bacia do rio Gualaxo do Norte, que não foram afetados pelo evento de rompimento. Como a turbidez está associada aos sólidos em suspensão, os valores monitorados podem servir como indicadores da presença maior ou menor de transporte nessa modalidade, sendo normal o aumento durante o período chuvoso. No processo legal de enquadramento dos cursos de água, são estabelecidos limites para o parâmetro turbidez, como indicativo da qualidade das águas. No caso do córrego Santarém, o enquadramento situa-se na chamada Classe II, com o limite legal de 100 NTU para a turbidez.

Os dados de monitoramento da turbidez indicaram que houve a efetiva contenção de sedimentos e adequada decantação da água vertida do Dique S3. Esses dados, atrelados aos volumes de rejeitos/lama depositados ao longo das demais estruturas de contenção implantadas pela SAMARCO ao longo do vale do Fundão e córrego Santarém demonstram que as medidas tomadas pela SAMARCO foram eficazes e que não há VAZAMENTO no presente momento. Além disso, as citadas obras de contenção estão atuando no controle do transporte de sedimentos gerados pela erosão natural da bacia do córrego Santarém, fato indicado pelos volumes de produção de rejeitos/lama e sedimentos nos limites da área de interesse.

O início da operação da Barragem Nova Santarém, em obra já concluída, e o término de sua construção em meados de junho de 2017, bem como o término das obras do Dique do Eixo 1, prevista para o mês de julho, representarão um reforço ainda maior no sistema de contenção de sedimentos. Com as obras atuais, acrescidas dos alteamentos sucessivos do Dique S3, formaram-se reservatórios com volumes da ordem de 8,0 Mm³, sistema que permite a contenção de qualquer eventual material proveniente do vale do Fundão.

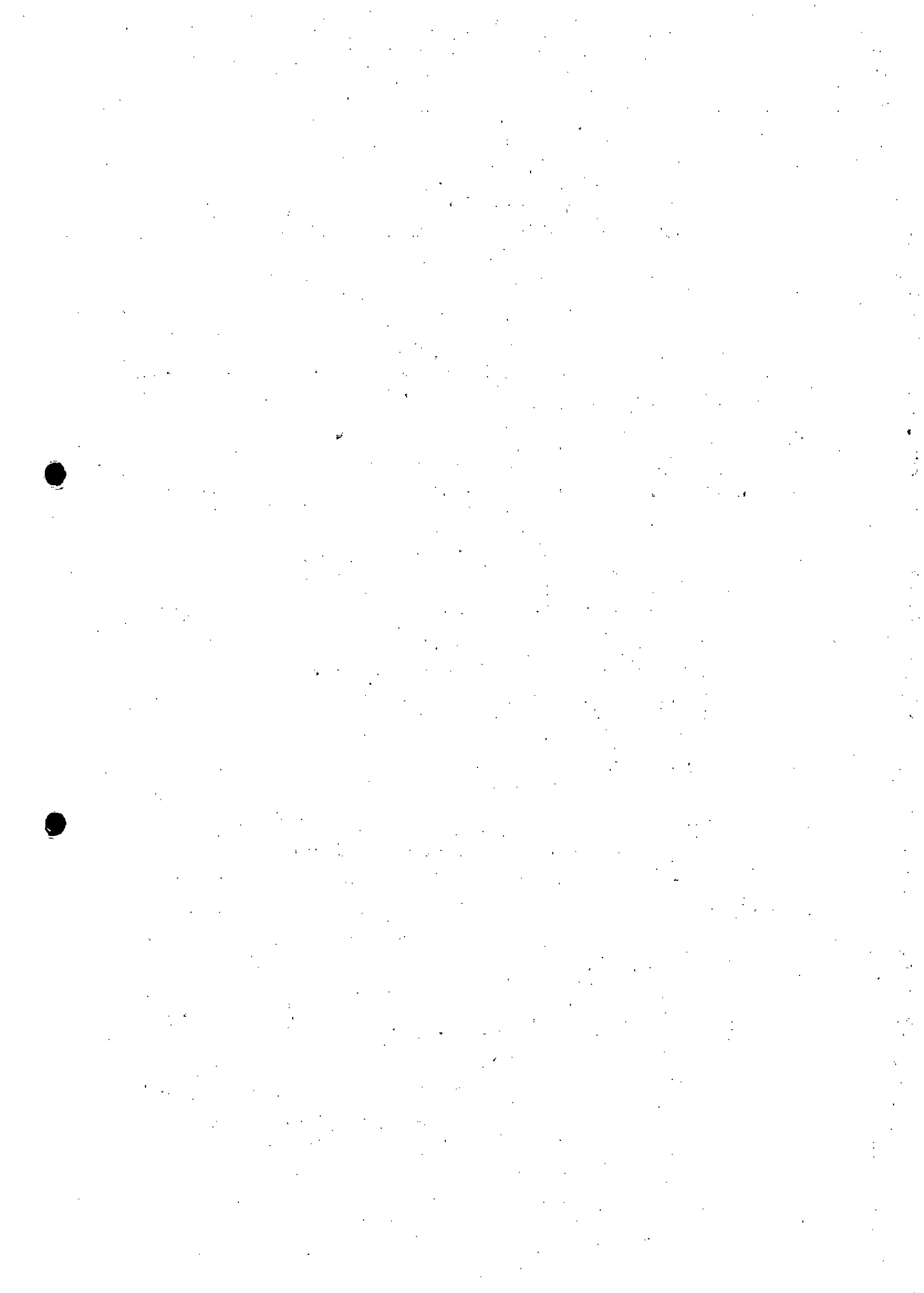
POTAMOS ENGENHARIA E HIDROLOGIA LTDA.

Avenida Barão Homem de Melo, 4386, 14º andar - Estoril

34.494-270 – Belo Horizonte - MG

Tel. (31) 2534-5100

e-mail: geral@potamos.com.br



1.0 INTRODUÇÃO

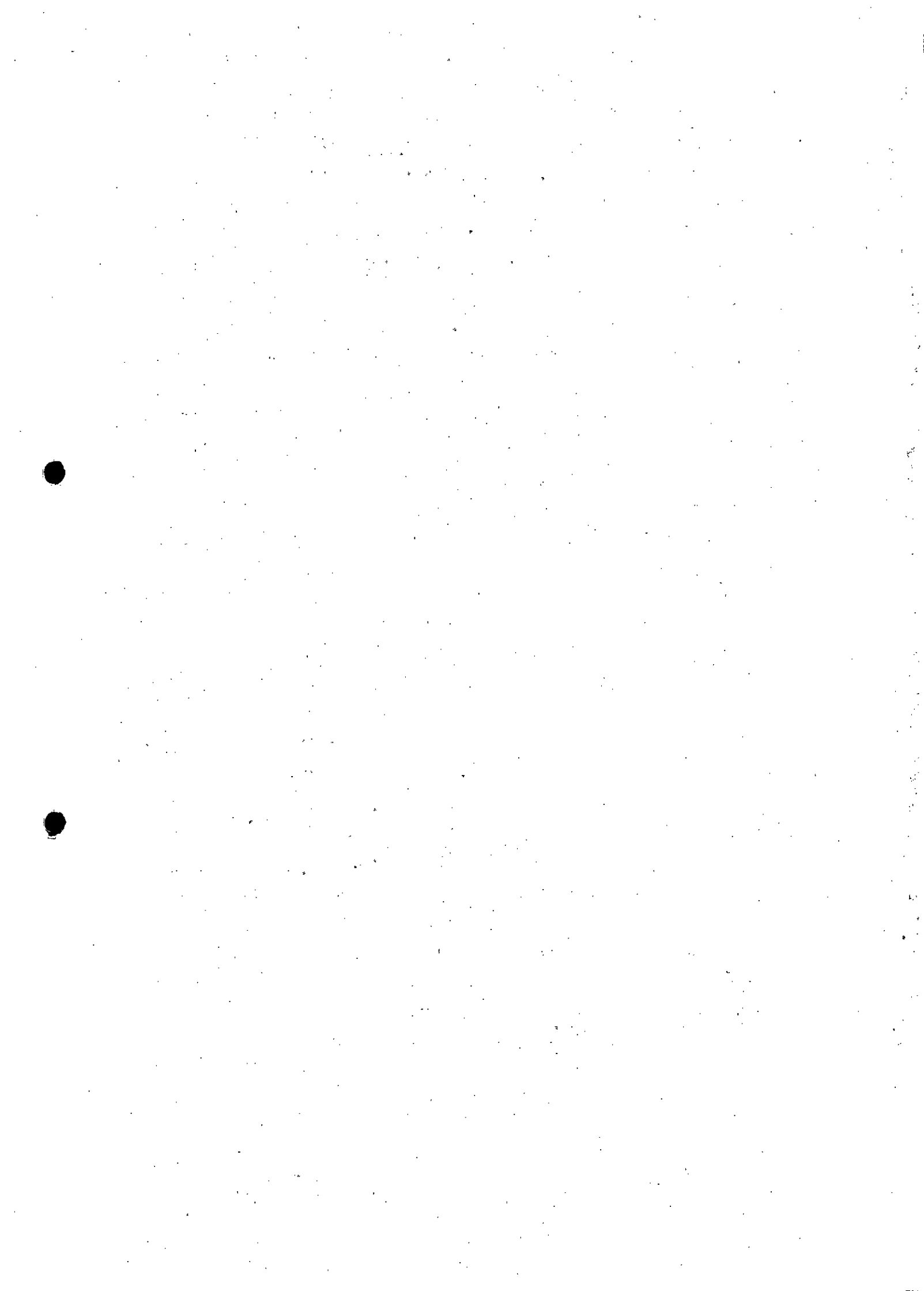
Após o evento de rompimento da Barragem do Fundão, ocorrido em 05/11/2015, a SAMARCO tomou uma série de medidas para estancar ou reduzir a propagação de eventuais movimentos de massa de rejeitos/lama pelo vale do córrego Santarém. Algumas medidas foram tomadas em caráter emergencial, logo após o evento, e outras foram concebidas de forma integrada, e posteriormente inseridas em um plano de obras, para implantação gradual ao longo do ano de 2016.

Embora o conceito das obras e a estimativa de desempenho tenham sido apresentados em diversas ocasiões para os órgãos licenciadores e reguladores, em 04/11/2016 a 12ª Vara Federal em Belo Horizonte, Minas Gerais, entendeu que *“não há nos autos prova definitiva de cessação do vazamento e nem de que as medidas que estão sendo tomadas são totalmente eficazes para esse fim”* e determinou a apresentação de provas pela SAMARCO de que *“que os vazamentos de rejeitos foram definitivamente estancados”*.

Isto posto, coloca-se a finalidade deste documento que é a de apresentação de elementos técnicos, na forma de provas, para possibilitar ao referido órgão verificar que a SAMARCO tomou as medidas cabíveis e necessárias para a contenção de eventuais vazamentos do vale do Fundão, incluindo a indicação das obras e ações realizadas para esse fim, bem como as respectivas análises de eficiência.

Para tanto, inicialmente foi estabelecido o conceito de VAZAMENTO da barragem rompida, para diferenciar da movimentação de material depositado no sistema fluvial a jusante do vale do Fundão e da erosão natural da bacia. Na sequência, foram descritos os estudos básicos que deram suporte às comprovações do efetivo estancamento e apresentadas as métricas que permitem mensurar a eficiência das medidas adotadas e implantadas pela empresa.

Levando-se em conta toda a base de informações já produzidas pela SAMARCO, esse documento foi elaborado pela POTAMOS Engenharia e Hidrologia a partir: (i) de uma série de estudos técnicos realizados por diversas outras empresas subcontratadas pela SAMARCO; (ii) do resultado dos estudos e análise de levantamentos topográficos da área de interesse, realizados por empresas subcontratadas pela SAMARCO, e de análises complementares feitas pela POTAMOS; (iii) da avaliação das batimetrias dos reservatórios das principais estruturas de contenção já implantadas ao longo do córrego do Fundão e de Santarém; bem como (iv) da análise de parâmetros de qualidade das águas e sedimentológicos, cuja coleta e análise foram realizadas por laboratórios devidamente acreditados contratados pela SAMARCO e também pela equipe técnica especializada da própria empresa.

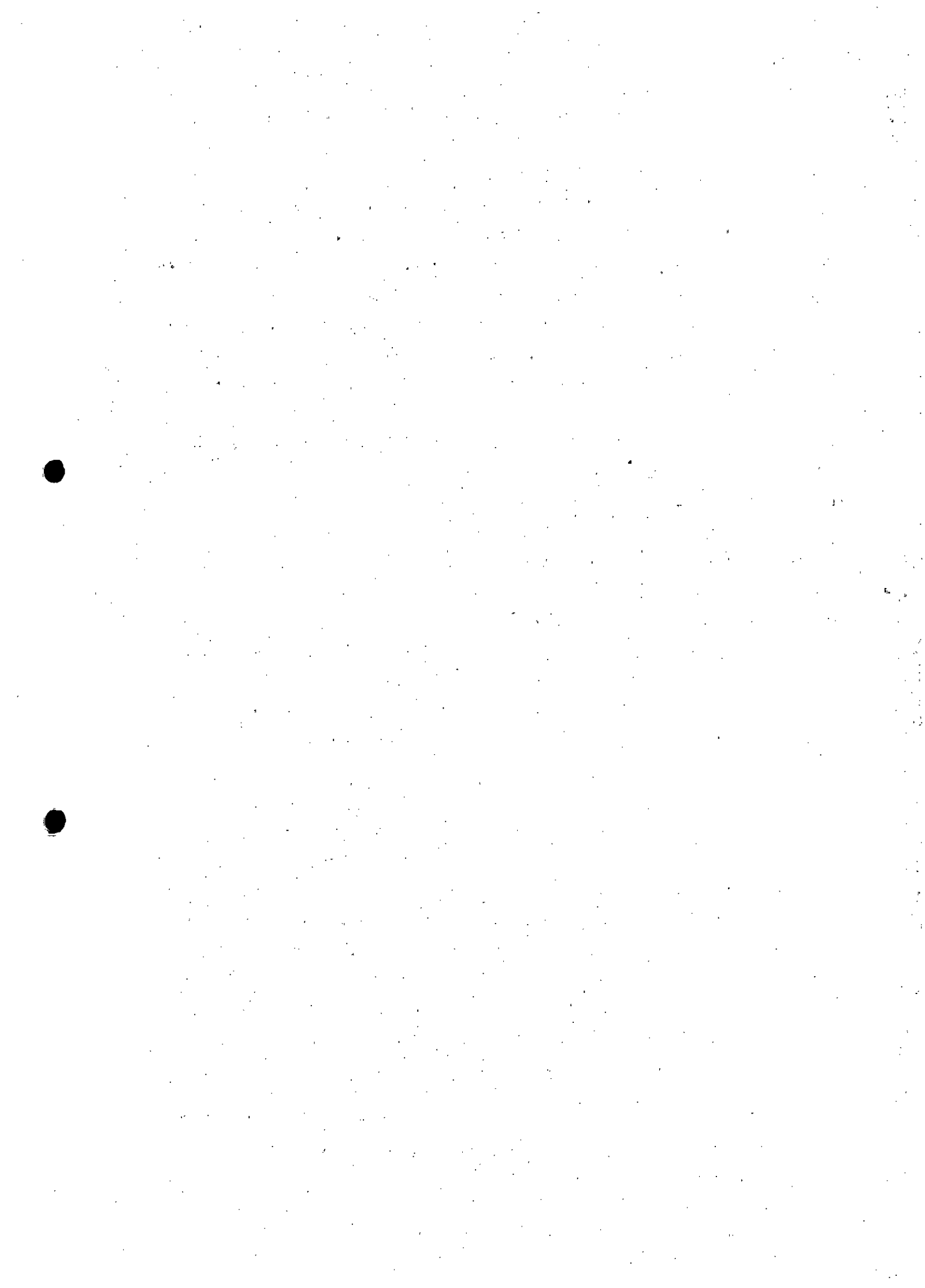


2.0 ÁREA DE ABRANGÊNCIA DOS ESTUDOS

O Complexo Germano está localizado no divisor das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba e do Carmo, conforme mostrado na Figura 2.1. A Figura 2.2, que utiliza como base uma imagem de satélite anterior ao evento de ruptura da Barragem do Fundão, mostra que parte das instalações industriais, as áreas de cava (Alegria Sul e Norte) e as pilhas de disposição de estéril estão inseridas nas redes de drenagem da margem esquerda e direita das cabeceiras do rio Piracicaba, incluindo cursos de água como os córregos Brumado, dos Macacos, Palmital, Macaco Barbado, João Manoel, das Almas e São Luís. As demais estruturas do Complexo Germano, ou seja, o restante das instalações industriais, as barragens de rejeitos e regularização estão inseridas na rede de drenagem do rio Gualaxo do Norte (bacia do rio do Carmo), mais especificamente ao longo dos córregos do Fundão e Santarém.

Em virtude de sua localização, o material defluente do evento de ruptura da Barragem do Fundão atingiu o restante do vale do córrego homônimo, ao longo do qual a citada estrutura estava implantada, bem como o córrego Santarém e os rios Gualaxo do Norte, do Carmo e Doce, cursos de água pertencentes à rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Doce e situados no trecho de jusante (Figura 2.1). Diante do exposto, a SAMARCO iniciou uma série de estudos que culminaram na execução de obras ditas emergenciais, no intuito de conter o material ainda defluente do vale do Fundão e/ou que poderia ser mobilizado durante o período de chuvas. Tais intervenções limitaram-se à área diretamente afetada (Figura 2.3), ou seja, ao vale do córrego do Fundão e do córrego Santarém, até a confluência deste último com o rio Gualaxo do Norte. A partir desse ponto também estão sendo estudadas e realizadas obras de contenção e recuperação, além de ações de monitoramento da qualidade das águas dos cursos de água até a foz do rio Doce, no estado do Espírito Santo.

Neste contexto, para efeito da avaliação da ocorrência ou não do vazamento de rejeitos que ainda se encontram no vale da Barragem do Fundão, foi definida a seção fluvial correspondente ao limite da propriedade da SAMARCO e onde foi implantada a estrutura de contenção denominada Dique S3. Essa estrutura começou a ser implantada em novembro de 2015, no córrego Santarém, a montante da localidade de Bento Rodrigues, tendo passado por dois processos de alteamento até a data atual. A estrutura de contenção implantada a jusante da citada localidade (Dique S4) não foi considerada como referência, pois foi concebida inicialmente com o objetivo de reter os sólidos depositados na região de Bento Rodrigues, impedindo que os mesmos sejam mobilizados para o rio Gualaxo do Norte mediante a ocorrência de chuvas na região. Entretanto, nada impede que a mesma venha a realizar a função complementar de contenção de eventuais vazamentos.



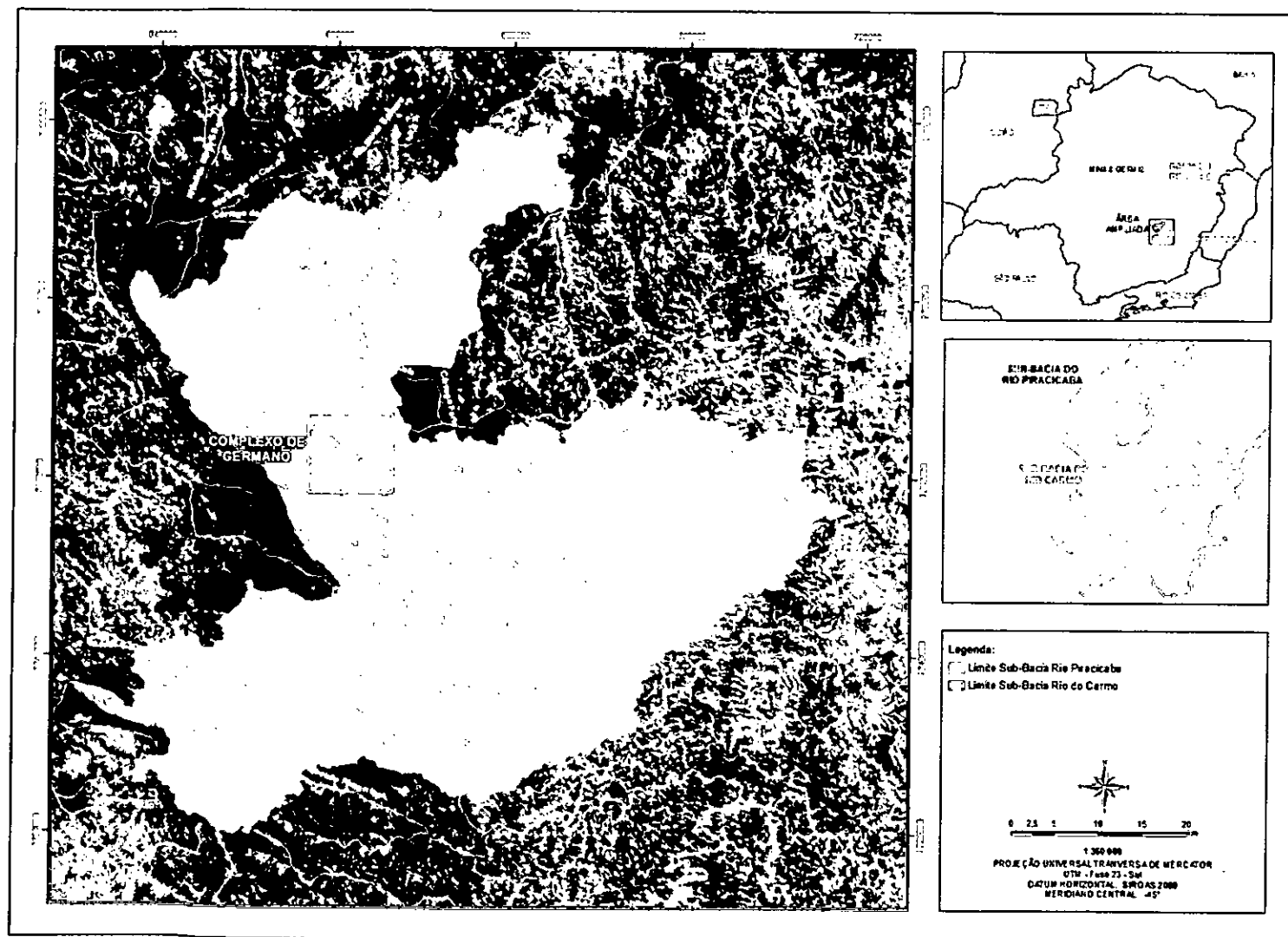
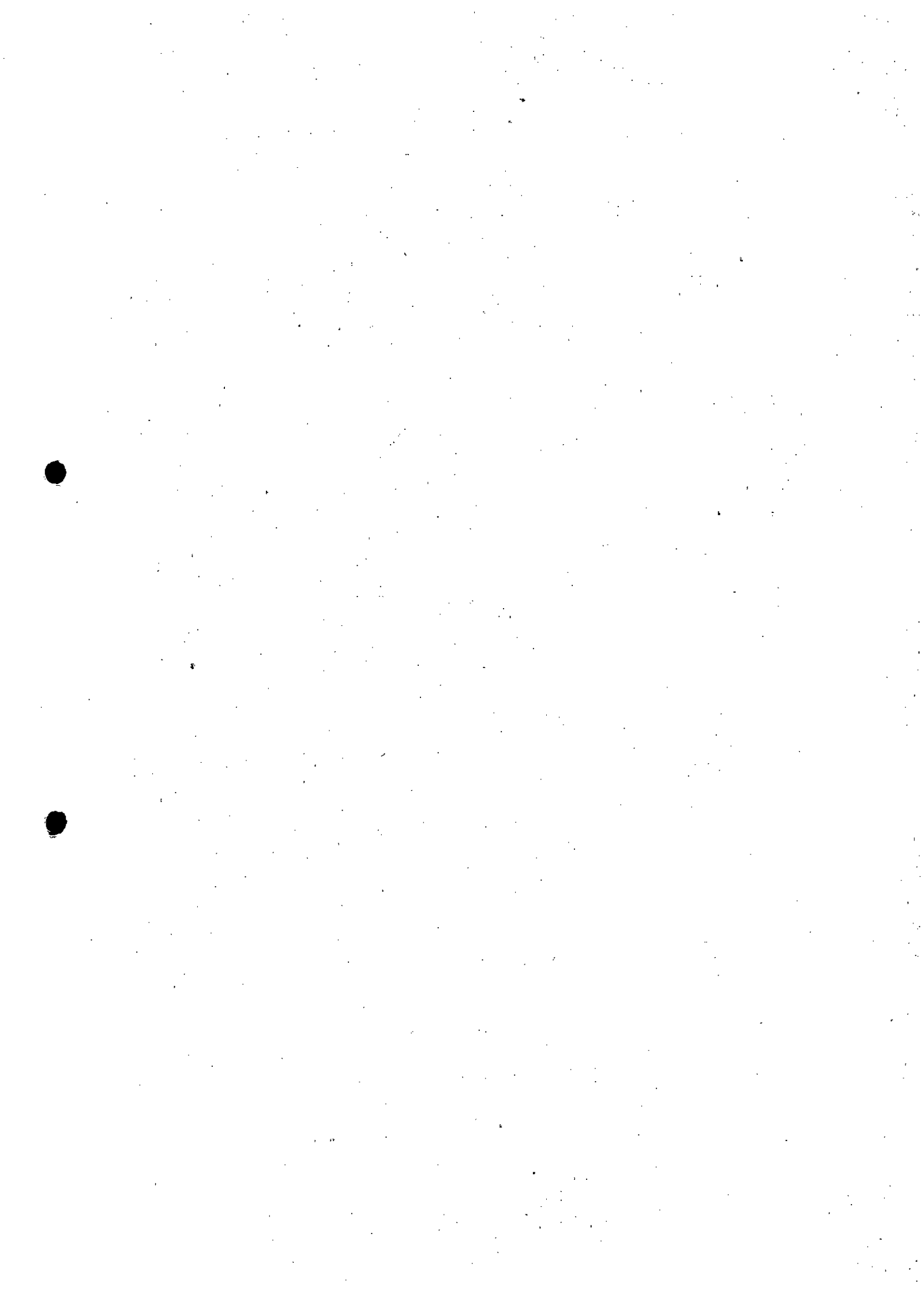


Figura 2.1 – Localização geral do Complexo Germano.



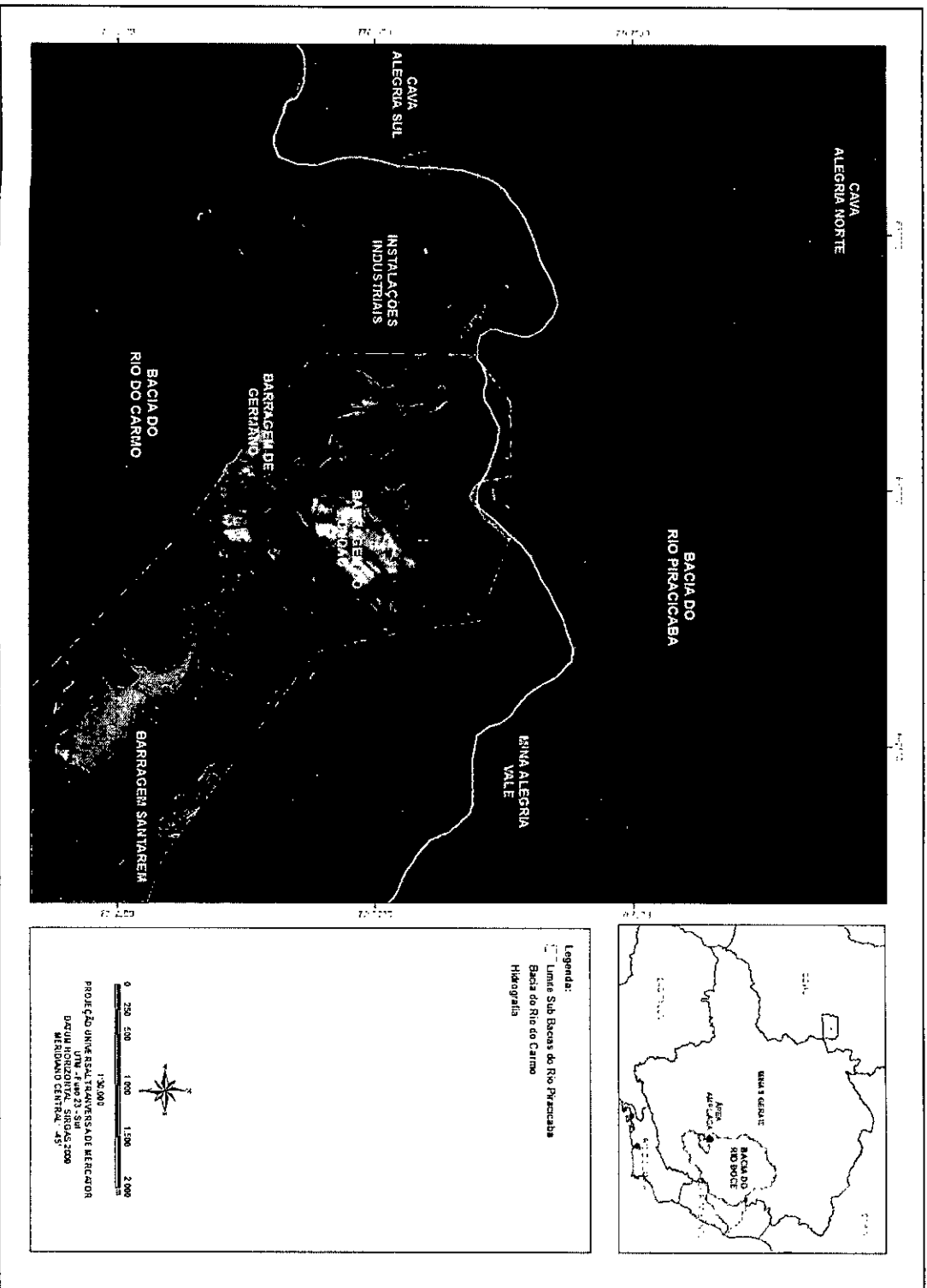
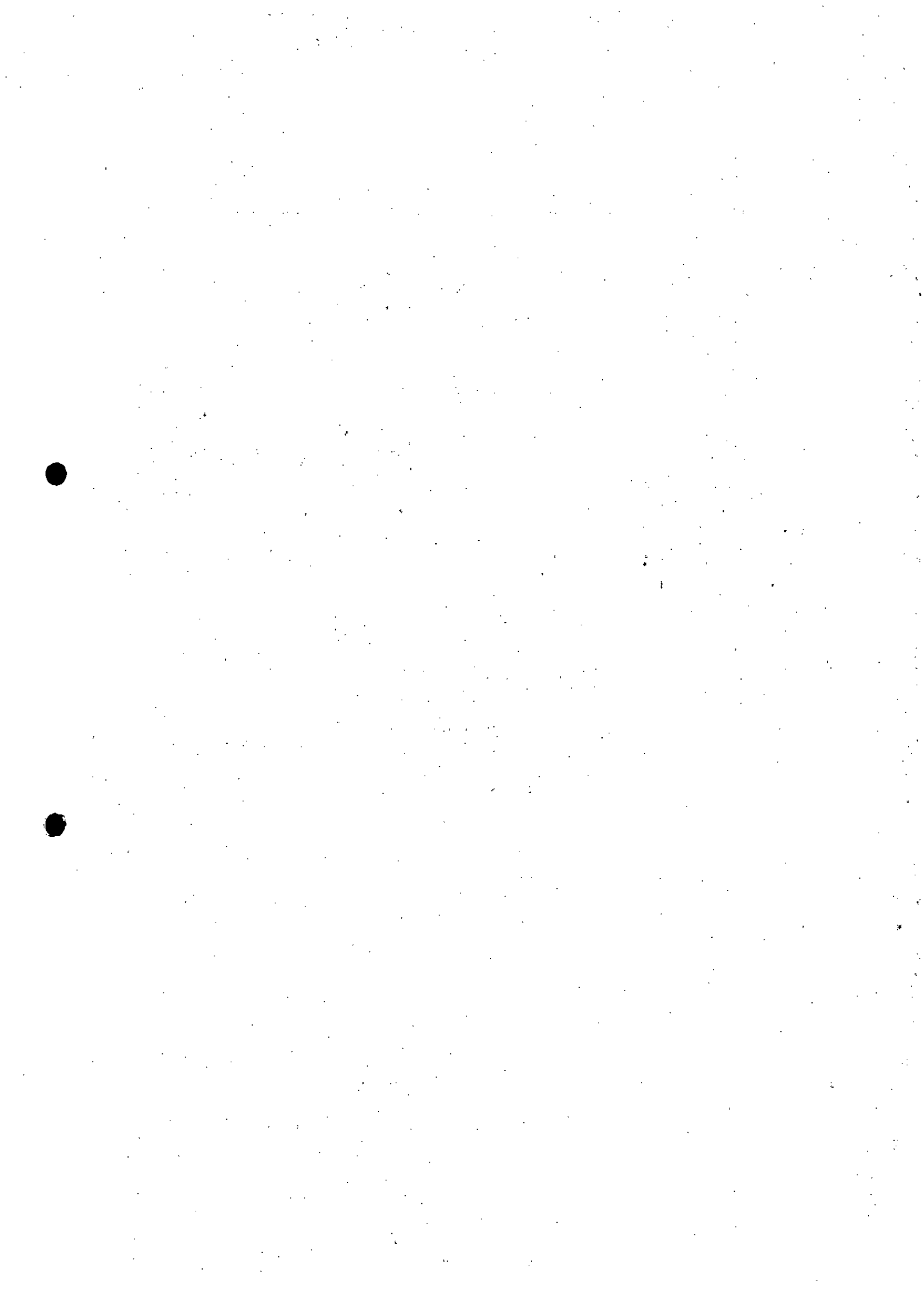


Figura 2.2 – Arranjo geral do Complexo Germano, anteriormente ao evento de ruptura da Barragem do Fundão em 05/11/2015.



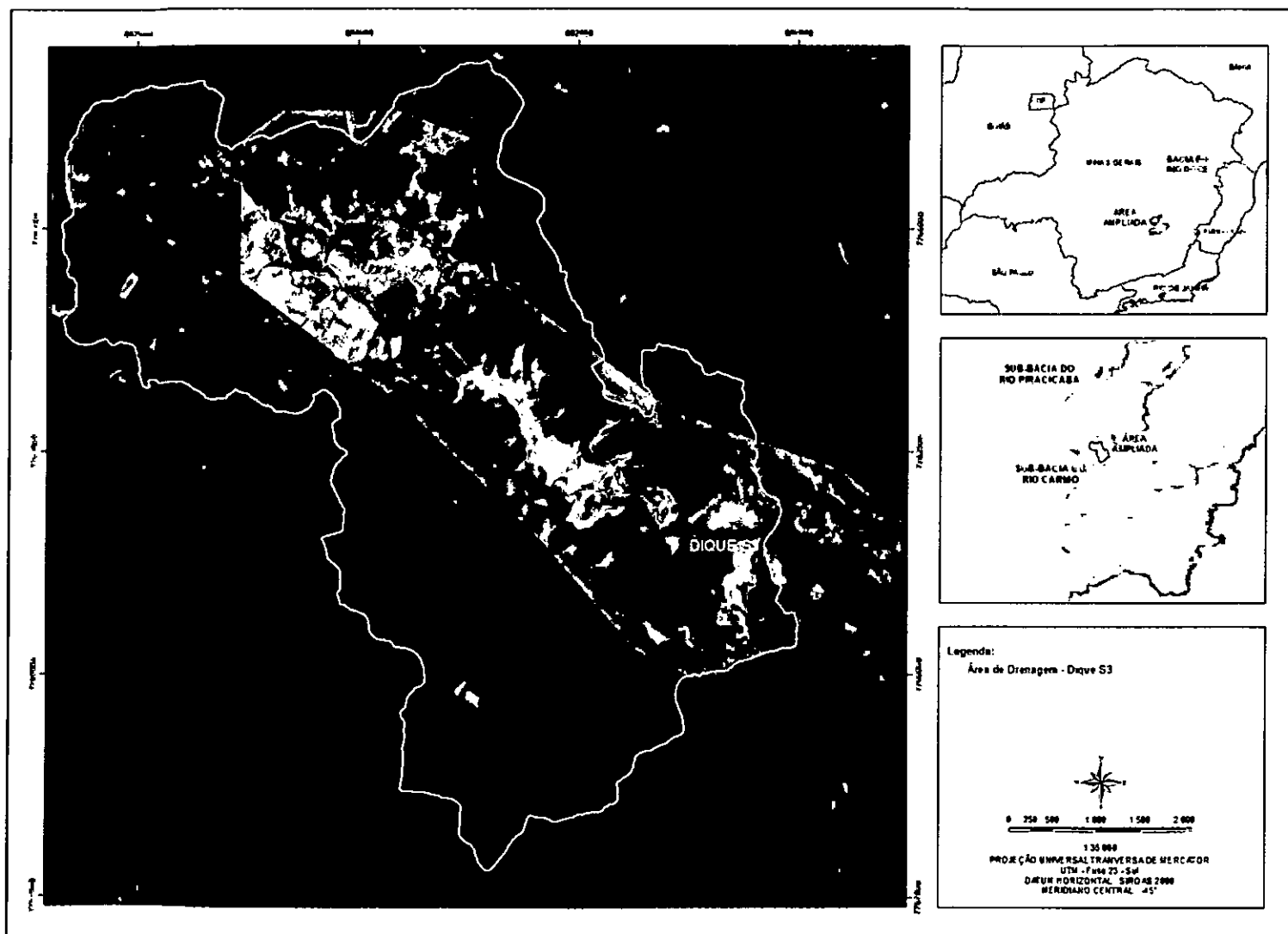


Figura 2.3 – Área especificada para implantação das obras de controle do material defluente do vale do Fundão.

3.0 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS FATOS

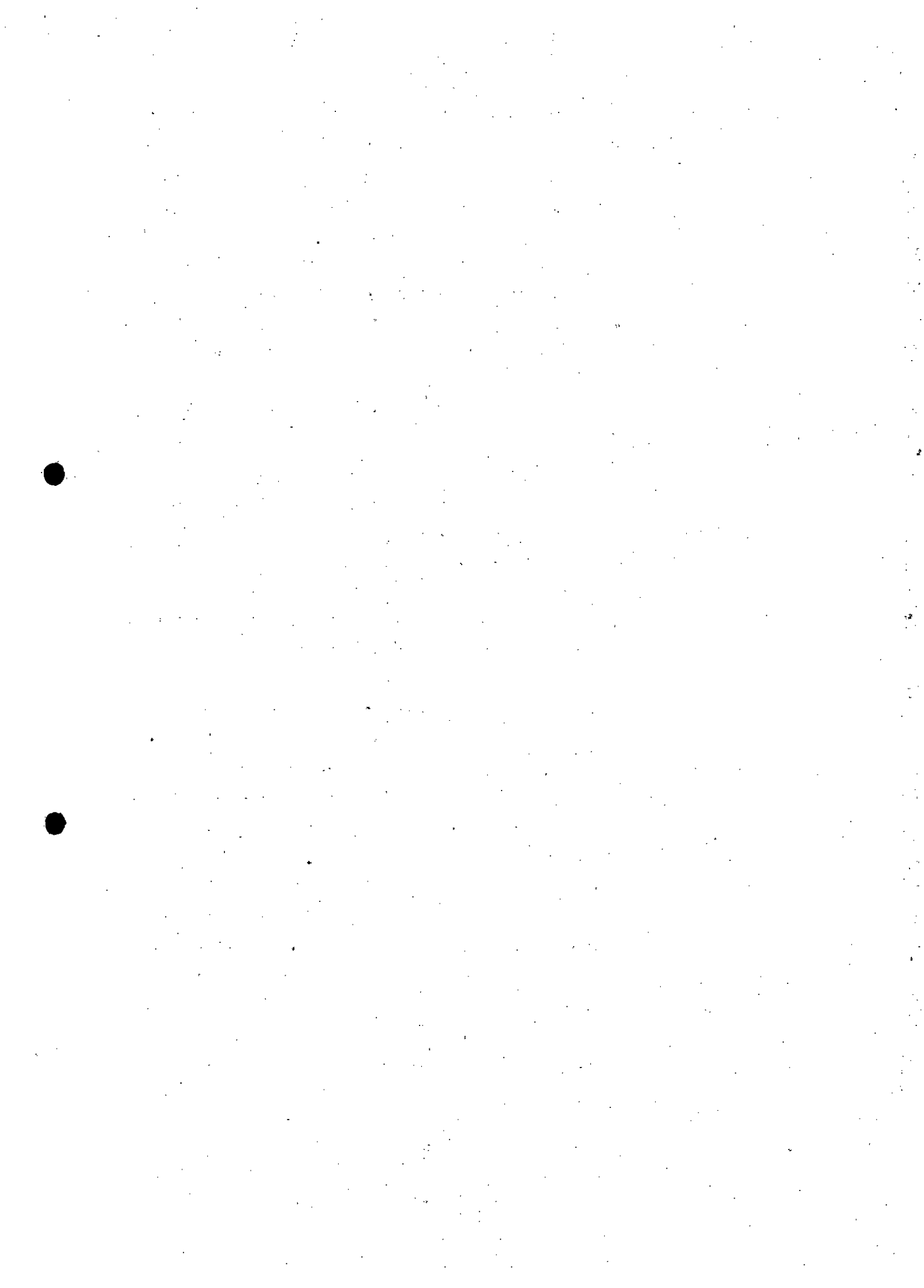
A SAMARCO iniciou a operação da Mina do Germano em 1973, tendo construído desde aquela ocasião uma barragem no córrego do Germano para a contenção de rejeitos, clarificação de efluentes e recuperação da água presente na polpa para uso industrial. Essa estrutura, denominada Barragem do Germano, passou por sucessivas etapas de alteamentos para ampliar sua capacidade volumétrica, destinada à contenção dos rejeitos advindos do processo de beneficiamento do minério nas unidades industriais.

No ano de 1992, para manter a capacidade de clarificação da água e flexibilizar a operação hidráulica do sistema de recuperação de água da polpa, foi implantada a Barragem Santarém, em uma seção fluvial situada a jusante da Barragem do Germano. Com estas estruturas, a empresa garantia a qualidade dos efluentes gerados na área do Complexo do Germano, em conformidade com o enquadramento dos cursos de água da bacia, compreendidos pela sequência do córrego Santarém e rio Gualaxo do Norte.

Em 2006 foi construída a Barragem do Fundão, estrutura designada como a principal área para a contenção de rejeitos, sendo implantada em um vale lateral ao córrego do Germano e a montante da Barragem Santarém. O efluente dessa nova barragem, decantado e parcialmente clarificado, vertia para o reservatório da Barragem Santarém, onde era feita a recuperação de toda a água livre da polpa para a reutilização na usina de beneficiamento e onde também se complementava ações para clarificação dos efluentes, no intuito de adequar os mesmos ao enquadramento das águas a jusante. A disposição em planta desse sistema de barragens pode ser visto na Figura 2.2, anteriormente apresentada, sendo esta a configuração existente na data anterior ao evento de rompimento da Barragem do Fundão, em 05/11/2015.

Na data do rompimento, o volume total de rejeitos dispostos no reservatório da Barragem do Fundão era da ordem de 56,0 Mm³. Deste total estima-se que o volume vazado tenha sido de 32,0 Mm³, permanecendo cerca de 24,0 Mm³ de depósitos remanescentes na área da bacia hidráulica do reservatório, os quais poderiam ser mobilizados e carreados para jusante em decorrência das vazões mais elevadas produzidas pela estação chuvosa do ano hidrológico 2015/2016, que se iniciava naquele momento, e do ano hidrológico seguinte, 2016/2017.

Além disso, do volume total de rejeitos vazados durante o evento de ruptura, foi estimado que 5,0 Mm³ tenham ficado retidos no reservatório da Barragem Santarém, que suportou o galgamento de



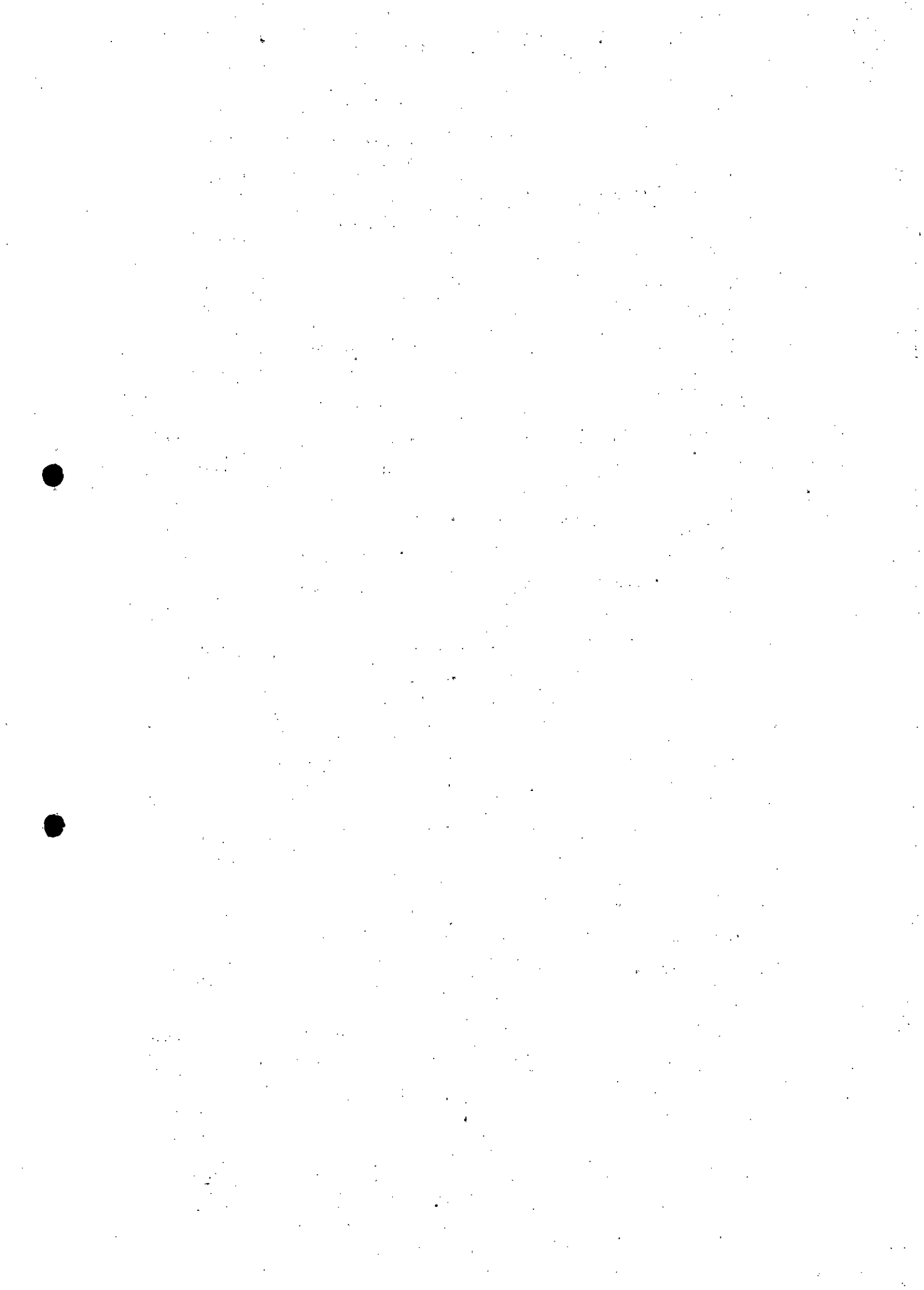
seu maciço e não se rompeu. Dessa forma, pode-se inferir que havia um total de 29,0 Mm³ de rejeitos mobilizados no vale a montante da Barragem Santarém que poderiam ser movidos, ou vazados para jusante, como consequência de movimentos de massa, de erosão hídrica das precipitações e do escoamento do fluxo superficial dos cursos de água nos fundos de vale.

Feita esta contextualização, pode-se definir VAZAMENTO como a movimentação e carreamento do volume remanescente de rejeitos/lama (29,0 Mm³) do rompimento da Barragem do Fundão, para o trecho situado a jusante da Barragem Santarém, alcançando a calha do rio Gualaxo do Norte e podendo escoar para o restante dos cursos de água da bacia do rio Doce.

Por esse motivo, imediatamente após o evento de ruptura, a SAMARCO iniciou um plano de contenção dos possíveis vazamentos, baseado na implantação de obras transversais de retenção na calha fluvial de jusante. As obras não tiveram início imediato, pois era necessário averiguar a segurança das estruturas da Barragem do Germano que foram submetidas ao rápido desagendamento dos taludes de jusante, bem como assegurar que o maciço da Barragem Santarém, que fora galgado pela onda de choque do rompimento, apresentava a devida estabilidade, de forma a permitir a movimentação de pessoas e equipamentos no trecho de jusante.

Passada essa fase de averiguação de segurança das estruturas remanescentes, ainda no mês de novembro de 2015 foram iniciadas, em caráter emergencial, as obras estruturais de contenção de fluxo e/ou material (plano de manejo de águas, barreiras hidráulicas, diques galgáveis, reforço de barragem existente e construção de nova estrutura) descritas em detalhes no Capítulo 4. Dentre essas medidas, a obra de maior impacto, no que diz respeito à capacidade de contenção do material defluente do vale do Fundão e manutenção dos padrões de qualidade das águas dos cursos de água de jusante, corresponde ao Dique S3. Por esse motivo, conforme descrito no Capítulo 2, essa estrutura foi considerada como seção de referência para avaliação dos possíveis e eventuais VAZAMENTOS de rejeitos/lama do vale do Fundão para o trecho de jusante.

Dentro desse contexto, o desempenho e eficiência de todas as medidas adotadas pela SAMARCO para conter o VAZAMENTO foram avaliados segundo os seguintes critérios de (i) cálculo do volume total de sedimentos (rejeitos/lama) depositados e retidos no sistema, desde o vale do Fundão até o eixo do Dique S3 (ver Figura 2.3); (ii) análise da evolução temporal dos parâmetros de turbidez (NTU) e sólidos em suspensão (TSS), principalmente em gráficos comparativos das seções de amostragem situadas a montante e a jusante do eixo do Dique S3.

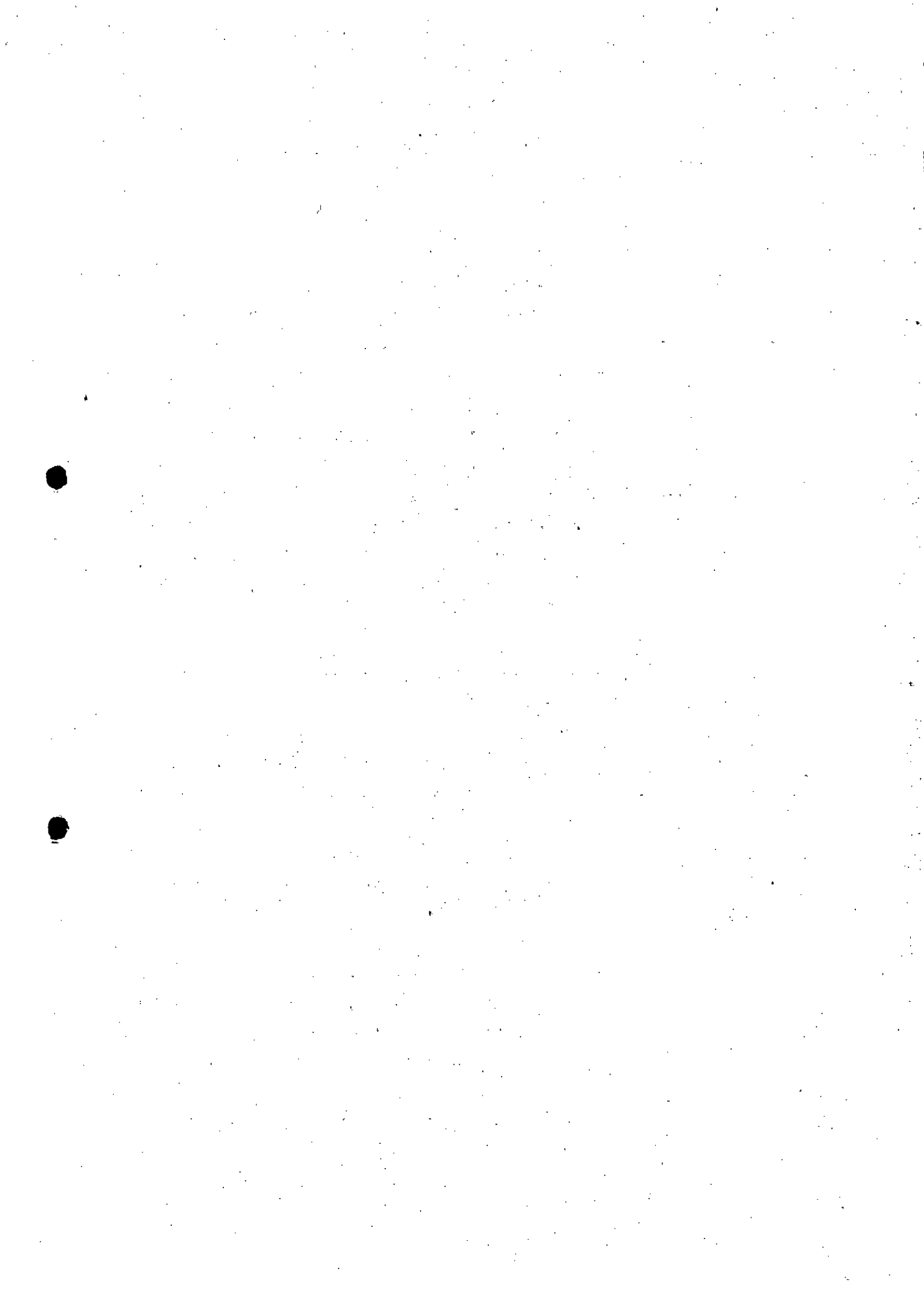


Ressalta-se que a bacia do córrego Santarém apresenta, por si só, um potencial de geração de sedimentos e transporte sólido, por conta da tipologia do relevo e do solo, bem como do nível de antropização existente, gerador de focos de erosão em estradas de acesso, práticas de silvicultura e material de atividades garimpeiras pretéritas. Portanto, no cômputo da eficiência das medidas de contenção dos VAZAMENTOS, deve-se descontar esse *baseline* de geração de sedimentos na bacia, infelizmente não monitorado pelos órgãos legais responsáveis.

Vale destacar que logo após o evento do rompimento da Barragem de Fundão, foram prognosticadas as possibilidades de ocorrerem VAZAMENTOS como resultado de algum movimento de massa dos rejeitos/lama remanescentes na bacia hidráulica da Barragem do Fundão ou devido à erosão hídrica causada pela precipitação direta sobre os depósitos ou pelo transporte do material depositado na calha do sistema de drenagem do córrego Santarém. Qualquer que fosse a causa de um eventual VAZAMENTO, o transporte seria feito pela calha do curso de água citado e se daria em conformidade com as modalidades clássicas de movimentação de descarga sólida: o material de granulometria mais grossa (areias grossa, média e fina) seria transportado por arraste pelo fundo da calha e o material mais fino (silte e argila) se moveria em suspensão na corrente fluida.

Na concepção das obras transversais de retenção dos eventuais VAZAMENTOS, considerava-se uma maior eficiência de retenção do material transportado por arraste, enquanto o material mais fino, que confere cor e turbidez à água (sólidos suspensos e dissolvidos), poderia ter a sedimentação induzida pela aplicação de reagentes químicos (coagulantes e floculantes) a montante dos reservatórios formados pelas estruturas de retenção. Desta forma, ambas as concepções foram adotadas e consideradas no desenvolvimento dos planos de ação da empresa.

Os três próximos capítulos descrevem (i) cada uma das ações, medidas e obras adotadas e concebidas pela SAMARCO para a contenção, medição e/ou monitoramento de possíveis e eventuais vazamentos decorrentes do vale do Fundão; (ii) os estudos básicos que permitem fornecer subsídios para a fundamentação básica da avaliação dos mesmos; e (iii) a descrição dos critérios de análise de eficiência dessas medidas e seus resultados.



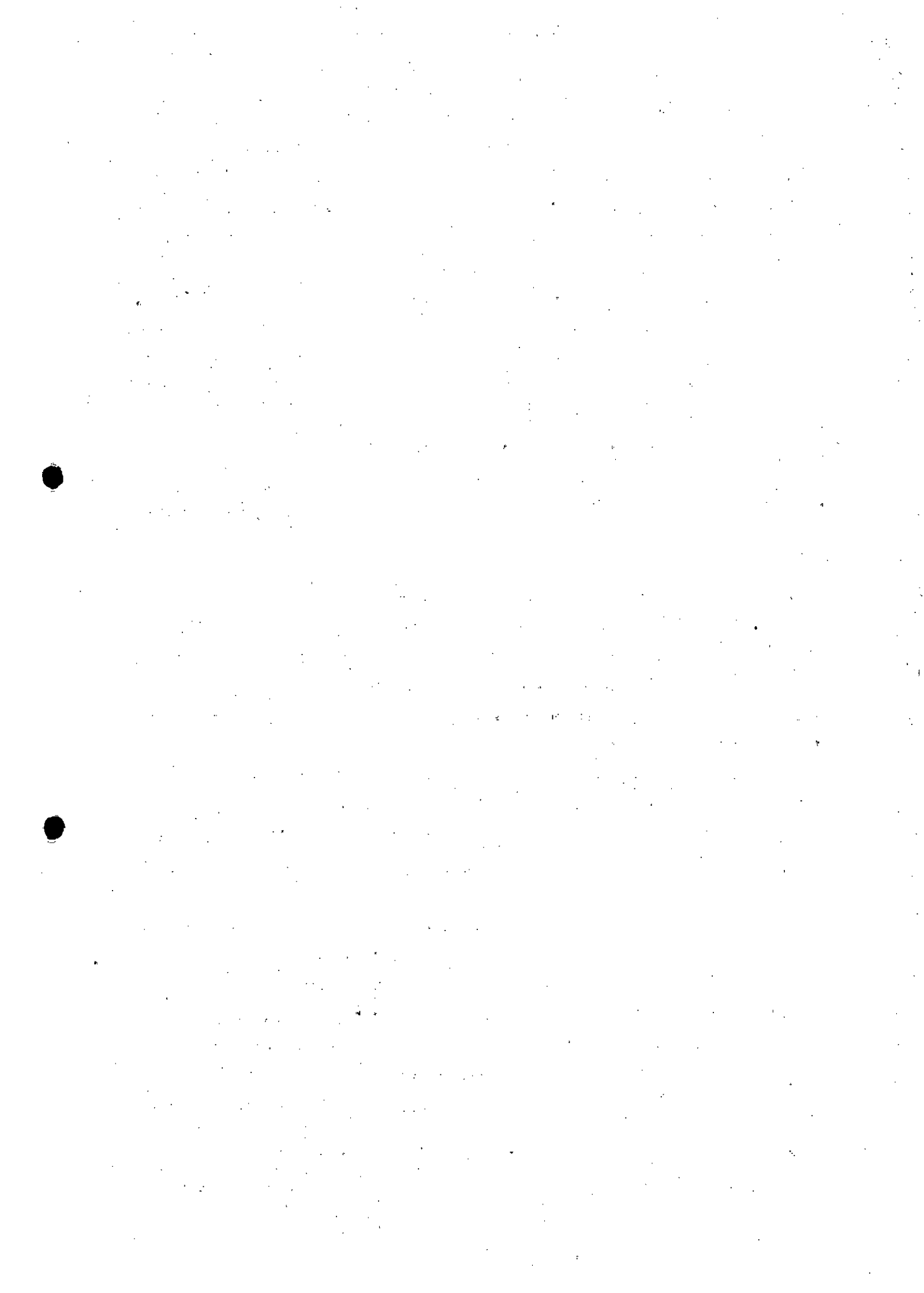
4.0 MEDIDAS DE CONTROLE ADOTADAS

Desde o dia posterior ao evento de rompimento da Barragem do Fundão foram realizadas reuniões frequentes entre representantes do empreendedor e órgãos ambientais licenciadores/fiscalizadores, com o objetivo de apresentar e esclarecer dúvidas sobre as ações a serem tomadas pela SAMARCO para mitigação dos impactos decorrentes desse fato. No final de novembro de 2015, logo após atestada a segurança necessária para execução dos trabalhos em campo, a empresa colocou em prática várias ações para controle e/ou acompanhamento desses impactos.

A primeira delas corresponde à elaboração de um plano de obras e/ou intervenções a serem implantadas na área da barragem rompida, como (i) o plano de manejo das águas superficiais defluentes da Barragem do Germano, de forma a impedir seu aporte à citada área; (ii) a construção de barreiras hidráulicas no vale do Fundão, para impedir a continuidade do processo de carreamento de material movimentado pelo evento de ruptura; e (iii) o reparo e/ou reestruturação das estruturas existentes (Barragem Santarém e Germano); bem como (iv) a implantação de estruturas mais robustas (diques) para contenção de sedimentos e a dosagem de reagentes (coagulantes e floculantes) para aumentar a capacidade de sedimentação dos sólidos suspensos e dissolvidos, de forma a reforçar o controle e a retenção do material ainda em processo de carreamento pelas águas de chuva e permitir a manutenção dos padrões de qualidade das águas no trecho de jusante.

De forma a reforçar o efeito das obras implantadas, também foram previstos (i) planos de dragagem ou remobilização dos rejeitos/lama depositados nas principais estruturas implantadas, de forma a otimizar e liberar, em menor espaço de tempo, maior volume de contenção nas mesmas; e (ii) implantação de cortinas de turbidez nos reservatórios dessas estruturas, de forma a auxiliar o controle de qualidade das vazões afluentes durante o processo de dragagem ou remobilização de material. Essas medidas foram realizadas principalmente no Dique S3, estrutura situada nos limites de propriedade da SAMARCO e com maior potencial para remobilização interna do material depositado, bem como constituída, à época, do maior reservatório de contenção.

Além disso, também foi adotada a medida de lançamento de reagentes (floculantes e coagulantes) no trecho do córrego Santarém situado a montante do reservatório do Dique S3 para favorecer a aglutinação das partículas suspensas e coloidais afluentes, induzindo sua posterior sedimentação no reservatório da citada estrutura.



Outra medida de maior abrangência adotada corresponde à intensificação dos levantamentos topográficos da área afetada, principalmente daquela compreendida entre o vale da Barragem do Fundão, incluindo este, e a foz do córrego Santarém no rio Gualaxo do Norte. Além disso, também foram realizados levantamentos batimétricos nos reservatórios de todas as estruturas de contenção implantadas no trecho. Tais serviços de topografia e batimetria foram feitos com o maior nível de precisão possível, no intuito de permitir monitorar e avaliar a dinâmica de erosão, transporte e sedimentação do material defluente do vale da Barragem do Fundão ao longo do trecho fluvial citado, bem como acompanhar a perda de capacidade de retenção das estruturas hidráulicas implantadas com a finalidade de contenção desse material.

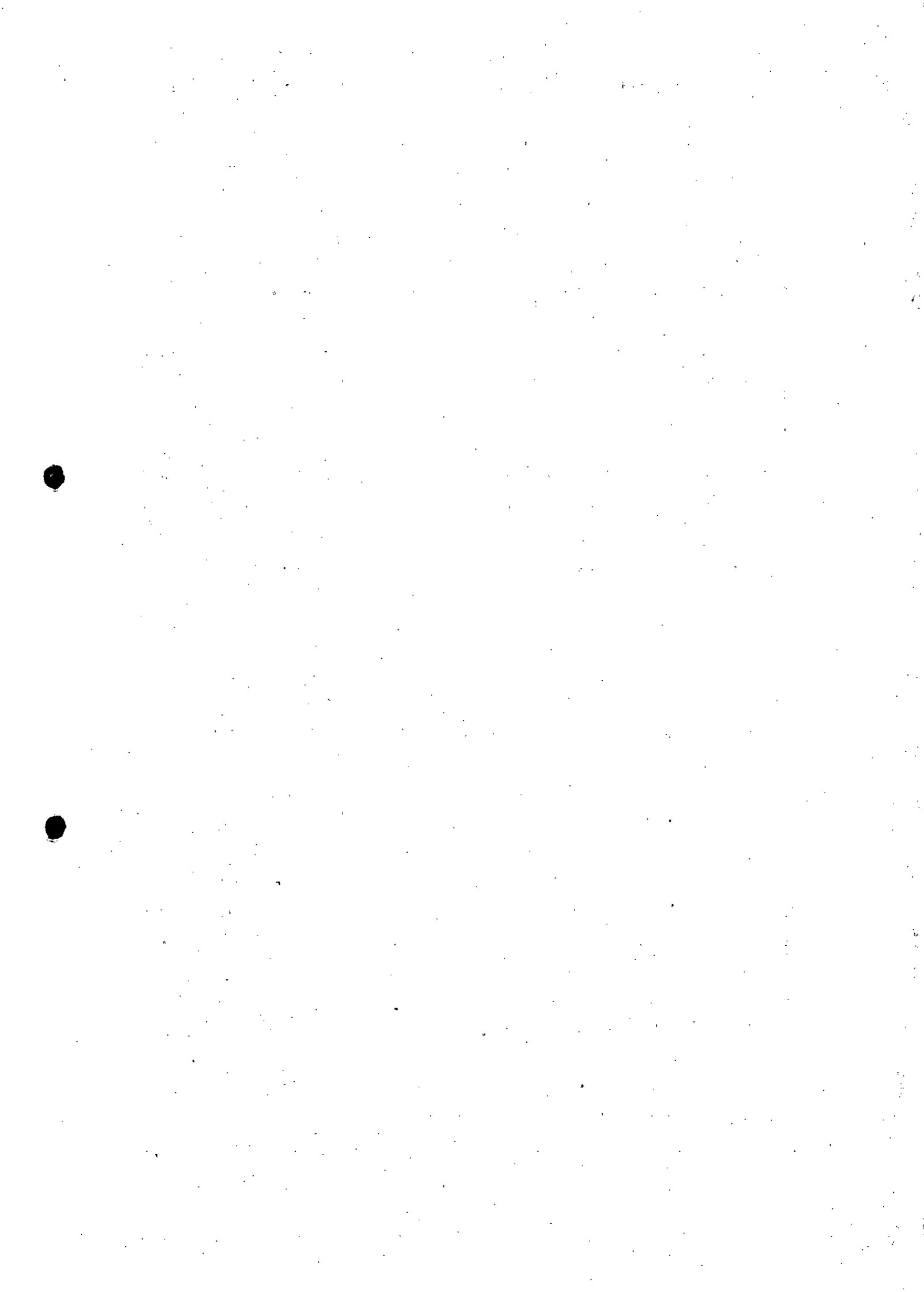
Por fim, a última ação adotada trata da implantação e operação de uma rede de monitoramento de parâmetros para avaliação da qualidade das águas e também de variáveis relacionadas ao transporte de sedimentos ou ao material defluente do vale do Fundão. Tal rede foi implantada em toda a extensão da bacia hidrográfica do rio Doce, ao longo dos cursos de água diretamente afetados pelo evento, como também naqueles livres dos efeitos da onda de ruptura, visando a comparação dos resultados obtidos.

4.1 PLANO DE OBRAS

Conforme citado anteriormente, a SAMARCO iniciou em novembro de 2015 a execução de uma série de obras emergenciais na região do evento de rompimento da Barragem do Fundão, com vistas a impedir a continuidade do processo de carreamento do material depositado no vale da citada estrutura, principalmente em virtude da provável incidência de chuvas durante o período chuvoso de 2015/2016.

Uma das primeiras ações tomadas pela empresa foi estudar o plano de manejo das águas da Barragem do Germano, cujo reservatório e maciços auxiliares de contenção faziam divisa com o reservatório da Barragem do Fundão, e cuja drenagem principal era direcionada para esse reservatório. Além disso, foram previstas obras de reforço no pé da barragem e de adequações do seu sistema extravasor, bem como estabilização a jusante dos diques da Sela, Selinha e Tulipa, delimitadores dos reservatórios formados pela Barragem do Germano.

Paralelamente, foram desenvolvidos estudos de implantação de barreiras hidráulicas e diques de contenção galgáveis ao longo da área diretamente afetada, ou seja, até a confluência do córrego Santarém com o rio Gualaxo do Norte.



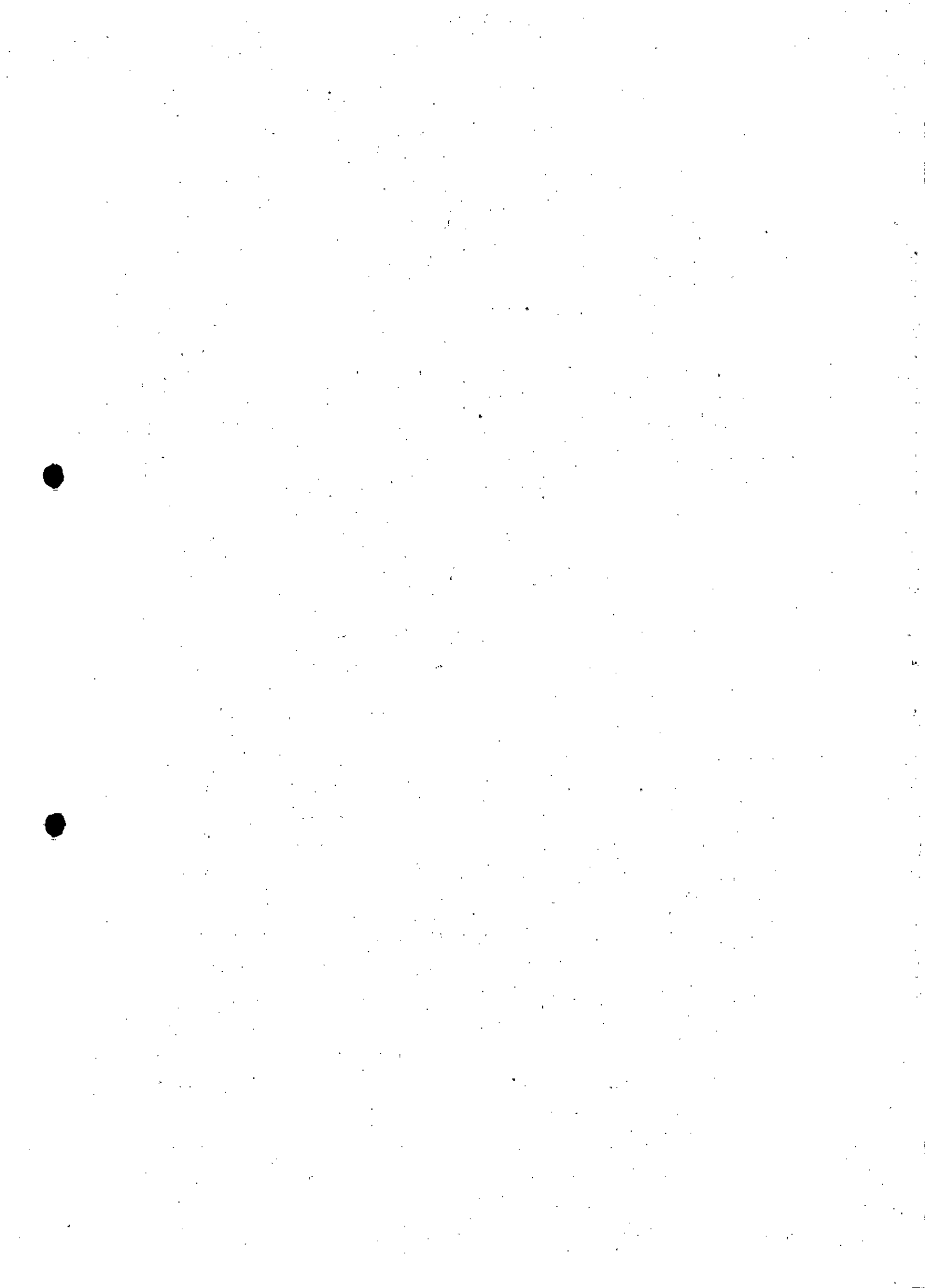
As quatro barreiras hidráulicas projetadas foram implantadas no vale da antiga Barragem do Fundão para impedir e conter o carreamento dos rejeitos/lama ainda em movimento, permitindo que as obras dos diques de contenção previstos no trecho de jusante, bem como o reforço da Barragem Santarém, fossem realizadas em condições de segurança.

Os quatro diques de contenção, por sua vez, foram projetados para serem implantados imediatamente a jusante da Barragem Santarém e a montante da confluência deste curso de água com o rio Gualaxo do Norte. Tais estruturas correspondem aos (i) Diques S1 e S2, de pequenas proporções, de rápida implantação e capacidade de retenção reduzida, porém prevista e que poderia atender aos objetivos ainda no pico do período chuvoso em curso (janeiro de 2016); e (ii) Diques S3 e S4, estruturas hidráulicas mais robustas, com exigência de maior tempo de implantação, maior capacidade acumulativa e maior eficiência de retenção prevista, situadas respectivamente a montante e a jusante da localidade de Bento Rodrigues, povoado atingido pela onda de ruptura.

Além das estruturas citadas e com a finalidade de conter complementarmente o material defluente do vale do Fundão, e ainda manter a qualidade das águas defluentes do córrego Santarém durante o período chuvoso de 2016/2017, a Samarco deu início aos estudos, elaboração dos projetos e execução emergencial das seguintes estruturas: Dique Eixo 1, reforço da Barragem Santarém e construção da Barragem Nova Santarém.

A Figura 4.1 indica a localização de todas as medidas citadas, que englobam desde o sistema de manejo de águas da Barragem do Germano, passando pelo reforço e/ou implantação de estruturas de contenção, até o desenvolvimento dos estudos de PRAD (Projeto de Recuperação de Área Degradada). As obras correspondentes a cada uma das medidas descritas anteriormente foram projetadas pelas empresas BVP Engenharia, GEOCONSULTORIA, NORWEST Engineering POTAMOS Engenharia e Hidrologia, WALM Engenharia e Tecnologia Ambiental e SAMARCO, sendo que algumas delas já foram executadas e outras ainda estão em fase de construção.

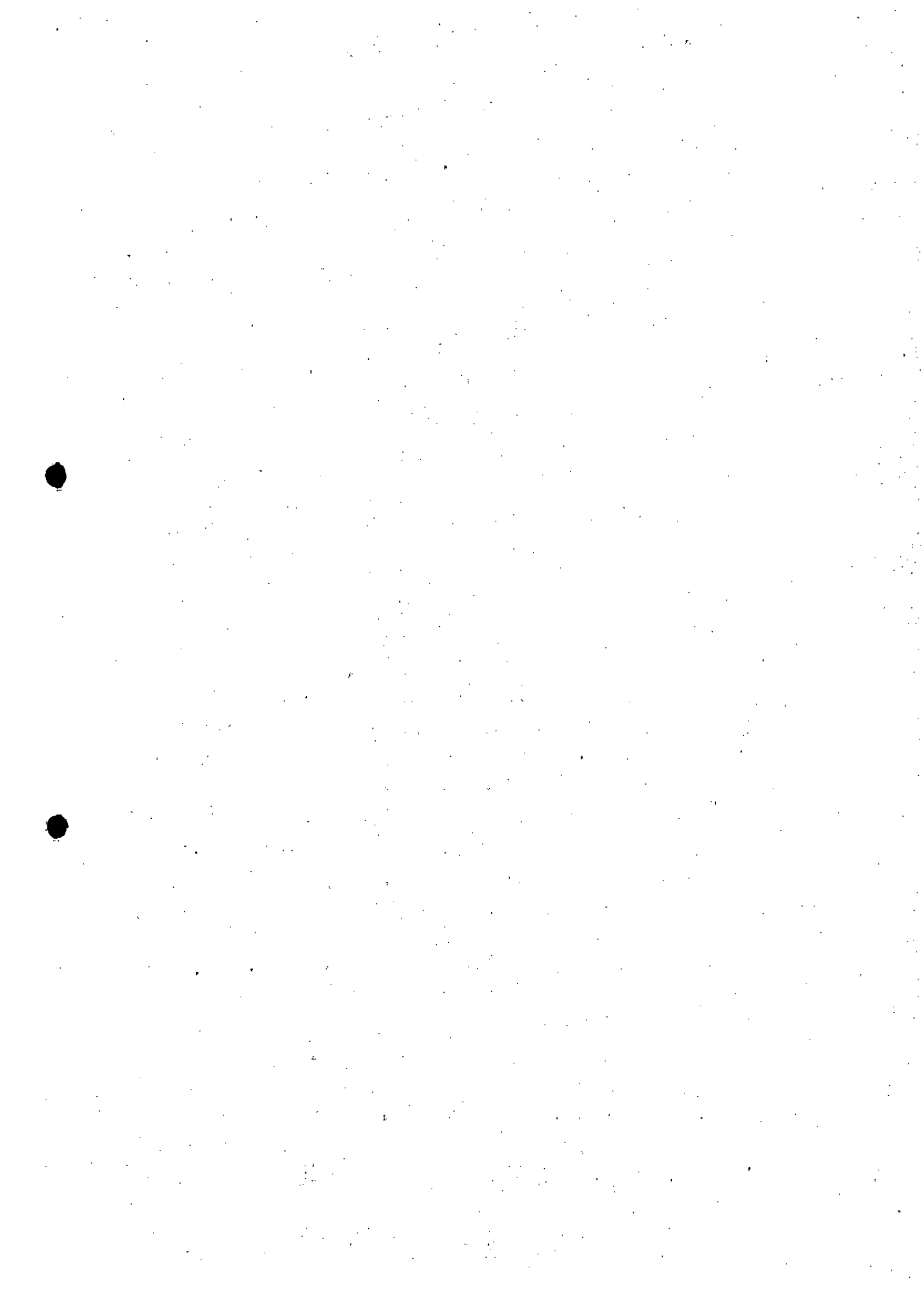
Pode-se verificar pela análise da Figura 4.1 que as barreiras hidráulicas projetadas (B1, B2, B3 e B4) já foram totalmente implantadas e cumpriram ou vêm cumprindo adequadamente o papel de retenção de material mobilizado no vale do Fundão, contribuindo para a execução das obras dos diques de contenção que seriam implantados no trecho de jusante (Eixo 1, S3 e S4). Os Diques S1 e S2 já foram concluídos e atualmente se encontram totalmente assoreados, tendo cumprido seu papel de retenção de parte do material defluente do vale do Fundão. O Dique S3 está na 2ª etapa de

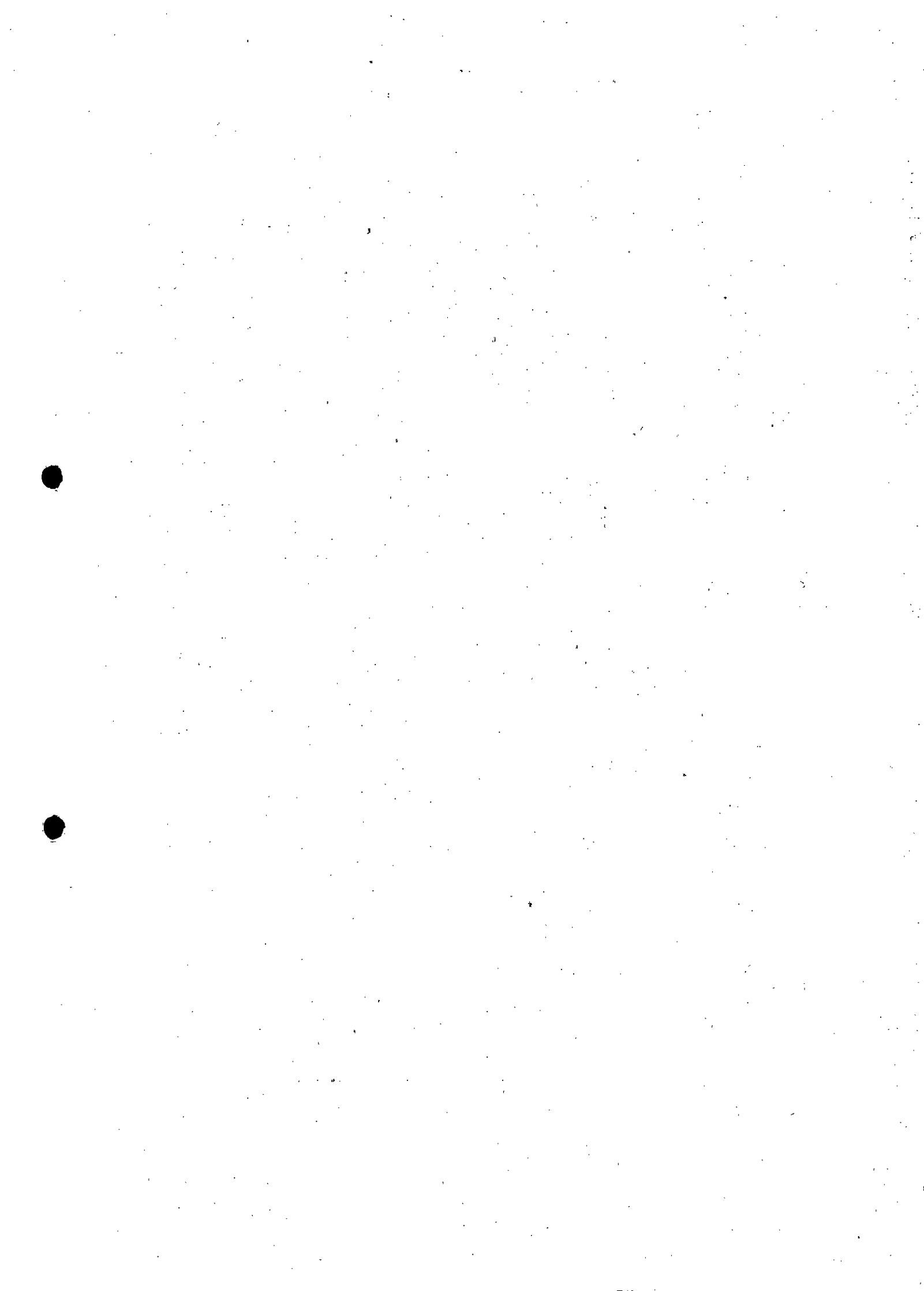


alteamento e o Dique S4 ainda está em fase de construção. O reforço na Barragem Santarém foi realizado e a Barragem Nova Santarém está em fase de construção. Tais estruturas (Diques Eixo 1 e S3 e Nova Santarém), embora não totalmente concluídas, já vêm cumprindo o papel de retenção de material defluente do vale do Fundão, conforme será mostrado posteriormente neste documento.

Os itens subsequentes descrevem e apresentam as características gerais de cada uma das obras realizadas e/ou em execução, os entraves e dificuldades ocorridos ao longo do período de construção, os respectivos cronogramas de implantação, de forma individualizada, bem como a previsão de término definitivo das mesmas, quando pertinente. A Figura 4.2 mostra a evolução da construção e/ou implantação dessas obras ao longo do tempo de forma integrada.

Tendo em vista a dinâmica de construção das obras citadas, com datas intercaladas entre as obras, paralisações e retomadas devido à ocorrência de intempéries e modificações no projeto original, os itens subsequentes descrevem as estruturas seguindo a lógica do posicionamento nos cursos de água, ou seja, de montante para jusante, e não de acordo com a cronologia de implantação.



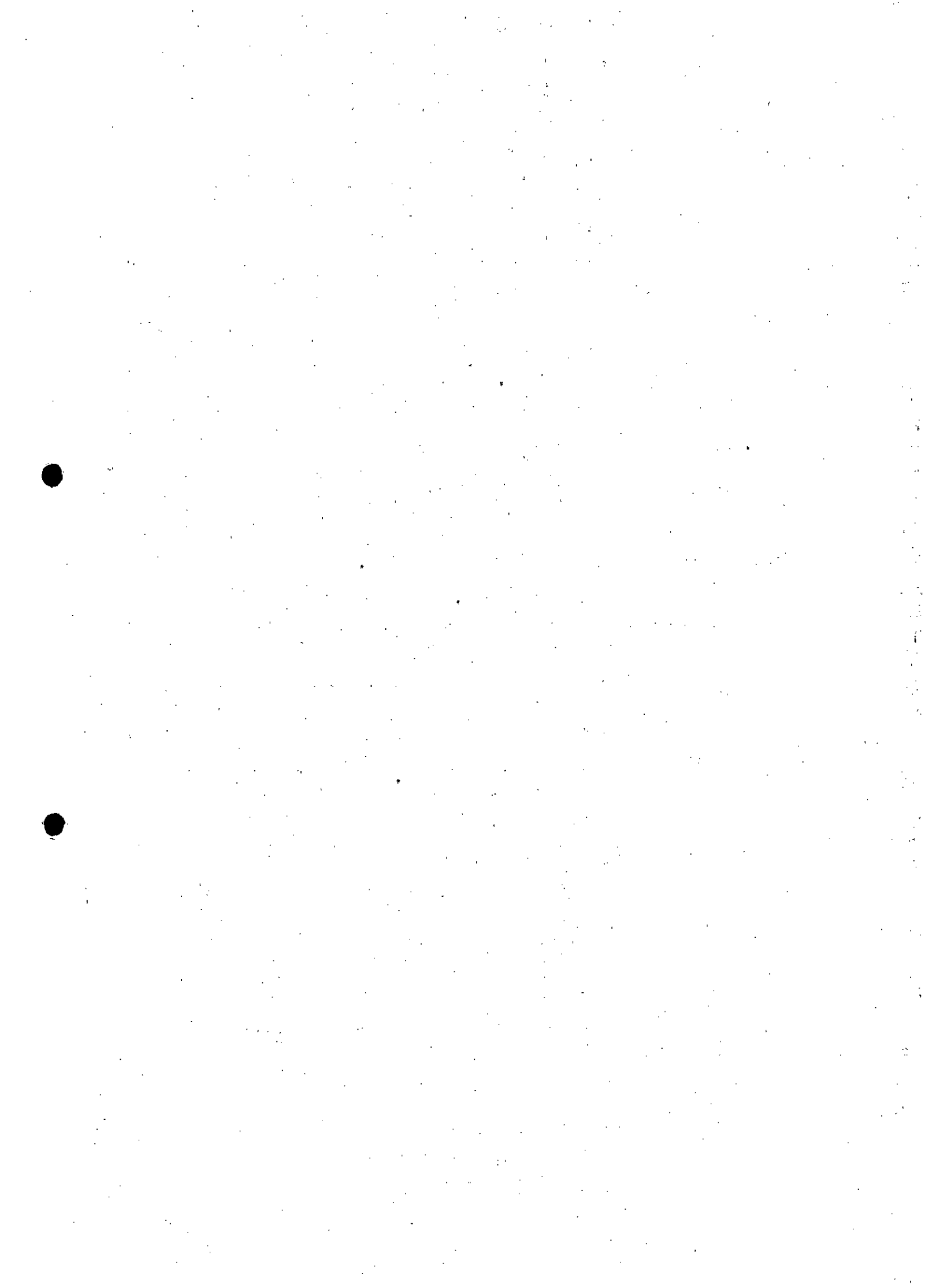


ESTRUTURA		ANO 2015		ANO 2016												ANO 2017					
		NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
MANEJO DE ÁGUAS BARRAGEM GERMANO		=====																			
RECUPERAÇÃO GERMANO	1ª FASE					=====															
	2ª FASE													=====							
	3ª FASE																				
BARREIRA 1																					
BARREIRA 2																					
BARREIRA 3																					
BARREIRA 4																					
DIQUE EDO 1 (1ª ETAPA - EL. 820,00 m)																					
BARRAGEM SANTARÉM	REFORÇO BARRAGEM SANTARÉM																				
	NOVA SANTARÉM PROVISÓRIA																				
	NOVA SANTARÉM DEFINITIVA																				
DIQUE S1																					
DIQUE S2																					
DIQUE S3	1-DIQUE DE PARTIDA																				
	2- 1º ALTEAMENTO																				
	3- 2º ALTEAMENTO																				
DIQUE S4																					

LEGENDA

CONCLUÍDO =====
PREVISÃO =====
PARALISADO =====

Figura 4.2 – Linha do tempo referente à implantação das intervenções realizadas pela SAMARCO no vale da Barragem do Fundão e do córrego Santarém.



4.1.1 Sistema de Manejo de Águas da Barragem do Germano

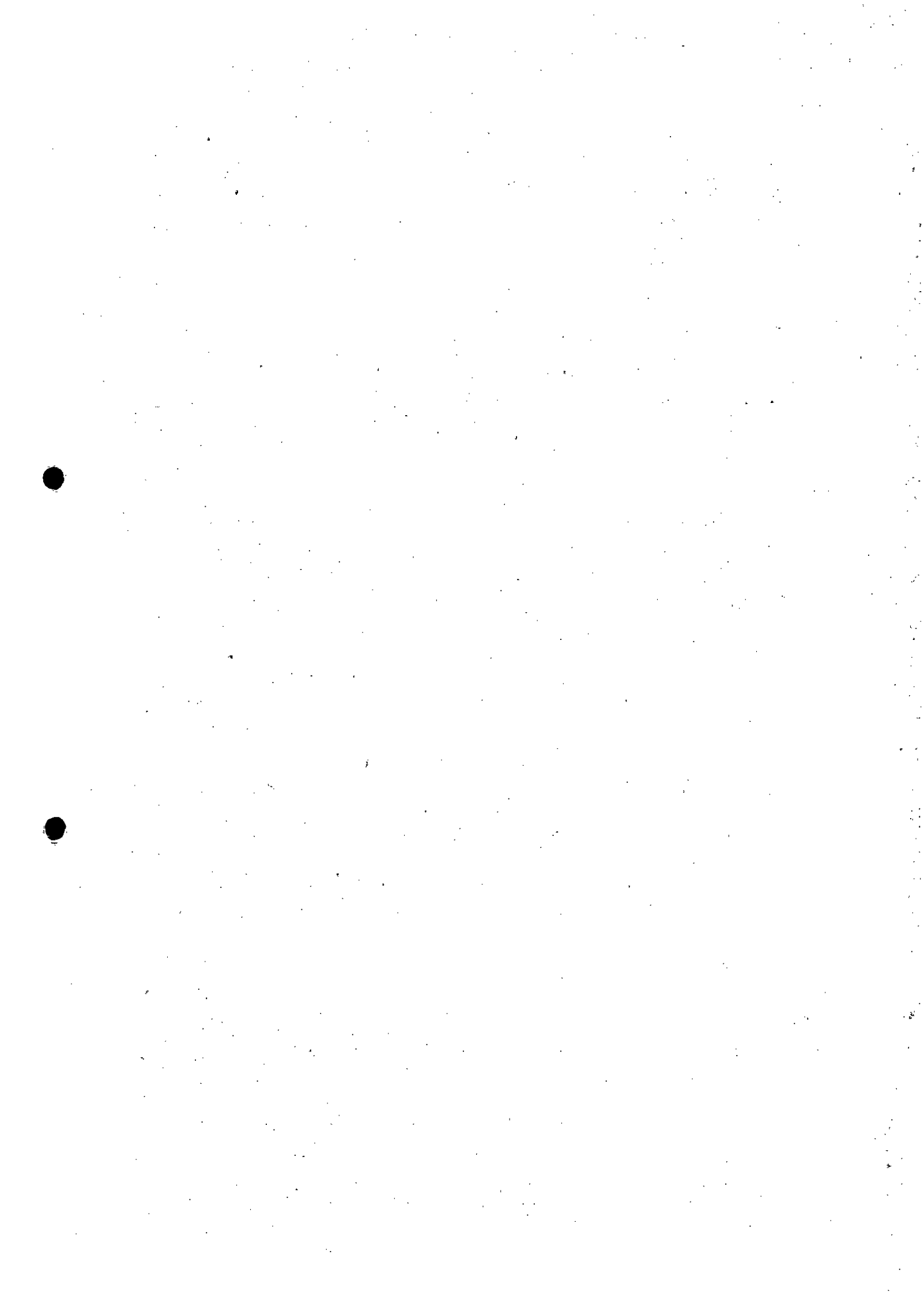
O plano de manejo das águas da Barragem do Germano foi projetado pela POTAMOS Engenharia e Hidrologia Ltda., a pedido da SAMARCO, com o objetivo de estabelecer um conjunto de ações estruturais de curto prazo capazes de reduzir o aporte de água ao vale do Fundão, sob a perspectiva de melhoria das condições construtivas e de segurança das obras de recuperação a serem implantadas nesta área e ao longo do córrego Santarém.

Inicialmente, foi realizada uma avaliação dos sistemas de bombeamento já implantados e em operação na Barragem do Germano, cuja localização é indicada na Figura 4.3, para (i) verificar sua capacidade de bombear para outras áreas parte dos deflúvios afluentes ao sistema de reservatórios existentes, reduzindo assim a frequência e a magnitude dos vertimentos pelo extravasor do Dique Sela/Tulipa para o vale do Fundão; e (ii) indicar e/ou propor eventuais oportunidades de melhorias imediatas para aumentar sua eficiência hidráulica.

Nessa etapa de diagnóstico, constatou-se que a capacidade máxima de bombeamento do sistema de reservatórios da Barragem do Germano era de 5130 m³/h, estando: (i) 4710 m³/h instalados em três sistemas dispostos nos reservatórios da própria barragem (circuito Dique Auxiliar – Concentrador 2, circuito Baía 3 – Jusante Barragem do Germano e circuito Sela Tulipa – Jusante Barragem do Germano); e (ii) 420 m³/h instalados na cava do Germano (circuito Cava do Germano – Concentrador 2). Tais sistemas possuíam eficiência para desviar cheias decorrentes de eventos precipitação incidentes na bacia com período de retorno de 2 anos e duração de 1 hora.

Havia ainda outro sistema de bombeamento na área da cava (circuito Cava Germano – Jusante Pilha), com capacidade de 650 m³/h, o qual operava apenas quando o nível de água local atingisse elevações superiores aos valores máximos de referência para garantia da borda livre e/ou permitidos para manter a extensão mínima de praia requerida. As vazões bombeadas por esse sistema eram lançadas a jusante do empilhamento ali presente, afluindo naturalmente à Barragem do Germano.

Diante do exposto, foi desenvolvido um estudo de alternativas de sistemas extravasores complementares, a serem implantados emergencialmente e antes do início da estação chuvosa 2016/2017, para operar em conjunto com os sistemas de bombeamento existentes, aumentando a eficácia de todo o sistema. O objetivo era permitir a laminação de cheias na Barragem do Germano associadas ao máximo período de retorno possível, sem que ocorressem vertimentos pelo extravasor do Dique Sela/Tulipa para o vale do Fundão.



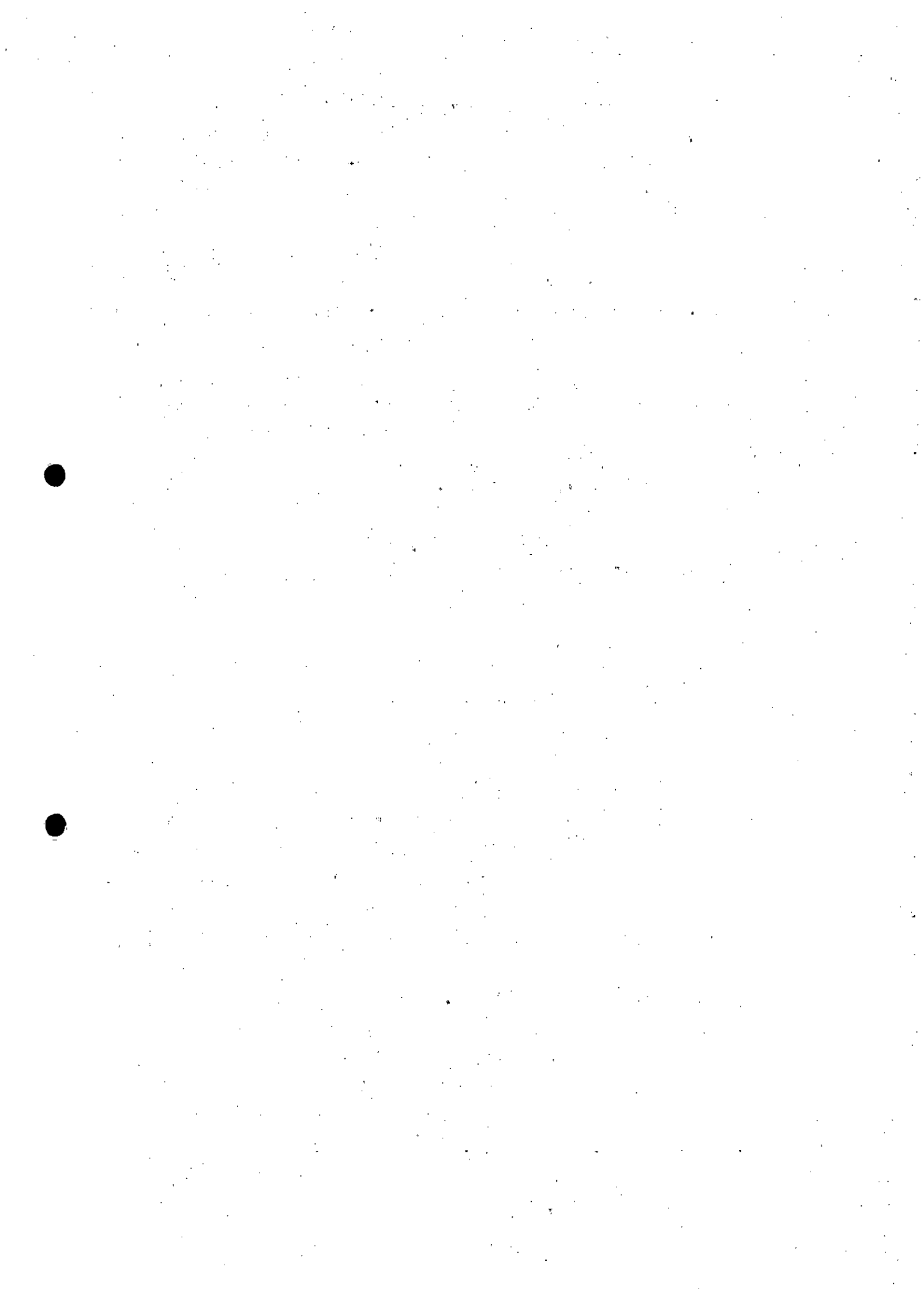
A implantação de um vertedouro operacional na ombreira direita da Barragem do Germano e a ampliação do sistema de bombeamento existente na Baía 3 foram as alternativas pré-selecionadas. Entretanto, em virtude da inexistência de tempo hábil para a implantação do vertedouro operacional projetado, a SAMARCO optou apenas pelo aumento da capacidade de bombeamento no reservatório da Baía 3, redimensionando o sistema para uma cheia associada ao período de retorno de 50 anos.

Complementarmente, foi previsto o manejo das águas no interior dos reservatórios por meio da: (i) implantação de diques fusível na entrada dos atuais extravasores do Dique Auxiliar para Sela/Tulipa e da Baía 3 para Sela/Tulipa, permitindo apenas o aporte de vazões associadas à contribuição direta de precipitações com período de retorno inferior ou igual a 50 anos no reservatório Sela/Tulipa; (ii) implantação de bueiros na região do mirante da mina para condução do fluxo do Dique Auxiliar para a Baía 3, preservando-se o acesso existente naquele local; (iii) manejo dos rejeitos para ordenar o fluxo nos reservatórios e melhorar as condições operacionais dos sistemas de bombeamento.

A ampliação proposta para o sistema de bombeamento da Baía 3 incorporou a inclusão de 10 bombas com capacidade de 1400 m³/h e outras 10 máquinas com capacidade da ordem de 700 m³/h, além da manutenção das duas bombas com capacidade total de 1620 m³/h, já existentes. O sistema foi projetado para restringir os níveis de água à EL. 918,00 m (garantindo borda livre de 2,0 m), tido como o limite para evitar-se a formação de um lago extenso e com volume excessivo na área do reservatório, mantendo a estabilidade do maciço principal e dos depósitos de rejeitos.

Além das citadas ações de manejo das águas superficiais, indicadas na Figura 4.4, também foram realizadas obras de reforço das estruturas auxiliares da Barragem do Germano, as quais foram impactadas diretamente pelo translado da onda de ruptura da Barragem do Fundão. Tais obras envolveram: (i) reforço do pé do talude do maciço principal; (ii) reconstrução de parte do canal de drenagem superficial periférico, situado na margem esquerda da barragem ou maciço principal; (iii) implantação de dique de proteção para o dreno de fundo da citada estrutura; (iv) reconstrução do sistema extravasor principal; e (v) reforço das estruturas dos diques Sela, Tulipa e Selinha. Tais obras não interferem diretamente na questão do transporte de material depositado no vale do Fundão, objeto da presente análise e, portanto, não são aqui descritas.

O plano de manejo das águas superficiais da Barragem do Germano foi iniciado em março de 2016, tendo sido concluído em dezembro do mesmo ano. Já as obras de recuperação e reforço da barragem e estruturas auxiliares foram divididas em três fases, sendo que as duas primeiras foram concluídas em setembro e novembro de 2016 e a última tem previsão de término em março de 2017.



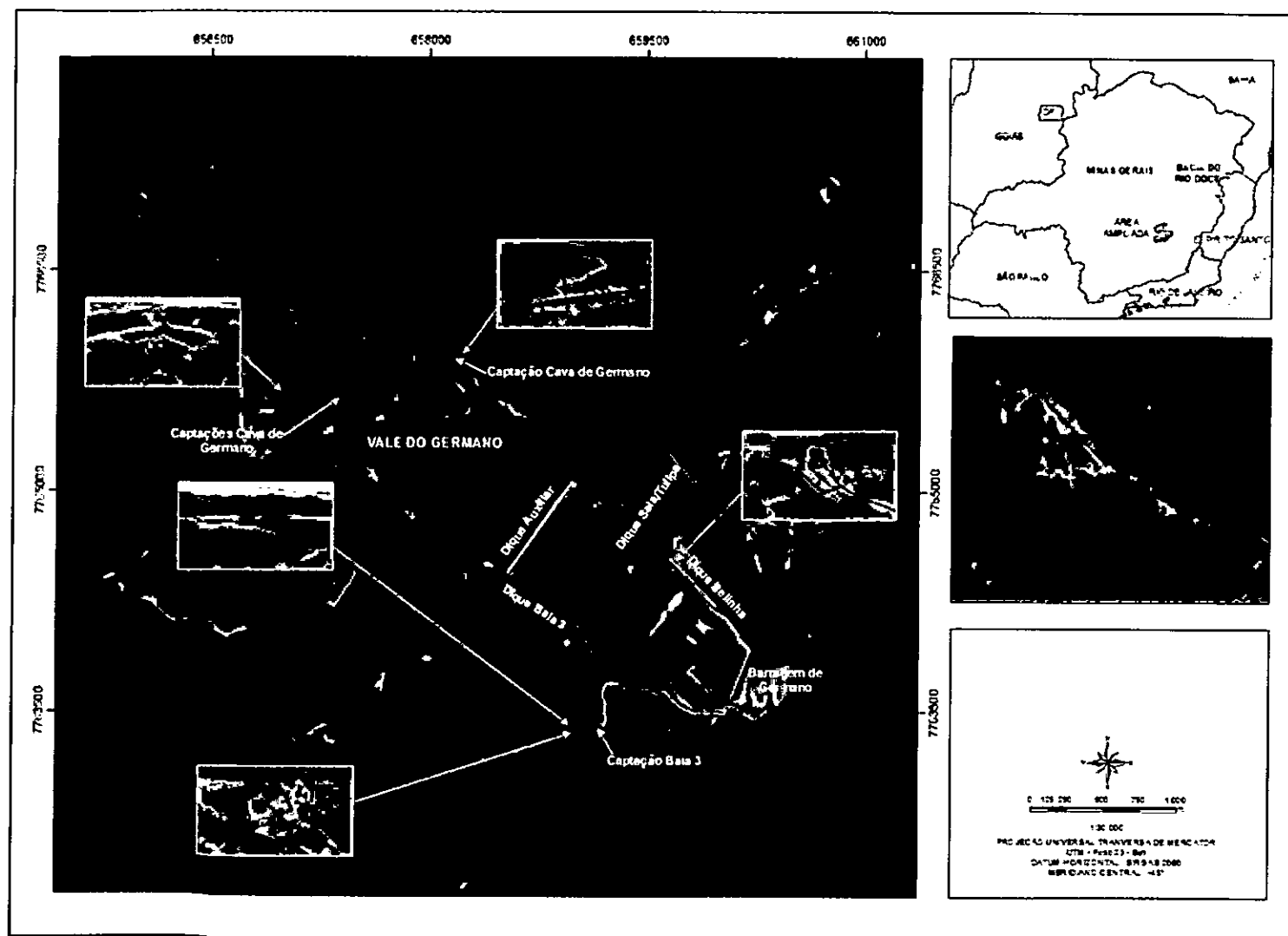
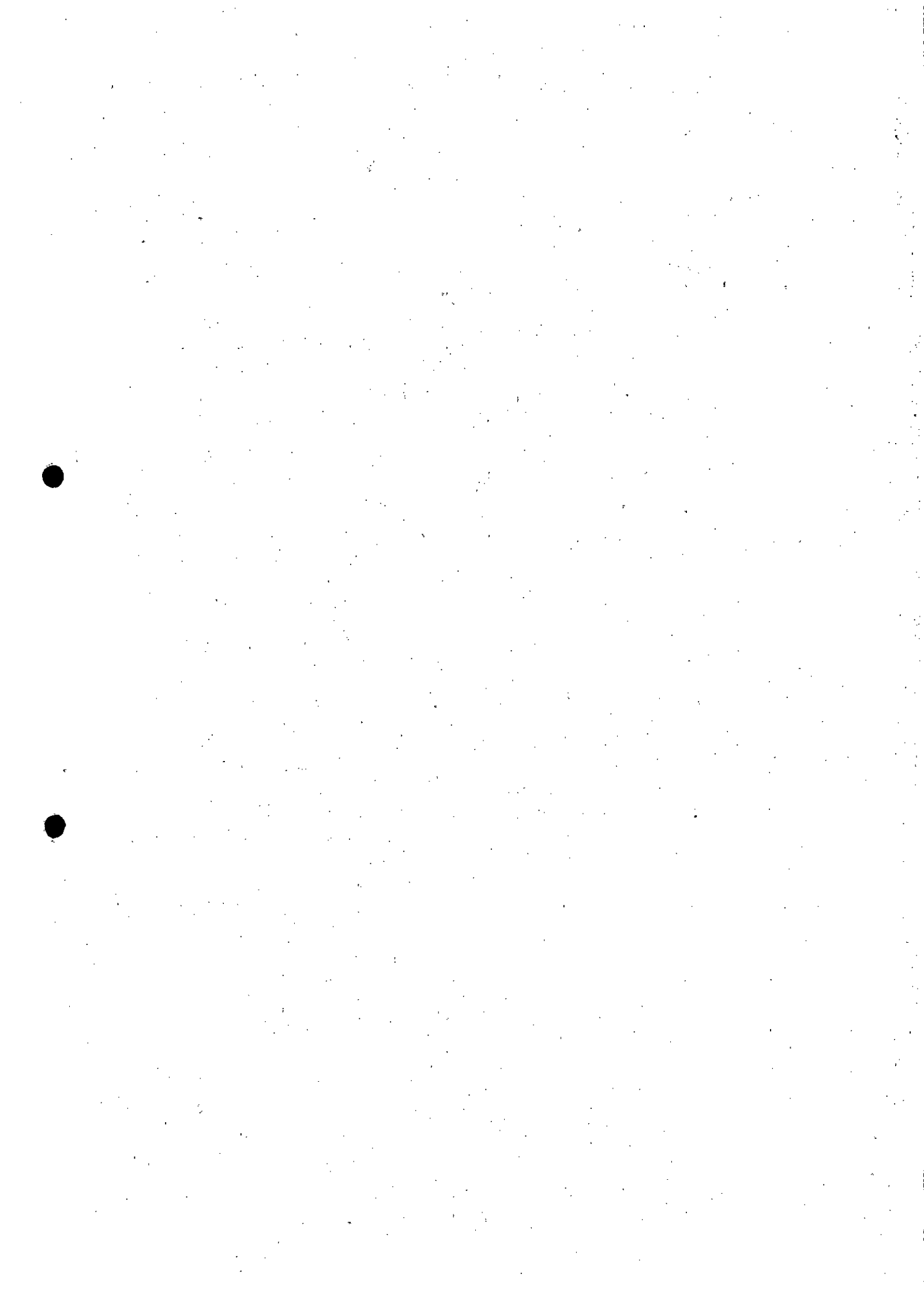


Figura 4.3 – Sistema de bombeamento das águas afluentes ao reservatório da Barragem do Germano existentes antes do evento de ruptura da Barragem do Fundão.



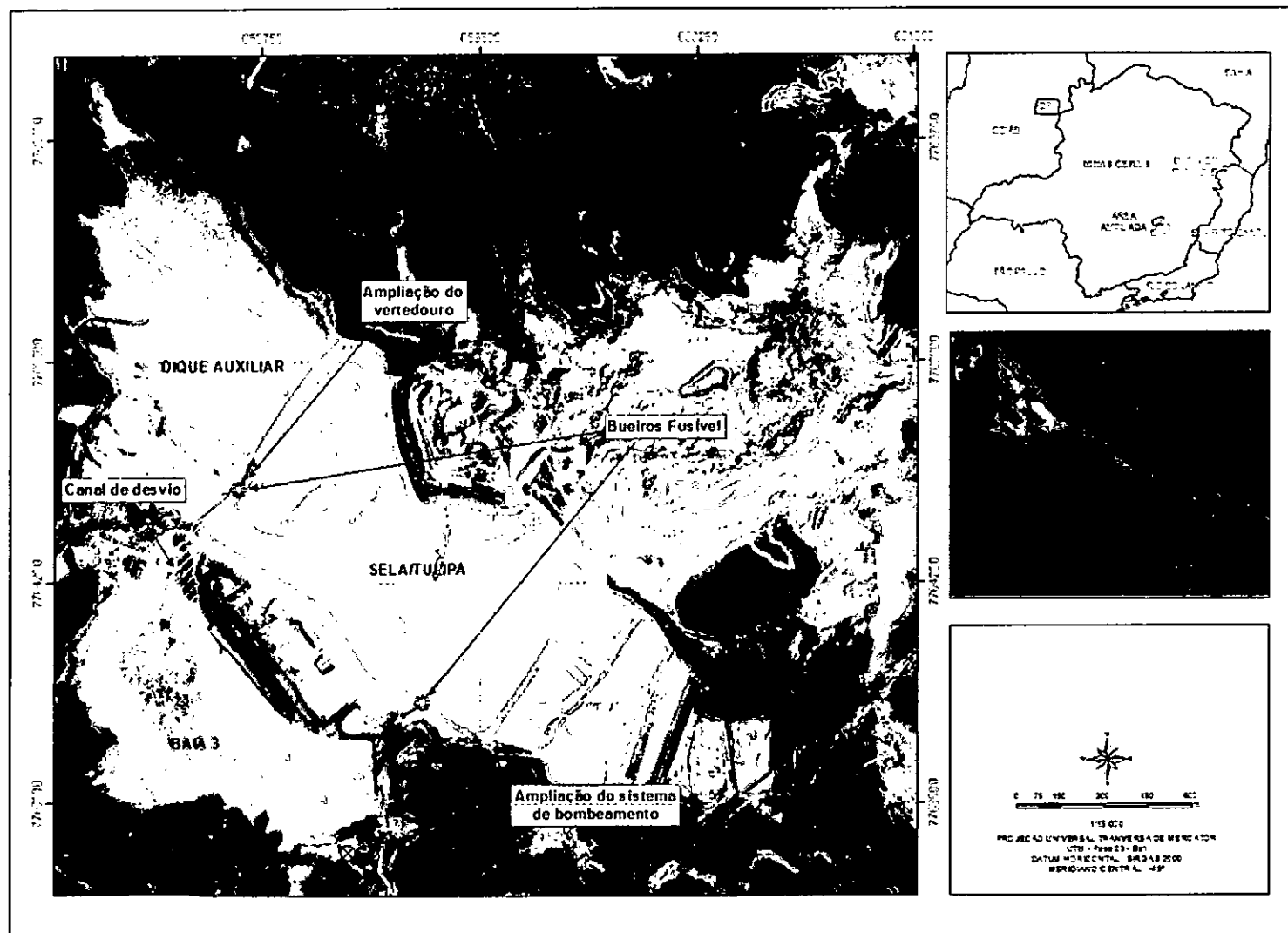
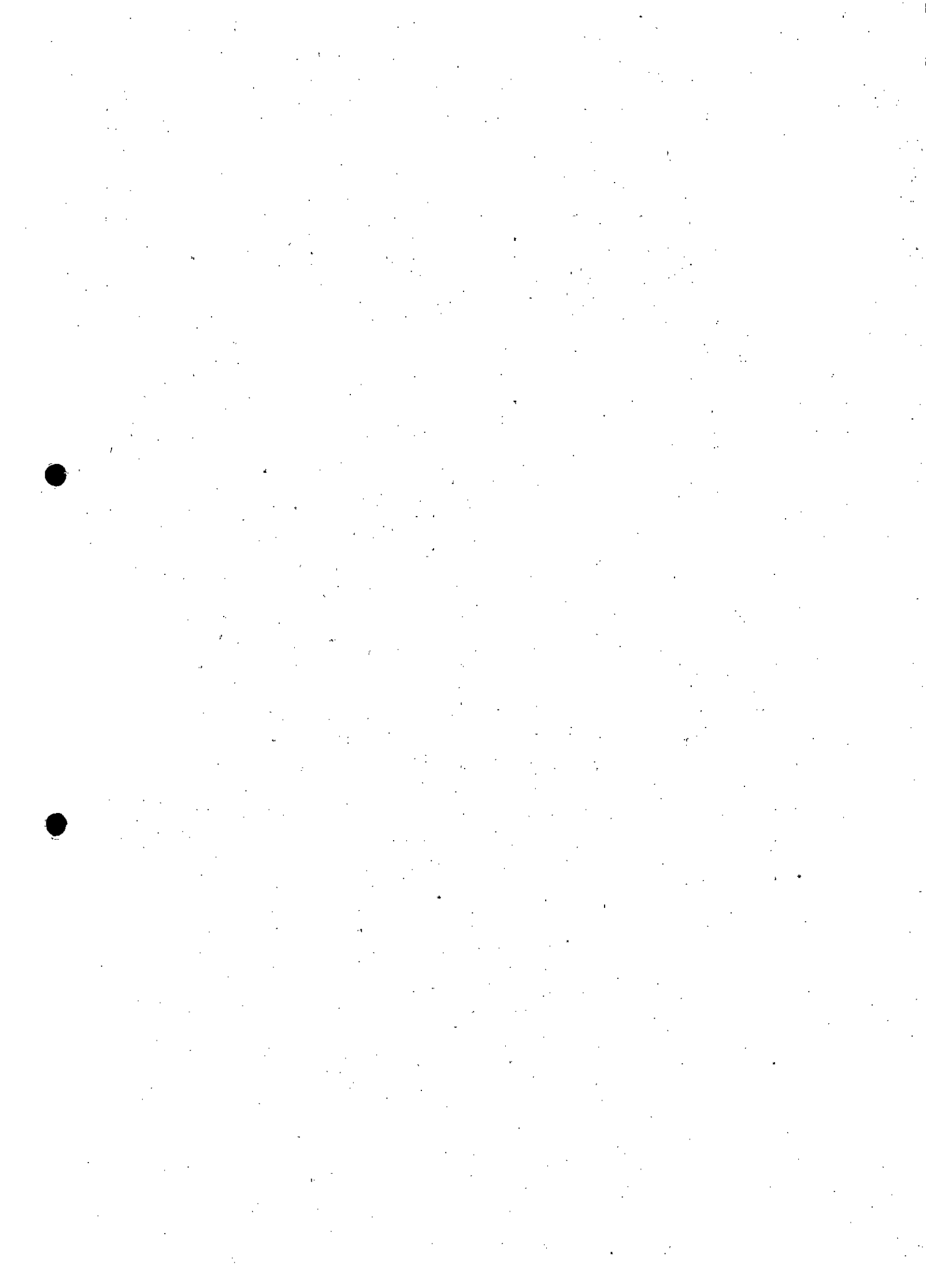


Figura 4.4 – Plano de manejo das águas superficiais da Barragem do Germano.



4.1.2 Barreiras Hidráulicas do Vale do Fundão

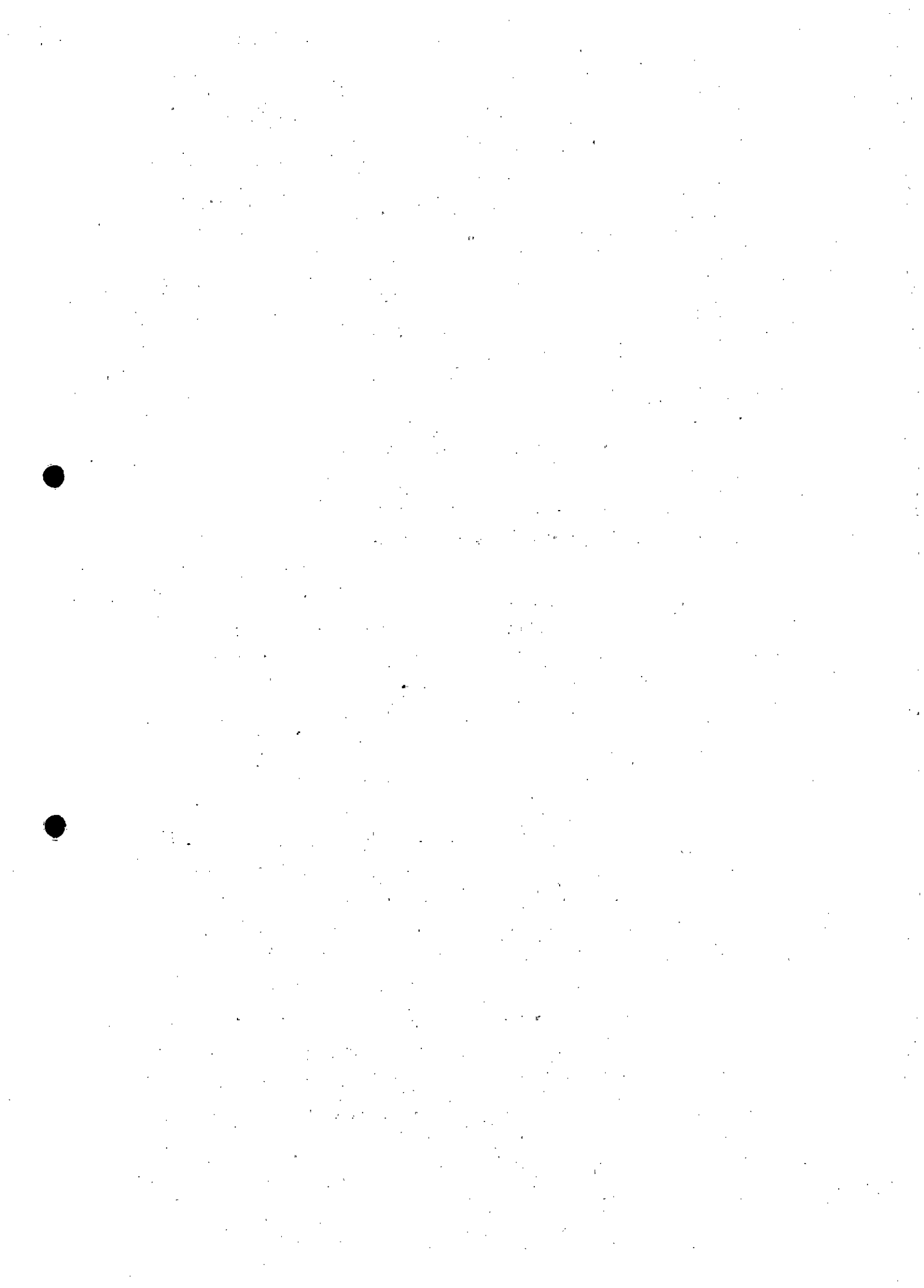
No intuito de buscar soluções para conter o material remanescente no vale da Barragem do Fundão e que poderia ser mobilizado pela incidência de chuvas na região (período chuvoso 2016/2017) sendo transportado para o trecho de jusante, a SAMARCO contratou a empresa NORWEST Engineering para realizar simulações de identificação de áreas fonte de erosão e arraste de sólidos e avaliar os benefícios da construção de barreiras hidráulicas contra o fluxo de rejeitos/lama. Estas estruturas, que deveriam ser implantadas diretamente no vale da barragem rompida, foram projetadas com o objetivo principal de reduzir os riscos das atividades de construção de estruturas de contenção mais robustas a serem implantadas no trecho de jusante (Dique Eixo 1 primordialmente, Nova Santarém e Dique S3), por meio da minimização do aporte dos rejeitos/lama a essas áreas.

Como resultado das simulações e modelagens matemáticas realizadas pela NORWEST, foram estimadas as possíveis áreas fonte de corridas de rejeitos/lama e definida a quantidade e a locação de tais barreiras. Ao todo foram definidas quatro estruturas, cuja locação, indicada na Figura 4.5, levou em conta: (i) a segurança dos acessos para construção e disposição dos materiais; (ii) o potencial para mitigação de eventos de fluxos provenientes das áreas fonte, com espessuras de material superiores a 10,0 m; e (iii) a utilização de enrocamento como material de construção, considerando o curto prazo de implantação disponível (antes do início do período chuvoso 2016/2017).

Tais estruturas foram concebidas como um sistema integrado de barreiras, com capacidade limitada de contenção, devendo ser totalmente assoreadas pelos rejeitos/lama afluentes do vale do Fundão e/ou submersas pelo reservatório do Dique Eixo 1. As alturas de maciço previstas situam-se na faixa de 5,0 m a 10,0 m, conforme características indicadas na Tabela 4.1. Vale ressaltar que a implantação da Barreira 3 foi projetada para permitir o acesso e construção da Barreira 4, conforme indicado na Figura 4.5. Dessa forma, essas estruturas foram consideradas, como um sistema duplo.

Tabela 4.1 – Características das barreiras hidráulicas implantadas no vale da Barragem do Fundão.

Parâmetro	Barreira 1	Barreira 2	Barreira 3	Barreira 4	
				1ª Fase	2ª Fase
Altura do Maciço (m)	5,0	10,0	5,0	3,0	8,0
Largura da Crista (m)	7,0	7,0	13,0	52,0	17,0
Cota da Crista do Maciço (m)	820,00	820,00	810,00	810,00	815,00
Cota da Soleira (m)	819,00	819,00	809,00	809,00	814,00
Enrocamento (m³)	4900	20.000	6400	5100	7500
Volume de Aterro (m³)	1200	-	1600	-	-
Volume do Reservatório (m³)	6343	40.644	16.622	-	25.859



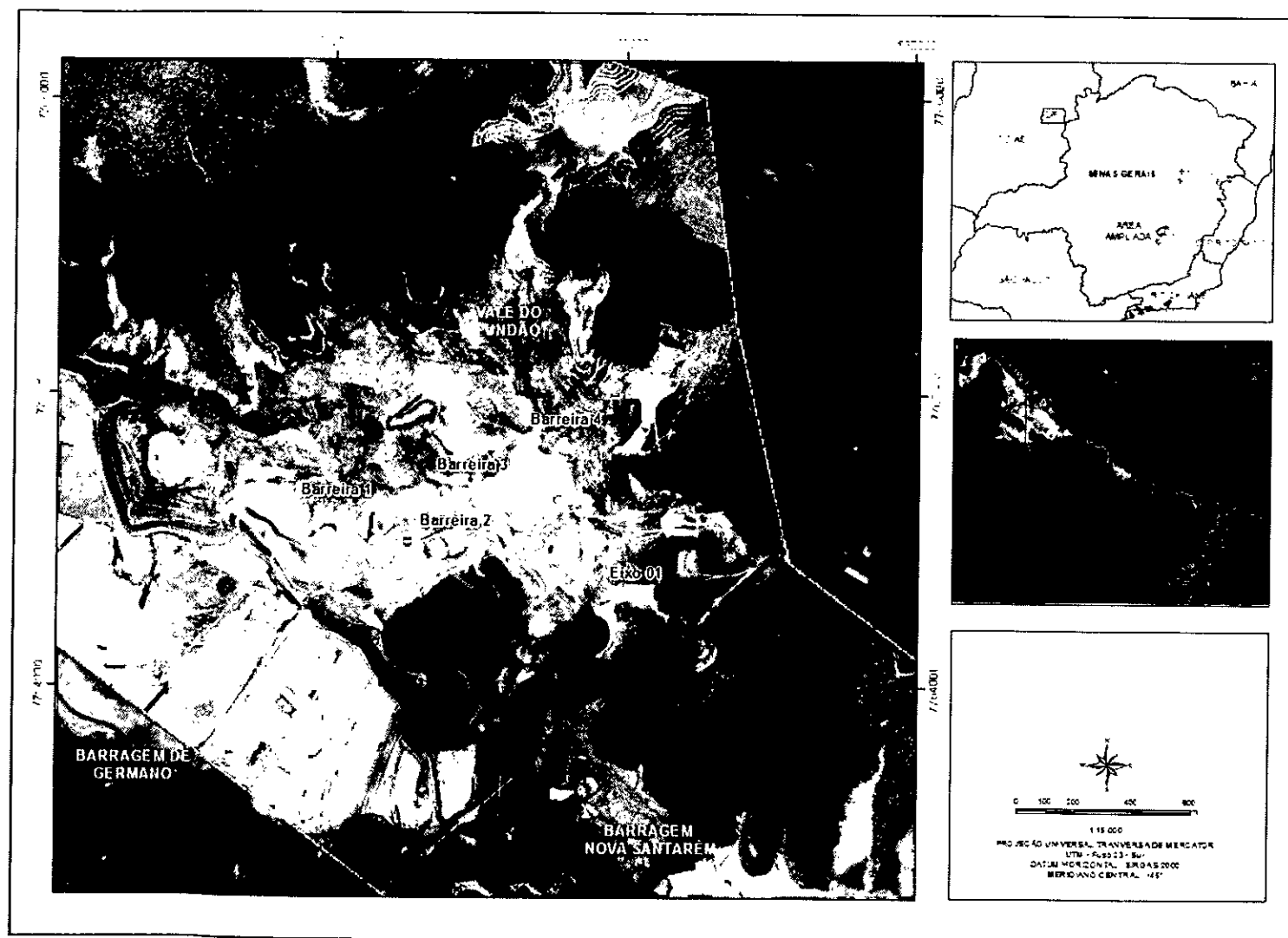


Figura 4.5 – Localização geral das barreiras hidráulicas implantadas no vale da Barragem do Fundão.



A modelagem da eficácia do sistema integrado de barreiras foi realizada com base em diversos cenários de aporte de material. Os resultados mostraram que o conjunto de barreiras é mais efetivo para mitigação dos riscos dos fluxos de material, quando comparados com a implantação de barreiras individuais. Além disso, foi possível constatar que a eficácia dessas estruturas diminuía à medida que sua capacidade de contenção era reduzida por meio de seu assoreamento. Entretanto, a manutenção destas estruturas no local, após seu exaurimento, indicaram o benefício de redução do ângulo de repouso dos sedimentos e consequentemente das velocidades de fluxo nestas áreas.

Para construção das quatro barreiras foram utilizados blocos de 30 cm a 1,5 cm, os quais foram lançados e empurrados por meio de tratores de esteira na área dimensionada e demarcada previamente pela equipe de topografia. Os blocos foram lançados até alcançar as alturas estimadas em projeto, com taludes com inclinação de 27° ou 2H:1V.

O cronograma de implantação dessas estruturas é indicado na Figura 4.6. Vale ressaltar que inicialmente foi implantada a Barreira 2, cuja construção foi concluída em outubro de 2016. As demais estruturas foram implantadas no período de novembro de 2016 a janeiro de 2017. As Fotos 4.1 a 4.4 ilustram as estruturas à época de sua construção e as Fotos 4.5 a 4.7 a condição em dezembro de 2016.



Foto 4.1 - Barreira 1.



Foto 4.2 - Barreira 2.

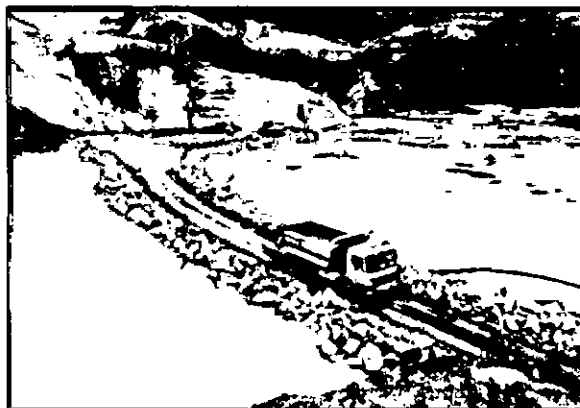
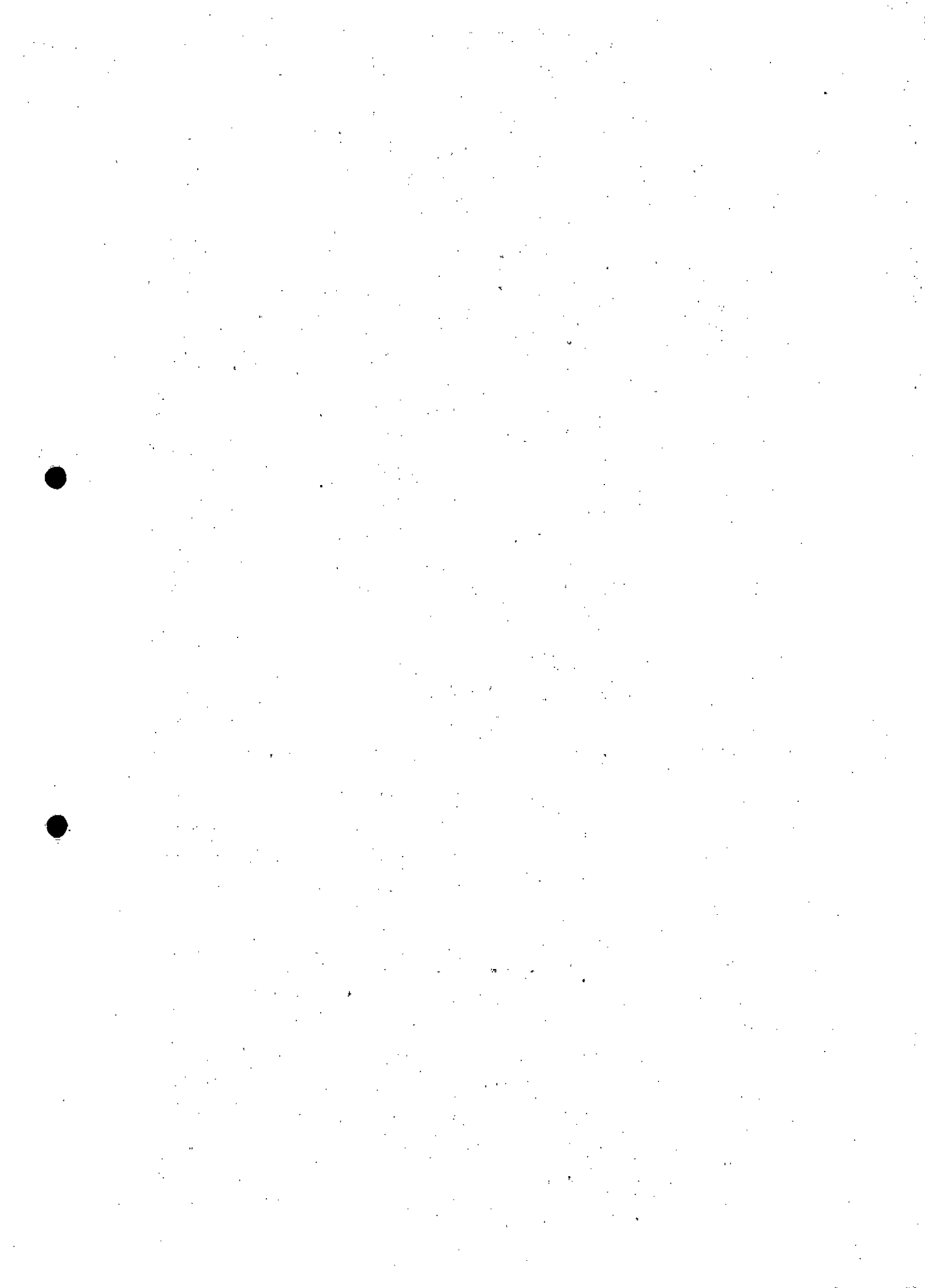
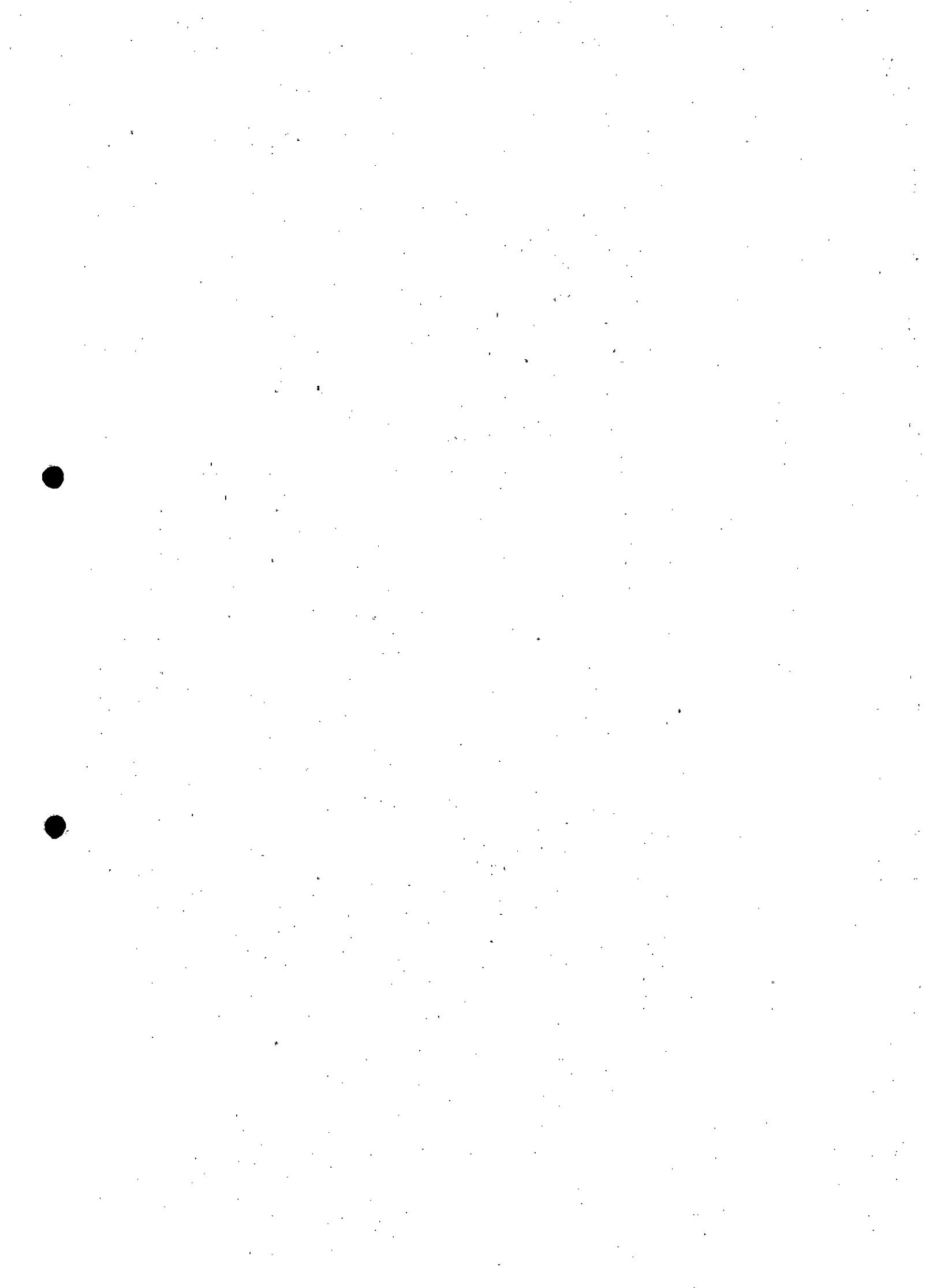


Foto 4.3 - Barreira 3.



Foto 4.4 - Barreira 4 (ao fundo).





4.1.3 Dique Eixo 1

No intuito de reter o material defluente do vale do Fundão, o mais próximo possível do local de ruptura e imediatamente a montante da Barragem Santarém, foi concebida a implantação de uma estrutura de contenção nessa área, a qual recebeu a denominação de Dique Eixo 1.

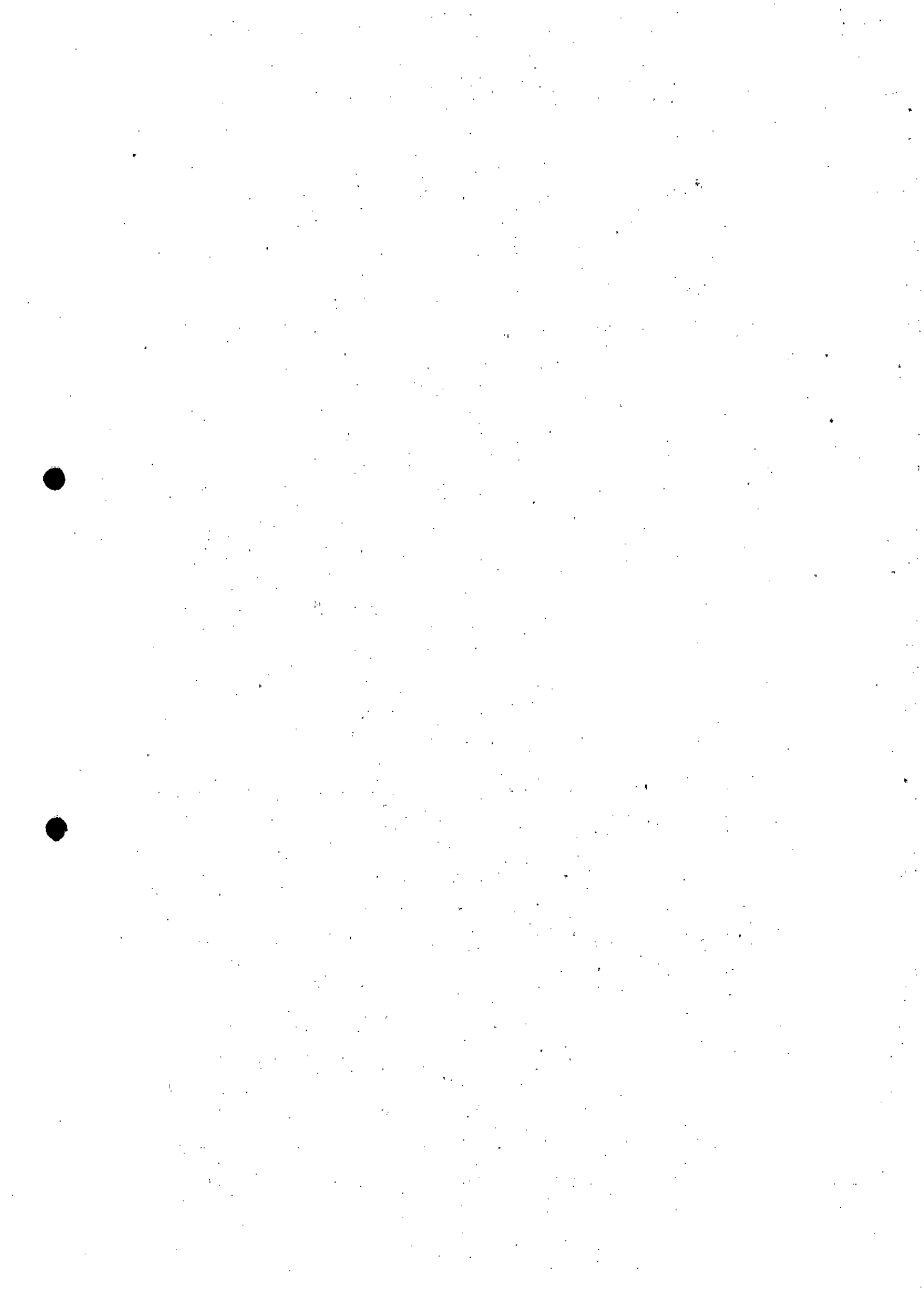
Em janeiro de 2016 a SAMARCO desenvolveu um estudo de alternativas para definição da melhor localização do eixo desta estrutura, de forma que o mesmo atendesse em sua plenitude os critérios de segurança construtiva e hidráulica, bem como dispusesse de um volume mínimo para contenção do material (rejeitos e lama) remanescente do vale do Fundão.

Posteriormente a essa fase, a empresa GEOCONSULTORIA desenvolveu o projeto conceitual da estrutura considerando três fases de execução, a saber: (i) El. 830,0 m; (ii) El. 845,0 m; e (iii) El. 860,0 m. No final de abril de 2016, a BVP Engenharia iniciou os estudos de projeto executivo da 1ª fase de implantação deste dique (El. 830,00 m), com construção prevista para o ano de 2016 e conclusão anterior ao término do período chuvoso (2016/2017).

Todavia, durante a elaboração deste projeto e da execução da obra surgiram alguns imprevistos, os quais levaram à alteração do conceito inicial do mesmo e ao atraso em sua implantação. Dentre os principais percalços ocorridos, podem-se citar:

- Revisão do eixo do dique: para melhorar a segurança da estrutura concebida inicialmente, o alinhamento do eixo foi alterado para a forma retilínea. Além disso, foi incorporado um canal no talude de jusante para direcionar possíveis fluxos de água afluentes, protegendo dessa forma, a estrutura principal. Essas alterações foram concluídas apenas em maio de 2016.
- Deslocamento do eixo: no início de junho de 2016 foi notada a presença expressiva de material rochoso de grande resistência, principalmente na área do pé do dique e nas encostas do maciço, fato que poderia aumentar excessivamente o tempo de implantação da estrutura devido à necessidade de tratamentos específicos na fundação. Diante disso, no dia 17/06/2016 foi definida a relocação do eixo para uma seção situada cerca de 50 m a montante da posição definida no projeto conceitual. Desta forma, o pé do dique ficaria posicionado em uma região menos íngreme e com menor incidência de rocha nas ombreiras, facilitando o trabalho de compactação e minimizando os tratamentos necessários na fundação.

- Aumento do volume de escavação e de aterro previstos inicialmente: as investigações geológico-geotécnicas na área de implantação da estrutura tiveram início no mês de março de 2016 e terminaram apenas em julho deste mesmo ano. Durante a fase de elaboração do projeto conceitual e em função das limitações de conhecimento anterior do local do eixo selecionado, os volumes do aterro e compactação foram estimados com base na topografia disponível em fevereiro de 2016, fato que culminou com a subestimação do volume de escavação e do volume de solo a ser compactado. Ademais, devido à mudança da posição do eixo, o plano de escavação da fundação teve que ser revisado, introduzindo novo acréscimo aos valores previstos inicialmente, além da necessidade de remoção de material descartável presente na área da nova fundação. A abertura de acessos, praças de trabalho e limpeza dos rejeitos depositados nessas áreas também levaram ao acréscimo dos volumes de escavação previamente calculados e, portanto, à reprogramação dos prazos de construção.
- Identificação de surgências de água na área de implantação: durante a execução das obras de limpeza e escavação da fundação foi identificada uma série de surgências de água no local, implicando na necessidade de desvio e/ou bombeamento de elevado volume de água, atividade que dificultou o avanço das obras.
- Afloramento de rocha de resistência elevada na região central da área de implantação do dique: também durante a execução das obras de limpeza e escavação da fundação, foram identificados afloramentos rochosos de alta resistência, os quais só poderiam ser removidos por meio de detonação, atividade não prevista no projeto. Em virtude do risco associado a essa atividade, outras soluções começaram a ser estudadas para o tratamento do afloramento rochoso e para a continuidade das obras.
- Alteração da crista do maciço: o aumento da escavação na área de implantação do dique gerou um aumento do volume de aterro necessário para a execução do maciço. Diante disso, a equipe de planejamento da obra relatou a dificuldade da implantação do maciço até a El. 830,00 m dentro do prazo disponível, limitado ao início do período chuvoso (2016/2017). Dessa forma, a cota de projeto foi alterada para a El. 820,00 m.
- Deslocamento de um bloco rochoso localizado próximo ao pé do dique: a identificação desse bloco gerou interdição da área de obra e, por esse motivo, o eixo da estrutura foi novamente recuado para montante, em aproximadamente 32 m, por meio da diminuição da largura de sua crista.
- Escassez de material de construção: o volume de material com características ideais (solo argiloso) para emprego nas obras, disponível na região de implantação do dique, era inferior



ao necessário. Essa escassez foi associada à alta demanda por este tipo de material nas diversas obras paralelas e emergenciais em curso pela SAMARCO, à necessidade de autorização de uso pelos órgãos ambientais competentes e ao aumento do volume de aterro previamente calculado. Tal fato, agregado ao curto prazo para execução das obras, passou a constituir o maior limitador das atividades de construção do dique.

- Nova alteração da crista do dique: devido à elevada pluviosidade registrada desde o final de setembro de 2016 na região, e com a previsão de permanência desse fato durante quase todo o mês de outubro e novembro, a obra de execução do dique Eixo 1 foi paralisada no final de outubro. O maciço já executado (crista na El. 793,00 m e inferior à crista da ensecadeira implantada para realizar o desvio do curso de água durante a obra – El. 812,00 m) foi protegido para a passagem do período chuvoso, sendo construído um canal, revestido em pedra argamassada para ligar o trecho de montante da ensecadeira ao vale de jusante do maciço. Essa configuração corresponde à atual situação da estrutura, conforme indicado na Foto 4.8 e no arranjo geral mostrado na Figura 4.7.

A retomada das obras de execução do Dique Eixo 1, cuja estrutura vem passando por novos estudos executivos, será realizada ainda no ano de 2017. A Figura 4.8 apresenta o arranjo geral da fase final de implantação desta estrutura e a Tabela 4.2 lista as características atuais e finais correspondentes. A Figura 4.9 apresenta o cronograma resumido de implantação dessa estrutura.

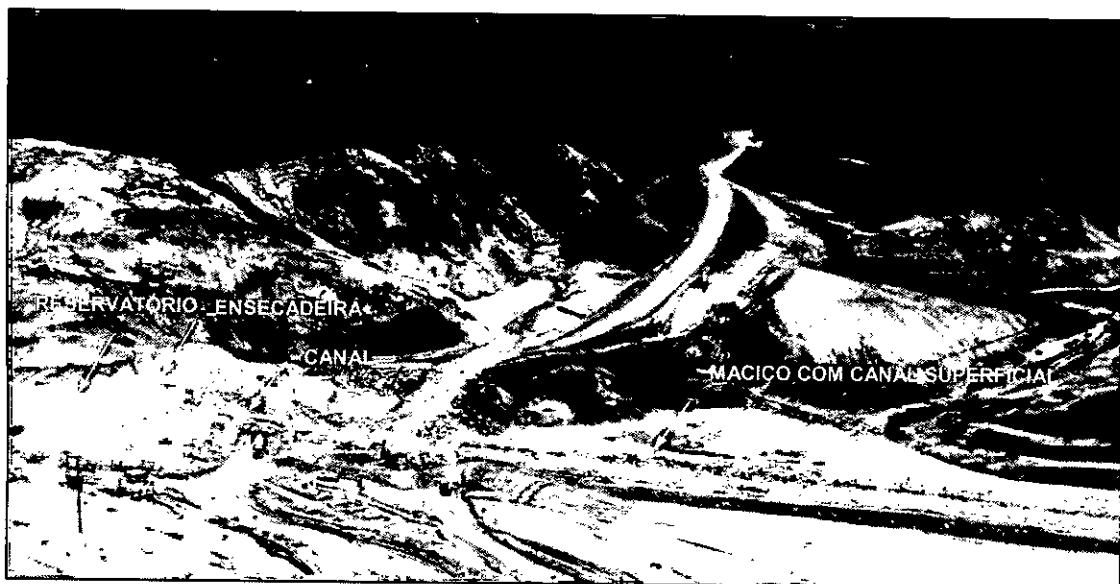


Foto 4.8 - Vista geral da ensecadeira, do reservatório e de um trecho do canal do futuro Dique Eixo 1.

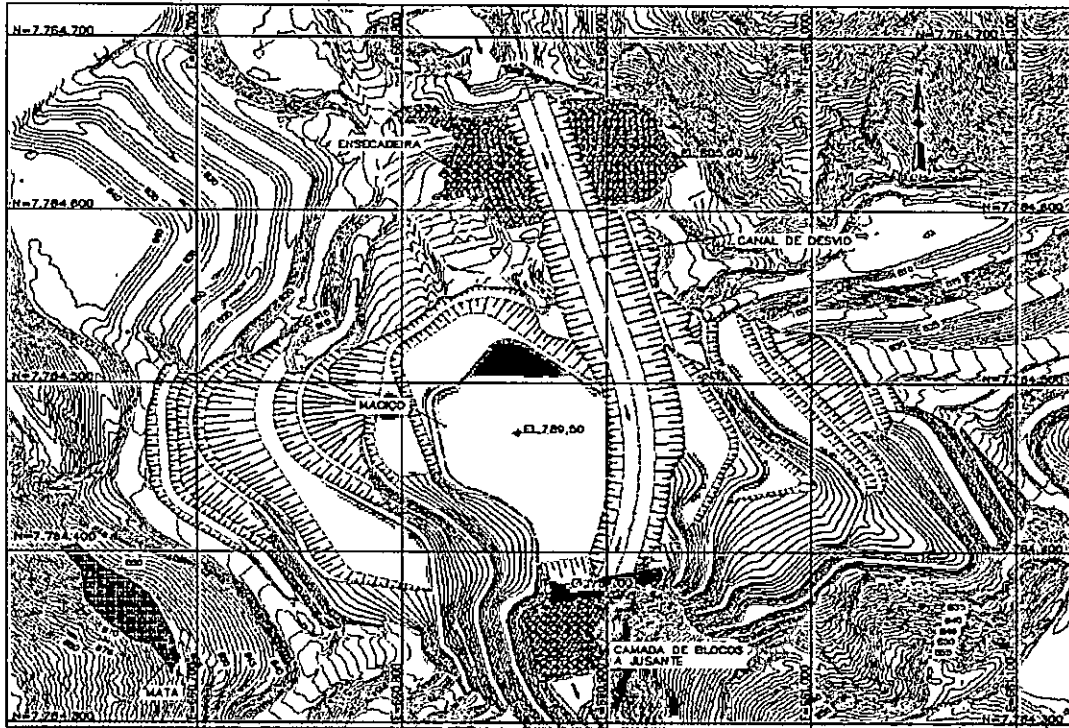


Figura 4.7 - Arranjo geral do Dique Eixo 1: situação atual (ensecadeira).

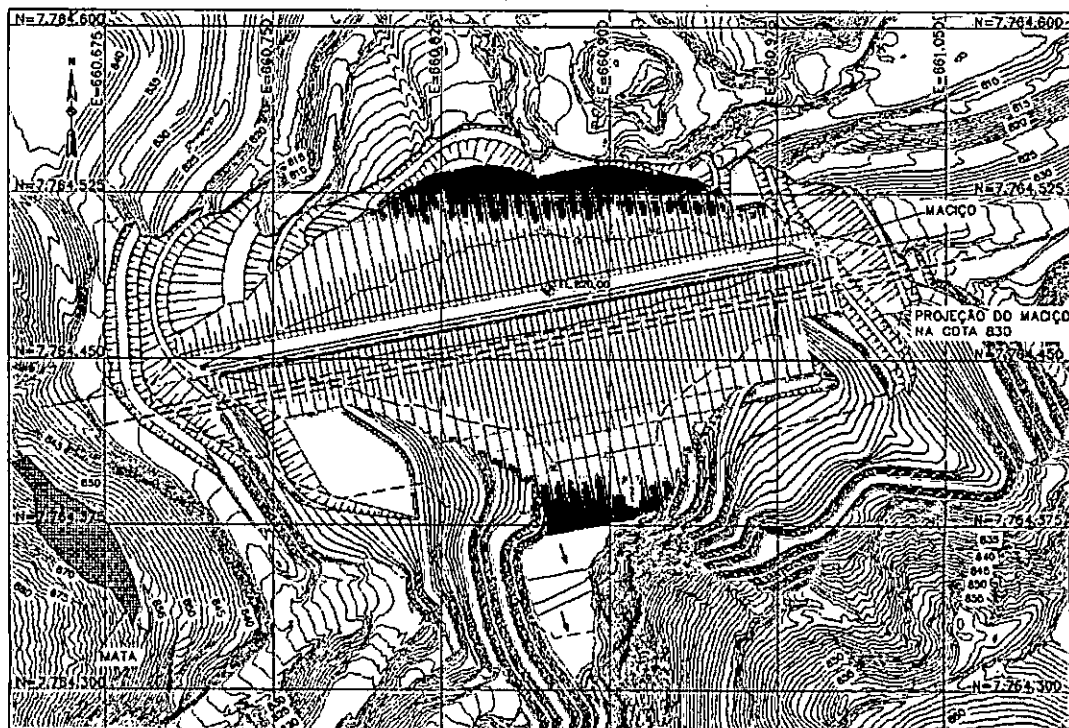
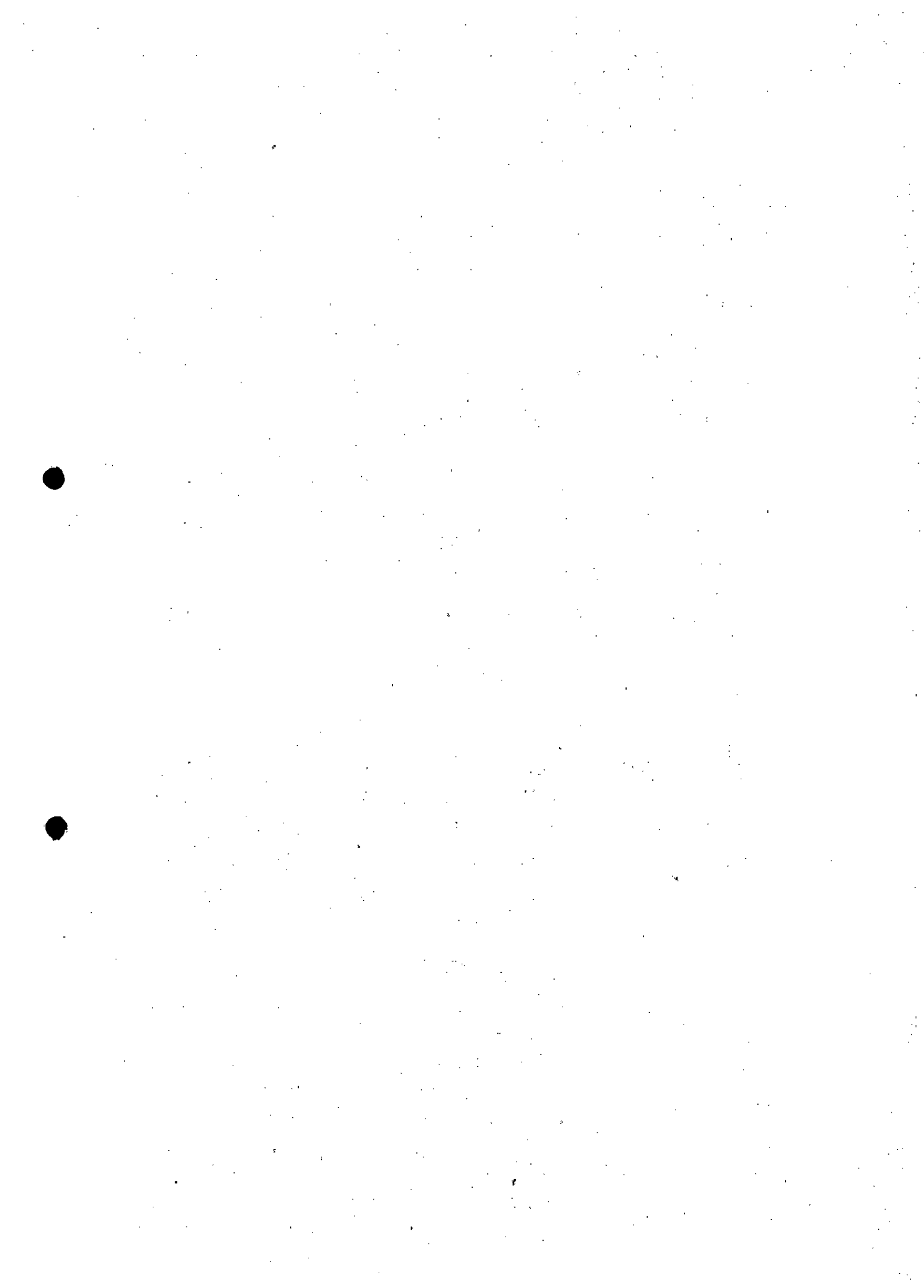


Figura 4.8 - Arranjo geral do Dique Eixo 1: situação final.



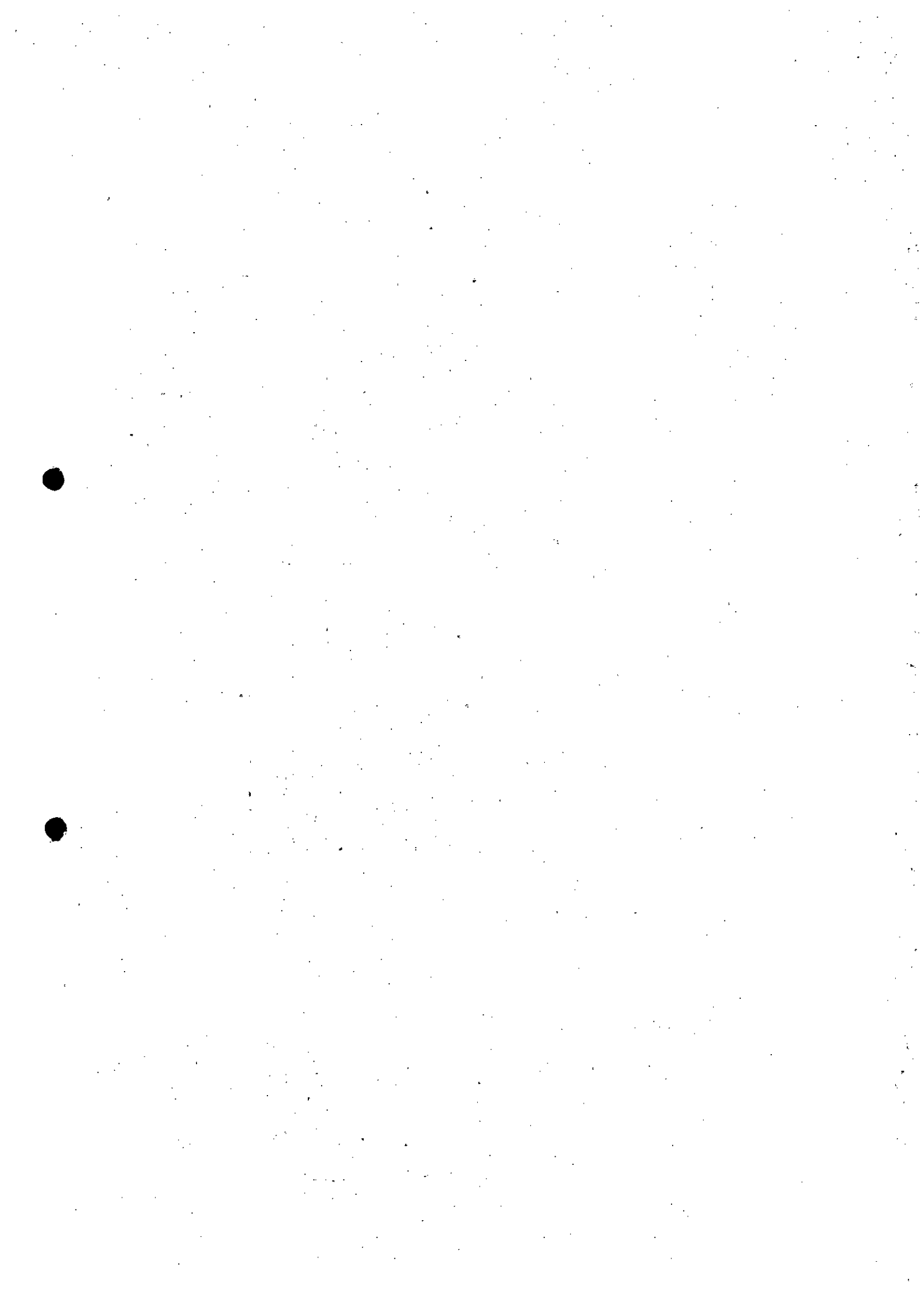
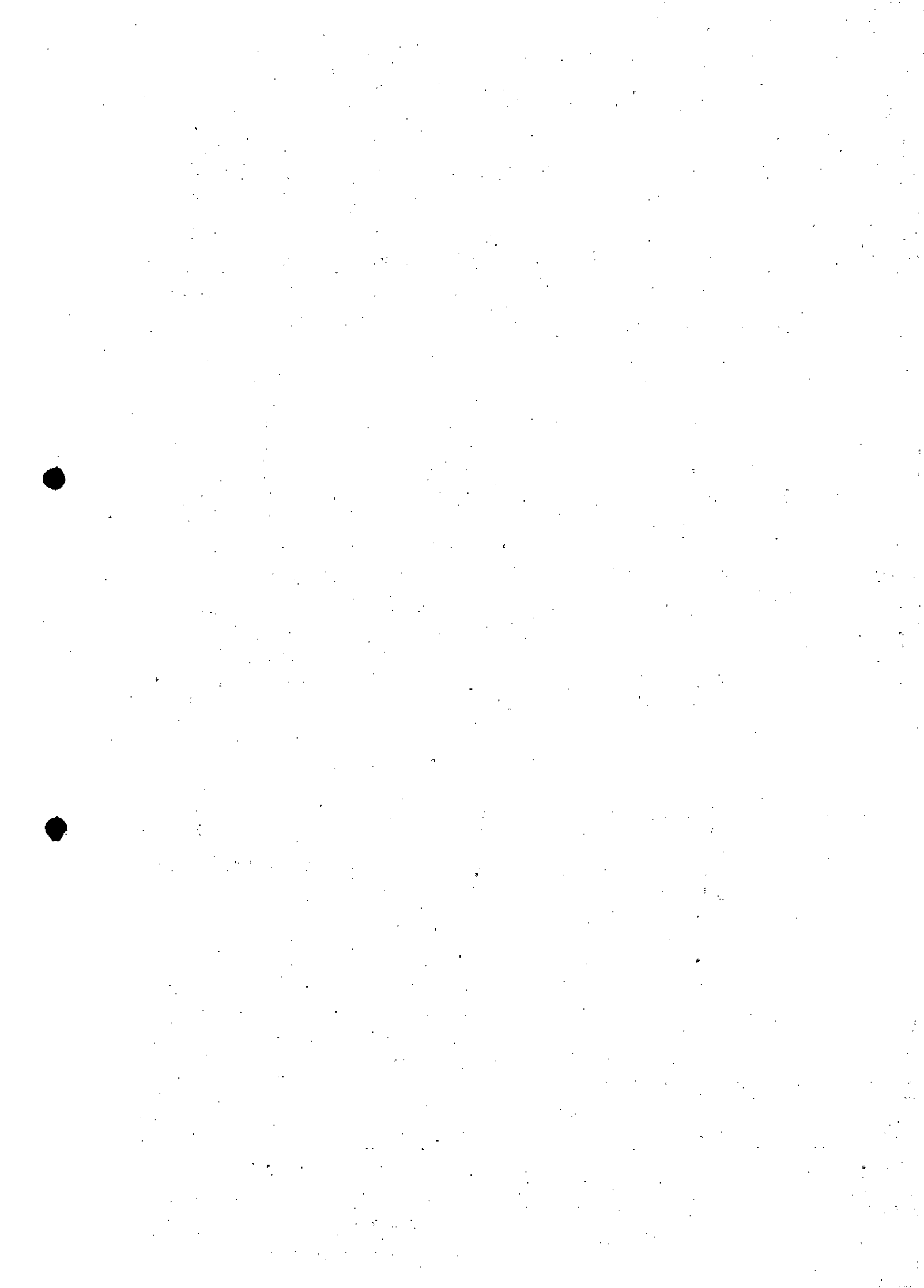


Tabela 4.2 - Ficha técnica do Dique Eixo 1.

Parâmetros	Situação Atual		Situação Final	
	Norte (m)	Leste (m)	Norte (m)	Leste (m)
Coordenadas UTM SIRGAS 2000 (m)	7.764.627	660.839	7.764.586	660.862
Curso de Água Barrado	Córrego do Fundão		Córrego do Fundão	
Curso de Água a Jusante	Córrego do Fundão		Córrego do Fundão	
Área de Drenagem (km ²)	4,78		4,78	
Início de Operação	18/12/2016		-	
Finalidade	Contenção de rejeitos/lama		Contenção de rejeitos/lama	
Características do Maciço				
Maciço	Ensecadeira		Barragem	
Tipo	Solo compactado		Solo compactado	
Cota da Crista (m)	812,00		820,00	
Altura do Maciço (m)	18,0		40,0	
Comprimento da Crista (m)	100,0		280,00	
Largura da Crista (m)	10,0		10,0	
Nível de Água Normal (m)	810,00		814,50	
Área do Reservatório (m)	35.452		70.909	
Volume do Reservatório (m ³)	133.711		1.000.000	
Talude de Jusante	Inclinação	2H:1V	Inclinação	2,5H:1V
	Bermas	1	Bermas	1
	Largura da Berma (m)	6	Largura da Berma (m)	8
Sistema Extravisor				
Tipo	Soleira Livre		Soleira Livre	
Chuva de Projeto (anos)	25 anos. Volume de deslocamento de 400.000 m ³		1000 anos	
Dimensões (m)	26,0 x 2,0 (emboque) 15,0 x 3,0 (canal)		6,5 x 5,5 – Trecho 1 6,5 x 3,5 – Trecho 2	
Cota da Soleira (m)	810,00		814,50	
NA Máximo <i>Maximorum</i> (m)	811,96		819,65	
Borda Livre (m)	0,04		0,35	

É importante ressaltar que, apesar de paralisada a obra do Dique Eixo 1, já estão sendo concluídas obras no trecho de montante, bem como já foram implantadas estruturas a jusante, todas capazes de mitigar as consequências de uma eventual descida de rejeitos/lama presentes no vale do Fundão, quais sejam: (i) o plano de manejo da drenagem da Barragem do Germano (item 4.1.1); (ii) Barreiras Hidráulicas B1 a B4, implantadas no trecho de montante do Dique Eixo 1 (item 4.1.2); (iii) reforço no pé dos Diques de Sela e Tulipa (Barragem do Germano, item 4.1.1); (iv) implantação da Nova Barragem Santarém (item 4.1.4) e do Dique S3 (item 4.1.6), este último em operação desde fevereiro de 2016.



4.1.4 Barragem Nova Santarém

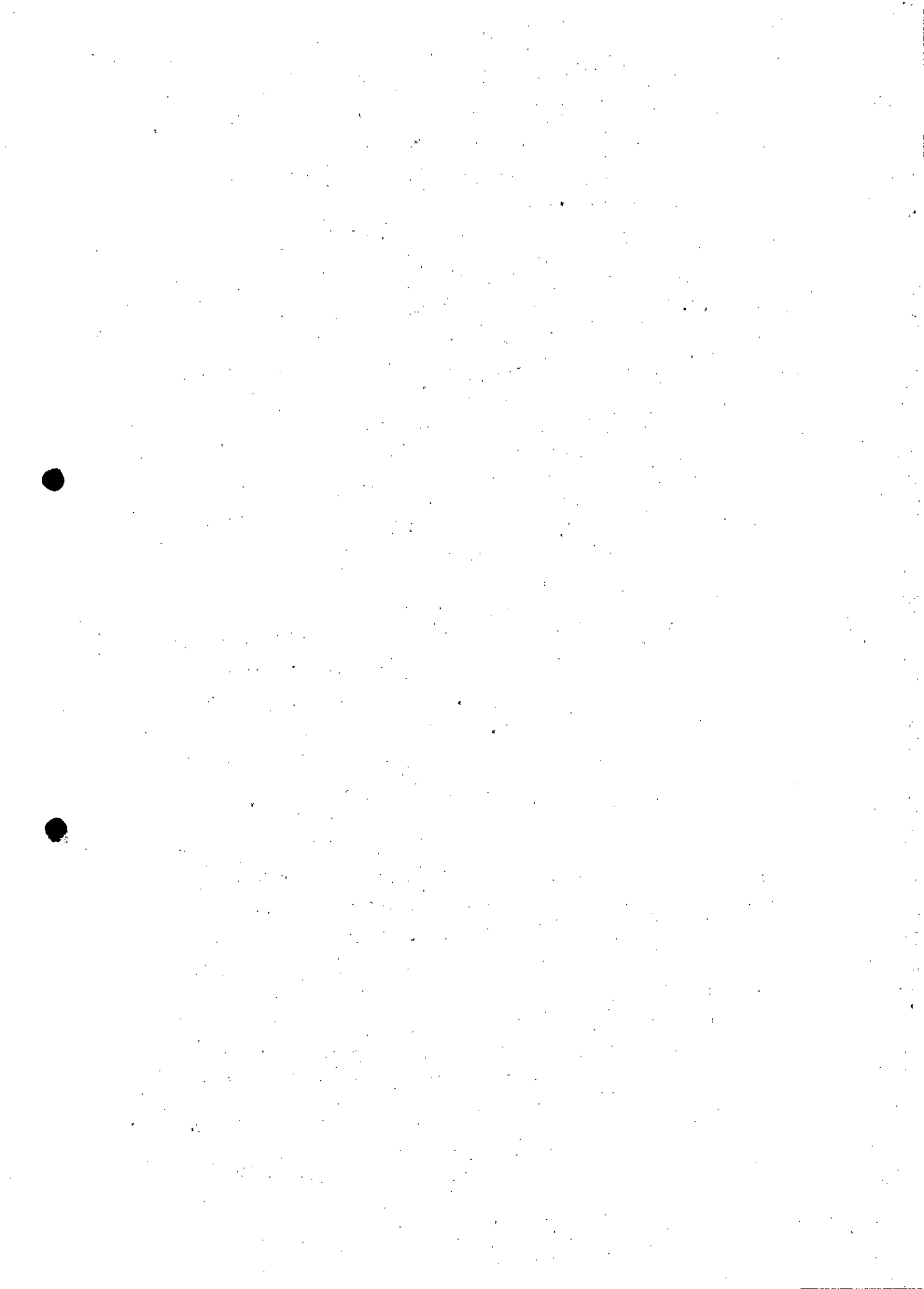
O translado da onda de ruptura da Barragem do Fundão pelo córrego Santarém não foi suficiente para romper a Barragem Santarém, situada no trecho imediatamente de jusante. Entretanto, todas as suas estruturas hidráulicas (maciço, extravasor e drenos) foram comprometidas e seu reservatório, que já dispunha de volume de acumulação reduzido, foi totalmente assoreado.

Por esse motivo, a SAMARCO optou pelo reforço dessa estrutura com blocos misturados com material fino e pela construção de um novo maciço a jusante da estrutura remanescente, com espaldar de montante assentado sobre parte da antiga estrutura. Essa nova configuração passou a ser denominada Barragem Nova Santarém.

O projeto da nova barragem, com crista do maciço na El. 770,00 m, nível operacional na El. 766,00 e volume de armazenamento de aproximadamente 7,0 Mm³ faz parte do sistema de estruturas concebidas para contenção dos rejeitos/lamas que ainda permanecem no vale do Fundão, como também para possível clarificação de efluentes. Além disso, tal estrutura foi projetada visando à possibilidade de utilização futura de seu reservatório para captação de água, a depender de estudos específicos para tal finalidade.

O sistema de desvio construtivo foi dimensionado para permitir o escoamento de vazões de projeto associadas ao período de retorno de 25 anos e correspondentes ao período seco. Entretanto, como o cronograma de obras de construção, apresentado na Figura 4.10, indicou avanço das obras durante o período chuvoso, foram simulados e verificados eventos associados e com período de retorno de 25 anos. Considerando o exposto, o sistema de desvio para implantação da Barragem Nova Santarém foi projetado em duas etapas, quais sejam:

- Canal de Desvio - Primeira Fase: utilizando parte do extravasor remanescente da Barragem Santarém e conectando-o a jusante com um canal trapezoidal em pedra argamassada, construído para este fim. Esta estrutura foi executada durante as obras emergenciais de recuperação da barragem remanescente e sua capacidade hidráulica é superior à da vazão de projeto estabelecida.
- Galeria de Desvio - Segunda Fase: efetuada a partir da galeria em concreto armado do sistema extravasor operacional, também projetada para controle de nível no reservatório durante toda sua vida útil. A galeria de desvio possui geometria retangular com seção 2,50 m x 2,80 m, passando sob o maciço da barragem, próximo à sua ombreira direita. Como apoio



para o sistema, também foi projetada uma comporta vagão em ranhuras, posicionada a montante do emboque da galeria, possibilitando, dessa forma, o fechamento da passagem de água e o enchimento do reservatório.

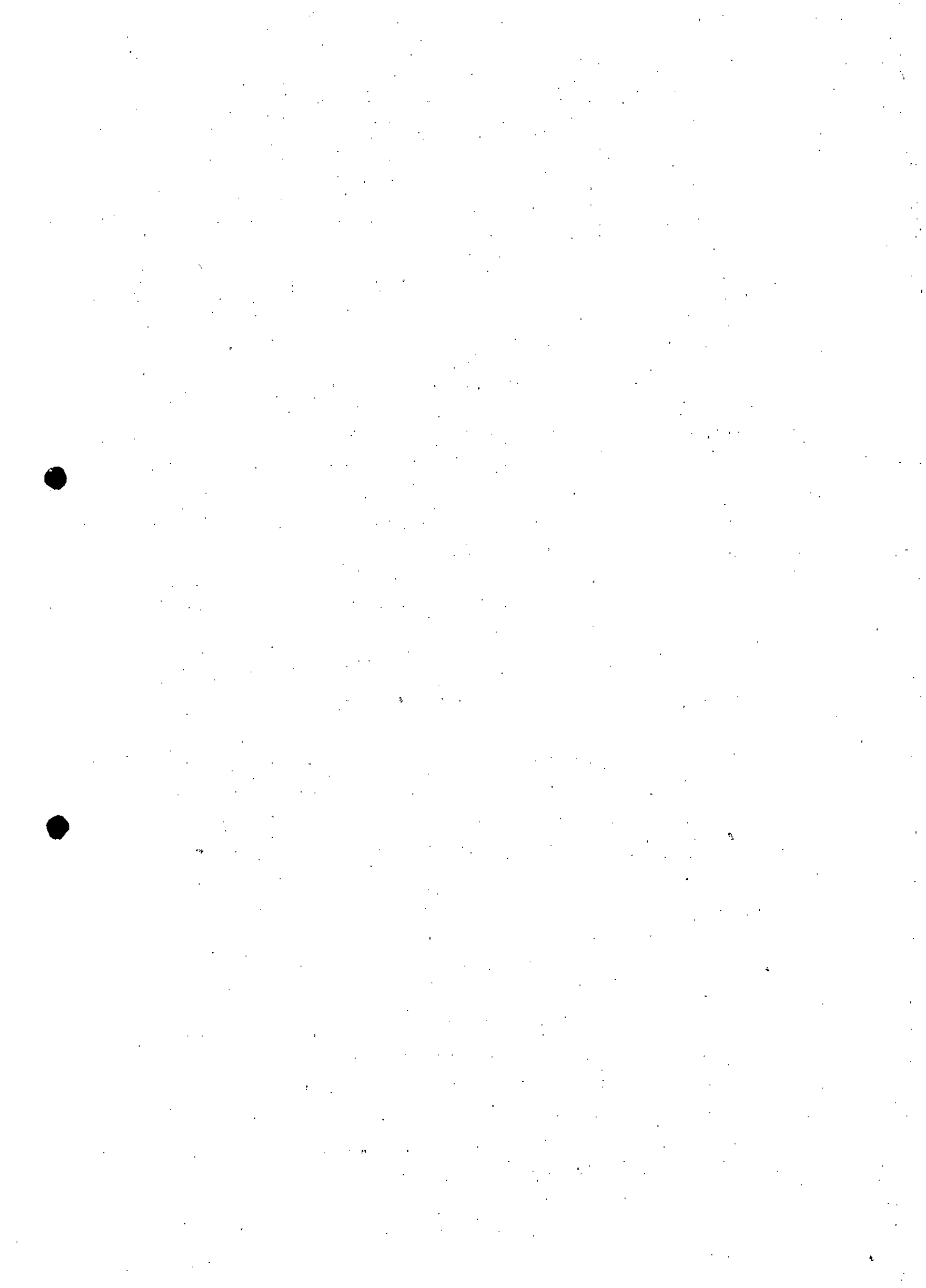
4.1.4.1 Projeto Final da Barragem Nova Santarém

O maciço final da barragem foi projetado com um núcleo de solo argiloso, composto por (i) espaldar de jusante com inclinação dos taludes de 2H:1V, composto por trechos de solo laterítico (seção mista) e solo argiloso (seção homogênea); (ii) espaldar de montante com inclinação do talude de 2H:1V, constituído de blocos com finos (seção mista) e solo argiloso (seção homogênea); (iii) núcleo de solo argiloso com inclinação de montante de 0,3H:1V e jusante de 0,5H:1V; (iv) sistema de drenagem interna tipo chaminé, composto pelo filtro de areia inclinado, com cota de coroamento na El. 768,00 m, e tapete drenante horizontal, lançado diretamente na fundação de jusante devidamente tratada; (v) tapete drenante sob o espaldar de jusante dividido em trechos de contribuição e compostos de areia, pedrisco (brita 0) e núcleo drenante (brita 3); (vi) proteção do talude de montante com *rip-rap* e transição única; e (vii) proteção vegetal (gramas em placas) do talude de jusante.

O sistema extravasor operacional projetado constitui-se (i) de torre, com dois emboques em comportas, conectada a uma galeria posicionada sob o maciço da barragem, próximo à sua ombreira direita; (ii) canal rápido de descarga, composto por trechos em degraus, em fundo liso; e (iii) bacia de dissipação de energia. Este sistema foi dimensionado para manter o nível operativo no reservatório entre as elevações 756,00 m e 766,00 m, por meio da operação das comportas hidráulicas. Tais estruturas não foram dimensionadas para garantir a segurança hidráulica da barragem frente à ocorrência de eventos de cheia de alta magnitude, função atribuída ao sistema extravasor de emergência.

O sistema extravasor de emergência foi projetado com o objetivo de permitir o trânsito da Cheia Máxima Provável (CMP), com segurança. Desta forma, foi projetado na ombreira esquerda do maciço, com emboque lateral do tipo *side channel* e soleira na El. 766,00 m, conectado a um canal com fundo liso e declividade longitudinal de 1,5%. Para vencer os desníveis de jusante e permitir a dissipação de energia, a estrutura contará com degraus, conectados no trecho final com duas bacias de dissipação (Tipo 1 e Tipo 2), em sequência.

O arranjo geral final da Barragem Nova Santarém e suas seções típicas são apresentados na Figura 4.11 e 4.12. A Tabela 4.3 mostra a ficha técnica correspondente.



BARRAGEM NOVA SANTARÉM	INÍCIO	TÉRMINO	2016									
			2º Trimestre			3º Trimestre			4º Trimestre			
			ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
ALTEAMENTO SANTARÉM EL. 770 m	02/05/16	12/12/16										
CONSTRUÇÃO	02/05/16	12/12/16										
MOBILIZAÇÕES	02/05/16	28/06/16										
EXECUÇÃO DAS OBRAS	24/05/16	12/12/16										

Figura 4.10 – Cronograma inicial de execução da Barragem Nova Santarém – El. 770,00 m.

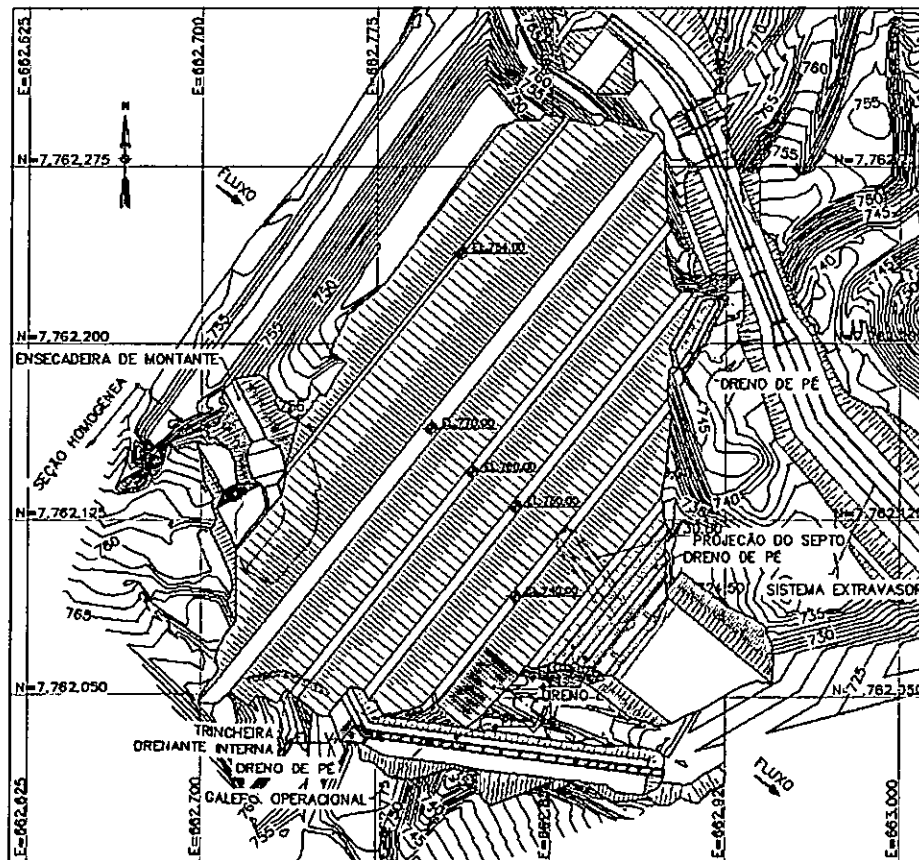
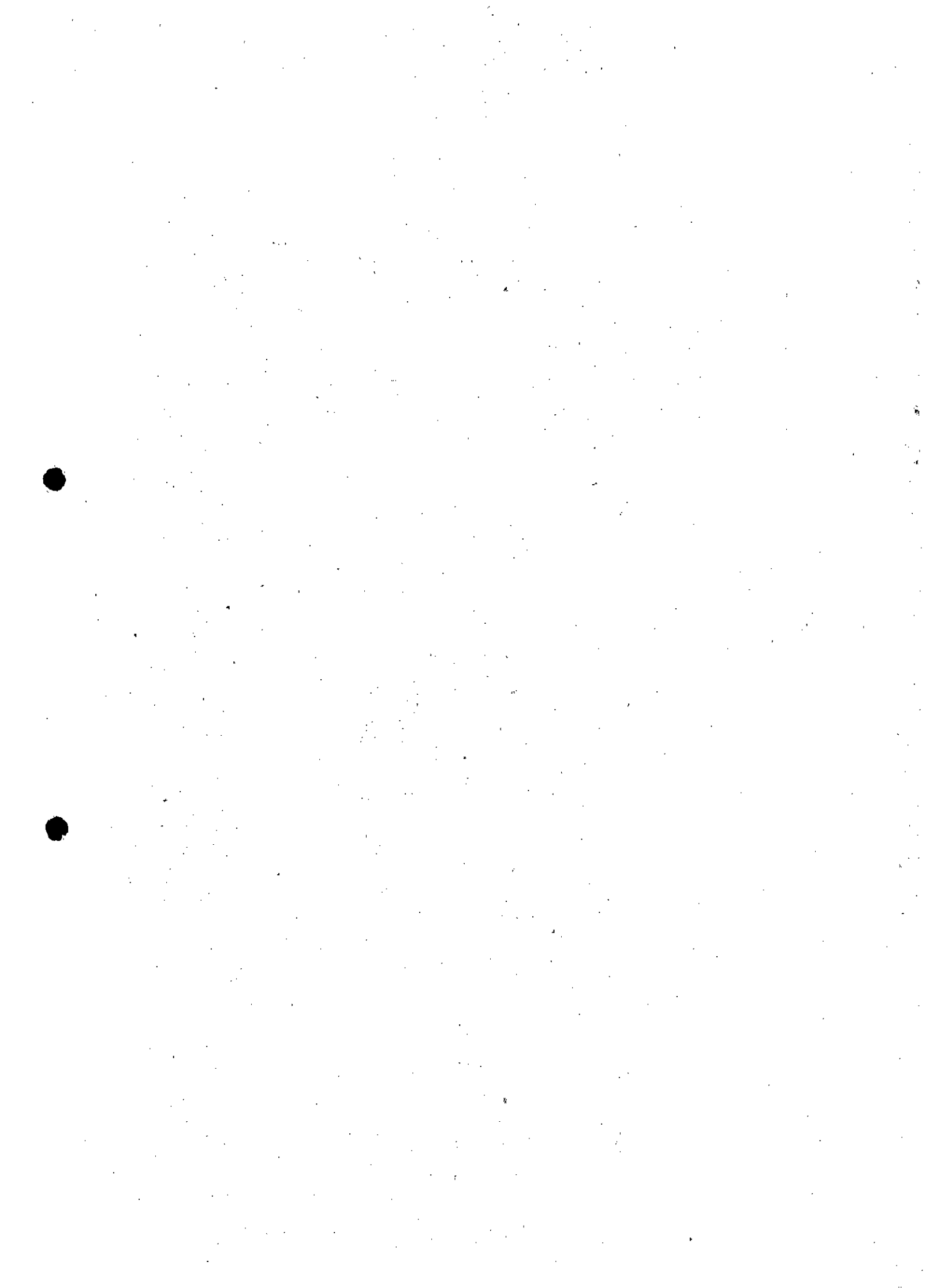
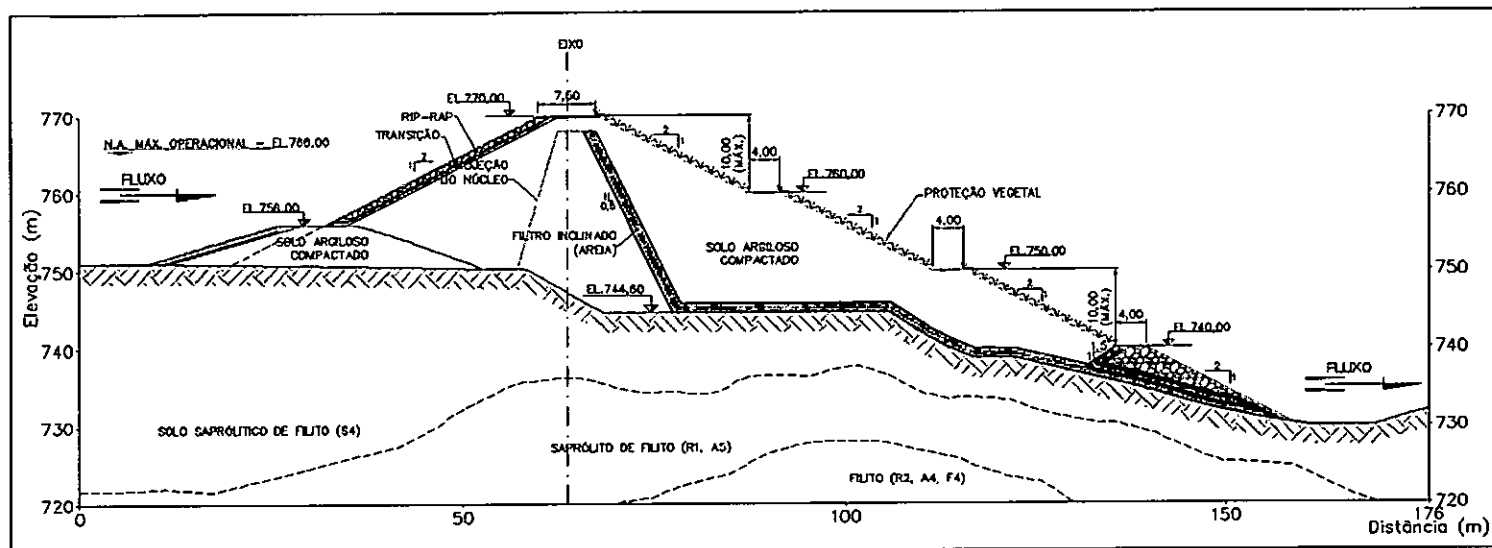
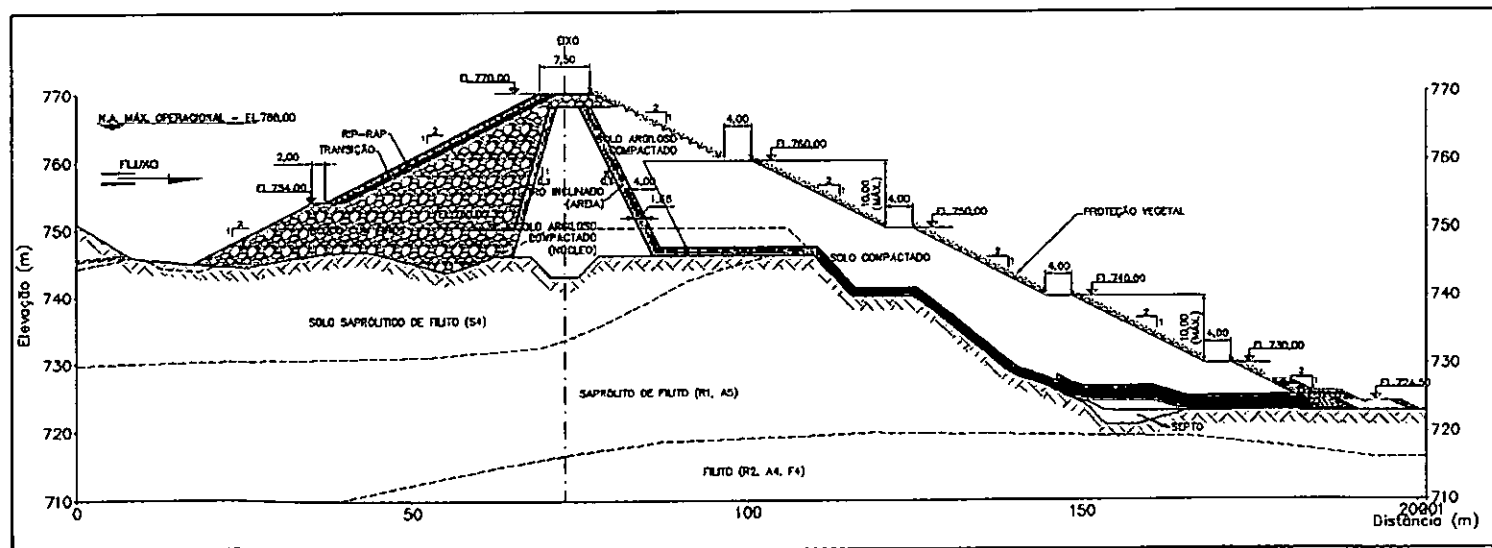


Figura 4.11 – Arranjo geral da Barragem Nova Santarém.





Seção homogênea de solo argiloso



Seção típica mista

Figura 4.12 – Seções típicas da Barragem Nova Santarém.

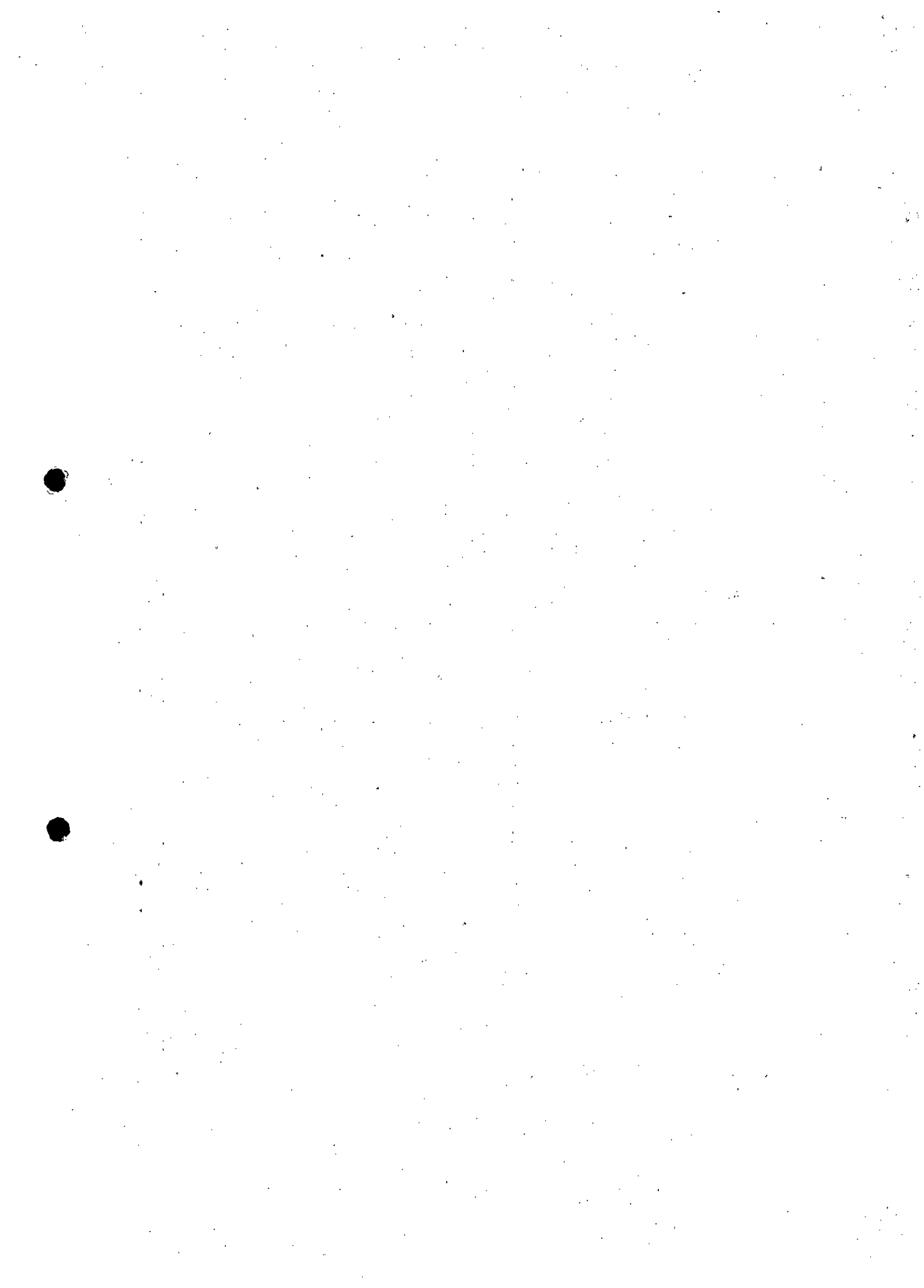


Tabela 4.3 - Ficha técnica da Barragem Nova Santarém.

Dados Gerais		
Finalidade	Armazenamento de rejeitos e sedimentos, com possibilidade de utilização futura para captação de água, a depender de estudos específicos para tal finalidade.	
Coordenadas UTM SIRGAS 2000	Leste (m)	662.784
	Norte (m)	7.762.180
Curso de Água barrado	Córrego Santarém	
Curso de Água a jusante	Córrego Santarém	
Cota da Crista (m)	770,00	
Altura Máxima Talude Jusante (m)	48,0	
Comprimento da Crista (m)	315	
Área do Reservatório (km ²)	0,98	
Volume do Reservatório (Mm ³)	6,94	
Volumes Operacionais do Reservatório (Mm ³)	El. 756,00 a 760,00 m	1,88
	El. 756,00 a 766,00 m	6,27
	El. 760,00 a 766,00 m	4,39
Tipo de Seção	Seção homogênea de solo argiloso (Estaca 0 a 4+10) e seção mista (estaca 4+10 à ombreira esquerda)	
Drenagem Interna	Tipo chaminé: filtro de areia inclinado (cota de coroamento 768,00 m) e tapete drenante horizontal (fundação de jusante).	
Instrumentação	09 medidores de nível de água, 19 piezômetros Casagrande, 15 piezômetros elétricos, 15 marcos superficiais, 05 medidores de vazão e 04 células de pressão.	
Dimensionamento Hidráulico		
Área da Bacia (km ²)	21,7	
Tempo de Concentração (h)	3,2	
Chuva de Projeto (mm)	374 mm	
Vazão de Projeto (m ³ /s) - CMP	71,0	
NA Normal de Operação (m)	766,00 m	
NA Máximo <i>Maximorum</i> (m)	767,97 m	
Sistemas Extravadores		
Vertedouro Operacional	Galeria operacional sob a barragem (ombreira direita)	
Vertedouro de Emergência	Soleira livre (ombreira esquerda)	

4.1.4.2 Estrutura Intermediária da Barragem Nova Santarém (Período Chuvoso 2016/ 2017)

Tendo em vista a composição do maciço da Barragem Nova Santarém ser projetado essencialmente com material de características argilo-arenosas, com o início do período chuvoso (2016/2017) e a impossibilidade de se compactar adequadamente o material úmido para

composição do maciço, não foi possível o avanço e a conclusão da estrutura nas condições definidas no projeto original.

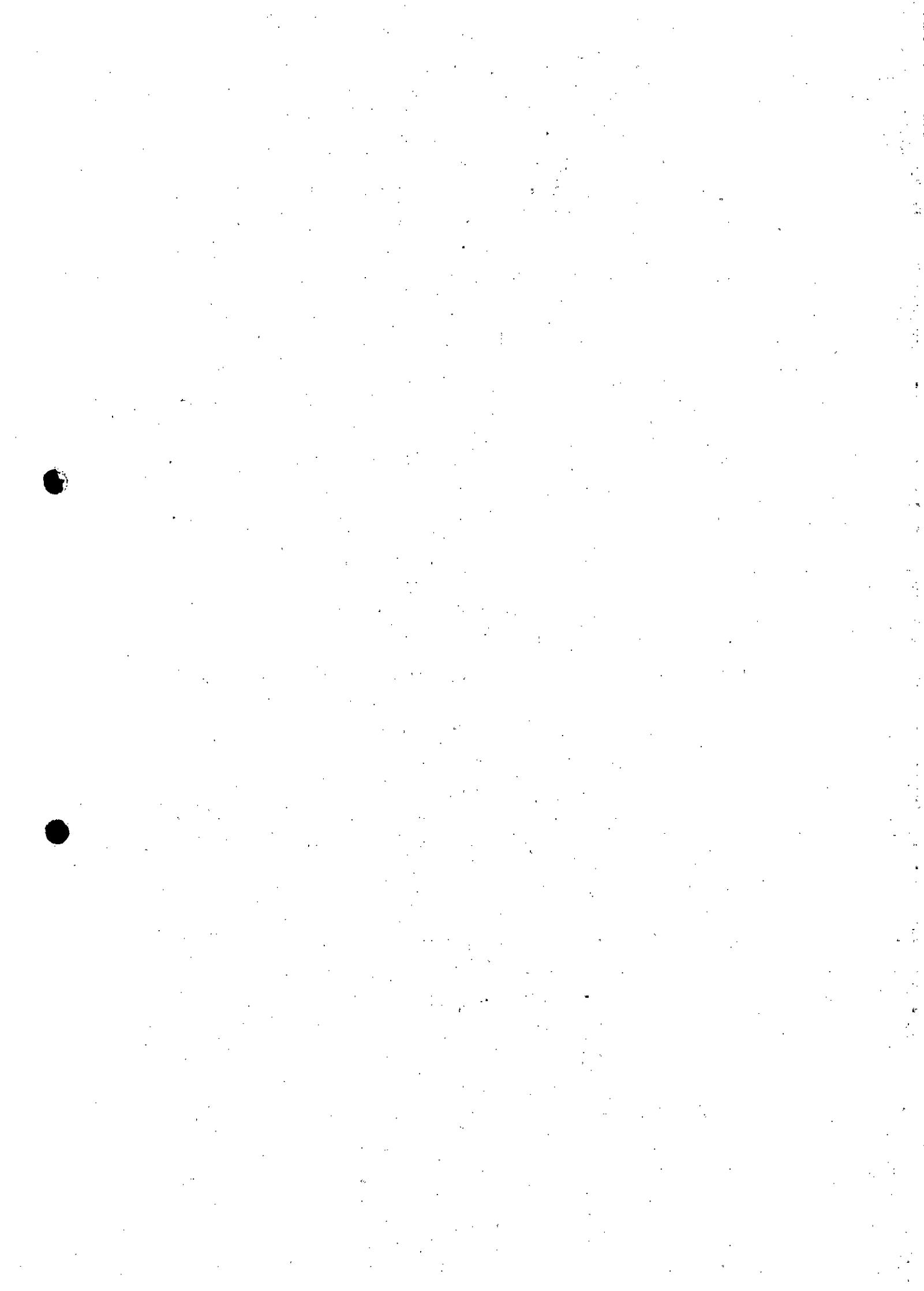
O início do período chuvoso, caracterizado por eventos que se estenderam por vários dias consecutivos, impôs quebra na taxa de produtividade de construção do aterro compactado da estrutura. Esta condição, somada às previsões climáticas para os meses de outubro de 2016 a janeiro de 2017, levaram à busca de soluções construtivas para dar continuidade às obras com a devida segurança.

Dessa forma, foram elaborados pela BVP Engenharia estudos de soluções alternativas que possibilitassem a construção de um maciço com material de características granulares, disposto a partir da cota 755,00 m (elevação média de topo do maciço construído até o momento), e que permitisse atingir uma cota de segurança para o trânsito de cheias associadas ao período de retorno da ordem de 100 anos. O cronograma dessa obra é indicado na Figura 4.13.

A El. 765,00 m foi estabelecida como cota final do maciço provisório. Em função de o material constituinte do talude de jusante apresentar característica mais granular, sendo conseqüentemente mais permeável, foi prevista a instalação de uma geomembrana, possibilitando o ensecamento do trecho de jusante e evitando, assim, possível percolação e carreamentos de finos entre os blocos.

Para ajustar-se ao novo maciço foram projetadas novas estruturas extravasoras, promovendo dessa forma a segurança hidráulica frente aos eventos de chuva intensos e a manutenção do nível de água no reservatório o mais baixo possível, induzindo baixas cargas hidráulicas no maciço.

O sistema operacional proposto consiste em tubulações instaladas em dois níveis da ombreira direita do maciço (uma linha tubo metálico com diâmetro nominal de 1676 mm na El. 755,50 m e duas linhas de mesmo diâmetro na El. 759,00 m), direcionadas a um canal de enrocamento argamassado, com 15,0 m de largura posicionado no espaldar de jusante. Estas estruturas são conectadas à torre da tomada de água, regulada por comportas em diferentes elevações e com distintas funções (El. 751,50 m – desvio do rio, El. 756,00 m e El. 760,00 m – regulação de nível e dimensões 1,5 x 2,0 m), acopladas a uma galeria de concreto, responsável pela condução do escoamento até o trecho de jusante da barragem em construção. Este sistema extravasor foi respaldado por um sistema de bombeamento, dimensionado para trabalhar em conjunto com as tubulações citadas.



O extravasor de emergência corresponde àquele do projeto executivo original, exceto no que diz respeito à região do emboque, adequada para soleira livre, com emboque na El. 764,00 m, acoplada em canal trapezoidal de enrocamento argamassado com 5,0 m de largura e posicionado junto à ombreira esquerda do maciço. Essa estrutura foi projetada para permitir o trânsito de cheias associadas ao período de retorno de 25 anos, devendo ser acionado somente se e quando o sistema operacional for obstruído ou assoreado. Caso contrário, o aterro em blocos com finos e revestimento em geomembrana exercerá a vedação desta região.

O término da construção dessa estrutura temporária ocorreu entre os dias 6 e 13 de janeiro de 2017. Cabe ressaltar que tal solução é válida apenas para a passagem do período chuvoso de 2016/2017, pois os trabalhos de construção do aterro referente ao projeto original serão retomados em períodos de veranico e/ou mesmo após as chuvas, de forma a atender o cronograma final da obra, em revisão. No entanto, a movimentação de máquinas na área tem previsão de início em março de 2017 e as obras de serem retomadas, de fato, em abril, com previsão de conclusão em 30 de junho do mesmo ano.

As Figuras 4.14 e 4.15 ilustram a solução provisória de construção da Barragem Nova Santarém, adotada para o período chuvoso 2016/2017. A Tabela 4.4 apresenta a ficha técnica correspondente e as Fotos 4.9 a 4.13 ilustram o período de construção e status da citada estrutura.



Foto 4.9 – Vista geral da Barragem Nova Santarém em construção.



Foto 4.10 – Maciço, talude de jusante e extravasor operacional.

Vale lembrar que, o lançamento de reagentes no fluxo do trecho fluvial situado a jusante do vale do Fundão é uma das medidas adotadas pela SAMARCO para aumentar a eficiência de retenção do material em trânsito, contribuindo com a manutenção dos padrões de qualidade das águas dos cursos de água situados a jusante do córrego Santarém. Tal lançamento é feito no canal do extravasor operacional da Barragem Nova Santarém (Foto 4.10).

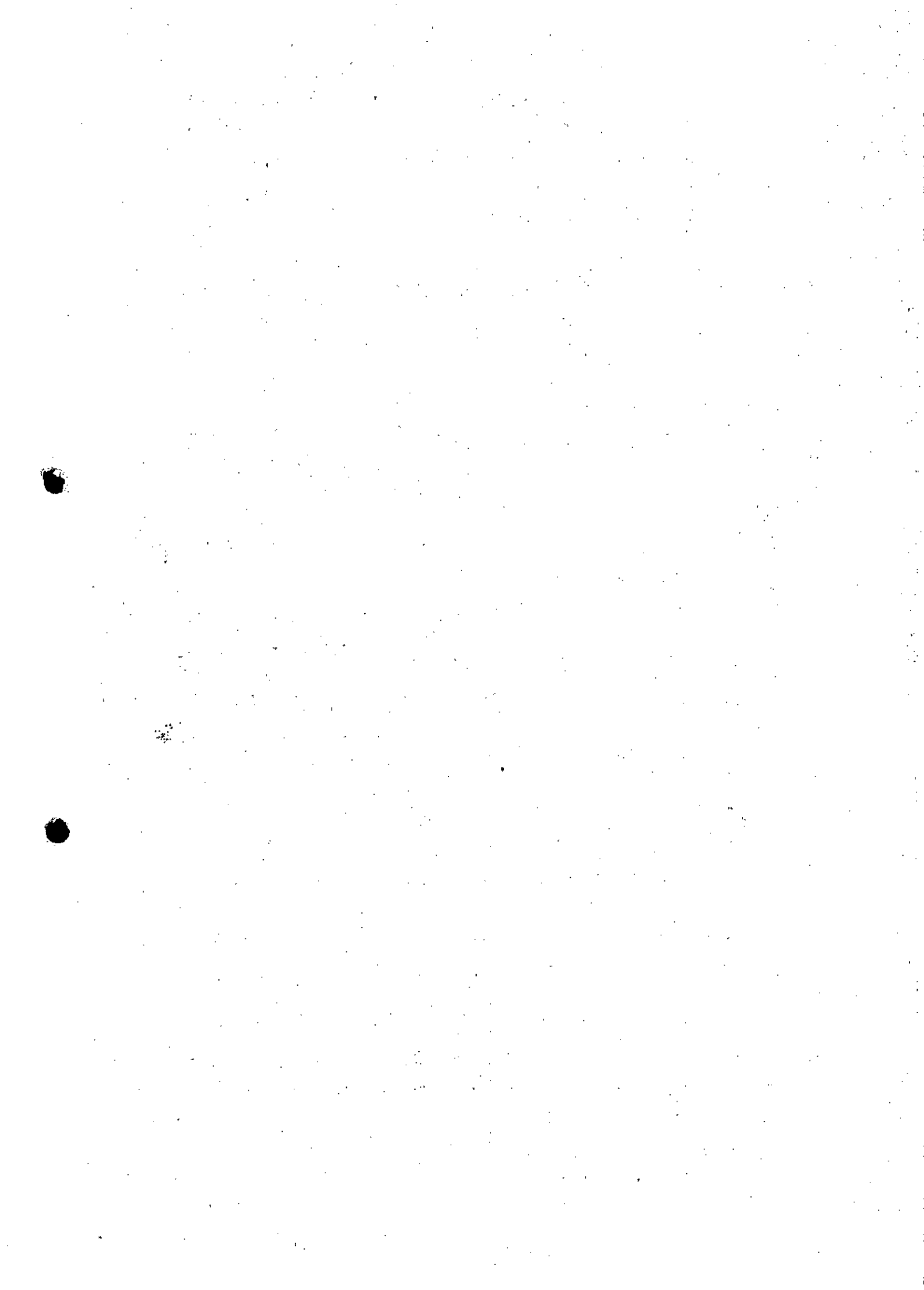




Foto 4.11 – Torre e vertedouro operacional.



Foto 4.12 - Maciço de montante e emboque do vertedouro de emergência.

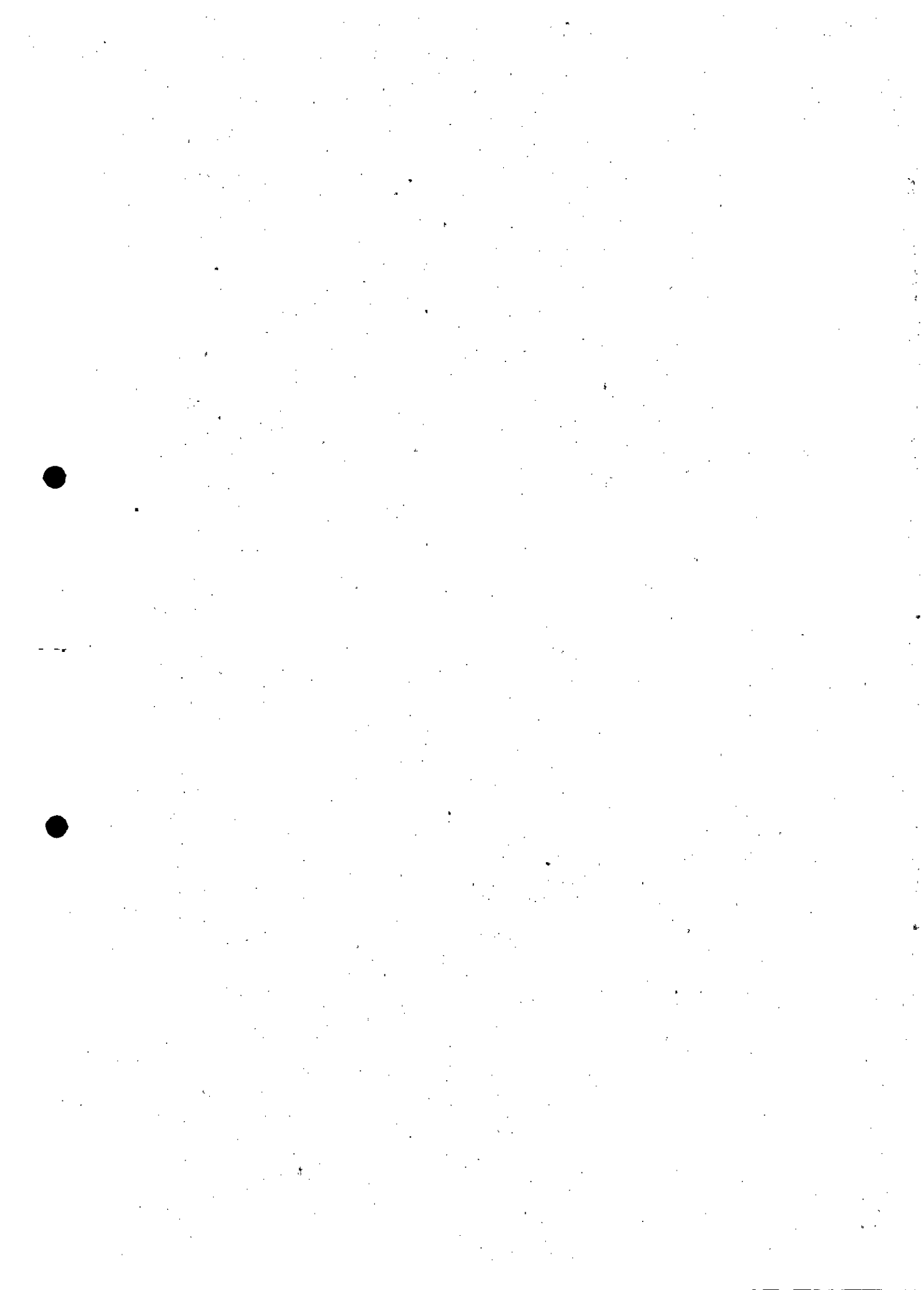


Foto 4.13 – Talude de jusante e vertedouro de emergência.

BARRAGEM NOVA SANTARÉM	INÍCIO	TÉRMINO	2016						2017					
			3º Trimestre			4º Trimestre			1º Trimestre			2º Trimestre		
			JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
ALTEAMENTO SANTARÉM EL. 765 m	19/11/16	07/01/17							■	■				
ALTEAMENTO A JUSANTE	19/11/16	23/12/16							■	■				
ALTEAMENTO A MONTANTE	21/11/16	07/01/17							■	■				
EXTRAVASORES	01/07/16	20/01/17	■	■	■	■	■	■	■	■				
EXTRAVASOR OPERACIONAL	01/07/16	17/09/16	■	■	■									
EXTRAVASOR EMERGENCIAL	25/07/16	20/01/17				■	■	■	■	■				
MACIÇO FINAL SANTARÉM EL. 770 m	01/03/17	30/06/17									■	■	■	■

PREVISÃO ■

Figura 4.13 – Cronograma de execução da Barragem Nova Santarém replanejado para o período chuvoso 2016/2017– El. 765,00 m.



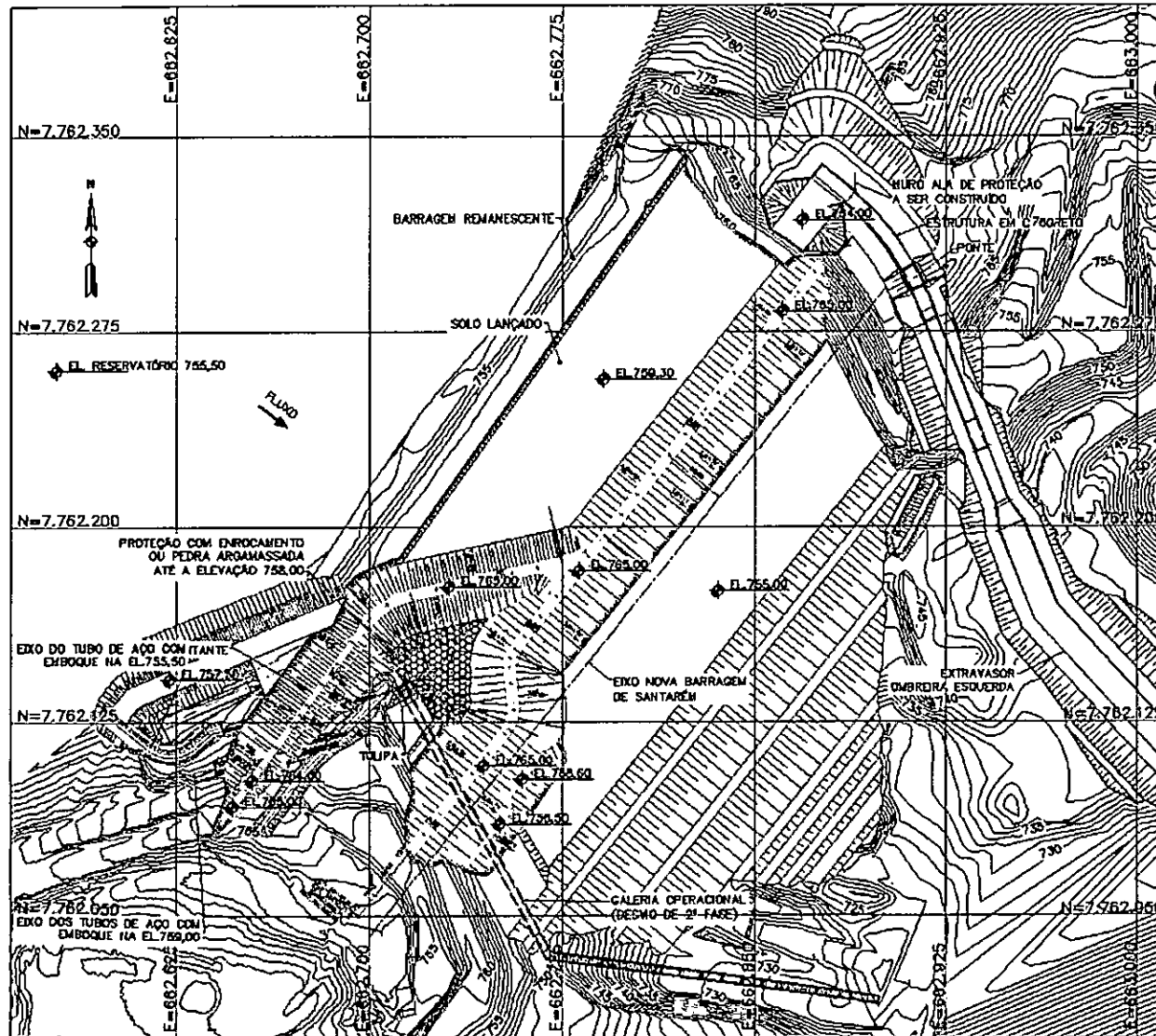
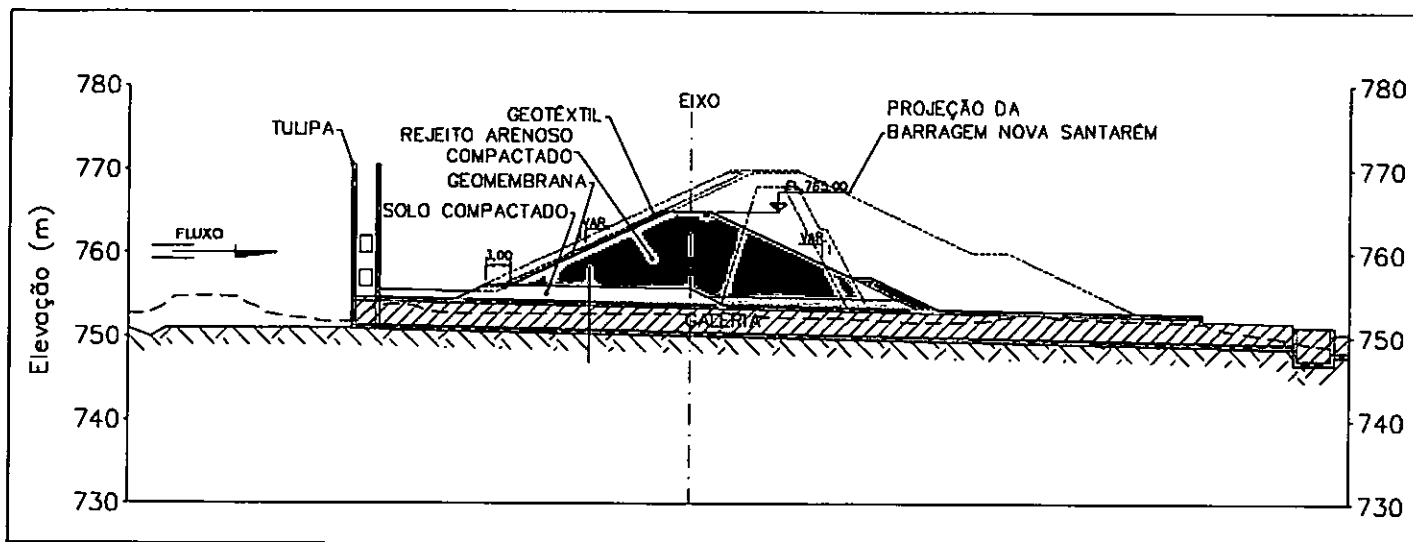
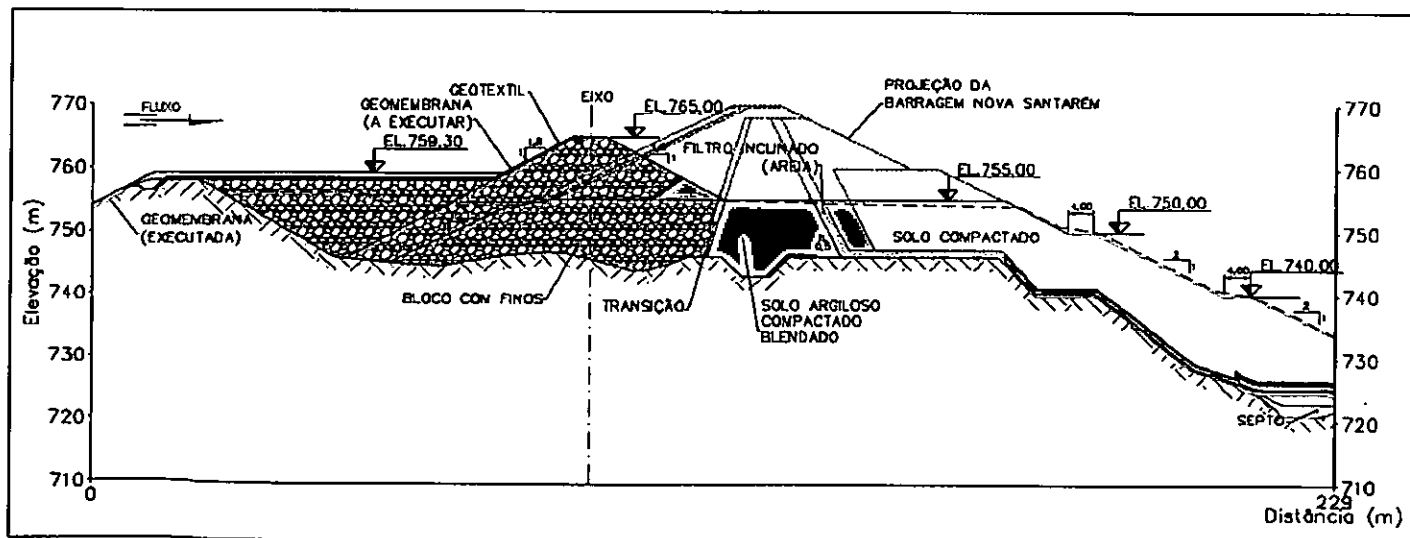


Figura 4.14 – Arranjo geral da solução provisória da Barragem Nova Santarém (El. 765,00 m).



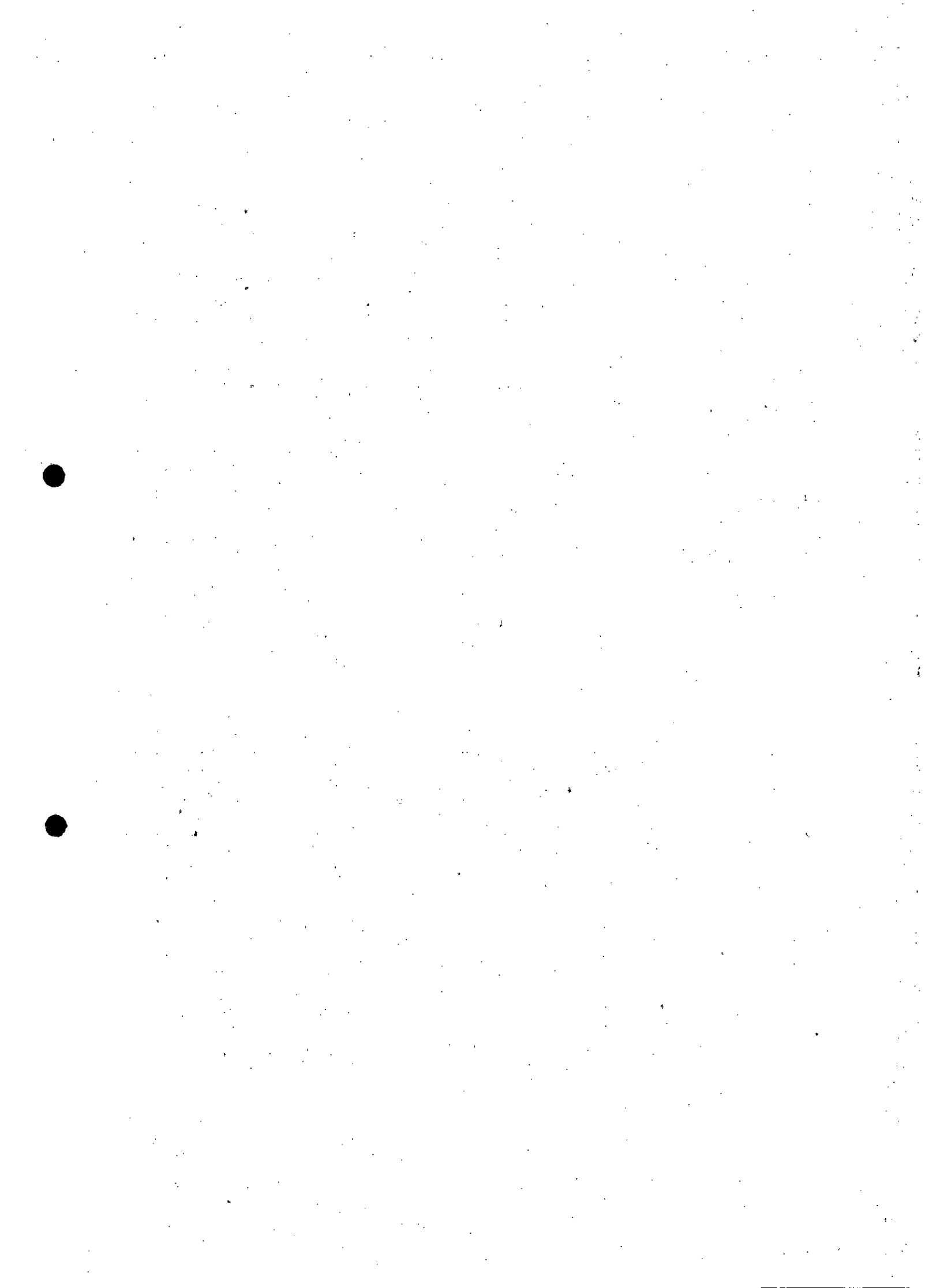


Seção típica da galeria da solução construtiva provisória



Seção típica do eixo para a solução construtiva provisória

Figura 4.15 – Seções típicas referentes à solução construtiva provisória da Barragem Nova Santarém.





4.1.5 Diques S1 e S2

Imediatamente após a ruptura da Barragem do Fundão foram iniciados os estudos de projetos de obras para contenção do material que estava sendo mobilizado e carreado para as áreas situadas a jusante do vale. Como resultado desse trabalho, foi sugerida a implantação de dois diques de contenção no córrego Santarém: o primeiro imediatamente a montante do povoado de Bento Rodrigues (Dique S3) e o segundo a jusante da citada localidade, imediatamente a montante da confluência com o rio Gualaxo do Norte (Dique S4). Detalhes referentes aos dois barramentos são apresentados nos itens 4.1.6 e 4.1.7, respectivamente.

Além dos Diques S3 e S4, também foi considerada a implantação de estruturas emergenciais de contenção a montante, intituladas Diques S1 e S2, descartadas *a priori* por não apresentarem reservatórios com volumes suficientes para obter a eficiência esperada, mesmo que dispusessem de maciços com altura da ordem de 20 m.

Entretanto, quando do início das obras de implantação do Dique S3 (primeira estrutura de contenção de sedimentos implantada na área, em meados de fevereiro de 2016), que coincidiu com período de chuvas elevadas na região, a SAMARCO optou pela implantação de uma adaptação dos Diques S1 e S2, como medida de proteção para as frentes de obra da citada estrutura.

Tais diques foram locados no trecho compreendido entre a Barragem Santarém e o eixo do Dique S3, conforme indicado na Figura 4.16, sendo os mesmos dotados de maciços galgáveis com altura limitada a 5,0 m. Em sua construção foram empregados blocos de mina de grandes dimensões e diâmetros, além de equipamentos de grande porte, garantindo construção rápida e conclusão ainda durante o período crítico de chuvas de 2015/2016.

Nestas condições e em razão de seu volume inexpressivo, e, conseqüentemente, seu assoreamento rápido, os diques apresentaram baixa capacidade de retenção de sedimentos e rejeitos/lama, além de reduzida eficiência no tratamento das águas defluentes. No entanto, essas estruturas exerceram a função imprescindível de reduzir o carreamento dos rejeitos/lama do vale do Fundão e de proteção para conclusão da obra da primeira etapa do Dique S3. Atualmente, os reservatórios correspondentes se encontram totalmente assoreados, não sendo mais considerados para fins de contenção adicional do material defluente do vale do Fundão. A Tabela 4.5 apresenta a ficha técnica de ambas as estruturas e as Fotos 4.14 a 4.16, bem como as Figuras 4.17 e 4.18, mostram detalhes de projeto e características da época de implantação das mesmas. A Foto 4.17 ilustra a situação atual do Dique S2, cujo eixo ainda pode ser visto.



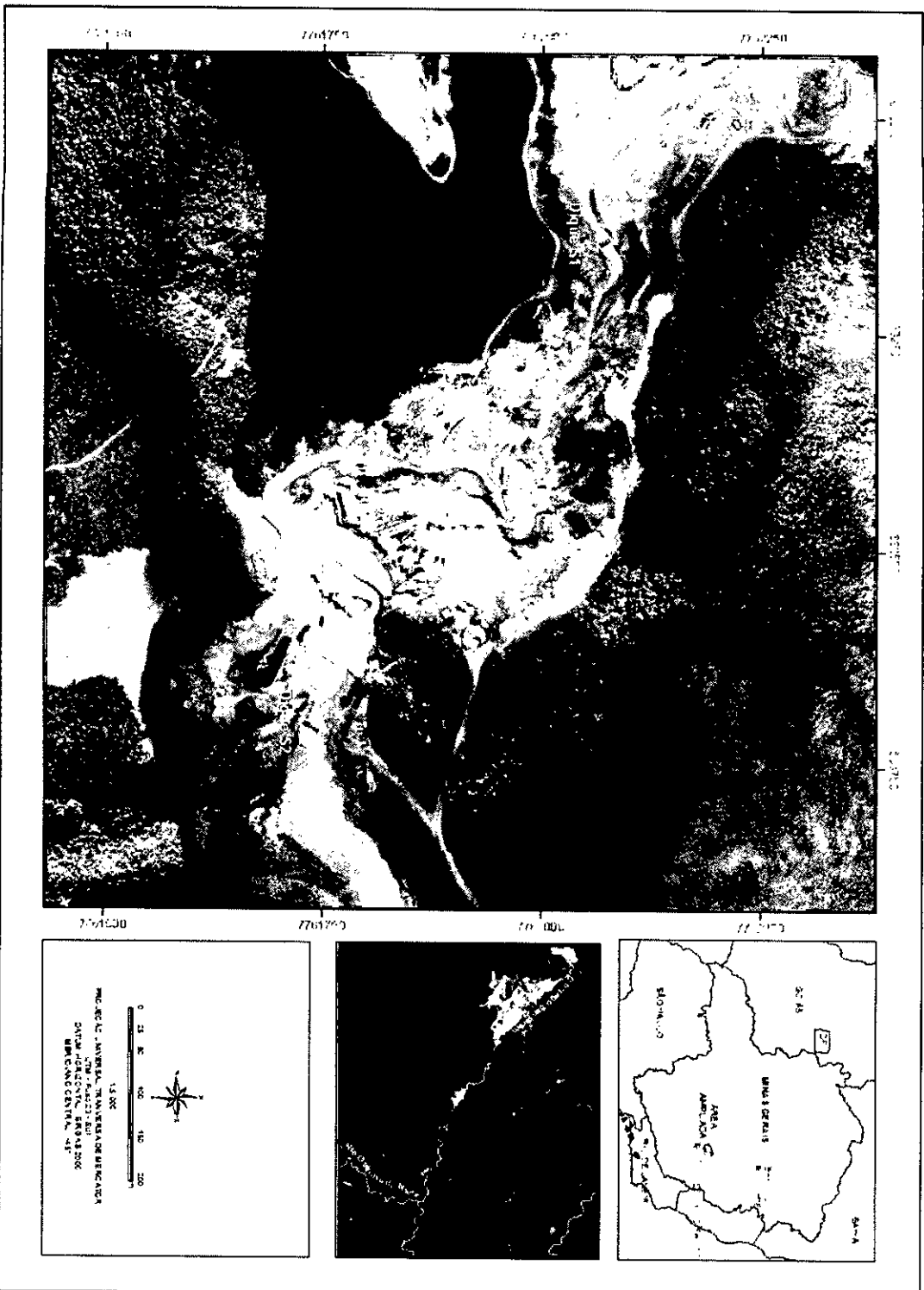


Figura 4.16 – Localização dos Diques S1 e S2 implantados ao longo do córrego Santarém.

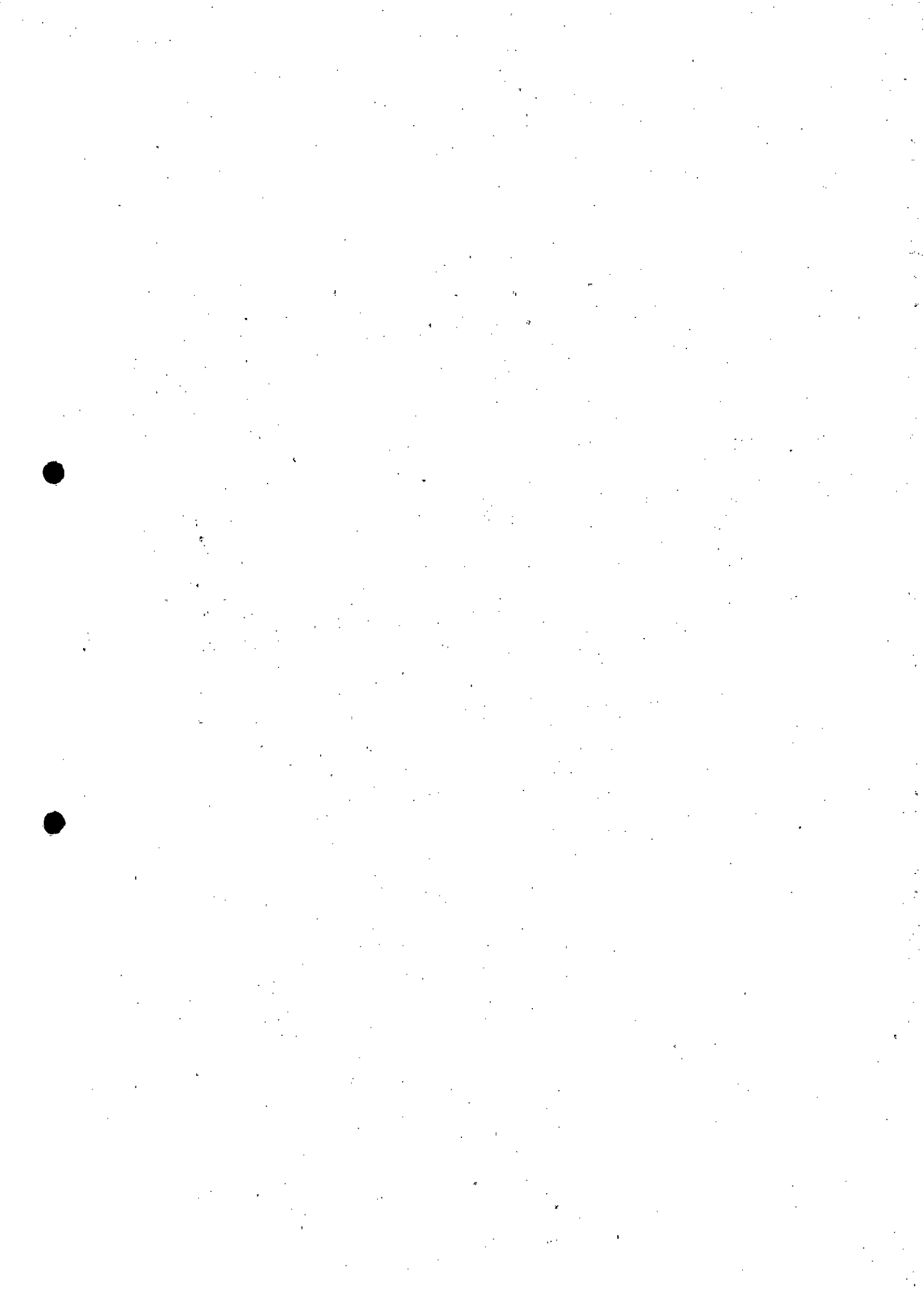


Tabela 4.5 - Ficha técnica dos Diques S1 e S2.

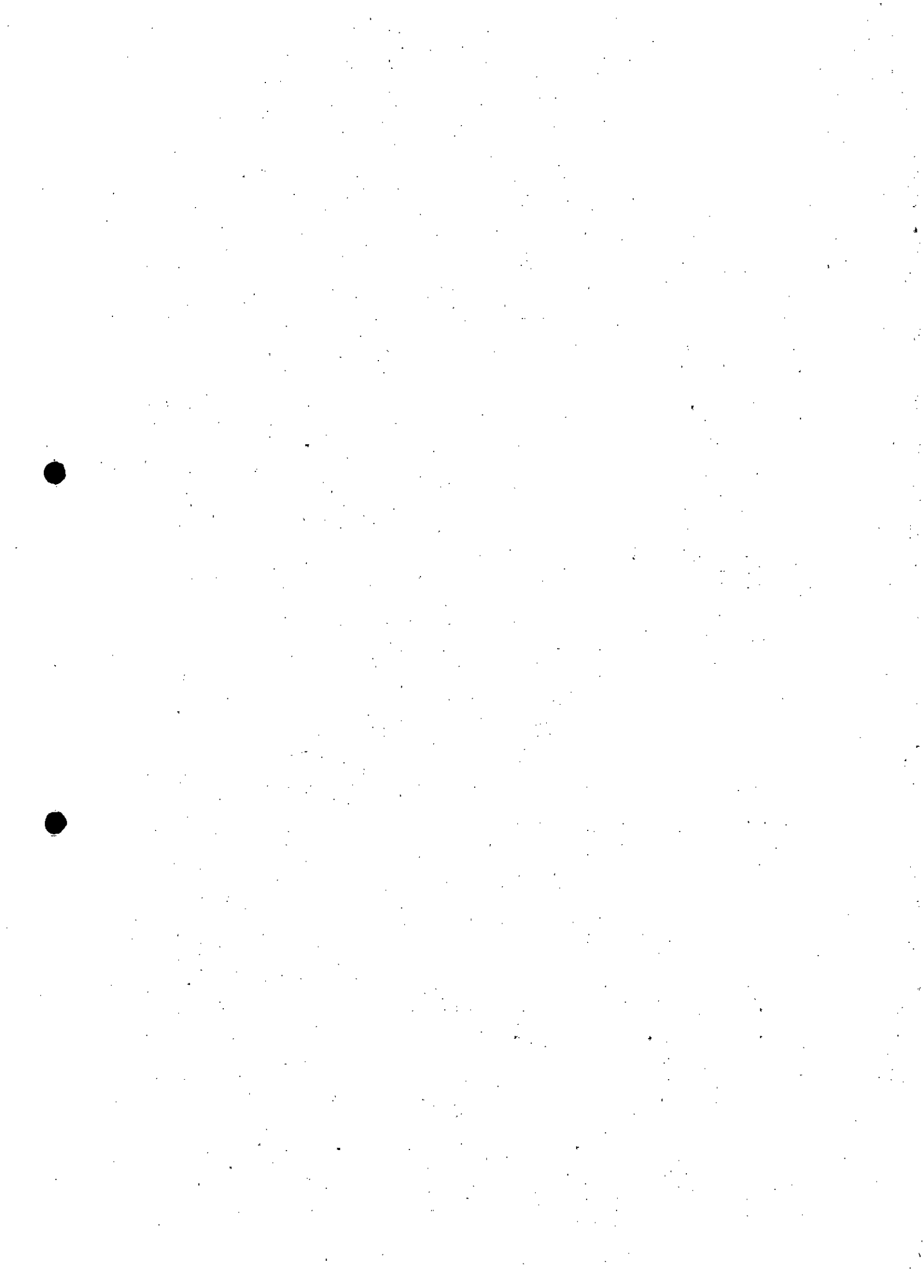
Parâmetros	Dique S1		Dique S2	
	Norte (m)	Leste (m)	Norte (m)	Leste (m)
Coordenadas UTM SIRGAS 2000 (m)	7.762.064	663.141	7.761.751	663.700
Curso de Água Barrado	Córrego Santarém		Córrego Santarém	
Curso de Água a Jusante	Córrego Santarém		Córrego Santarém	
Localização	Jusante Barragem Santarém		Jusante Dique S1 e Montante Dique S3	
Área de Drenagem (km²)	22,2		23,1	
Início de Operação	17/02/2016		18/02/2016	
Finalidade	Contenção de rejeitos/lama durante as obras de implantação do Dique S3.			
Altura do Maciço (m)	5,0		5,0	
Material	Blocos de enrocamento		Blocos de enrocamento	
Volume do Maciço (m³)	1.800		3.100	
Volume do Reservatório (m³)	16.000		45.000	



Fotos 4.14 e 4.15 – Registro fotográfico da implantação do dique de contenção de sedimentos S1.



Foto 4.16 e 4.17 – Registro fotográfico da implantação do dique de contenção de sedimentos S2 e situação atual.



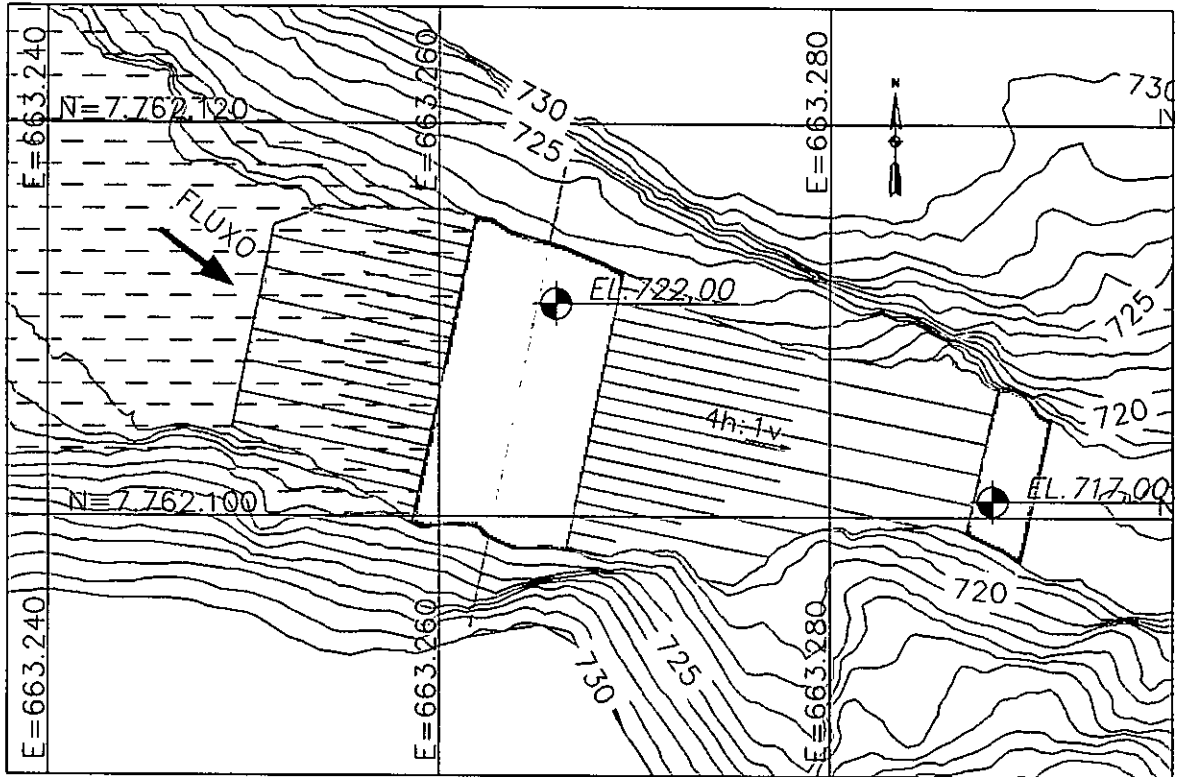


Figura 4.17 – Arranjo geral da estrutura de contenção de sedimentos Dique S1.

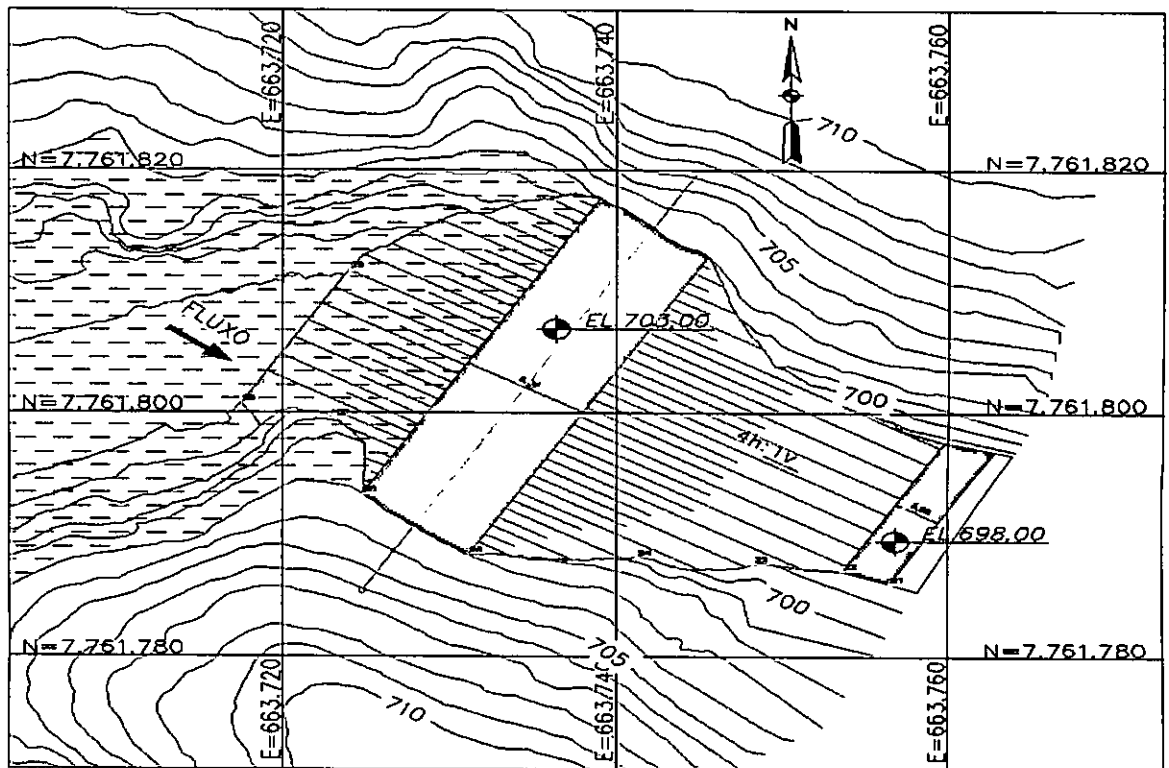
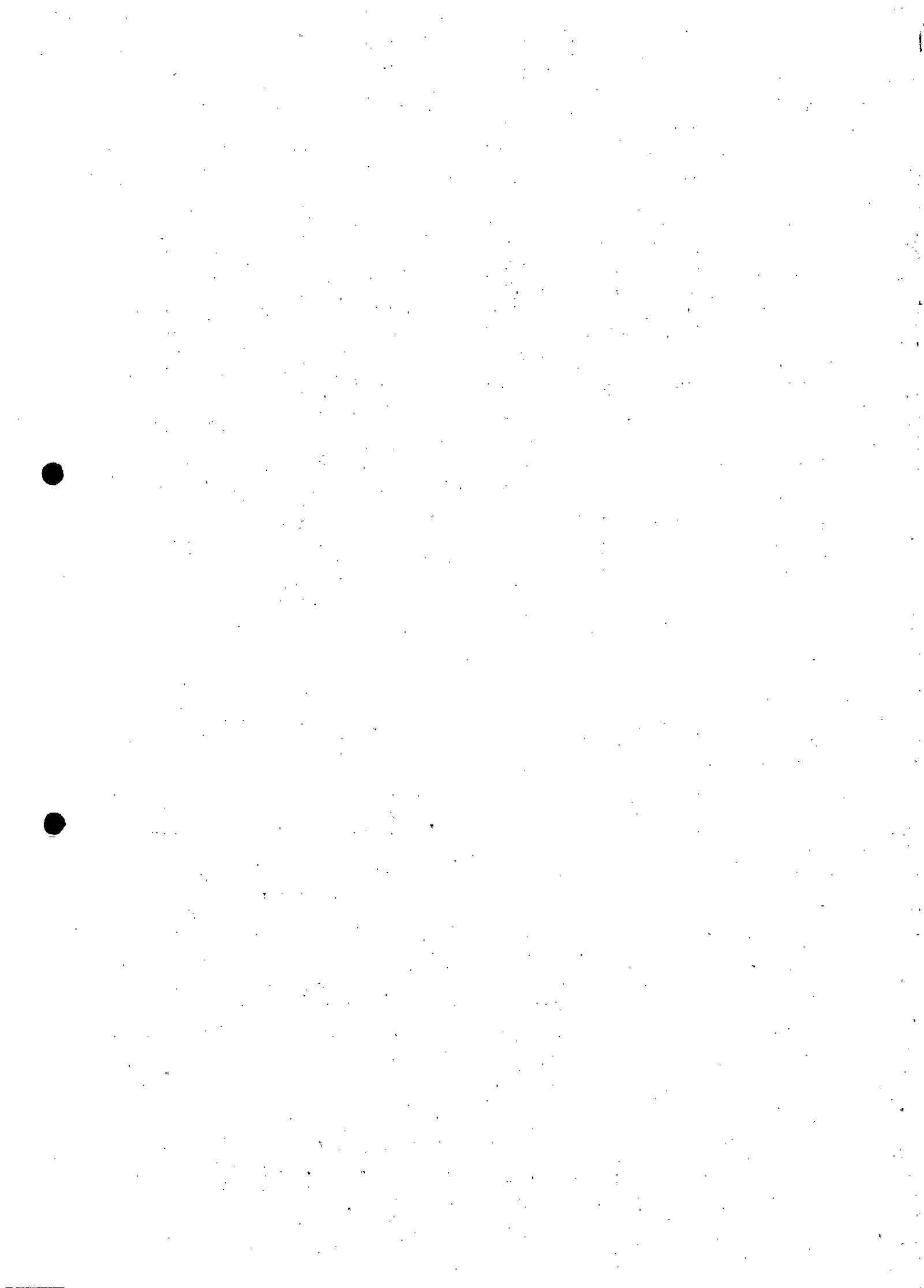


Figura 4.18 – Arranjo geral da estrutura de contenção de sedimentos Dique S2.



4.1.6 Dique S3

Dentre todas as estruturas de contenção do material defluente do vale do Fundão, a SAMARCO priorizou a construção do Dique S3, cujo reservatório foi projetado com maior potencial para acumular os rejeitos/lama que estavam sendo transportados pelos córregos do Fundão e Santarém, além de promover a clarificação da água antes do lançamento no trecho de jusante. Ou seja, o Dique S3, em sua etapa inicial, foi a primeira estrutura executada pela Samarco para a retenção imediata do material transportado após a ruptura da Barragem do Fundão.

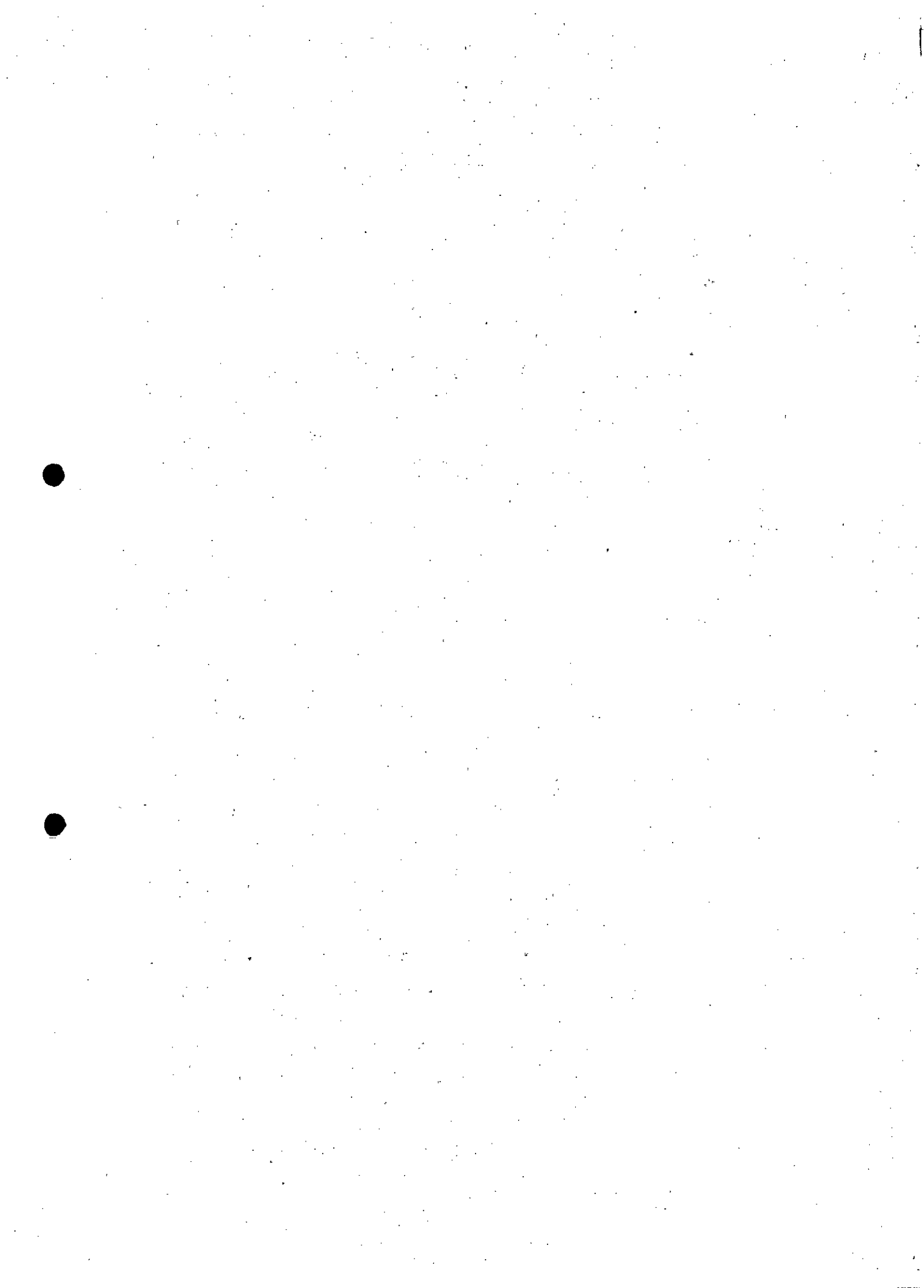
A estrutura, implantada nas proximidades da comunidade de Bento Rodrigues, com prazo de execução exíguo, foi concebida com blocos de mina de grandes diâmetros e conceito de dique galgável. A Foto 4.18 mostra a vista aérea do local escolhido para implantação do dique e os itens subsequentes descrevem os estágios de construção da referida estrutura.



Foto 4.18 - Local escolhido para construção do Dique S3.

4.1.6.1 Dique de Partida

O Dique S3, em sua etapa inicial, foi construído predominantemente com blocos de rocha são de grandes dimensões, atingindo maciço com 11,0 m de altura, crista na El. 706,00 m e soleira do sistema extravasor posicionada na El. 703,50 m. A capacidade de armazenamento inicial dessa estrutura era de aproximadamente 1,7 Mm³, essencial à viabilização de um reservatório, similar a um lago que favorecesse a deposição do material sólido afluente e, conseqüentemente, permitisse a clarificação da água defluente aos cursos de água de jusante.



Os estudos hidrossedimentológicos elaborados pela BVP Engenharia em dezembro de 2015 (considerando as ações para o fim do período chuvoso 2015/2016) se basearam na situação da bacia de contribuição na época, com destaque para a área impactada pela ruptura da Barragem do Fundão, cujo evento promoveu a deposição de rejeitos/lama ao longo do talvegue dos córregos de Fundão e Santarém, bem como nas planícies de inundação e margens desses cursos de água.

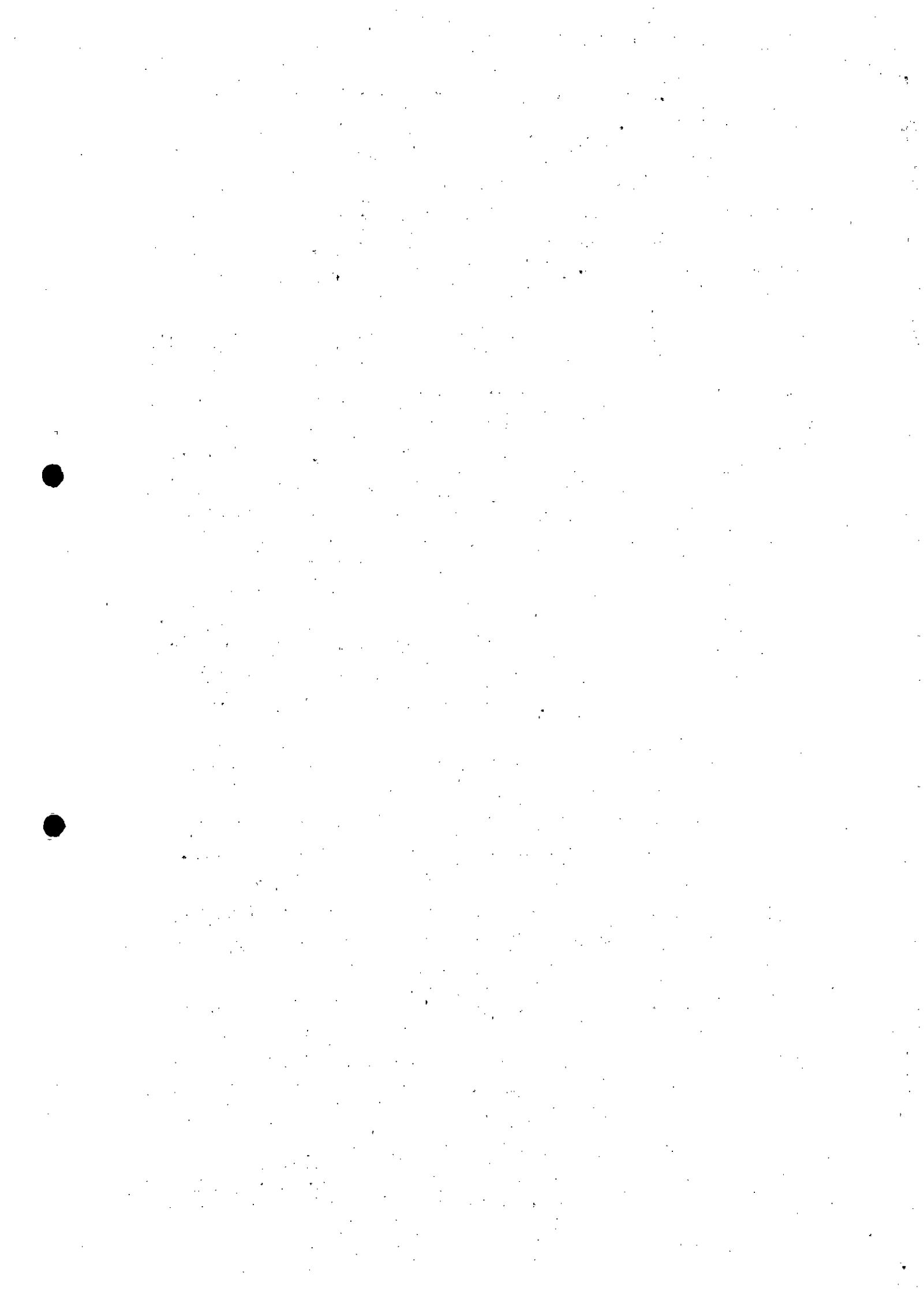
O dique de partida começou a ser construído em meados de novembro de 2015, com um cronograma de implantação da ordem de um mês. Nesse período foram movimentados cerca de 34.000 m³ de material para construção, considerando a extração do mesmo em áreas da Vale, situadas nas proximidades. Durante esse período, ocorreram eventos intensos de chuva e atípicos na região, com índices que superaram cerca de 40% o total acumulado para todo o mês de janeiro dos últimos cinco anos. Por esse motivo, houve galgamento do maciço em construção, algumas vezes, e consequentes atrasos no cronograma de implantação, viabilizando o término da obra apenas em 21/02/2016.

É importante ressaltar que durante a etapa de construção, e mais especificamente após o término de implantação da ensecadeira e canal de desvio (meados de dezembro de 2015), os rejeitos/lama já começaram a ser retidos no reservatório formado a montante.

4.1.6.2 1º Alteamento do Dique S3

Após conclusão da construção do maciço de partida do Dique S3 e confirmação da efetividade do mesmo na contenção dos sedimentos oriundos das áreas de montante, especificamente dos vales do Fundão e Santarém, a BVP foi novamente acionada para desenvolvimento do projeto de alteamento do Dique S3, ainda em caráter emergencial, visando a maximização da capacidade de contenção do material afluente. O projeto foi desenvolvido considerando alteamento de crista e soleira do vertedouro em 1,0 m, as quais passaram para as elevações 707,00 m e 704,50 m, respectivamente, mantendo todos os critérios de construção previamente definidos para o maciço inicial e garantindo formação de reservatório com capacidade total de aproximadamente 2,1 Mm³.

Para o projeto do 1º alteamento a projetista propôs a continuidade das camadas já implantadas em campo. Dessa forma, o talude de jusante já executado foi mantido, sendo apenas prolongado com a mesma declividade de face (1V:4H). No espaldar de montante foi implantada uma camada de pedra argamassada de 0,50 m sobre as transições de montante, prolongando-se sobre a soleira e paredes laterais do extravasor e garantindo elevação do nível de água até a cota da soleira e a formação do reservatório previsto. O vertedouro foi projetado com os mesmos conceitos adotados para o extravasor do dique de partida. A obra do primeiro alteamento foi concluída em 05/04/2016.



4.1.6.3 2º Alçamento do Dique S3

Considerando as simulações de trânsito de sólidos realizadas pela SAMARCO e as previsões de assoreamento do reservatório correspondente à 1ª etapa de alçamento do maciço, novos estudos foram desenvolvidos com o intuito de avaliar a viabilidade de alçamento complementar. Tais estudos foram baseados em campanha de investigação minuciosa realizada na área de jusante do dique, tanto por métodos indiretos (geofísica) quanto diretos (sondagens rotativas e mapeamento). Confirmada a viabilidade construtiva, a BVP foi novamente contratada para elaboração do projeto de implantação, considerando o posicionamento da crista na El. 709,5 m, ou seja, maciço com altura total de 14,5 m e soleira do vertedouro na El. 706,0 m, maximizando a capacidade total de armazenamento do dique em aproximadamente 2,95 Mm³.

O projeto foi desenvolvido considerando todos os critérios de construção previamente definidos para o maciço inicial e 1º alçamento, com exceção do talude de jusante, cuja declividade foi suavizada (1V:6H), visando o não rolamento de blocos em caso de ocorrência de chuvas de magnitude extrema. No espaldar de montante a projetista indicou a construção de uma camada de pedra argamassada de 0,50 m sobre as transições, prolongando-se sobre a soleira e paredes laterais do extravasor e garantindo, dessa forma, a elevação do nível de água até a cota 706,00 m.

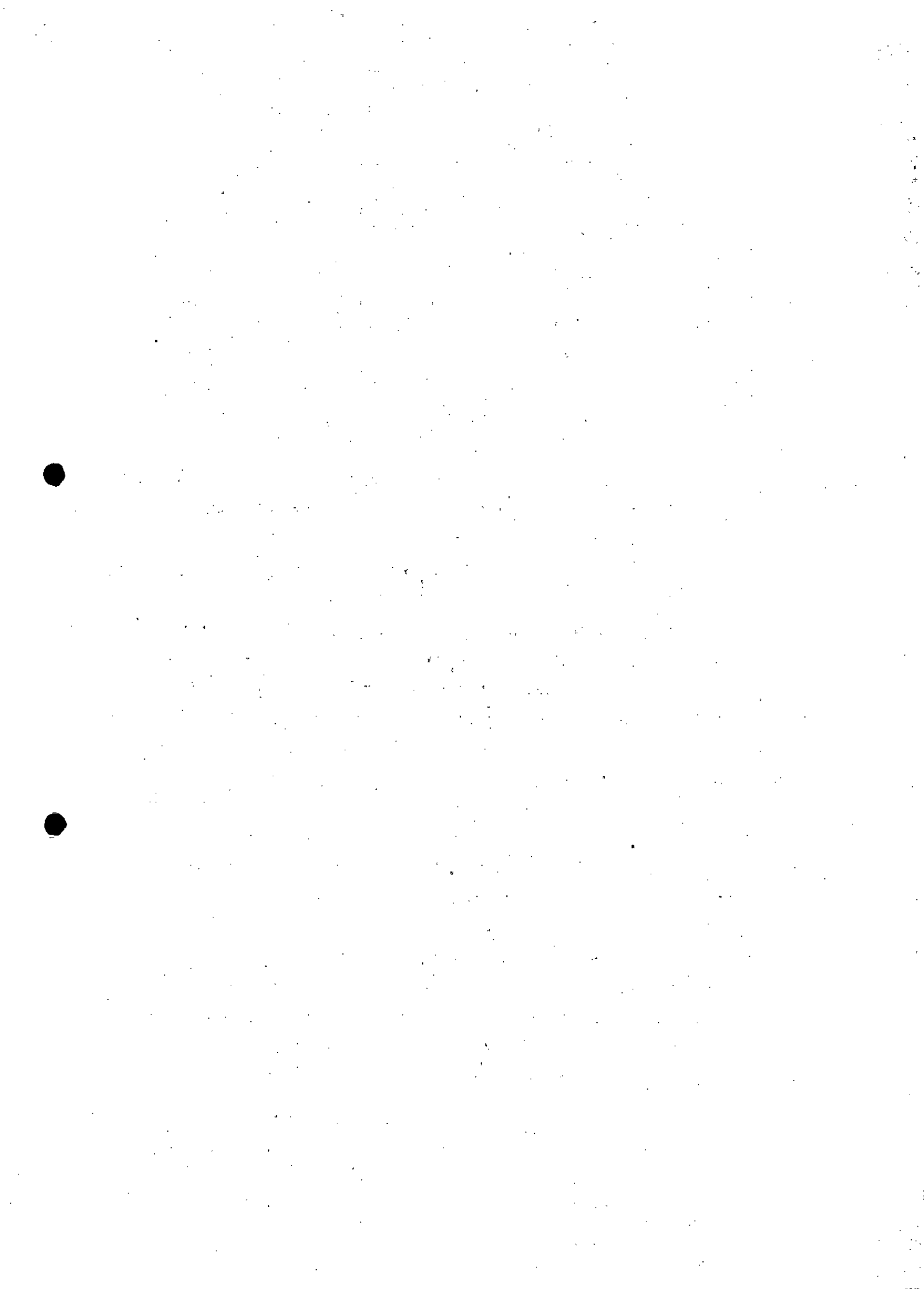
A obra do 2º alçamento foi concluída em 30/11/2016, conforme cronograma mostrado na Figura 4.19. A Figura 4.20 mostra o arranjo geral correspondente a essa etapa de construção e as Fotos 4.19 a 4.21 ilustram a situação atual do Dique S3, com o 2º alçamento finalizado. As Tabelas 4.6 e 4.7 mostram as fichas técnicas da estrutura para cada uma das etapas de construção descritas.

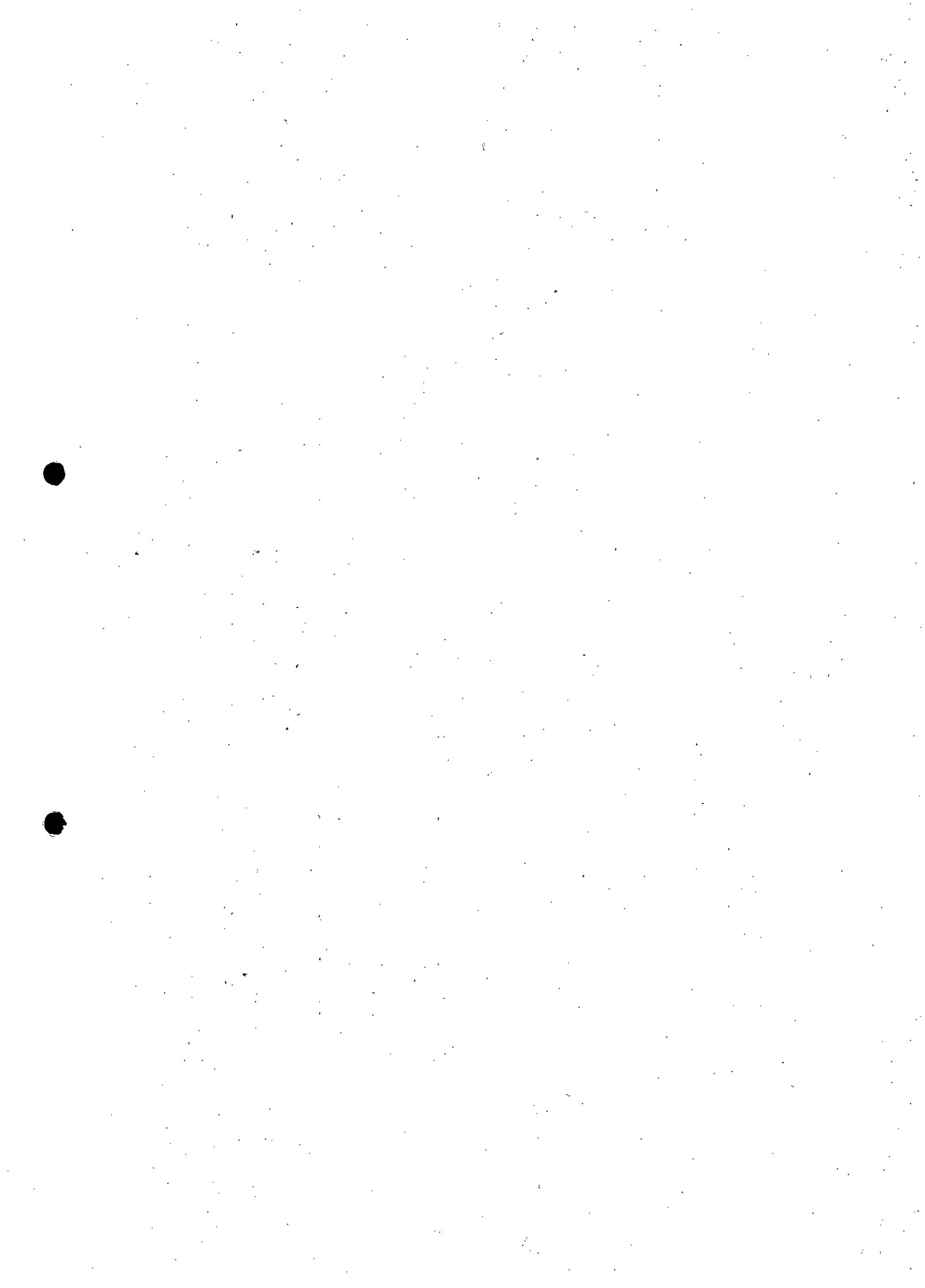


Foto 4.19 - Vista geral do Dique S3 e seu entorno.



Foto 4.20 – Crista e soleira do Dique S3.





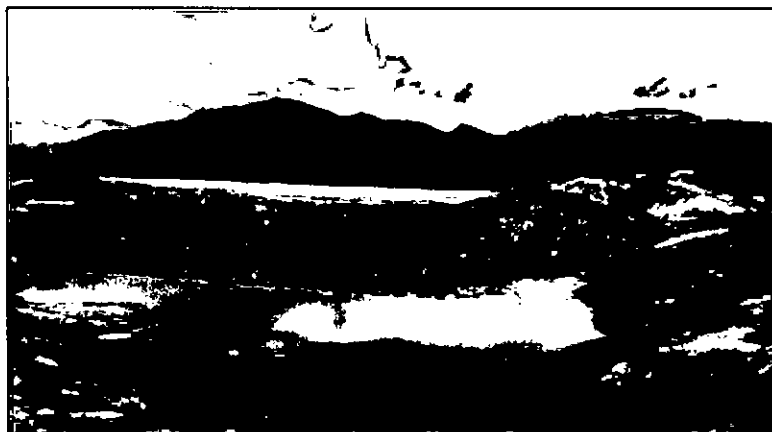


Foto 4.21 - Vista de jusante para montante do Dique S3.

Tabela 4.6 - Ficha técnica do Dique S3 para a etapa de dique de partida.

Parâmetros	DIQUE S3	
Coordenadas UTM SIRGAS 2000 (m)	Leste (m)	664.735
	Norte (m)	7.761.625
Curso de Água Barrado	Córrego Santarém e Mirandinha	
Curso de Água a Jusante	Córrego Santarém	
Área de Drenagem (km ²)	37,6	
Início de Operação	21/02/2016	
Finalidade	Contenção de sedimentos e clarificação de água	
Características do Dique de Partida		
Maciço		
Tipo	Enrocamento	
Cota da Crista (m)	706,00	
Altura do Maciço (m)	11,00	
Comprimento da Crista (m)	113,6	
Nível de Água Normal (m)	703,50	
Largura da Crista (m)	5,00	
Área do Reservatório (m ²)	560.000	
Volume do Reservatório (Mm ³)	1,70	
Talude de Jusante	Inclinação	4H:1V
Sistema Extravasor		
Tipo	Soleira livre	
Período de Retorno da Chuva de Projeto (anos)	1.000	
Dimensões (m)	35,0 x 2,5	
Cota da Soleira (m)	703,50	
Comprimento (m)	65,0	
NA Máximo <i>Maximorum</i> (m)	705,96	
Borda Livre Remanescente (m)	0,04	

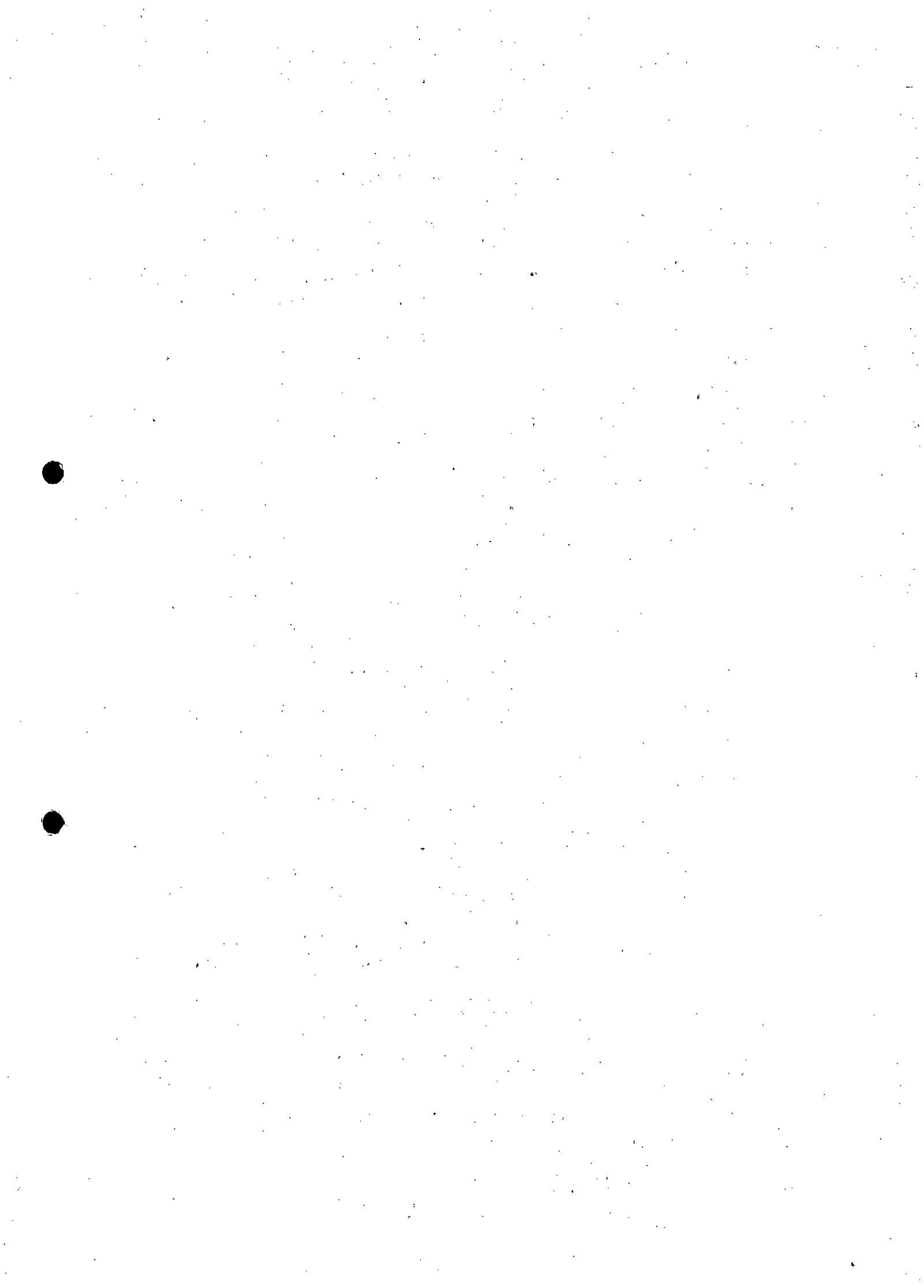
Tabela 4.7 - Ficha técnica do Dique S3 para as etapas de 1º e 2º alteamentos.

Parâmetro	1º Alteamento	2º Alteamento
Data da Conclusão	05/04/2016	30/11/2016
Cota da Crista (m)	707,00	709,50
Altura do Maciço (m)	12,0	14,5
Comprimento da Crista (m)	115	157
Nível de Água Normal (m)	704,50	706,00
Largura da Crista (m)	5,00	6,00
Área do Reservatório (m ²)	615.000	708.158
Volume do Reservatório (Mm ³)	2,10	2,95
Sistema Extravasor		
Tipo	Soleira livre	Soleira livre
Período de Retorno da Chuva de Projeto (anos)	1000	PMP
Dimensões (m)	35,0 x 2,5	50,0 x 3,50
Cota da Soleira (m)	704,50	706,00
Comprimento (m)	65,0	107,00
NA Máximo <i>Maximorum</i> (m)	706,96	708,07
Borda Livre Remanescente (m)	0,04	1,43

4.1.7 Dique S4

O Dique S4 foi projetado para ser implantado no córrego Santarém, a jusante do povoado de Bento Rodrigues, imediatamente a montante da confluência deste curso de água com o rio Gualaxo do Norte, conforme indicado na Foto 4.22. O objetivo é promover a formação de um lago em região de baixa declividade, propícia à sedimentação do material depositado nesta região, o qual pode ser mobilizado para jusante mediante a ocorrência de eventos de chuva em sua bacia de contribuição.

Conforme citado anteriormente neste documento, essa estrutura, com capacidade estimada em 1,0 Mm³, não foi projetada com o objetivo principal de conter o material defluente do vale da Barragem do Fundão, mas apenas o material depositado na área de Bento Rodrigues à época do evento de rompimento. Entretanto, por estar situado no trecho de jusante do Dique S3, o Dique S4 pode propiciar tratamento complementar dos efluentes liberados pela estrutura de montante. Esse benefício poderia ser obtido durante a passagem de cheias de maior magnitude ou quando do exaurimento temporário da capacidade de contenção do Dique S3, em que o volume de residência desta estrutura seria comprometido pelo material depositado, não garantindo tempo suficiente para sedimentação dos sólidos dissolvidos e em suspensão afluentes. Nesse caso, o Dique S4 atuaria de forma complementar, permitindo também a contenção dos sólidos provenientes do vale do Fundão, ou defluentes do Dique S3, bem como a manutenção do padrão de qualidade das águas requerido para o rio Gualaxo do Norte.



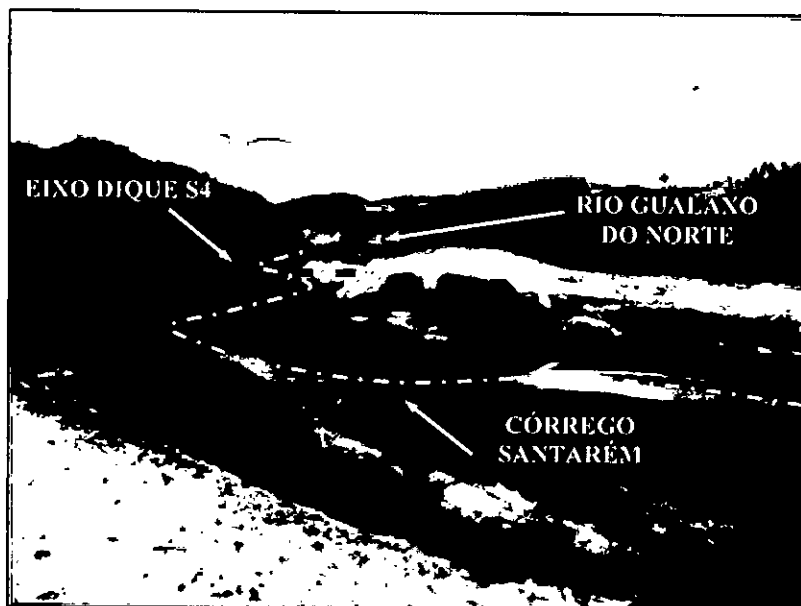


Foto 4.22 - Vista do eixo proposto para o Dique S4.

Durante o estudo de alternativas locais do Dique S4, várias delas foram descartadas por serem consideradas inadequadas. A construção do dique e a escolha do local de implantação do eixo, citado anteriormente, foram estabelecidas em virtude de sua viabilidade técnica e da inexistência de outras áreas com geomorfologia adequada para execução da obra. Além disso, outras áreas eventualmente indicadas no trecho de jusante já estariam inseridas no rio Gualaxo do Norte, demandando o projeto de estruturas hidráulicas de maior porte e, conseqüentemente, provocando maiores impactos ambientais durante sua construção. Independentemente da escolha pela implantação do Dique S4, a SAMARCO tem buscado alternativas complementares de controle de drenagem e contenção de sedimentos na região do Bento Rodrigues, de modo a aumentar a eficiência da citada estrutura.

Os estudos de projeto do Dique S4, realizados pela BVP Engenharia, foram embasados no mapeamento geológico-geotécnico da área de implantação. O projeto executivo e as sondagens foram executadas pela empresa WALM Engenharia e Tecnologia Ambiental. Tal estrutura tem caráter de implantação provisório, ou seja, será descomissionada no futuro, independentemente de seu completo assoreamento.

Para a construção do maciço principal do Dique S4 foi prevista a realização de obras de desvio na atual calha do córrego Santarém, as quais foram realizadas por meio da implantação de um canal de desvio e a construção de uma ensecadeira a montante do futuro eixo. Além disso, para evitar o

