



# ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL - ANEXOS

OBRA EMERGENCIAL DE DESCARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM ALTO  
JACUTINGA

**VALE S.A.**

CL-HC-2279-ANEXOS

MARÇO DE 2026



## **ANEXO 1.**

# **ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA (ART) E CADASTRO TÉCNICO FEDERAL (CTF)**

## **Dados de ART e CTF**

Com o objetivo de promover as disposições da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018, Lei Geral de Proteção de Dados – LGPD, foi retirado deste arquivo as ARTs e CTFs dos profissionais envolvidos, a fim de resguardar os dados pessoais.


Importante destacar que estes documentos foram disponibilizados nos estudos ambientais protocolados no órgão ambiental para respectiva análise do processo de Licenciamento Ambiental.



## **ANEXO 2.**


# **RELATÓRIO TÉCNICO, ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF Nº RL- 1850HH-X-40051**



		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>2/100</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>	

## ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>PÁGINA</u>
1.0	OBJETIVO	3
2.0	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	3
3.0	INFORMAÇÕES GERAIS DA BARRAGEM	4
4.0	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	6
5.0	DADOS CARTOGRÁFICOS	7
6.0	CÓDIGOS, NORMAS E REFERÊNCIAS TÉCNICAS	8
7.0	PREMISSAS E CRITÉRIOS DE PROJETO	9
8.0	ASPECTOS GEOLÓGICOS	15
9.0	ASPECTOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS	27
10.0	ASPECTOS HIDROLOGICOS E HIDRAÚLICOS	30
11.0	APRESENTAÇÃO DAS ALTERNATIVAS	43
12.0	DESCRIÇÃO DO PROJETO	51
13.0	METODOLOGIA DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO	87
14.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
15.0	REFERÊNCIAS	99
16.0	EQUIPE TÉCNICA	100

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>3/100</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>	

## 1.0 OBJETIVO

Este relatório tem por objetivo apresentar um estudo de alternativas de intervenções para a Barragem Alto Jacutinga, localizada na Mina de Fábrica, considerando duas possibilidades: descaracterização da barragem ou reforço da estrutura existente, com a premissa de elevação do fator de segurança para atendimento da exigência da Resolução ANM nº 95 de 2022. A partir desse estudo, será conduzida uma avaliação comparativa (trade-off) entre as opções concebidas, apresentando-se as suas vantagens e desvantagens.

## 2.0 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A **DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos** foi contratada pela **VALE** para elaborar um estudo de alternativas visando a melhoria das condições geotécnicas da **Barragem Alto Jacutinga**, com base nas legislações vigentes para regulamentação de barragens, nos critérios de projeto do setor de mineração e em publicações técnicas reconhecidas.

Com a emissão da auditoria do 1º ciclo de 2025, emitida após a campanha de investigação geológico-geotécnica realizada em 2024, foi identificado que o fator de segurança na condição não drenada da estrutura se encontra limiar ao valor mínimo exigido pela Resolução ANM nº 95/2022 e pela NBR 13028/2024, e inferior a 1,5, exigência do Art. 54 da resolução da ANM. É importante ressaltar que, antes dessa atualização, o FS considerado para a estrutura atendia ao valor mínimo estabelecido no Art. 54 da referida resolução.


Com o objetivo de aprimorar a interpretação dos materiais constituintes da barragem, especialmente a camada de aluvião subjacente previamente identificada, foi realizada uma campanha de investigações em 2024. Os resultados evidenciaram a baixa resistência e a consistência muito fofa desse material, indicando a possibilidade de mobilização não drenada quando solicitado, além de características que sugerem suscetibilidade à liquefação.

Diante dessas informações, os resultados foram apresentados ao Painel de Especialistas da Vale (ITRB – do inglês *Independent Technical Review Board*), que recomendou a adoção de uma alternativa que atenda aos fatores de segurança para a condição residual (pós-sismo).

Além disso, destaca-se o disposto no **Art. 54, incisos 1º, 5º e 7º da Resolução ANM nº 95 de 2022**, que estabelece critérios para reforço estrutural ou descaracterização de barragens de mineração:

*§ 1º No caso de barragens de mineração que iniciaram a instalação ou a operação antes da entrada em vigor da Lei nº 14.066, de 2020, **em que seja identificada comunidade**, conforme conceito de áreas urbanas, aglomerados rurais ou subnormais e aldeias definidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, **na ZAS, deverá ser feita a descaracterização da estrutura, ou o reassentamento da população e o resgate do patrimônio cultural, ou obras de reforço que garantam a estabilidade efetiva da estrutura.***

*§ 5º As obras de reforço citadas no § 1º se referem à execução de **intervenções que incrementem a segurança** da estrutura que permanecerá, devendo, além das obrigações constantes nesta Resolução:*

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>4/100</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>	

**I - obter Fator de Segurança na condição não drenada global com valor igual ou superior a 1,50 para resistência de pico, quando os materiais forem sujeitos à mobilização por resistência não drenada;**

*II - possuir borda livre mínima maior ou igual a 1,0 (um) metro ou conforme projeto, o que for maior; e*

*III - possuir Centro de Monitoramento Geotécnico operando 24 (vinte e quatro) horas por dia.*

§ 6º As barragens de mineração em instalação que realizarão o reforço da estrutura, conforme previsto no § 1º deste artigo, deverão atender ao disposto nos incisos previstos no § 5º antes da entrada em operação desta.

§ 7º Para as barragens de mineração não enquadradas no art. 58 que executarão o reforço da estrutura, os prazos para o atendimento do previsto no § 5º são:

**I - incisos I e II, do § 5º: até 31 de dezembro de 2025; e**

**II - inciso III, do § 5º: até 31 de dezembro de 2023.**

§ 8º Para o empreendedor que irá **descaracterizar a estrutura, ou reassentar a população e resgatar o patrimônio cultural, o prazo para tal conclusão é até 31 de dezembro de 2027.**

Dessa forma, em conformidade com a Resolução ANM nº 95/2022 e com base nos resultados das investigações, o Engenheiro de Registro (EoR – do inglês *Engineer of Record*) recomendou à VALE a adoção de um reforço estrutural que aumente o fator de segurança da estrutura para a condição não drenada ou a descaracterização da barragem.

As alternativas estudadas incluem:

- **Descaracterização total da barragem;**
- **Alternativas de reforço**, considerando reforço com **remoção da camada de aluvião a jusante, reforço com tratamento da fundação e proteção superficial contra o escoamento do córrego**, visando garantir a estabilização da estrutura e o atendimento às exigências de segurança.

### **3.0 INFORMAÇÕES GERAIS DA BARRAGEM**

#### **3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS ATUAIS DA BARRAGEM**

A Barragem Alto Jacutinga está localizada no município de Congonhas/MG e faz parte do complexo Paraopeba Sul, Mina de Fábrica, pertencente à VALE S.A. A estrutura situa-se em torno dos pontos de coordenadas geográficas de Latitude 7.741.005 e Longitude 616.205 (SIRGAS 2000), tendo como objetivo a contenção de sedimentos oriundos da cava exploratória, da Pilha de Estéril e dos acessos dos arredores. A Figura 3.1 ilustra a localização da estrutura.

O acesso à estrutura pode ser feito a partir da BR-040, partindo-se de Belo Horizonte e seguindo no sentido Rio de Janeiro, até o trevo de Belo Vale, a partir do qual percorre-se cerca de 1 km de distância pela MG-452. O trecho final é uma estrada de terra até a área da barragem.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>5/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Mapa de localização da barragem Alto Jacutinga - Congonhas/MG

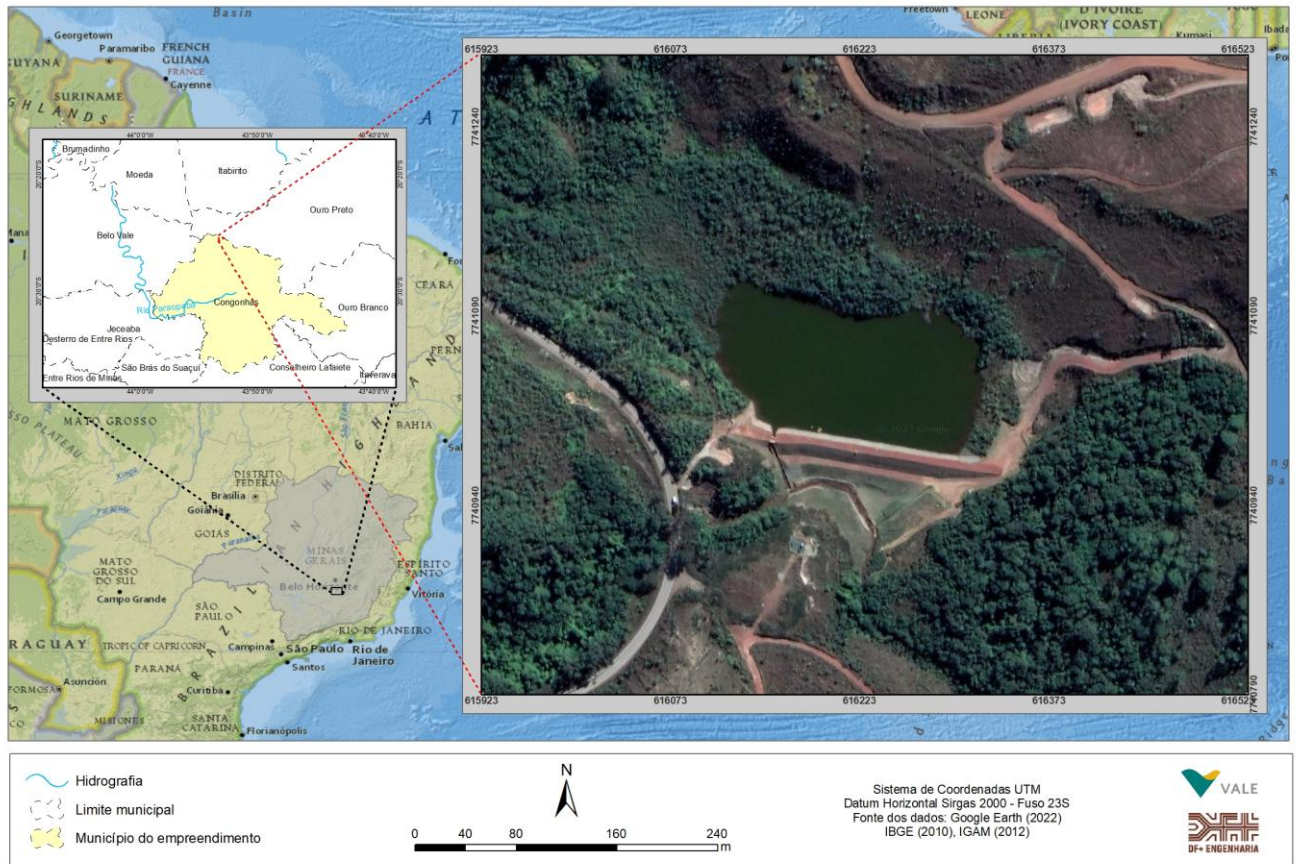



Figura 3.1 - Mapa de Localização da Barragem Alto Jacutinga.

A Figura 3.2 apresenta uma foto de drone da estrutura obtida no dia 13/02/24, contendo uma visão geral dos componentes da estrutura.

		CLASSIFICAÇÃO:	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>	
		RESTRITA	Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>6/100</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº (CONTRATADA)	REV. <b>0</b>	
		<b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>		

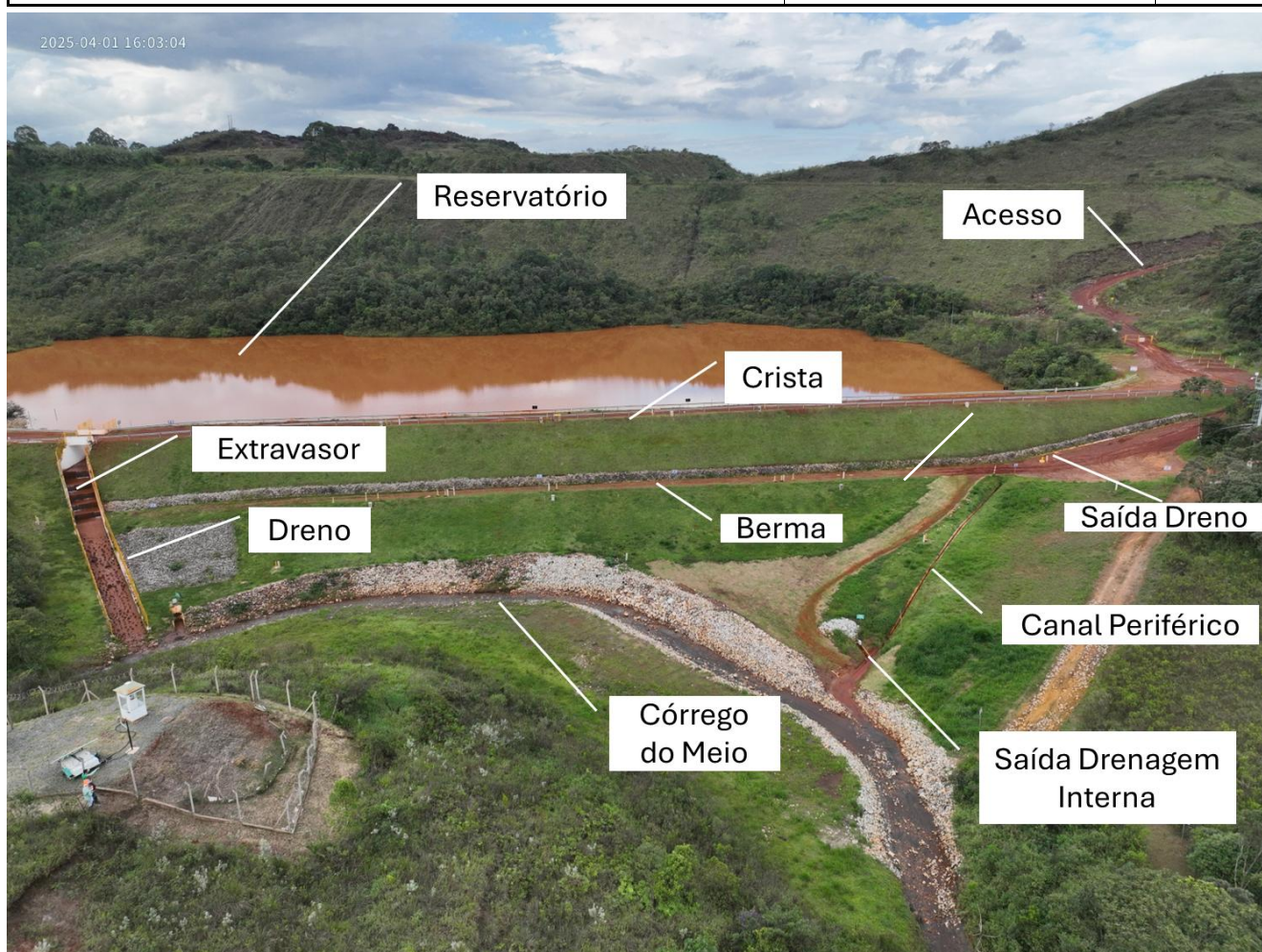



Figura 3.2 – Vista geral da estrutura e identificação dos componentes (imagem de Drone, VALE 2025).

#### 4.0 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Para a elaboração deste Estudo de Alternativas foram considerados os documentos descritos na Tabela 4.1

Tabela 4.1 – Documentos considerados para a elaboração do presente trabalho.

Descrição	Código do Documento	Data da Emissão	Revisão
ESTUDO DE AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DA ESTRUTURA	BCV-B-AJ-RE-001-B	2003	-
ESTUDOS E PROJETOS DE ENGENHARIA PARA AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA	RL-1850HH-G-30555	30/11/09	0
ESTUDO DE CHUVAS INTENSAS E PMP CORREDOR SUL/ SUDESTE	RL-1800AC-X-00002	08/05/23	0

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>7/100</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>	
Descrição	Código do Documento	Data da Emissão	Revisão	
AMEAÇA SÍSMICA BARRAGEM ALTO JACUTINGA	RL-1850HH-X-39165	22/07/24	0	
LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	10-ARQUIVO_BARRAGEM_ALTO_JACUTINGA_CN_OUTUBRO_2024.dwg (CEPEMAR, OUTUBRO DE 2024)	31/10/24	0	
MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO – PROJETO ATUALIZAÇÃO SEÇÕES GEOLÓGICA-GEOTÉCNICAS	1850HH-X-42097	30/06/25	B	
SEÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA TRANSVERSAL - PROJETO ATUALIZAÇÃO SEÇÕES GEOLÓGICA-GEOTÉCNICAS	1850HH-X-42100	30/06/25	B	
SEÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA TRANSVERSAL - PROJETO ATUALIZAÇÃO SEÇÕES GEOLÓGICA-GEOTÉCNICAS	1850HH-X-42101	30/06/25	B	
PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	ET-1850HH-X-34338	27/08/24	2	
AUDITORIA - BARRAGEM GAMBÁ RIS – FEAM	RL-1850HH-X-39797	21/03/25	0	
AUDITORIA – BARRAGEM ALTO JACUTINGA RISR – ANM	RL-1850HH-X-39793	31/03/25	1	
AUDITORIA - BARRAGEM BARNABÉ RISR – ANM	RL-1850HH-X-39794	31/03/25	2	

## 5.0 DADOS CARTOGRÁFICOS

Os dados cartográficos utilizados neste projeto foram disponibilizados pela VALE. Ressalta-se que os documentos não acompanharam numeração padrão da VALE, nem Anotação de Responsabilidade Técnica - ART. Na Tabela 5.1 são apresentados os dados cartográficos utilizados neste estudo.

Tabela 5.1 – Dados cartográficos utilizados neste estudo.

Nome/nº do Arquivo (empresa, ano)	Conteúdo	Tipo de Levantamento	Sistema de Coordenadas Datum
gmi_qfer_fis_top_In_toporest ituicaoriginaljoao pereira1966.shp	Topografia primitiva utilizada para As Is (DF+, 2021). Gerada a partir da restituição fotogrametria, portanto pode apresentar imprecisões;	Levantamento cadastral	UTM Convertido para SIRGAS 2000

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>8/100</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>	
Nome/nº do Arquivo (empresa, ano)	Conteúdo	Tipo de Levantamento	Sistema de Coordenadas Datum	
10- ARQUIVO_BARRAGEM_ALTO_JACUTINGA_CN_OUTUBRO_2024.dwg (CEPEMAR, OUTUBRO DE 2024)	Levantamento topográfico realizado no período de 13/09/2023 a 29/09/2023, Levantamento topográfico complementar realizado no dia 14/03/24 e 14/05/2024 e MINIVUX em 11/01/2024 Levantamento complementar no dia 13/08/2024.	Levantamento Cadastral e Laser Scanner Aerotransportado (minivux)	UTM SIRGAS 2000	

Ressalta-se que os dados e as informações referentes ao levantamento topográfico utilizado neste estudo foram disponibilizados pelo cliente e não houve tratamento destes dados pela DF+ Engenharia.

## 6.0 CÓDIGOS, NORMAS E REFERÊNCIAS TÉCNICAS

Este documento deverá considerar a última edição dos códigos e normas citados a seguir, além das leis e regulamentações das autoridades locais. Em caso de conflito, o mais estrito prevalecerá.

As publicações que regulamentam este documento são:

- NBR 13.028/2024 Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimento e reservação de água – Requisitos;
- Resolução ANM nº 95/2022 – Consolida atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração.
- Resolução ANM nº 130/2023, publicada em 24 de fevereiro de 2023, alterou dispositivos da Resolução ANM nº 95/2022.
- Resolução ANM nº 175/2024, publicada em 2 de agosto de 2024, alterou dispositivos da Resolução ANM nº 95/2022.
- Lei 23.291/2019 - Institui a política estadual de segurança de barragens do Estado de Minas Gerais;
- Lei nº 14.066/2020 – Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB);

Referências técnicas relevantes que orientam este documento:

- Diretrizes para a Elaboração de Projeto de Barragens – Volume 5. ANA, 2016;
- Padrão Global da Indústria para a gestão de Rejeitos - *Global Industry Standard on Tailings Management*;
- *Technical Bulletin: Application of Dam Safety Guidelines* – CDA, 2014;
- *Embankment Dams – Chapter 6: Freeboard* – USCE, 2012;
- *Bulletin on Safe Passage of Extreme Floods* – ICOLD, 2012.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>9/100</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>	

## 7.0 PREMISSAS E CRITÉRIOS DE PROJETO

### 7.1 PREMISSAS GERAIS

Como premissa principal, o presente estudo considera 03 soluções como alternativas:

- Solução 01: Descaracterização com Remoção Total - Essa alternativa compreende o rebaixamento do NA do reservatório, escavação do sedimento armazenado no reservatório, escavação dos alteamentos e maciço principal, reconformando a superfície até a elevação do terreno natural.
- Solução 02: Reforço em Enrocamento e escavação do aluvião – Essa alternativa consiste em realizar a escavação do aluvião a jusante controlada em nichos (trincheiras) alternados, execução de transições e reforço em enrocamento;
- Solução 03: Reforço em solo compactado e tratamento de fundação – Essa alternativa consiste na execução de aterro compactado, servindo como base para o tratamento da fundação por meio de *Deep Soil Mixing* (DSM) e, também, complementação de reforço;

Destaca-se que a DF+ realizou estudo adicional de uma alternativa adicional de descaracterização da estrutura, a partir da remoção parcial do maciço da barragem e da execução de aterro de regularização do reservatório até nivelar com a crista do maciço remanescente, como forma de eliminar a configuração de barragem de mineração descrita na Resolução ANM nº 95/2022. No entanto, os fatores de segurança, pós-obra, obtidos para a condição de resistência residual, inviabilizaram tecnicamente a solução, razão pela qual o estudo desta alternativa não evoluiu.

A seguir são apresentados os critérios e premissas gerais, considerados para o desenvolvimento de cada uma das três alternativas indicadas, com base nas informações disponibilizadas pela Vale.

- I. Os estudos serão desenvolvidos a partir da base topográfica disponibilizada conforme documento “Levantamento CEPEMAR, arquivo 10-ARQUIVO\_BARRAGEM\_ALTO\_JACUTINGA\_CN\_OUTUBRO\_2024.dwg (CEPEMAR, OUTUBRO DE 2024);
- II. Durante o período de desenvolvimento das atividades no local, deverá ser promovido o rebaixamento do nível d’água do reservatório da Barragem Barnabé 1 — estrutura localizada a jusante de Alto Jacutinga — com o objetivo de mitigar o risco de carreamento de particulados e reduzir a possibilidade de vertimento. O rebaixamento poderá ser limitado a profundidade suficiente para manter o reservatório abaixo da cota de vertedouro e permitir a decantação natural de partículas em suspensão;
- III. Deverá ser realizado o rebaixamento prévio do nível d’água do reservatório da Barragem Alto Jacutinga, de forma a reduzir os riscos operacionais durante as etapas de escavação, implantação de estruturas de reforço e demais obras civis associadas.
- IV. O presente estudo não contempla a solicitação de licenciamento ambiental nem a obtenção de outorga para a intervenção na área em questão. Caso necessários, a

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>10/100</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>	

responsabilidade por esses processos caberá ao empreendedor, conforme exigências dos órgãos reguladores competentes;

- V. O presente estudo não contempla soluções de manejo de fauna ou da microbiota, existentes no reservatório e nas adjacências da barragem;
- VI. Os parâmetros adotados para camada de aluvião da fundação foram definidos com base nos ensaios de CPTu, da campanha de 2024, bem como a partir de alinhamento técnico com a equipe Vale e o Painel de Especialistas (ITRB);
- VII. Os parâmetros adotados para os demais materiais da Barragem serão baseados no Anexo F do Relatório de Inspeção Regular - RISR - RL-1850HH-X-39793 Rev. 0 (DF+, 2025);
- VIII. Para elaboração deste estudo, foram considerados o mapeamento geológico realizado e as seções geológico-geotécnicas previamente disponibilizados, provenientes do Projeto de Atualização das Seções Geológica-Geotécnicas, o qual está em andamento;
- IX. Os critérios de segurança adotados no projeto foram definidos com base na NBR 13.028/2024, na Resolução ANM n° 95 de 2022, especificamente no seu Art. 54, § 5º: “I - obter Fator de Segurança na condição não drenada global com valor igual ou superior a 1,50 para resistência de pico, quando os materiais forem sujeitos à mobilização por resistência não drenada”, além do fator de segurança mínimo para análise em condição residual (liquefeita), conforme boas práticas de engenharia e recomendações de publicações internacionais (CDA, 2014 e ICOLD, 2011), sendo este igual ou superior a 1,10;
- X. A bacia hidrológica se encontra vegetada e não há expectativa de construção de novas estruturas geotécnicas. Neste sentido, a necessidade de contenção de sedimentos acima do antigo eixo da barragem é impertinente. Ressalva-se que o Córrego do Meio ainda é atendido por outras barragens de contenção de sedimentos a montante e a jusante do trecho em estudo.

## 7.2 PREMISSAS – SOLUÇÃO 01 – DESCARACTERIZAÇÃO

### I. Aspectos Gerais

- a. Para desenvolvimento desta solução utilizou-se como base a topografia primitiva (gmi\_qfer\_fis\_top\_In\_toporestituicaoriginaljoao pereira1966.shp) para projetar a escavação do Sedimento até encontrar a superfície do terreno natural, contudo, essa escavação poderá sofrer mudança durante execução da obra, a depender se as condições encontradas forem divergentes dos dados obtidos nesta base;
- b. Inclinação para escavação do sedimento na ordem de 1V:6H;

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>11/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

- c. O local de armazenamento, processamento ou empilhamento do sedimento escavado do reservatório, além do próprio material da barragem, deverá ser definido pela Vale nas próximas etapas de projeto de engenharia;
- d. Deverá ser realizada a remoção total dos sedimentos do reservatório e do barramento da estrutura;
- e. Após a conclusão da remoção dos sedimentos do reservatório, todas as superfícies expostas deverão ser revegetadas;
- f. O presente estudo não contempla soluções de manejo de fauna ou da microbiota, existentes no reservatório e nas adjacências da barragem
- g. Deverá ser considerada a possibilidade de execução de aterros de conquista internos para possibilitar a retirada dos sedimentos do reservatório, definição durante etapa de projeto detalhado;
- h. A depender da condição de saturação do sedimento e do local de seu depósito final, o material poderá passar por uma etapa intermediária entre a remoção do reservatório e seu destino, com o objetivo de promover a secagem em um pátio, tornando-o apto a ser transportado com segurança, sem risco de contaminação das vias com o sedimento em estado pastoso, e adequado para manejo no destino. Este cenário será especificado no projeto detalhado a partir das informações complementares da VALE se esta alternativa for escolhida.

## II. Geotecnia e Geologia:

- a. A velocidade de remoção de sedimentos será definida nas próximas etapas de projeto, de forma a minimizar possíveis gatilhos e instabilizações dos taludes nas margens do reservatório;
- b. Considerando que a intervenção analisada se refere a uma escavação temporária, prevista exclusivamente para viabilizar as obras de descaracterização da barragem, e que, previamente à execução dos serviços, o nível d'água do reservatório será totalmente rebaixado, estabelece-se como critério de avaliação da estabilidade dos taludes durante

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>12/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

as obras o fator de segurança mínimo de 1,3 (USBR, 2011; Schnaid et al., 2020).

- c. Deverá ser realizado monitoramento da instrumentação durante toda a fase de execução das obras. Sendo assim, deverá ser avaliada a necessidade de complementação do sistema de instrumentação e monitoramento que permitam evidenciar a tempo quaisquer gerações abruptas de poropressão, sinais de fluxos de água ou deslocamentos que comprometam a estabilidade da estrutura antes e durante os trabalhos.

### III. Hidrologia e Hidráulica:

- a. O manejo de águas pós-descaracterização será composto por um sistema do tipo espinha de peixe, destinado a evitar o empoçamento e conduzir o escoamento superficial até o Córrego do Meio;
- b. O leito do Córrego do Meio será restaurado de modo a garantir a estabilidade do sistema fluvial até que vegetação ripária fique estabelecida, após a descaracterização da estrutura geotécnica;
- c. As alternativas avaliadas neste estudo adotam vazões de projeto associadas a diferentes períodos de retorno (TR), em função dos contextos de descaracterização ou de reforço. A solução 1, referente à descaracterização, é associada à restauração de sistemas fluviais, considerando a remoção total do barramento e da sua função de armazenamento de água;
- d. Considerando o contexto de restauração de sistemas fluviais, será considerado que o leito menor do córrego deve comportar uma vazão associada a 5 anos de tempo de retorno (TR) (TUCCI, 1993);
- e. Adicionalmente, considerando o contexto de fechamento, usualmente envolvido na descaracterização de uma barragem, serão propostas soluções com leitos maiores, em solo revegetado, capazes de conduzir cheias associados ao TR 10.000 anos sem impactar as áreas de obras;

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>13/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

### 7.3 PREMISSAS – SOLUÇÃO 02 E 03 – REFORÇO ENROCAMENTO E ATERRO COMPACTADO

#### I. Arranjo Geométrico:

- a. Largura mínima de berma de Reforço Solução 02: 15 m;
- b. Largura mínima de berma de Reforço Solução 03: 10 m;
- c. Inclinação máxima dos taludes Solução 02: 2,0 H:1V;
- d. Inclinação máxima dos taludes Solução 03: 1,8 H:1V;
- e. Inclinação máxima do Corte Talude Natural: 1,5 H:1V;
- f. Diâmetro máximo das colunas de tratamento da fundação  $\Phi$  60 cm;
- g. Todas as estruturas dimensionadas estarão sujeitas a alteração durante os estudos em nível detalhado, de forma que o disposto neste documento não visa balizar uma implantação da obra em campo.

#### II. Geotecnia e Geologia:

- a. Os estudos geotécnicos serão realizados utilizando a teoria de equilíbrio limite pelo método de Morgenstern-Price e Spencer (análises não circulares) e adicionalmente Bishop (análises circulares), através do software Slide 2, da empresa Rocscience;
- b. A Vale deverá informar as possíveis áreas de empréstimo para fornecimento dos materiais a serem utilizados para a construção do reforço de jusante;
- c. Após a definição da área de empréstimo, o material do reforço e transições deverão ser definidos em conjunto entre a Vale e a projetista, após a realização dos ensaios de acordo com as especificações técnicas referentes à área de empréstimo;
- d. Garantir F.S.mín superior a 1,1 para todas as seções instrumentadas nas análises de estabilidade que considerem a resistência não drenada residual da camada de aluvião;
- e. As condições de variação de pressão neutra e carga piezométrica atuantes nos materiais constituintes da estrutura da Barragem Alto Jacutinga serão


		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO  - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –  S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO  BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>14/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

definidas a partir da análise dos dados de instrumentação disponibilizados pela VALE até março de 2025;

- f. Os estudos geotécnicos serão realizados considerando a condição de resistência ao cisalhamento drenada, não drenada de pico e residual do aluvião;
- g. As condições de carregamento serão analisadas considerando rede de fluxo em condição normal e máxima do reservatório, operação com solicitação sísmica e condição pós-sismo;
- h. Solução 02: Escavação do aluvião à jusante em nichos (trincheiras), cujas dimensões serão definidas através de estudo tensão x deformação na etapa de projeto detalhado caso esta alternativa seja selecionada;
- i. Solução 03: A execução do tratamento da fundação se dará em etapas, executando-se uma plataforma inicial por meio de aterro compactado e, na sequência, executadas as estacas, intercalando o posicionamento dos furos, a fim de não gerar uma região propensa a instabilidade;
- j. Deverá ser realizado monitoramento da instrumentação durante toda a fase de execução das obras. Sendo assim, deverá ser avaliada a necessidade de complementação do sistema de instrumentação e monitoramento que permitam evidenciar a tempo quaisquer gerações abruptas de poropressão, sinais de fluxos de água ou deslocamentos que comprometam a estabilidade da estrutura antes, durante e depois dos trabalhos.

### III. Hidrologia e Hidráulica:

- a. De maneira análoga à solução 01, o leito do Córrego do Meio deverá ser restaurado de modo a garantir a estabilidade do sistema fluvial;
- b. As estruturas do sistema de drenagem superficial do aterro de reforço serão dimensionadas para as vazões de projeto definidas na norma ABNT/NBR 13.028/2024;

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>15/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

- c. As alternativas avaliadas neste estudo adotam vazões de projeto associadas a diferentes períodos de retorno (TR), em função dos contextos de descaracterização ou de reforço. As soluções 02 e 03, que envolvem o reforço da barragem e, portanto, a manutenção do maciço, são associadas às diretrizes de segurança de barragem, que recomendam como critério geral a adoção de 500 anos de período de retorno para os canais periféricos de drenagens superficiais.

## 8.0 ASPECTOS GEOLÓGICOS

### 8.1 Investigações Geológico-Geotécnicas

Na área da estrutura foram executadas sondagens a percussão e mista (Figura 8.1) e coleta de amostras indeformadas (Figura 8.2). Além das investigações diretas, foram realizados levantamentos geofísicos, por métodos elétricos (eletrorresistividade e potencial espontâneo) e sísmicos (MASW - *Multichannel Analysis of Surface Waves*). Esses estudos são sintetizados a seguir:

- No ano de 2003, foi elaborado um programa de investigações pela DAM em parceria com a DF Consultoria para subsidiar um estudo de avaliação de segurança da estrutura, apresentado no documento BCV-B-AJ-RE-001-B. Naquela ocasião, foram executadas 03 sondagens mistas;
- No ano de 2009, a DOMUS elaborou uma campanha de sondagens com 03 sondagens mistas, 05 sondagens à percussão e 06 sondagens a trado, sendo 05 delas para coleta de amostras deformadas do material de filtro e 01 para obtenção de amostra indeformada do tipo Shelby, além de 02 poços de investigação e amostragem, para subsidiar o projeto “Como está”. O projeto da DOMUS é apresentado no documento RL-1850HH-G-30555;
- No ano de 2018 a FUGRO foi contratada para instalar 07 piezômetros na estrutura;
- No ano de 2018, a GEOCONTROLE realizou uma campanha de investigações com 08 sondagens mistas na região a pedido da DF+ para subsidiar o projeto “Como está”;
- Após a conclusão da campanha de sondagem realizada no ano de 2018, fez-se necessária a realização de uma campanha de ensaios complementares, dada a dúvida acerca da natureza do material de montante da barragem e do método construtivo. Desta forma, no ano de 2020, a DF+ solicitou a execução de uma campanha de sondagens complementares para revisar as seções geológicas da barragem. Foi executada, novamente pela GEOCONTROLE,

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>16/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

um total de 03 sondagens mistas na crista da barragem para identificar o material de montante não abrangido nas investigações anteriores;

- Em 2024, a DF+ emitiu uma especificação técnica (ET-1850HH-X-34338 – Rev.3, DF+, 2025) contendo um programa de investigações de campo e laboratório e instrumentação da estrutura. As investigações geológico-geotécnicas previstas para a área de estudo têm a finalidade de identificar, caracterizar e melhor compreender os materiais da fundação e do maciço;
- Os levantamentos geofísicos por métodos elétricos foram realizados por Eletrorresistividade Bidimensional e Potencial Espontâneo, executados em 2019, 2021 e 2024. Em 2019, foram levantadas 05 linhas de forma aproximadamente longitudinal em relação à estrutura. Em 2021 e 2024, além de 05 linhas longitudinais, foram levantadas 10 linhas transversais (AFC, 2019, 2021 e 2024);
- Em 2024, foi realizado levantamento geofísico por método sísmico MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), em 09 linhas geofísicas, sendo 4 longitudinais e 5 transversais em relação à barragem.

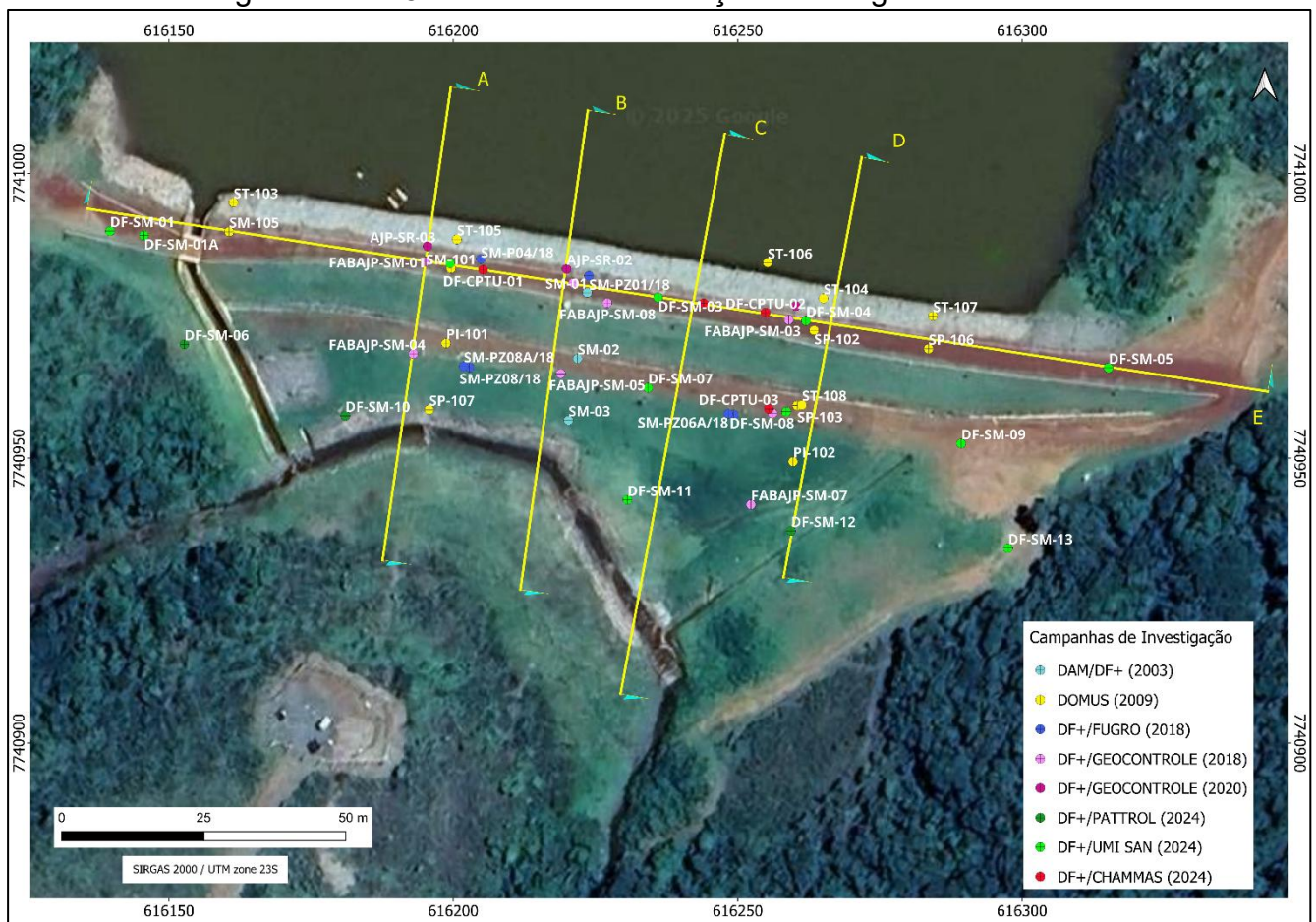


Figura 8.1 – Localização das investigações de campo realizadas na Barragem Alto Jacutinga

		CLASSIFICAÇÃO:	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>	
		RESTRITA	Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>17/100</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº (CONTRATADA)	REV.	
		<b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	<b>0</b>	



Figura 8.2 – Planta de localização das amostras coletadas.

## 8.2 Geologia Local

A área de implantação da Barragem Alto Jacutinga está contextualizada no domínio de unidades metassedimentares correlacionadas ao Grupo Itacolomi. Predominam na área de estudo solos residuais e saprólitos de quartzo-mica xisto, sobrepostos por materiais de cobertura Cenozoica, representados por colúvio e aluviões. A região da ombreira esquerda é dominada pelos solos residuais resultantes da alteração de rocha metamáfica. O mapa geológico representado na Figura 8.3 integra o Projeto de Atualização das Seções Geológica-Geotécnicas, em desenvolvimento.

Os estudos realizados na área da estrutura e entorno embasaram a elaboração do modelo geológico-geotécnico para o Projeto de Atualização das Seções Geológica-Geotécnicas. As seções são localizadas no mapa da Figura 8.3, sendo as principais designadas por A-A' (Figura 8.4), B-B' (Figura 8.5) e C-C' (Figura 8.6).

Destaca-se, no perfil de fundação, a presença de material aluvionar de consistência muito mole a média (esporadicamente rija), de textura argilosa, com matéria orgânica e areia fina

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>18/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

(por vezes rejeito de minério de ferro) e espessura de 1,0 a 3,80 m, que não foi totalmente removido durante o tratamento de fundação.



CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO  
JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

19/100

Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

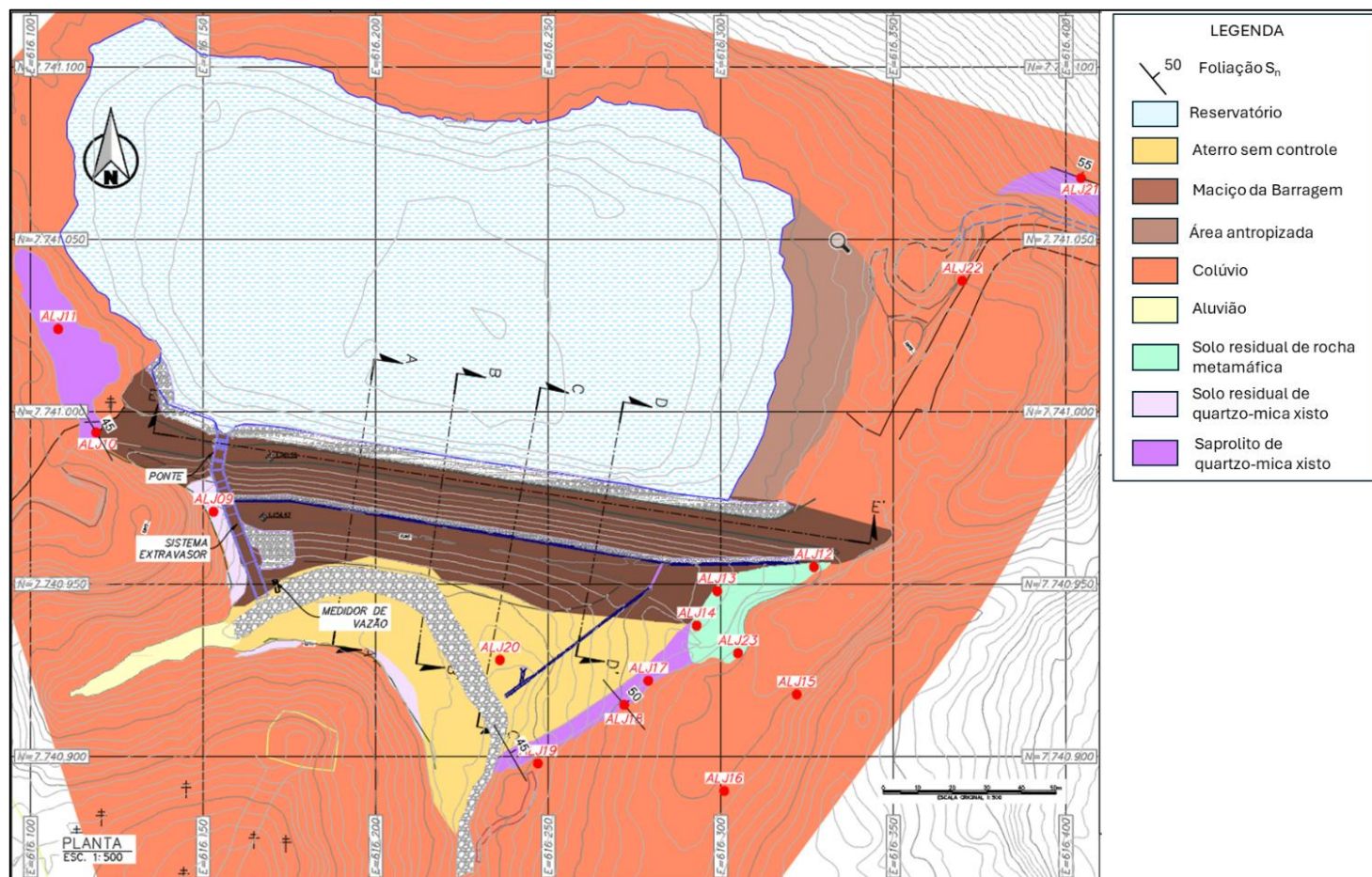


Figura 8.3 - Mapa geológico-geotécnico da região de implantação da Barragem Alto Jacutinga, com a localização das seções geológico-geotécnicas.

Fonte: 1850HH-X-42097 Rev. 0 (DF+, 2025)



CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

20/100

Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

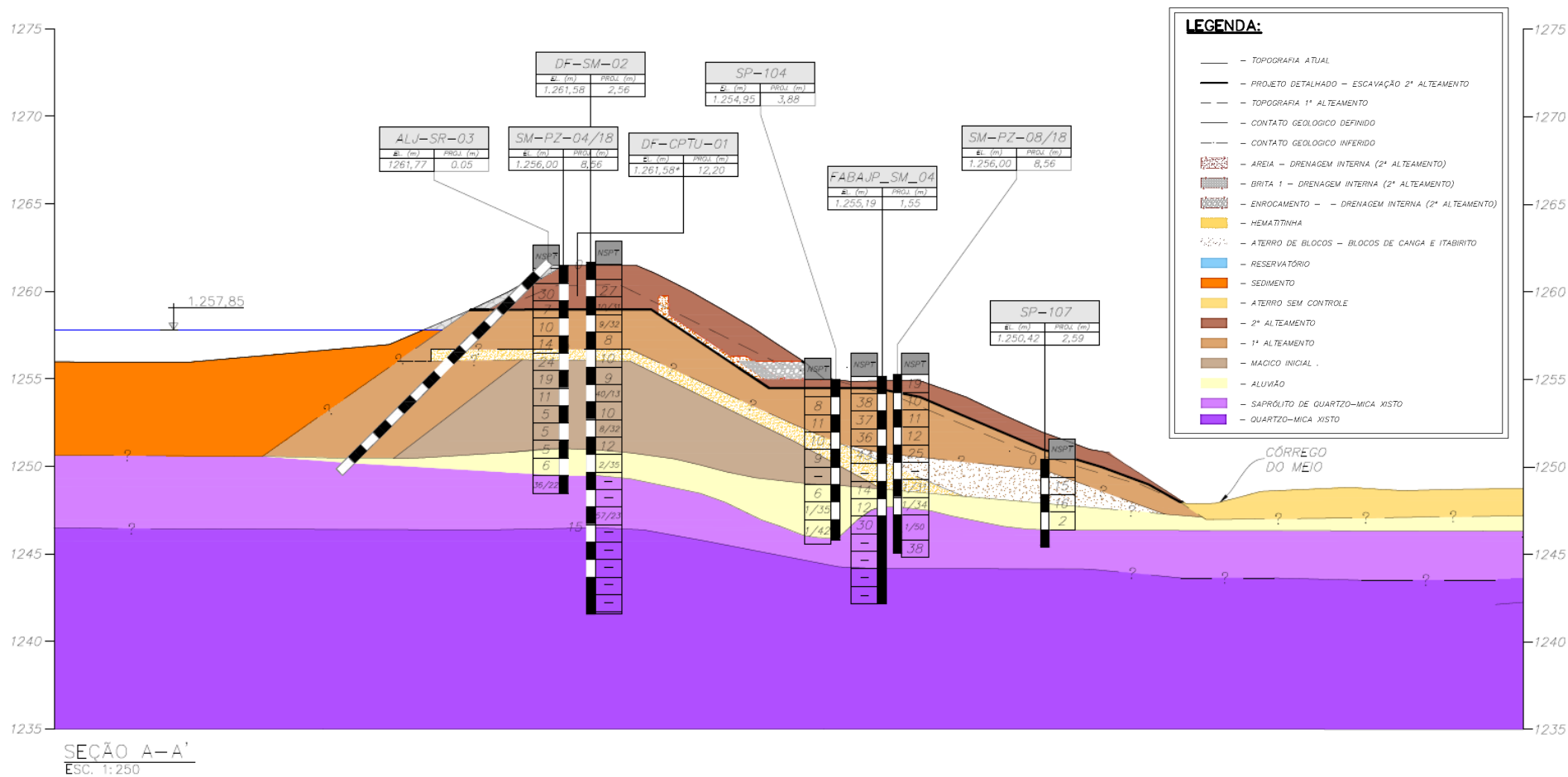


Figura 8.4 - Seção geológico-geotécnica transversal A-A' – Barragem Alto Jacutinga.  
Fonte: 1850HH-X-42100 Rev. A (DF+, 2025).



CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

21/100

Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

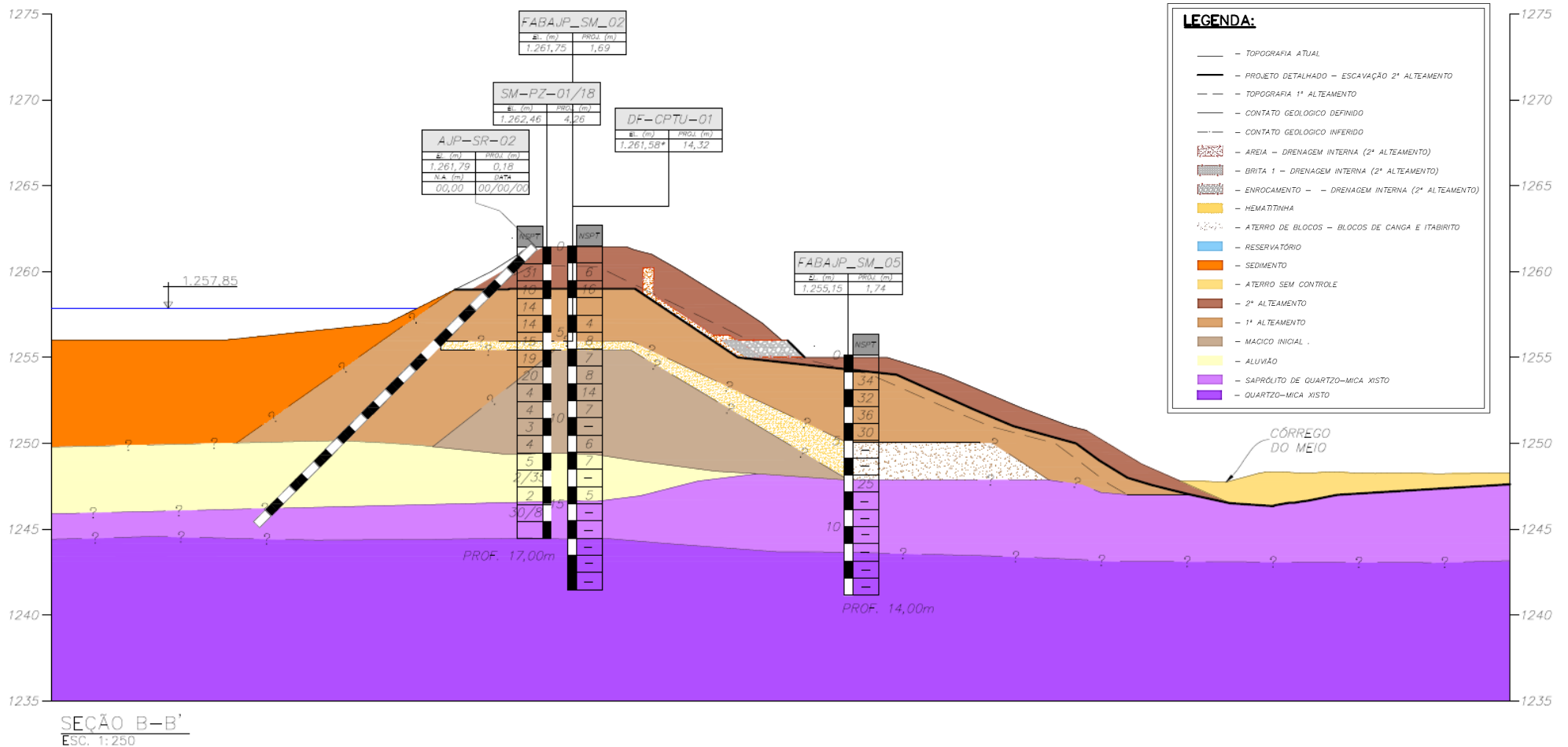


Figura 8.5 - Seção geológico-geotécnica transversal B-B' – Barragem Alto Jacutinga  
Fonte: 1850HH-X-42100 Rev. A (DF+, 2025).



CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO  
JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

22/100

Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

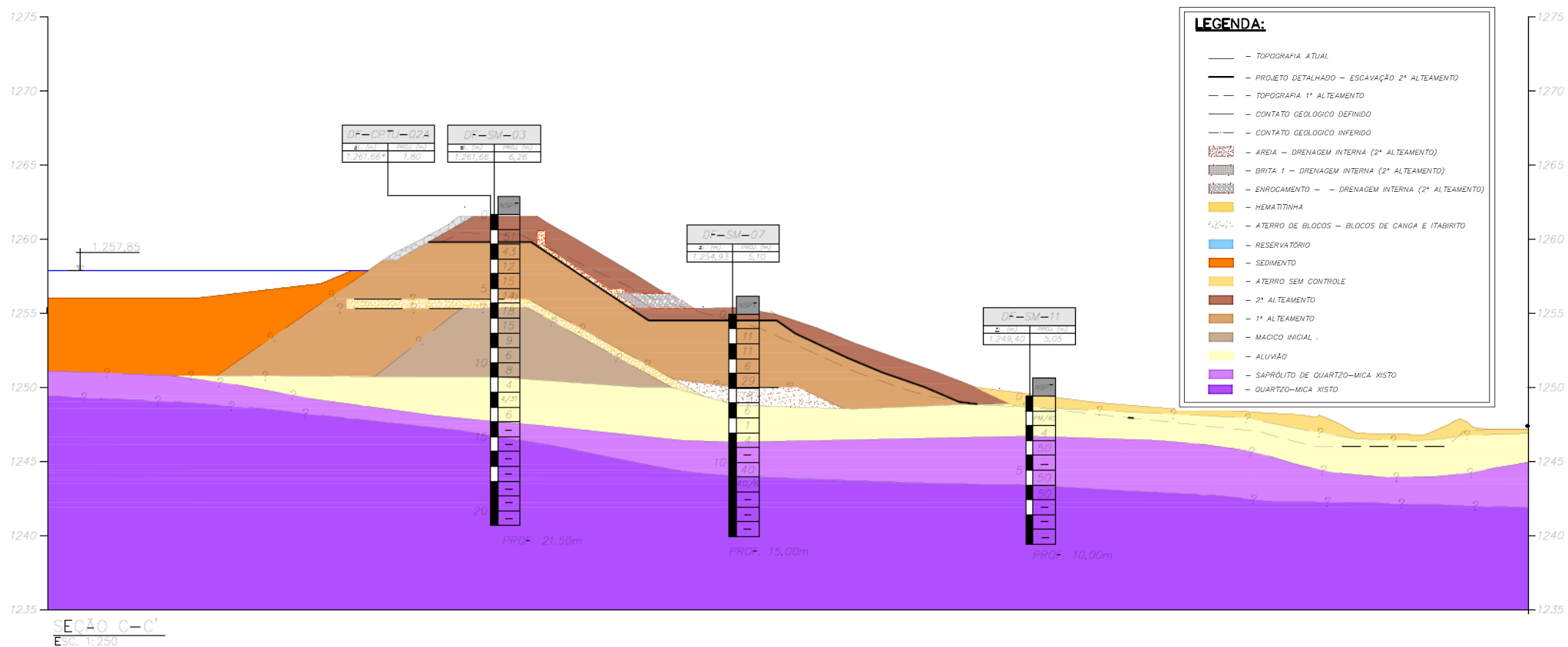




Figura 8.6 - Seção geológico-geotécnica transversal C-C' – Barragem Alto Jacutinga  
Fonte: 1850HH-X-42101 Rev. A (DF+, 2025).

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>23/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

### 8.3 ASPECTOS DE SISMICIDADE

Quanto à sismicidade regional, em 2024, foi elaborado pela FUGRO um relatório referente à análise de ameaça sísmica conduzida para a Barragem Alto Jacutinga (RL-1850HH-X-39165). O relatório, apresentado e disponibilizado pela VALE à DF+, resume as análises e resultados para a análise probabilística de ameaça sísmica (em inglês: *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* - PSHA) da barragem, que foram conduzidos para a estimativa da severidade dos eventos sísmicos que eventualmente poderiam afetar a barragem.

#### 8.3.1 Tempo de Recorrência

De acordo com a NBR 13028/2024, é recomendada a utilização do critério sugerido pela Canadian Dam Association (CDA), que indica a adoção da aceleração da gravidade resultante do Sismo Máximo Provável (MCE – *Maximum Credible Earthquake*) para análises pseudo-estáticas.

Além da classificação pela CDA, observou-se também o Padrão Global da Indústria para a Gestão de Rejeitos (GISTM) elaborado pelo ICMM em 5 de agosto de 2020. O GISTM apresenta Tempos de Retorno (TR) de acordo com a Classificação de Consequências da estrutura.

Com base na classificação do CDA e GISTM da barragem, apresentada no documento RL-1850HH-X-39793 Rev. 1 (DF+, 2025), a estrutura possui classificação de consequência extrema. Deste modo, a Tabela 8.1 e a Tabela 8.2 a seguir apresentam a Probabilidade anual de excedência requerida em função da classificação da barragem de acordo com o CDA e o GISTM, respectivamente.

Tabela 8.1 - Risco de inundações e terremotos e seus períodos de retorno – CDA (2013).

Classificação da Barragem	Probabilidade Anual de Excedência – Terremotos (nota 1)
Baixa	1/100 PAE
Significante	Entre 1/100 e 1/1.000
Alta	1/2.475 (nota 2)
Muito Alta	½ Entre 1/2.475 (nota 2) e 1/10.000 ou SMP (nota 3)
<b>Extrema</b>	<b>1/10.000 ou SMP (nota 3)</b>

Fonte: *Dam Safety Guidelines* (2013)

Notas:

Siglas: SMP, Sismo Máximo Provável; PAE, Probabilidade Anual de Excedência

- Valores médios de variação estimada de níveis de PAE para terremotos devem ser utilizados. Os terremotos com o PAE como definido acima então inseridos como contributivos para desenvolver os parâmetros do dimensionamento da aceleração do terreno devido a terremotos (EDGM), conforme descrito na Seção 6.5 das Diretrizes de Segurança de Barragens (*Dam Safety Guidelines* - CDA 2013).
- Este nível foi selecionado de acordo com os níveis de projeto sísmico fornecidos no *National Building Code of Canada* (Código Nacional de Construção do Canadá).
- SMP (Sismo Máximo Provável) está associado ao PAE (Probabilidade Anual de Excedência).

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>24/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Tabela 8.2 - Critérios de Projeto Sísmico. Fonte: Adaptado de GISTM (2020)

Classificação de Consequências	Critérios Sísmicos – Probabilidade de Excedência Anual	
	Operações e Fechamento (cuidados ativos)	Pós-fechamento (cuidados passivos)
Baixa	1/200	1/10.000
Significativa	1/1.000	1/10.000
Alta	1/2.475	1/10.000
Muito Alta	1/5.000	1/10.000
<b>Extrema</b>	<b>1/10.000</b>	<b>1/10.000</b>

### 8.3.2 Determinação dos Coeficientes Sísmicos

Com base nos estudos recentes da Fugro de 2024 (RL-1850HH-X-39165 Rev. 0, 2024), específico para a região da Barragem Alto Jacutinga relacionados à análise de ameaça sísmica, e nas metodologias atuais utilizadas para determinação dos coeficientes sísmicos, Papadimitriou et al. (2014) e Bray e Macedo (2019), foram determinados os parâmetros de entrada descritos a seguir para determinação dos coeficientes de aceleração.

A superfície de ruptura crítica é definida com base no coeficiente sísmico de escoamento ( $k_y$ ), que representa a aceleração máxima para um fator de segurança (FS) igual a 1. A partir dessa definição, são obtidos os dados de entrada que levam em consideração a geometria da superfície de ruptura.

Na análise conduzida para a Seção C-C', os parâmetros da cunha de ruptura crítica são detalhados na Figura 8.7 e na Tabela 8.4. Esses parâmetros são utilizados para a obtenção dos dados de entrada da metodologia proposta por Papadimitriou *et al.* (2014). É importante observar que a Seção C-C' foi selecionada por ser a seção mais crítica, além disso, realizou-se a verificação das seções de ambas as soluções propostas, adotando a que representou a condição de maiores coeficientes sísmicos.

Além disso, os dados de entrada obtidos para o método de Bray e Macedo (2019) são apresentados na Tabela 8.3.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>25/100</b>
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

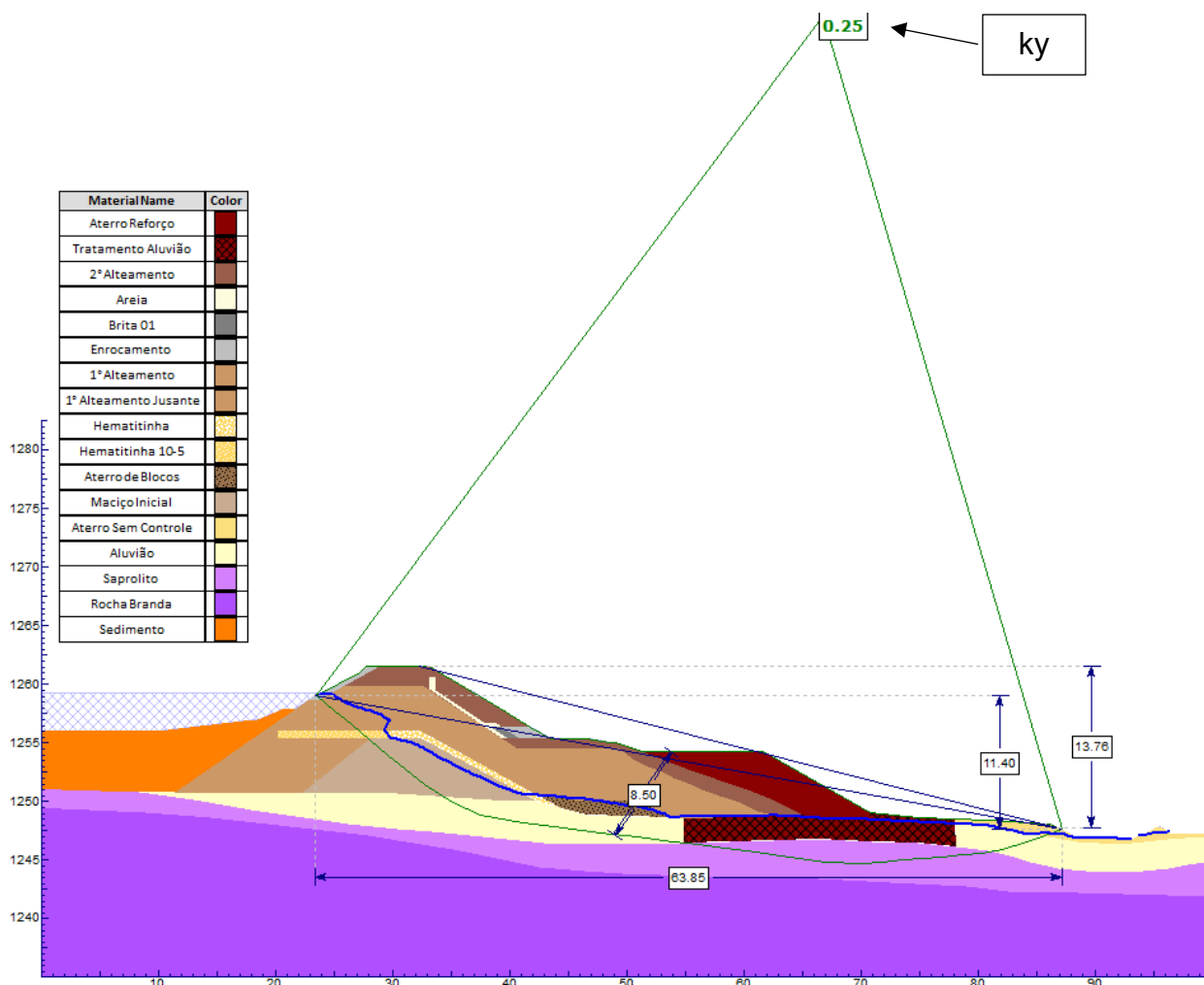


Figura 8.7 – Seção C-C' – Superfície de ruptura crítica para a obtenção de  $k_y$  e dimensões da cunha, considerando FS = 1.

Tabela 8.3 – Dados de entrada utilizados no Método Bray e Macedo (2019)

Dado	Descrição	Unidade	Valor
$PGA_{rock}$	Aceleração de pico no topo rochoso	g	0,148
$V_s^{(1)}$	Velocidade de Cisalhamento da massa de solo deslizante	m/s	250
$V_{s30}^{(1)}$	Velocidade de Cisalhamento Referência da Fundação	m/s	500
$H^{(2)}$	Altura Superfície Crítica	m	11,40
$T_s^{(3)}$	Período fundamental de excitação sísmica da estrutura	s	0,05
$S_a$	Aceleração Elástica Espectral	g	0,32
$M_w$	Magnitude do Momento do Sismo	Mw	6
$D_{all}$	Deslocamento admissível	m	0,05

Notas:

(1) Considerou-se a correlação com o SPT do material apresentada na NBR 15421 e levantamento geofísico realizado em 2024;

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>26/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

(2) Parâmetros obtidos a partir da cunha de ruptura crítica na condição drenada de pico, apresentada na Figura 8.7.

(3) Valores definidos com base na metodologia e no documento RL-1850HH-X-39165.

Tabela 8.4 – Dados de entrada utilizados no Método Papadimitriou *et. al* (2014)

Dado	Descrição	Unidade	Valor
$PGA_{rock}$	Aceleração de pico no topo rochoso	g	0,148
$V_b^{(1)}$	Velocidade de propagação de ondas na camada de solo da fundação	m/s	500
$V_c^{(1)}$	Velocidade de propagação de ondas na camada de aterro	m/s	250
$H_b$	Espessura da camada de solo da fundação	m	4,04
$T_{eBD}^{(2)}$	Período redominante de ação sísmica	s	0,09
H	Altura da estrutura	m	13,07
$C_1$	Coefficiente relacionado a localização da cunha de ruptura	-	1,00
$C_b$	Coefficiente relacionado a existência de bermas de estabilização na estrutura	-	1,00
$t^{(3)}$	Espessura da cunha crítica de ruptura	m	8,50
$w^{(3)}$	Projeção horizontal da cunha crítica de ruptura	m	63,85
$z^{(3)}$	Altura entre crista da estrutura e a base da cunha crítica de ruptura	m	13,76
$h^{(3)}$	Altura da cunha crítica de ruptura	m	11,40
$k_y^{(4)}$	Coefficiente de resistência da estrutura à solicitação sísmica	-	0,25
$D_{all}$	Deslocamento admissível	m	0,05

Notas:

(1) Considerou-se a correlação com o SPT do material com a relação de Classe apresentada na Tabela 2 da NBR 15421 (2006) e levantamento geofísico realizado em 2024;

(2) Definido através de formulação encontrada no documento Papadimitriou *et. al* (2014).

(3) Parâmetros obtidos a partir da cunha de ruptura crítica na condição drenada de pico, apresentada na Figura 8.7.

(4) Aceleração máxima para um fator de segurança (FS) igual a 1, obtida a partir da cunha de ruptura crítica da Seção C-C'.

Segundo uma revisão ampla da literatura apresentada por Duncan (2014), os deslocamentos aceitáveis em diferentes referências variam de 5 cm a até 1 m. Na ausência de ensaios de laboratório conclusivos para uma avaliação representativa do comportamento mecânico do material de fundação, que condiciona a superfície de ruptura, adotou-se um deslocamento tolerável de 5 cm, correspondente ao menor valor referenciado para esse tipo de deslocamento conforme Duncan *et al.* (2014).

Com a aplicação das duas metodologias propostas, os valores de  $K_h$  obtidos são apresentados na Tabela 8.5.

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>27/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Tabela 8.5 – Valores de projeto considerados

Método	Coefficiente horizontal ( $k_h$ )	Coefficiente Vertical ( $k_v$ )
Papadimitriou <i>et al.</i> (2014)	0,08 g	0,05 g
Bray e Macedo (2019)	0,05 g	0,03 g

Cabe destacar que as metodologias propostas não incluem a consideração de um coeficiente de aceleração vertical juntamente com o  $k_h$  nas análises pseudo-estáticas. No entanto, o documento do ICOLD, Bulletin 72: *Selecting Seismic Parameters for Large Dams Guidelines*, sugere a adoção de uma relação equivalente a 2/3 da aceleração horizontal considerada.

**Portanto, definiu-se o coeficiente de aceleração horizontal igual a 0,08 g e o vertical igual a 0,05 g.**

## 9.0 ASPECTOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS

### 9.1 DETERMINAÇÃO PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA

Atualmente, o documento que faz referência às características geotécnicas dos materiais que compõem a estrutura Barragem Alto Jacutinga é o Anexo F do documento RL-1850HH-X-39793 Rev. 0 (DF+, 2025). Os parâmetros geotécnicos dos materiais que compõem a Barragem Alto Jacutinga estão resumidos na Tabela 9.1.

Tabela 9.1 - Parâmetros utilizados nas análises de estabilidade e percolação

Material	Cor	Parâmetros de Resistência				Parâmetros de Permeabilidade	
		$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$Su/\sigma'_v$	$k$ (m/s)	$k_v/k_h$
2º Alteamento		20	10	31		$6,5 \times 10^{-8}$	0,5
1º Alteamento		20	5	30		$9,0 \times 10^{-6}$	0,5
Maciço Inicial		19	10	28		$2,9 \times 10^{-6}$	0,5
Aluvião		16	8	27	0,43	$7,4 \times 10^{-6}$	1,0
Solo Residual Rocha Metamáfica		19	5	31		$2,0 \times 10^{-6}$	1,0
Areia		18	0	30		$5,0 \times 10^{-3}$	1,0
Brita 01		15	0	32		$1,0 \times 10^{-1}$	1,0
Enrocamento		20	0	35		1,0	1,0
Saprólito		19	5	36		$7.4 \times 10^{-6}$	1,0
Hematitinha		19	0	35		$5,0 \times 10^{-4}$	1,0

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>28/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>





Material	Cor	Parâmetros de Resistência				Parâmetros de Permeabilidade	
		$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$S_u/\sigma'_v$	k (m/s)	$k_v/k_h$
Sedimento		19	0	25		$3,0 \times 10^{-6}$	1,0
Aterro Sem Controle		18	0	28		$8,0 \times 10^{-5}$	1,0
Aterro de Blocos		19	0	32		$9,0 \times 10^{-5}$	1,0

Tabela 9.2 – Parâmetros utilizados nas análises de estabilidade e percolação para rochas.

Material	Cor	Parâmetros de Resistência					Parâmetros de Permeabilidade	
		$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	UCS (kPa)	mb	s	a	k (m/s)	$k_v/k_h$
Rocha Branda		22	50000	1,667	0,0039	0,506	$8,0 \times 10^{-7}$	1,00

Os parâmetros de permeabilidade utilizados nas análises de percolação foram calibrados com base na instrumentação instalada.

## 9.2 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS – ALUVIÃO

Materiais aluvionares são observados ao longo das bordas do Córrego do Meio e sob o aterro de jusante da barragem. Em subsuperfície, de acordo com os testemunhos de sondagem, esses materiais ocorrem em grande parte da fundação, sob o maciço inicial e sobre o saprolito de quartzo-mica xisto, em contatos erosionais, com espessuras de até 3 m.


O aluvião apresenta, em geral, matriz arenosa (areia fina a grossa), com grânulos arredondados a subarredondados quartzosos, com lentes argilosas. Nas bordas do Córrego do Meio, a matriz apresenta composição hematítica. A coloração escura, associada à presença de matéria orgânica, é uma característica típica dessa unidade.

Caracteriza-se pelos baixos valores de NSPT, com média de golpes igual a 3, e consistência variando de muito mole a média (localmente rija).

A interpretação dos dados de sondagens mistas, ensaios de laboratório e CPTu foi realizada no Anexo F do documento RL-1850HH-X-39793 Rev. 0 (DF+, 2025). No presente capítulo, a análise dos parâmetros não drenados liquefeitos (residual) do aluvião baseia-se, predominantemente, nos ensaios CPTu da campanha de 2024.

A resistência liquefeita foi estimada a partir de correlações aplicadas aos ensaios de penetração CPTu (piezocone).

Foram calculados os valores de razão de resistência liquefeita não drenada ( $S_{u\ liq}$ ) seguindo a metodologia proposta por Olson e Stark (2003), considerando ensaios CPTu, conforme a Equação 1.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>29/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

$$\frac{Su_{liq}}{\sigma'_{vo}} = 0,030 + 0,0143xq_{c160} \pm 0,03 \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

$Su_{liq}$  - Resistência não drenada na condição de liquefação;

$\sigma'_{vo}$  - tensão efetiva vertical inicial;

$q_{c160}$  - Resistência de ponta normalizada do ensaio CPTu;

Equação válida para  $q_{c1} \leq 6,5$  Mpa.

A seguir, na Figura 9.1, são apresentadas as faixas de variação para a razão de resistência não drenada liquefeita para aluvião presente sob a barragem Alto Jacutinga. Observa-se que a faixa razões variou de 0,03 a 0,07.

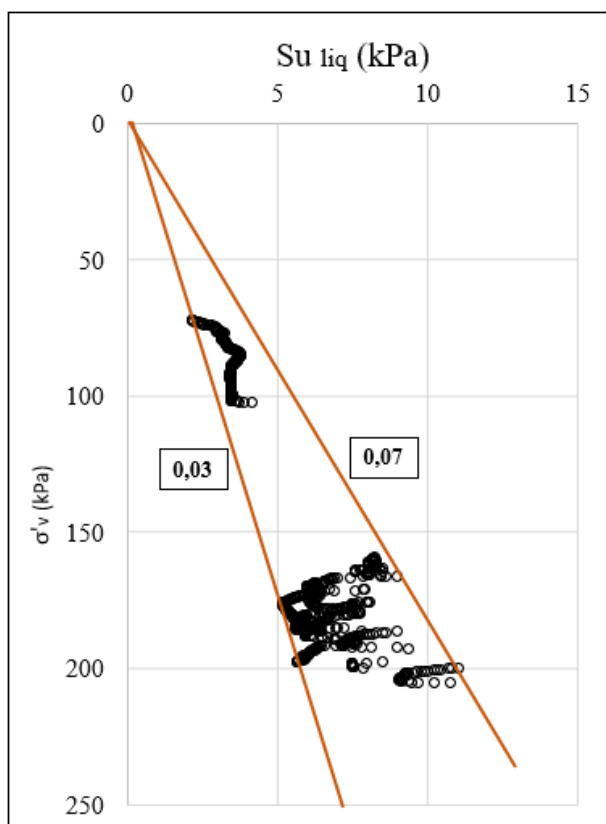



Figura 9.1 - Faixa de variação dos parâmetros de resistência não drenada (liquefeita) para os ensaios de CPTu – Aluvião

Para definição dos valores determinísticos de razão de resistência não drenada (liquefeita), foi determinada a média dos valores obtidos.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO  - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –  S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO  BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>30/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

**Para este projeto, será adotada razão de resistência não drenada liquefeita igual a 0,05, valor obtido a partir da análise dos dados dos ensaios CPTu.**

## 10.0 ASPECTOS HIDROLOGICOS E HIDRAÚLICOS

Neste item, apresenta-se a contextualização e as análises necessárias para a proposição dos dispositivos hidráulicos envolvidos nas soluções 1, 2 e 3, em função da ocorrência de chuvas intensas.

É importante a ressalva de que serão abordados diferentes contextos hidrológicos e hidráulicos para as alternativas desenvolvidas no presente estudo. Para a solução 1, que envolve a descaracterização da barragem, serão propostas tratativas voltadas para a restauração de sistemas fluviais. Já para as alternativas 2 e 3, que envolvem reforçar o maciço da barragem, serão propostas tratativas associadas à segurança de barragens, tendo em vista a manutenção da estrutura geotécnica em sua área de contribuição atual.

Para projetos de restauração de sistemas fluviais, como é o caso da solução 1, é usual admitir que os cursos de água possuem um ou mais leitos, e que o leito menor corresponde a uma seção de escoamento que comporta vazões associadas a TRs entre 2 e 5 anos (TUCCI, 1993).

Para o presente projeto, atendendo ao contexto de fechamento usualmente envolvido na descaracterização de uma barragem, serão propostas soluções com leitos menores de TR 5 anos e leitos maiores, em margens revegetadas, adotando soluções conjuntas de bioengenharia. Poderão ser combinadas, em função da velocidade do escoamento e da declividade das margens, o uso de biomanta, estacas vivas, plantio de grama e hidrossemeadura, capazes de atender ao TR 10.000 anos, conforme indicado em literatura técnica (BAPTISTA e PÁDUA, 2016).

Por outro lado, as soluções hidráulicas envolvendo barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reserva de água devem se pautar na NBR 13.028 (ABNT, 2024), que recomenda como critério geral a adoção de 500 anos de período de retorno para os canais periféricos de coleta e condução de águas superficiais.

Os aspectos metodológicos que embasaram os estudos e a proposição das soluções hidráulicas para os processos de descaracterização ou reforço são apresentados detalhadamente nos itens a seguir.

### 10.1 Hidrologia

Os estudos hidrológicos apresentam a geração e a transferência dos escoamentos resultantes das precipitações, avaliados por meio de metodologias indiretas. A transformação dos dados de chuva em vazão é realizada por meio de modelos matemáticos representativos.

		CLASSIFICAÇÃO:  <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE  <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA  <b>31/100</b>
			Nº (CONTRATADA)  <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV.  <b>0</b>

No presente estudo foi empregado o método do Hidrograma Unitário e, para tanto, foi necessária a determinação da precipitação efetiva, equivalente à porção da precipitação pluvial que escoar, e não se desvia por meio de outras vertentes do ciclo hidrológico, como interceptação e infiltração. Portanto, os coeficientes de escoamento adotados neste estudo buscam aferir a proporção do volume escoado em relação ao precipitado, a partir das características físicas e hidrológicas da bacia de contribuição.

Para a análise desempenhada no contexto deste estudo, foi fundamental interpretar a influência do trânsito de cheias a partir do reservatório da Barragem Barnabé e do aterro da MG-442 no ponto de confluência entre o Córrego do Meio e a barragem Alto Jacutinga. Adicionalmente, foi realizada a avaliação dos aspectos hidrológicos regionais das demais áreas de contribuição à barragem e ao Córrego do Meio, considerando o processo hidrológico indireto e a transformação chuva-vazão a partir do método do Curve Number (CN). Este método é atribuído ao Natural Resources Conservation Service – NRCS (denominado como Soil Conservation Service – SCS até 1994).

#### 10.1.1 Estudo de Chuvas Intensas

As alturas de chuva para a região da estrutura são consideradas, para fins de classificação de grupo hidrológico do solo, na isozona D e de Precipitação Média Anual de 1.600 mm, com valores apresentados fundamentados no mais recente Estudo de Chuvas Intensas e PMP para o Corredor Sul/Sudeste - RL-1800AC-X-00002 (POTAMOS, 2023).

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>32/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Tabela 10.1 – Quantis de altura pluviométrica (mm).

DIFS – Mina Fábrica				Isozona <sup>2</sup> : D										
				Precipitação Média Anual <sup>2</sup> : 1.600 mm										
Duração	Quartil Pontual <sup>1</sup>	PMP <sup>2</sup>	Tempo de Retorno <sup>2</sup> : anos											
			2	5	10	20	25	50	100	200	500	1.000	10.000	
Minutos	10	1º	61,4	17,4	22,0	25,0	27,9	28,8	31,5	32,4	34,9	38,1	40,6	48,5
	15	1º	80,0	22,7	28,7	32,5	36,1	37,3	40,7	42,7	45,9	50,1	53,2	63,2
	20	1º	93,2	26,5	33,4	37,8	42,0	43,3	47,3	50,0	53,8	58,6	62,1	73,6
	30	1º	111,8	31,8	40,0	45,3	50,2	51,8	56,5	60,4	64,8	70,6	74,7	88,2
Horas	1	1º	143,6	40,8	51,3	58,0	64,3	66,3	72,3	78,0	83,7	91,0	96,2	113,3
	2	1º	195,2	52,9	66,8	75,8	84,3	87,0	95,2	103,2	111,2	121,5	129,1	154,0
	3	1º	225,3	59,9	75,8	86,2	96,0	99,2	108,7	118,0	127,3	139,3	148,3	177,8
	4	1º	246,7	64,9	82,2	93,6	104,3	107,8	118,2	128,5	138,7	152,0	161,9	194,7
	6	1º	276,9	72,0	91,3	104,0	116,0	119,9	131,6	143,2	154,7	169,8	181,1	218,5
	8	2º	298,3	77,0	97,7	111,3	124,4	128,5	141,2	153,7	166,1	182,5	194,7	235,4
	10	2º	314,9	80,9	102,7	117,1	130,8	135,2	148,5	161,8	175,0	192,3	205,3	248,5
	12	2º	328,5	84,0	106,7	121,7	136,1	140,6	154,6	168,4	182,2	200,3	214,0	259,2
	18	3º	358,6	91,1	115,8	132,1	147,8	152,7	168,0	183,2	198,3	218,2	233,2	283,0
	24 <sup>3</sup>	3º	380,0	96,1	122,2	139,5	156,1	161,3	177,5	193,6	209,7	230,8	246,8	299,9
Dias	2	4º	403,0	122,8	157,4	180,3	202,3	209,2	230,7	252,0	273,2	301,2	322,4	392,7
	3	4º	433,0	150,1	191,9	219,6	246,1	254,5	280,5	306,2	331,9	365,7	391,3	476,2
	5	4º	620,0	193,2	246,8	282,3	316,4	327,2	360,5	393,5	426,4	469,8	502,6	611,6
	7	4º	839,0	228,2	291,1	332,7	372,6	385,3	424,3	463,1	501,7	552,6	591,1	718,8
	10	4º	932,0	272,4	346,0	394,7	441,5	456,3	501,9	547,3	592,4	652,0	697,1	846,6
	15	4º	1060,0	332,7	423,3	483,3	540,9	559,1	615,4	671,2	726,9	800,3	855,7	1039,9
	20	4º	1299,0	383,7	486,8	555,0	620,5	641,3	705,3	768,8	832,0	915,5	978,6	1188,1
	30	4º	1495,0	469,5	591,4	672,0	749,4	773,9	849,6	924,6	999,4	1098,1	1172,6	1420,2

Notas conforme: <sup>1</sup>HUFF (1990); <sup>2</sup> Corredor Sul.

### 10.1.2 Parâmetros Físicos e Hidrológicos da Bacia Hidrográfica

A área de contribuição de determinada superfície pode ser determinada a partir das superfícies que contribuem para o fluxo de escoamento superficial em uma mesma região de interesse. A área de contribuição é delimitada por divisores de águas, que segregam as áreas que concentram o escoamento superficial.

As bacias de contribuição das estruturas, destinadas a atender as soluções propostas no presente estudo, foram extraídas das auditorias de segurança de barragens de Alto Jacutinga, Barnabé e Gambá (RL-1850HH-X-39793, RL-1850HH-X-39794 e RL-1850HH-X-39797, respectivamente).

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>33/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Na Figura 10.1 é apresentada área de contribuição do Córrego do Meio na região de interesse para este estudo. As áreas intituladas Gambá I, Gambá II e a área da barragem Barnabé integram a microbacia do Córrego do Meio, na região a montante da confluência entre a restituição da barragem Alto Jacutinga e o córrego. As áreas correspondentes a cada Grupo Hidrológico do Solo (GHS) são indicadas na Figura 10.2. Os valores típicos do índice CN da região de interesse para o estudo foram extraídos das auditorias e são apresentados da Tabela 10.2 à Tabela 10.5.

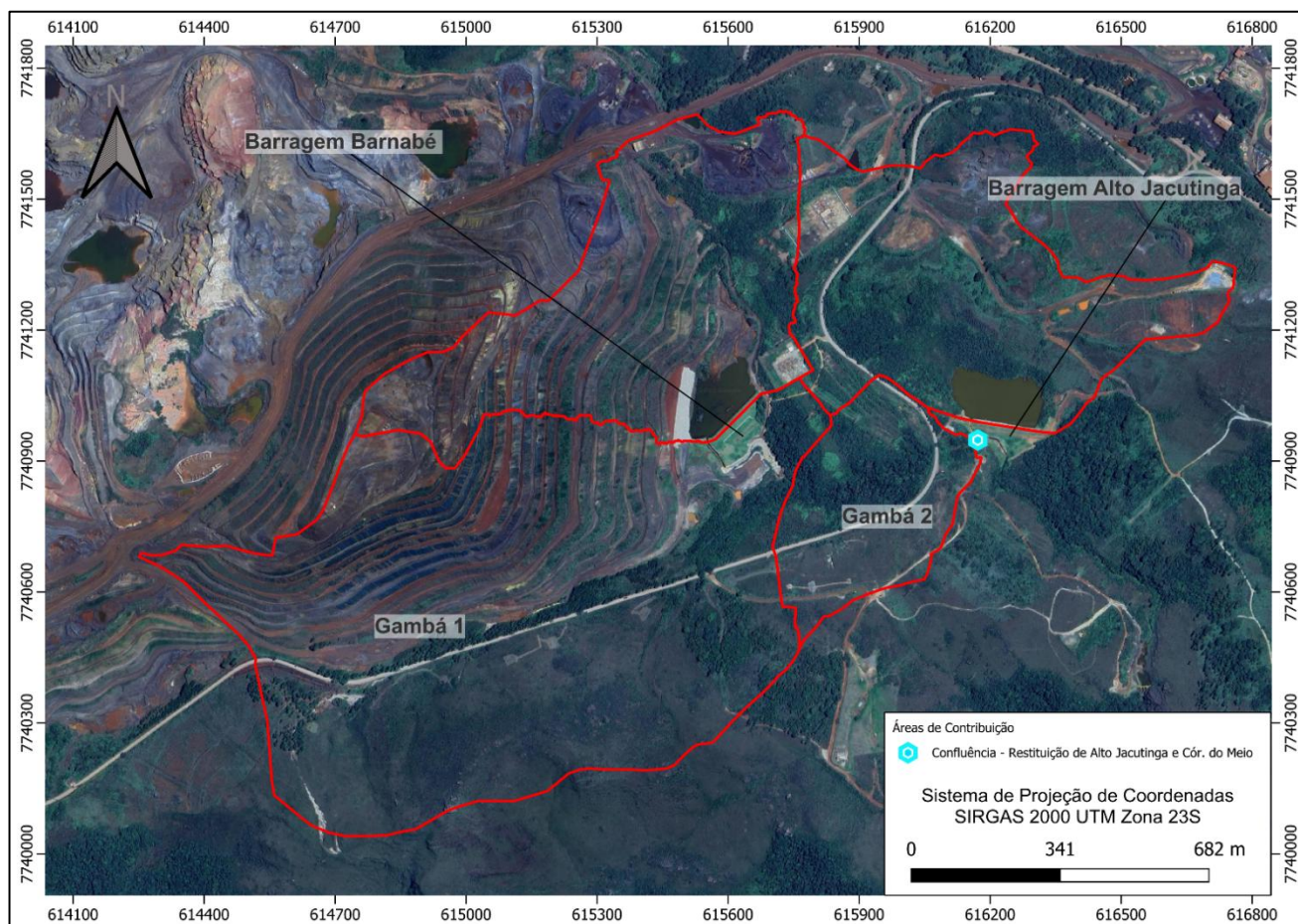


Figura 10.1 - Delimitação da bacia de contribuição do Córrego do Meio

		CLASSIFICAÇÃO:	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
		RESTRITA	
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE	PÁGINA
		RL-1850HH-X-40051	34/100
		Nº (CONTRATADA)	REV.
		DF23-C044-5-ENG-RTE-3579	0

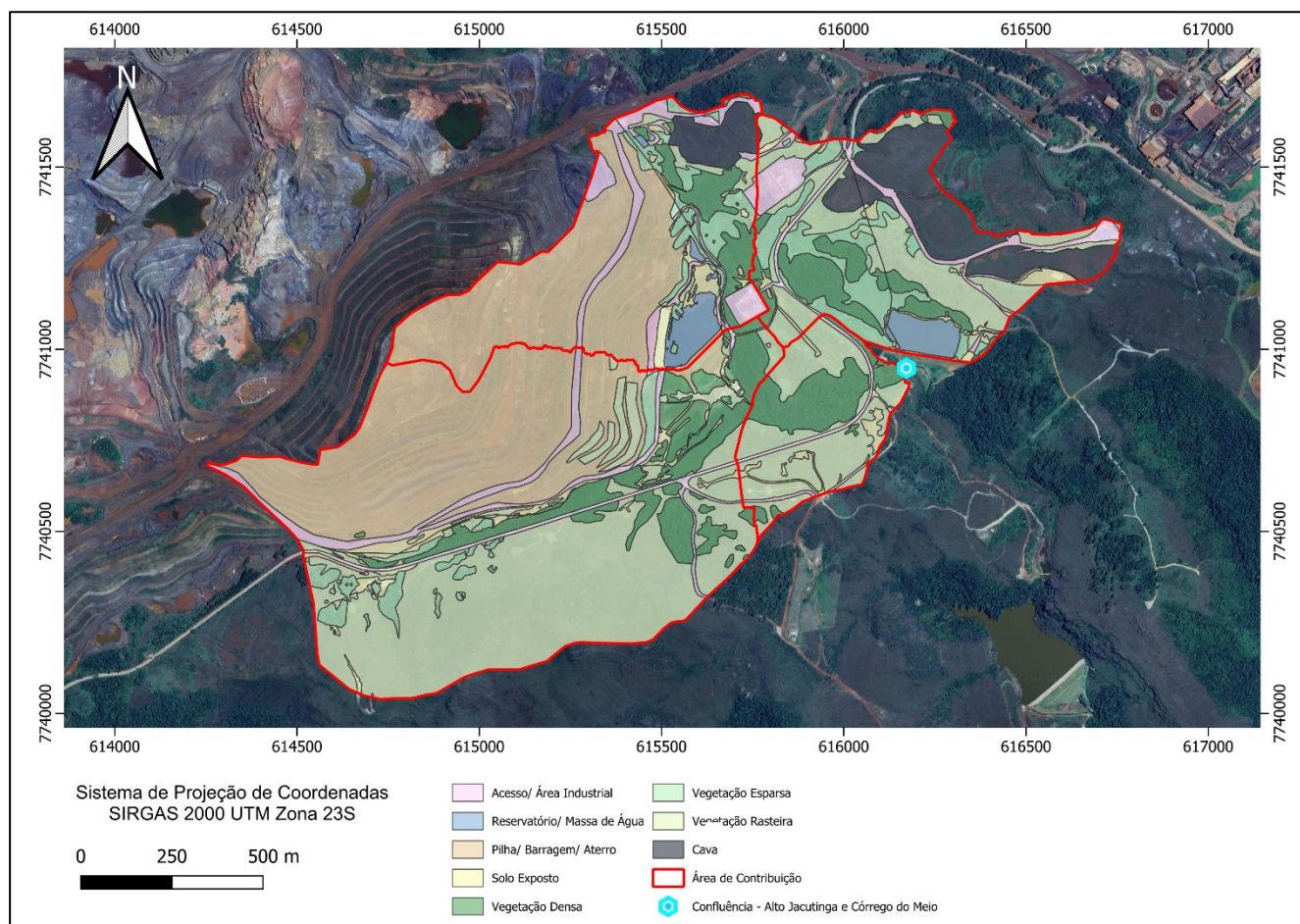


Figura 10.2 – Uso e ocupação na bacia de contribuição do Córrego do Meio.

Tabela 10.2 – Valores de CN para cada tipo de solo na bacia de contribuição da Barragem Barnabé.

Uso do Solo	GHS Tipo B		GHS Tipo C	
	CN	Área (m <sup>2</sup> )	CN	Área (m <sup>2</sup> )
Área Industrial	82	9.925,83	87	5.770,98
Cava	84	28.859,93	88	-
Lago	100	820,96	100	21.424,94
Pilhas/barragens/aterros	61	918,23	74	232.967,82
Acesso	81	16.520,65	93	21.644,70
Solo Exposto	79	3.534,56	86	12.383,68
V. Densa	55	35.583,28	70	163,72
V. Esparsa	58	25.523,33	71	9.883,11
V. Rasteira	61	9.064,21	74	1.363,79
Área Parcial (km <sup>2</sup> )	0,31		0,13	
Área Total (km <sup>2</sup> )	0,45			
CN <sub>ponderado</sub>	75,53			

Fonte: RL-1850HH-X-39797 Rev.1 (DF+, 2025).


		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>35/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Tabela 10.3 – Valores de CN para cada tipo de solo na bacia de contribuição da Barragem Alto Jacutinga.

Uso do Solo	GHS Tipo B		GHS Tipo D	
	CN	Área (m <sup>2</sup> )	CN	Área (m <sup>2</sup> )
Área Industrial	82	13.952,68	89	-
Cava	84	9.014,85	90	96.189,37
Lago	100	891,17	100	17.921,00
Pilhas/barragens/aterros	61	170,93	80	1.051,78
Acesso	93	8.643,67	93	20.370,44
Solo Exposto	79	4.996,16	89	10.058,98
V. Densa	55	40.653,85	77	15.661,26
V. Esparsa	58	48.464,87	78	11.040,79
V. Rasteira	61	46.307,81	80	64.383,47
Área Parcial (km <sup>2</sup> )	0,17		0,24	
Área Total (km <sup>2</sup> )	0,410			
CN <sub>ponderado</sub>	77,14			

Fonte: RL-1850HH-X-39797 Rev. 1 (DF+, 2025).



Tabela 10.4 – Valores de CN para cada tipo de solo na bacia de contribuição Gambá I.

Uso do Solo	GHS Tipo B		GHS Tipo C	
	CN	Área (m <sup>2</sup> )	CN	Área (m <sup>2</sup> )
Área Industrial	82	-	89	-
Cava	84	-		1,28
Lago	100	473,07	100	-
Pilhas/barragens/aterros	61	7.747,74	80	331.185,78
Acesso	93	20.300,82	81	33.330,47
Solo Exposto	79	17.523,70	89	10.286,35
V. Densa	55	114.208,53	77	1.234,69
V. Esparsa	58	34.812,29	78	295,26
V. Rasteira	61	393.285,17	80	21.872,85
Área Parcial (km <sup>2</sup> )	0,59		0,40	
Área Total (km <sup>2</sup> )	0,987			
CN <sub>ponderado</sub>	67,20			

Fonte: RL-1850HH-X-39797 Rev. 1 (DF+, 2025).

Tabela 10.5 – Valores de CN para cada tipo de solo na bacia de contribuição Gambá II.

Uso do Solo	GHS Tipo B	
	CN	Área (m <sup>2</sup> )
Área Industrial	82	-
Cava	84	-
Lago	100	-
Pilhas/barragens/aterros	61	-

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>36/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Uso do Solo	GHS Tipo B	
	CN	Área (m <sup>2</sup> )
Acesso	93	8.895,04
Solo Exposto	79	9.140,18
V. Densa	55	49.394,20
V. Esparsa	58	-
V. Rasteira	61	100.612,27
<b>Área Total (km<sup>2</sup>)</b>	<b>0,168</b>	
<b>CN<sub>ponderado</sub></b>	<b>61,91</b>	

Fonte: RL-1850HH-X-39797 Rev. 1 (DF+, 2025).

Com base na caracterização física da bacia de contribuição, foram definidos os parâmetros hidrológicos que são dados de entrada para a utilização do modelo de transformação chuva-vazão adotado: o Curve Number (CN), que permite derivar a chuva efetiva do total e do Hidrograma Unitário. Os tempos de concentração foram obtidos a partir do método de Kirpich ou do método cinemático a depender das características físicas de cada bacia.

Na Tabela 10.6 é apresentado o resumo dos parâmetros obtidos para caracterização da bacia de contribuição da Barragem Alto Jacutinga e do ponto de confluência de sua restituição com o Córrego do Meio.

Tabela 10.6 – Resumo dos parâmetros físicos das bacias de contribuição.

Estrutura	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Comprimento do talvegue (km)	Declividade e média (m/m)	CN	I <sub>a</sub> (m/m)	t <sub>c</sub> (min)	Lag time <sup>1</sup> (min)
Barnabé	0,436		0,03	75,53	16,46	4,85	2,91
A. Jacutinga	0,410	0,94	0,04	77,14	15,05	12,91	7,75
Gambá I	0,987	1,22	0,06	67,20	24,79	22,58	13,55
Gambá II	0,168	0,49	0,02	61,91	31,26	11,34	6,80

### 10.1.3 Cenário Físico Simulado

Para realização das simulações hidrológicas utilizou-se o modelo computacional **HEC-HMS – versão 4.12**, desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center* – HEC (USACE). A Figura 10.3 apresenta o arranjo do modelo matemático-computacional, construído no *software* para representar a confluência entre a área de contribuição de Alto Jacutinga e o Córrego do Meio nos cenários envolvendo o reforço da barragem e a descaracterização.

É importante ressaltar que, para a solução 1, tendo em vista o dimensionamento do canal tipo espinha de peixe, a ser implantado na região atualmente ocupada pelo reservatório de Alto Jacutinga, a área de contribuição da estrutura foi segregada em três vertentes.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>37/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

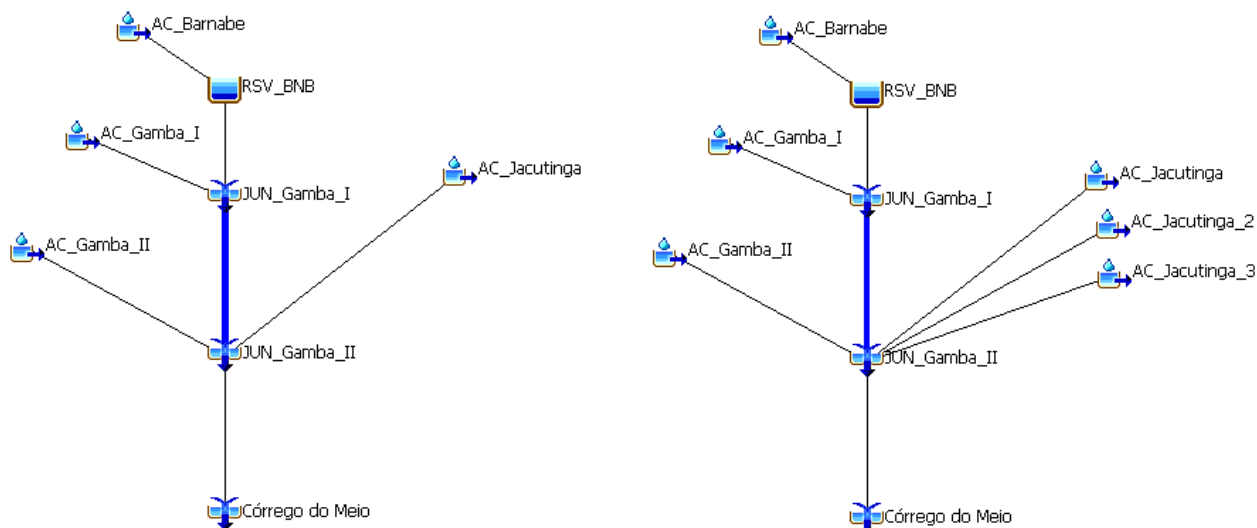


Figura 10.3 –Diagrama topológico utilizado na modelagem para as estruturas da microbacia do Córrego do Meio considerando (Esquerda) o reforço e (Direita) descaracterização da barragem Alto Jacutinga

## 10.2 Hidráulica

Para a verificação hidráulica das soluções desenvolvidas, foi necessário considerar o trânsito de cheias por meio do Método de Puls Modificado, regulado a partir dos sistemas extravasores de Alto Jacutinga e Barnabé. O Trânsito de Cheias permite que, a partir das vazões afluentes, obtenha-se resultantes de chuvas com diferentes durações e tempo de retorno, verificando-se a duração crítica, ou seja, aquela que gera a maior sobrelevação do nível de água (NA) no interior de determinado reservatório.

Nesse contexto, o trânsito de cheias da Barragem Barnabé é relevante para a determinação da vazão de projeto associada ao Córrego do Meio para todas as soluções propostas. Já o trânsito de cheias da Barragem Alto Jacutinga é relevante exclusivamente para as soluções 2 e 3, que não envolvem a descaracterização.

### 10.2.1 Curvas cota-descarga dos sistemas extravasores

A curva de descarga definida para o emboque do extravasor da Barragem Alto Jacutinga foi extraída da auditoria mais recente emitida pela DF+ em 2025 (RL-1850HH-X-39793). A Tabela 10.7 descreve a curva de descarga da estrutura, bem como sua representação gráfica, expressa na Figura 10.4.

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>38/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Tabela 10.7 – Relação cota-descarga do sistema extravasor da Barragem Alto Jacutinga.

Elevação (m)	Vazão (m³/s)	Elevação (m)	Vazão (m³/s)
<b>1.259,24<sup>1</sup></b>	<b>0,00</b>	1.260,20	5,00
1.259,30	0,10	1.260,31	6,00
1.259,45	0,50	1.260,34	6,26
1.259,58	1,00	1.260,42	7,00
1.259,77	2,00	1.260,53	8,00
1.259,93	3,00	1.260,63	9,00
1.260,07	4,00	-	-

Nota:

(1) Elevação da soleira.

Fonte: RL-1850HH-X-39793 Rev. 1 (DF+, 2025)

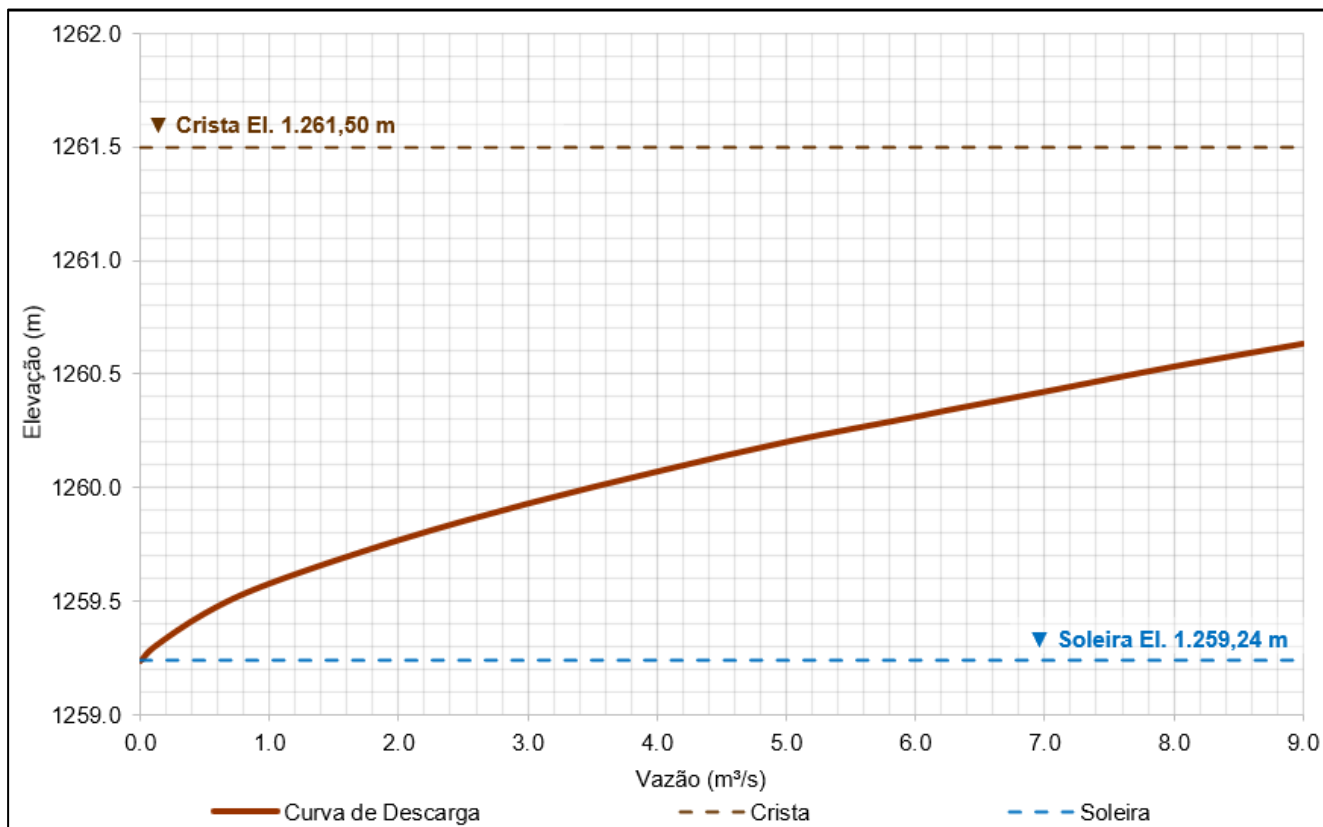


Figura 10.4 – Curva cota-descarga do sistema extravasor da Barragem Alto Jacutinga.

Fonte: RL-1850HH-X-39793 Rev. 1 (DF+, 2025).

A curva de descarga definida para o emboque do extravasor da Barragem Barnabé foi extraída da auditoria mais recente emitida pela DF+ em 2025 (RL-1850HH-X-39794). A Tabela 10.8 descreve a curva de descarga da estrutura, bem como sua representação gráfica, expressa na Figura 10.4.


		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>39/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Tabela 10.8 – Relação cota-descarga do sistema extravasor da Barragem Barnabé.


Elevação (m)	Vazão (m³/s)	Elevação (m)	Vazão (m³/s)
<b>1282,90<sup>1</sup></b>	<b>0,00</b>	1284,15	15,00
1282,95	0,22	1284,25	17,25
1283,05	0,65	1284,35	19,40
1283,15	1,15	1284,45	21,75
1283,25	1,92	1284,55	24,00
1283,35	2,82	1284,65	26,75
1283,45	3,89	1284,75	29,5
1283,55	5,13	1284,85	32,5
1283,65	6,43	1284,95	35,49
1283,75	7,86	1285,05	38,28
1283,85	9,50	<b>1285,10<sup>2</sup></b>	<b>41,19</b>
1283,95	11,20	1285,25	44,09
1284,05	13,00	1285,31	45,82

Notas:

(1) Elevação da Soleira do Extravasor;

(2) Elevação da Crista;

Fonte: RL-1850HH-X-39794 Rev. 1 (DF+, 2025)

		CLASSIFICAÇÃO:	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
		RESTRITA	
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE	PÁGINA
		<b>RL-1850HH-X-40051</b>	<b>40/100</b>
		Nº (CONTRATADA)	REV.
		<b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	<b>0</b>

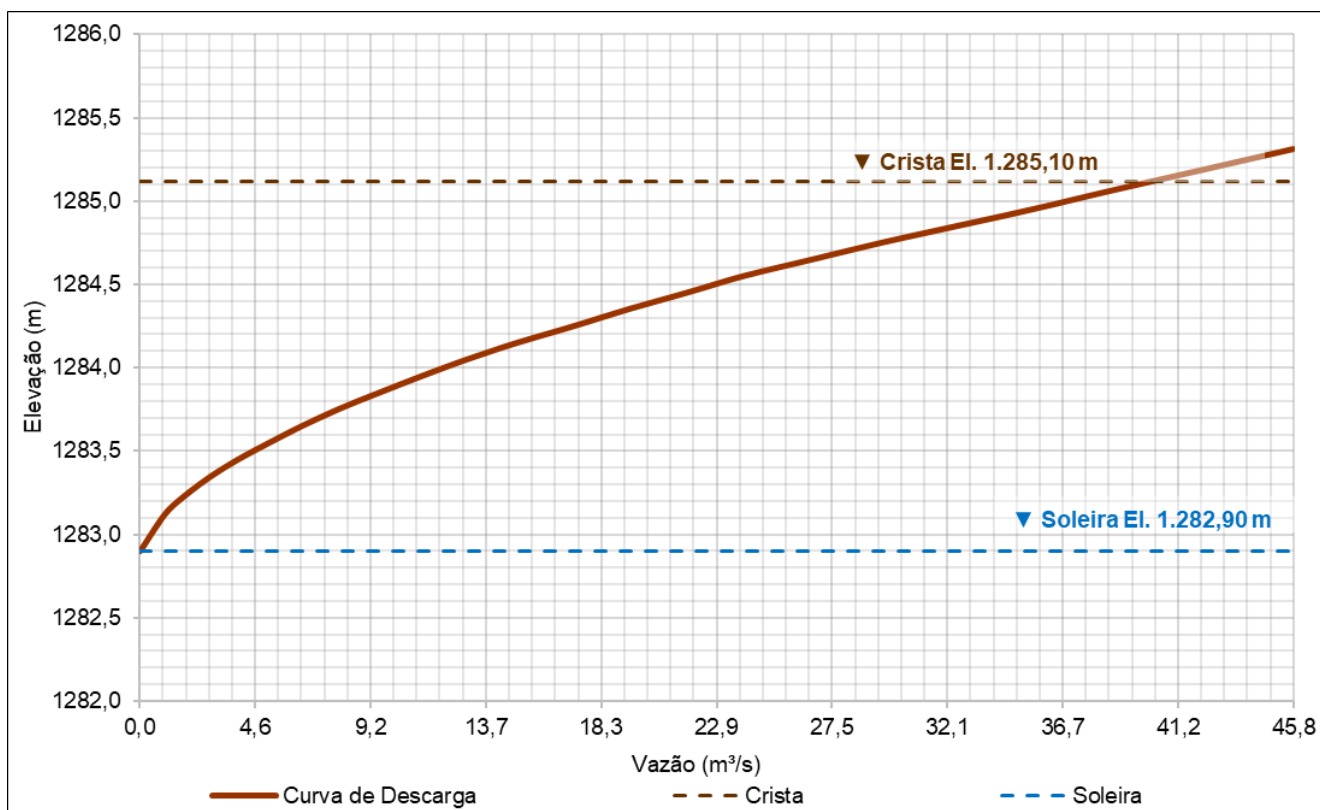


Figura 10.5 – Perfil da curva de descarga do sistema extravasor da Barragem Barnabé.  
Fonte: RL-1850HH-X-39794 (DF+, 2025).

### 10.2.2 Curvas cota-volume dos reservatórios

A curva cota-volume da Barragem Alto Jacutinga foi extraída da auditoria mais recente, emitida pela DF+ em 2025 (RL-1850HH-X-39793). A relação cota-volume, é apresentada pela Tabela 10.9 e ilustrada pela Figura 10.6.

Tabela 10.9 – Coordenadas da curva cota x volume do reservatório de Alto Jacutinga.

Elevação (m)	Área simples (m <sup>2</sup> )	Volume Acumulado (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
1.256,00	2.903	0,00
1.256,50 <sup>3</sup>	7.483	3,48
1.257,00	12.063	6,96
1.257,50 <sup>3</sup>	13.453	13,68
1.258,00	14.843	20,39
1.258,50 <sup>3</sup>	16.401	28,58
1.259,00	17.958	36,77
<b>1.259,24<sup>1</sup></b>	<b>19.015</b>	<b>41,20</b>

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>41/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Elevação (m)	Área simples (m <sup>2</sup> )	Volume Acumulado (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
1.259,50 <sup>3</sup>	20.469	45,03
1.260,00	23.085	57,18
1.260,50 <sup>3</sup>	25.330	67,98
1.261,00	28.142	82,75
<b>1.261,50<sup>2</sup></b>	<b>30.953</b>	<b>97,52</b>

Notas:

- (1) Elevação da soleira;
  - (2) Elevação da crista;
  - (3) Os valores intermediários foram obtidos a partir de interpolação.
- Fonte: RL-1850HH-X-39793 (DF+, 2025).

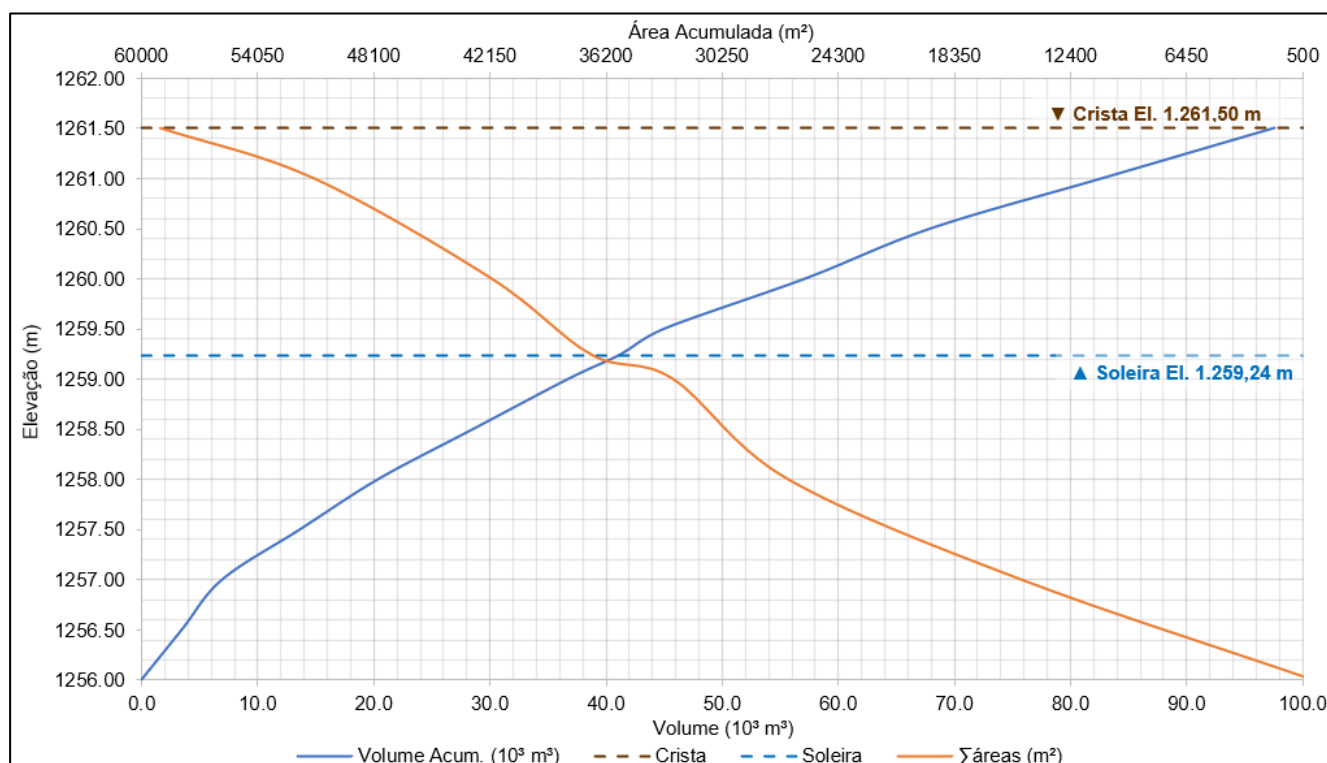


Figura 10.6 – Perfil da curva cota x área x volume do reservatório de Alto Jacutinga.  
Fonte: RL-1850HH-X-39793 (DF+, 2025).

A curva cota-volume da Barragem Barnabé foi extraída da auditoria mais recente, emitida pela DF+ em 2025 (RL-1850HH-X-39794). A relação cota-volume, é apresentada pela Tabela 10.9 e ilustrada pela Figura 10.6.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>42/100</b>
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Tabela 10.10 – Coordenadas da curva cota x volume do reservatório de Barnabé.

Elevação (m)	Área simples (m <sup>2</sup> )	Volume Acum. (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
1.281,00	8.264	0,00
1.282,00	15.184	11,55
<b>1.282,90<sup>1</sup></b>	<b>19.882</b>	<b>27,28</b>
1.283,00	20.320	29,29
1.284,00	24.429	51,64
1.285,00	29.019	78,33
<b>1.285,10<sup>2</sup></b>	<b>31.754</b>	<b>81,37</b>

Notas:

(1) Elevação da soleira;

(2) Elevação da crista;

Fonte: RL-1850HH-X-39794 Rev. 1 (DF+, 2025).

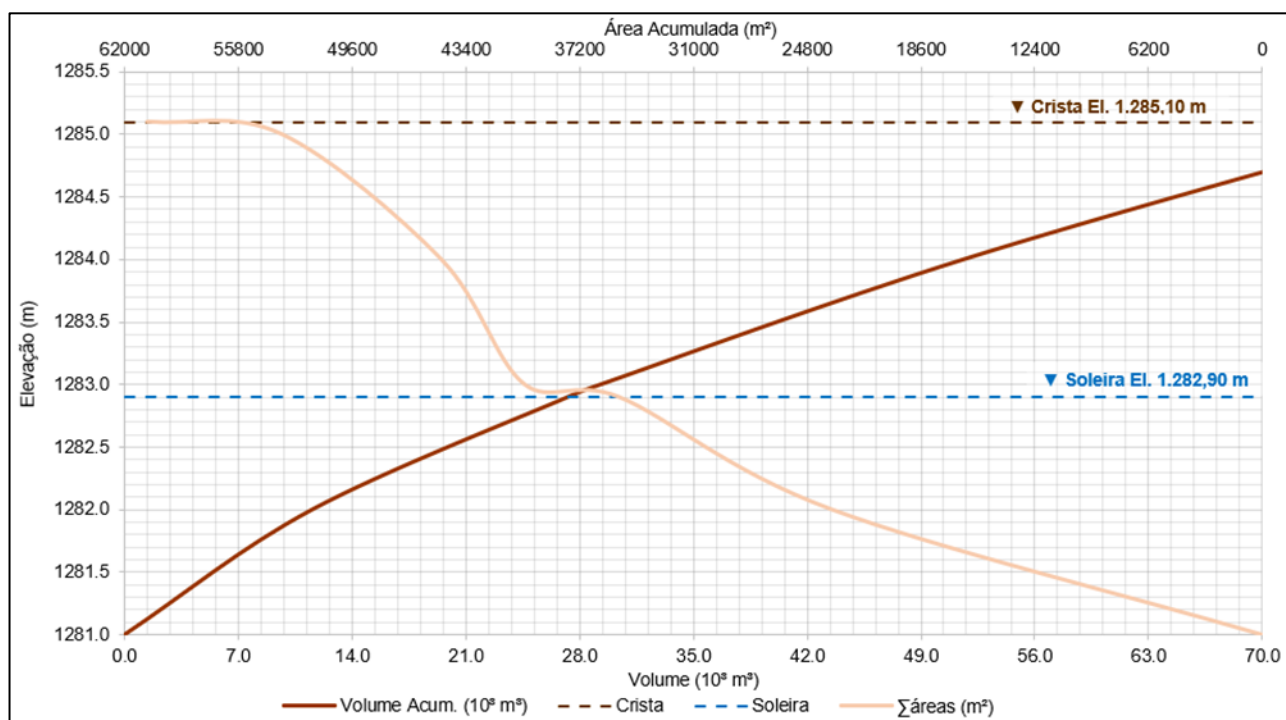



Figura 10.7 – Perfil da curva cota x área x volume do reservatório de Barnabé.

Fonte: RL-1850HH-X-39794 Rev. 1 (DF+, 2025).

### 10.2.3 Modelagem Hidráulica

Os estudos hidráulicos foram desenvolvidos com o auxílio do modelo computacional HEC-RAS – River Analysis System, Versão 6.5, distribuído pelo U.S. Army Corps of Engineers. O programa computacional HEC-RAS considera os seguintes procedimentos de cálculo:

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>43/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

- Princípios de conservação de massa, energia e quantidade de movimento, com solução numérica pelo *standard step method* (HEC, 2021).
- Simulação hidráulica bidimensional e não permanente, ou seja, para vazão constante correspondente à vazão de projeto (hidrograma de cheias).
- Regime de escoamento uniforme ou variado (gradual ou bruscamente), em condições subcríticas ou supercríticas, com a identificação automática das seções de controle onde ocorre mudanças de regime, e conforme as condições de contorno (montante e jusante) inseridas no modelo hidráulico.

Em síntese, os dados inseridos no programa HEC-RAS foram os elementos de projeto (elevações, declividades, desníveis, dimensões das seções geométricas), coeficientes de rugosidades de Manning, condições de contorno de jusante e vazão de cheia obtida a partir dos hidrogramas gerados nos estudos hidrológicos.

## 11.0 APRESENTAÇÃO DAS ALTERNATIVAS

Dentre as soluções analisadas, as alternativas factíveis incluem:

- **Solução 01: Descaracterização com Remoção Total** - Essa alternativa compreende o rebaixamento do NA do reservatório, escavação do sedimento, escavação dos alteamentos e maciço principal, reconformando a superfície até a elevação do terreno natural.
- **Solução 02: Reforço em Enrocamento e escavação aluvião** – Essa alternativa consiste em realizar a escavação do aluvião a jusante em nichos (trincheiras), execução de transições e reforço em enrocamento;
- **Solução 03: Reforço em solo compactado e tratamento fundação** – Execução de aterro compactado, servindo este como base para o tratamento da fundação e, também, complementação de reforço.

Neste capítulo, serão apresentadas as principais características de cada uma das soluções propostas para a barragem.

### 11.1 SOLUÇÃO 01: DESCARACTERIZAÇÃO TOTAL

De acordo com Art. 2º, parágrafo VIII da Resolução ANM nº 95/2022, barragem descaracterizada consiste naquela “*estrutura que não recebe, permanentemente, aporte de rejeitos e/ou sedimentos oriundos de sua atividade fim, a qual deixa de possuir características ou de exercer função de barragem, de acordo com projeto técnico...*”. Dito isso, ao contrário das demais soluções, esta alternativa, após sua descaracterização, resultará numa condição que não mais haverá contenção de sedimentos e nem acumulação de água.

Esta solução de engenharia tem como objetivo principal a remoção total do barramento da estrutura e do sedimento presente em seu reservatório. Para tanto, a concepção executiva é

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>44/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

realizada em etapas sequenciais, com foco no controle e manejo do sedimento e de águas para garantia da segurança durante a obra.

Inicialmente, é necessário realizar o rebaixamento do nível de água do reservatório visando a redução dos gradientes hidráulicos, minimizando, conseqüentemente, os riscos durante as etapas de escavação subsequentes. Salienta-se que este bombeamento deve ser realizado de modo controlado, de modo a se evitar a possibilidade de instabilização do talude de montante por rebaixamento rápido. Na sequência, trincheiras drenantes podem eventualmente ser necessárias para auxiliar a drenagem superficial do sedimento contido no reservatório, e assim direcionar estas águas para poços de bombeamento.

Posteriormente, a implantação de acessos à montante do reservatório, eventualmente combinado com a execução de aterros de conquista internos, permitirá que seja realizada a remoção de todo sedimento presente no reservatório. A destinação do sedimento do reservatório será definida pela VALE, bem como eventuais pátios intermediários de secagem. Destaca-se que, na fase do projeto detalhado, será desenvolvida uma estratégia para a remoção do sedimento em todo o reservatório.

Cabe ressaltar que a escavação do maciço da estrutura poderá, eventualmente, ocorrer concomitantemente à remoção do sedimento. Alternativamente, após a retirada do emboque do extravasor, poderão ser realizados ajustes no canal remanescente para viabilizar seu uso como desvio, ou o uso dos canais de drenagem superficial como solução de drenagem temporária, o que evitaria o acúmulo da água em meio às obras.

#### 11.1.1 Aspectos Gerais

- Manejo de águas

Para a realização do projeto desta alternativa, o manejo de água é uma variável de grande importância, pois eventuais precipitações podem determinar a intensidade do bombeamento necessário, bem como o carreamento de sedimentos para locais indesejados dentro do reservatório.

- Gestão do material escavado

Necessidade de definição de áreas de disposição temporária e/ou definitiva dos materiais provenientes da escavação do sedimento e do maciço, por parte da VALE.

- Preservação da fauna aquática

Caso seja constatada a presença de fauna aquática no reservatório, deverão ser adotados os procedimentos necessários para o resgate e realocação dos animais, conforme legislação ambiental vigente.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>45/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

## 11.2 SOLUÇÃO 02: REFORÇO EM ENROCAMENTO E ESCAVAÇÃO ALUVIÃO

Esta alternativa tem o objetivo implementar uma técnica para atender as premissas estabelecidas no item 7.3: a construção de reforço em enrocamento a jusante da estrutura.

Previamente ao início das intervenções, será necessário realizar o rebaixamento do nível de água do reservatório da Barragem Alto Jacutinga, visando à redução dos gradientes hidráulicos e, conseqüentemente, à minimização dos riscos durante as etapas subsequentes de escavação e construção. Este bombeamento deve ser realizado de forma controlada, evitando rebaixamento rápido que possa comprometer a estabilidade do talude de montante.

Na sequência, deverá ser realizado o condicionamento do canal rápido do sistema extravasor da estrutura, uma vez que a cota superior de sua parede precisará ser compatível com a nova elevação imposta pelo reforço em enrocamento. Essa operação deve ocorrer de maneira articulada com a manutenção da operacionalidade do extravasor ou com a implementação de um sistema provisório que assegure o trânsito de cheias durante as obras.

Após as devidas tratativas implementadas no extravasor, deve ser realizada a remoção da vegetação do talude e da área a jusante da barragem, juntamente com a remoção da camada de solo orgânico superficial. Em seguida, a execução da escavação do aluvião à jusante da barragem, executado em nichos, conforme premissa, com o objetivo de atingir camadas de solo com maior capacidade de suporte, assegurando uma fundação competente para o reforço em enrocamento. O reforço será composto por enrocamento, sob o qual serão executadas previamente as camadas de transição necessárias. A construção do reforço em enrocamento deverá ser executada em camadas controladas, de modo a atender as especificações de densidade requeridas em projeto.

### 11.2.1 Aspectos Gerais

- Estabilidade da estrutura

A escavação do aluvião à jusante para fundação do reforço tende a provocar um certo desconfinamento na região do pé da barragem atual, razão pela qual está sendo considerado neste projeto que esta etapa deve ser realizada mediante a execução em nichos (trincheiras) alternados, de modo a minimizar o efeito do desconfinamento tridimensionalmente na estrutura. Registra-se que são indicados, para a fase de projeto detalhado, os estudos de tensão-deformação para melhor avaliação da geometria proposta e do comportamento da estrutura durante as fases previstas de escavação e de reforço, caso esta alternativa seja selecionada.

Além disso, será recomendado que o reservatório seja esgotado previamente à etapa de escavação com vistas à redução dos gradientes hidráulicos incidentes nas trincheiras. Compreende-se que esta medida é importante para que sejam minimizados os riscos de *piping* na frente de escavação pelo aluvião (material reconhecidamente fofo e de baixa competência) e, conseqüentemente, de instabilização da barragem atual.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>46/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Cabe também ressaltar que durante a obra será demandado monitoramento e controle rigoroso das condições de estabilidade da estrutura existente, principalmente durante as fases iniciais da obra.

- Córrego do meio

À jusante da estrutura, conforme apresentado na Figura 11.1, encontra-se o Córrego do Meio (indicado pela seta branca). Esta alternativa implica, necessariamente, no deslocamento do leito do córrego para a sua margem direita (no sentido do fluxo indicado pelas setas azuis), entre a porção central e a ombreira direita da barragem, uma vez que o reforço em enrocamento tenderia a estrangular o corpo hídrico em sua condição atual. Cabe destacar que, em função da extensão do reforço em enrocamento e das restrições geométricas existentes, especialmente na região próxima ao extravasor, será necessária a execução de um corte no terreno natural a jusante da barragem. Esta intervenção tem como principal objetivo viabilizar o reposicionamento do eixo do Córrego do Meio, garantindo espaço adequado para a implantação do reforço em enrocamento e assegurando as condições hidráulicas e de estabilidade requeridas na nova configuração da estrutura. Essa interferência demandará estudos e obras complementares de adequação do traçado do córrego, incluindo, entre outros, o manejo de águas durante a execução das escavações e lançamento das transições, proteção contra erosão e controle da qualidade da água, a fim de mitigar eventuais impactos ambientais associados à intervenção.

Cabe salientar que para a execução das transições sob o reforço, o terreno deverá apresentar condições mínimas para a realização da atividade, garantindo a capacidade de suporte e evitando riscos de contaminação dos materiais durante a operação.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>47/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

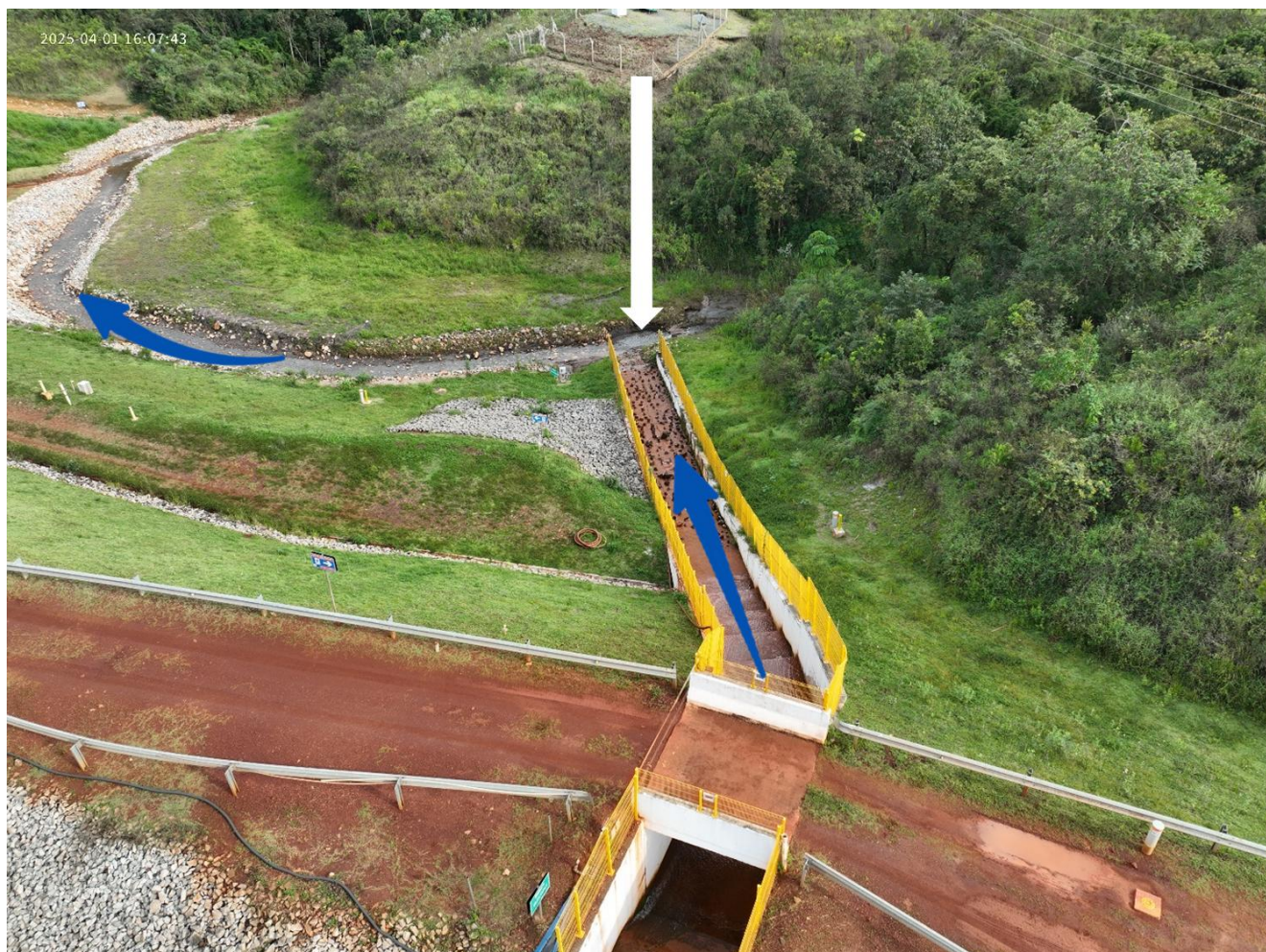


Figura 11.1 – Vista aérea da porção de jusante da estrutura.  
 Fonte: Foto Drone VALE (04/2025).

- Sistema Extravasor

O sistema extravasor da Barragem Alto Jacutinga opera durante a maior parte do ano, sendo fundamental para a segurança da estrutura, especialmente em períodos de maior probabilidade de precipitação. Conceitualmente, a parede do extravasor deve ter uma altura compatível com a do reforço em enrocamento; no entanto, o método construtivo de parte do extravasor é em concreto simples, não favorecendo essa adequação. Adicionalmente, a estrutura apresenta patologias que foram identificadas durante a Inspeção do EoR, e a execução de uma berma de equilíbrio adjacente, poderá incrementar os esforços atuantes sobre a estrutura e agravar suas patologias.

Diante desse contexto, verifica-se que a manutenção do extravasor existente dependerá de uma avaliação detalhada de suas condições estruturais, da viabilidade técnica de sua readequação frente ao novo perfil da barragem e dos riscos associados ao incremento de esforços decorrentes da implantação do reforço em enrocamento. Caso a readequação do

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>48/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

extravasor existente não se mostre viável — seja por limitações estruturais, operacionais ou de segurança —, a alternativa a ser considerada deverá ser o reposicionamento do sistema extravasor em outro local, a ser definido em fase de projeto detalhado. A decisão entre a manutenção com readequação ou a implantação de um novo extravasor deverá considerar aspectos técnicos, hidráulicos, geotécnicos e operacionais, garantindo sempre a segurança e a funcionalidade do sistema de extravasão da barragem.

- Manejo das Águas

A execução da Solução 02 demandará um planejamento rigoroso para o manejo das águas superficiais e subsuperficiais, uma vez que as obras ocorrerão em área operacional, com a presença do extravasor existente e do Córrego do Meio. Destaca-se que o sistema extravasor é essencial para a segurança da barragem, especialmente em períodos chuvosos, devendo permanecer operacional durante as intervenções ou ser temporariamente substituído por sistemas provisórios que garantam o trânsito seguro das cheias. Adicionalmente, a necessidade de reposicionamento do eixo do Córrego do Meio implicará em obras de desvio e controle hidráulico temporários, garantindo o escoamento adequado e evitando o carreamento de sedimentos durante as escavações. O corte no talude a jusante, a escavação do aluvião e a implantação do reforço em enrocamento também exigirão controle das águas de percolação e drenagem adequada das superfícies de trabalho, minimizando riscos de instabilidade e erosão. Todos esses aspectos deverão ser contemplados no projeto detalhado da obra, de modo a garantir a segurança da estrutura, a proteção ambiental do corpo hídrico e a adequada condução das águas durante todas as fases da intervenção.

Destaca-se que, a presença de solo aluvionar de baixa resistência e alto teor de umidade na fundação pode demandar soluções específicas de rebaixamento ou drenagem localizadas, garantindo condições seguras de execução dos serviços.

### 11.3 SOLUÇÃO 03: REFORÇO SOLO COMPACTADO E TRATAMENTO FUNDAÇÃO

Esta alternativa consiste na aplicação de duas técnicas distintas para atendimento as premissas estabelecidas no item 7.3: a construção de uma berma de equilíbrio em aterro compactado a jusante da estrutura, seguida pelo tratamento parcial da fundação do maciço inicial e da berma de equilíbrio com *Deep Soil Mixing* (DSM).

Do mesmo modo que na solução 02, deverá ser executado previamente o rebaixamento do nível de água do reservatório. Em sequência, para a execução do reforço com solo compactado, o extravasor da estrutura deverá ser recondicionado no trecho rápido, pois, com a construção do aterro compactado, a cota superior da parede do extravasor precisará ser compatível com a elevação do aterro. Essa operação deve ser realizada simultaneamente à disponibilidade operacional do extravasor ou à implementação de um sistema capaz de permitir o trânsito das cheias.

Após a execução da adaptação das paredes, deverá ser realizada a remoção da vegetação do talude a jusante, juntamente com a camada de solo orgânico superficial, para viabilizar a

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>49/100</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>	

implementação de um dreno de contato. Esse dreno terá a função de captar eventuais percolações e direcioná-las para a saída do sistema de drenagem.

O aterro em solo compactado deverá ser executado em camadas controladas, simultaneamente à construção do dreno de contato, sendo ambos a serem construídos camada por camada e acompanhados dos respectivos ensaios de controle tecnológico.

A execução do aterro será realizada em etapas, permitindo a adequada progressão do tratamento da fundação, garantindo a compatibilização das atividades e a estabilização progressiva do maciço. Esse processo sequenciado também contribuirá para a melhor distribuição das tensões no terreno de fundação, reduzindo potenciais recalques diferenciais e assegurando a eficiência do reforço.

O tratamento de fundação proposto para este projeto, dentre as alternativas disponíveis, é o *Deep Soil Mixing* (DSM). O DSM é uma técnica de melhoria de solos que consiste na mistura in situ do solo natural com um agente ligante (normalmente cimento ou cal), formando colunas de solo tratado de alta resistência e baixo índice de permeabilidade. A mistura é realizada por meio de hastes rotativas que injetam e homogeneizam o agente de melhoria com o solo existente.

O objetivo do tratamento na fundação da Barragem Alto Jacutinga é aumentar a capacidade de resistência do solo aluvionar de consistência muito mole a média (esporadicamente rija), de textura argilosa, com matéria orgânica e areia fina (por vezes rejeito de minério de ferro) e espessura de 1,00 a 3,80 m, que não foi totalmente removido antes da construção da estrutura. A partir do tratamento da fundação, será possível diminuir a área de reforço da barragem.

### 11.3.1 Aspectos Gerais

A alternativa de reforço em solo compactado associado ao tratamento de fundação apresenta, dentre suas principais interferências:

- Córrego do meio

À jusante da estrutura, conforme apresentado na solução 02 na Figura 11.1, encontra-se o Córrego do Meio (indicado pela seta branca). Em função da necessidade de implantação do aterro compactado à jusante da barragem, a Solução 03 também prevê o reposicionamento do eixo do Córrego do Meio, de modo a viabilizar a execução do reforço proposto.

- Colmatação Drenagem interna

Um dos principais cuidados na execução do tratamento de fundação, está relacionado ao risco de colmatação do sistema de drenagem interna da barragem. Caso a execução das colunas intercepte tapete drenante, a execução do DSM poderá gerar um risco de colmatação. Esse

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>50/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

tipo de interferência pode reduzir a eficiência da drenagem e impactar negativamente o desempenho estrutural da barragem.

Para mitigar esse risco, a execução das colunas deve ser executada de forma intercalada.

Além disso, a execução das colunas deve ocorrer de forma intercalada — por exemplo, alternando entre ombreira esquerda e direita — o que, embora torne o processo mais lento, contribui para o alívio gradual da pressão de injeção e permite que o regime de fluxo freático da barragem se adapte progressivamente às novas condições.

- Extravasor

O sistema extravasor da Barragem Alto Jacutinga opera durante a maior parte do ano, sendo fundamental para a segurança da estrutura, especialmente em períodos de maior probabilidade de precipitação. Embora a estrutura não sofra impactos diretos durante o tratamento de fundação, essa condição não se aplica durante a etapa de implantação da berma de equilíbrio (reforço). Conceitualmente, a parede do extravasor deve ter uma altura compatível com a da berma de equilíbrio, no entanto, o método construtivo de parte do extravasor, é concreto simples, não favorecendo essa adequação. Adicionalmente, a estrutura apresenta patologias que foram identificadas durante a Inspeção do EoR, e o contato adicional de uma berma de equilíbrio irá incrementar os esforços atuantes sobre esta estrutura, o que poderá agravar suas patologias.


Deste modo, a implantação do aterro compactado exigirá a readequação do extravasor atual, de modo a compatibilizar a elevação da sua parede com a geometria do novo aterro. Caso a readequação do extravasor existente não se mostre viável, deverá ser estudada a possibilidade de reposicionamento do sistema em local alternativo, conforme discutido anteriormente.

- Estabilidade da estrutura

A escavação para implantação do dreno de contato, a execução das colunas de DSM e o próprio aterro compactado podem alterar o estado de tensões da estrutura existente. Será necessário prever um plano de monitoramento da estabilidade e controle executivo rigoroso durante todas as etapas de obra.

- Manejo das águas

A execução da Solução 03 demandará um planejamento rigoroso para o manejo das águas superficiais e subsuperficiais, uma vez que as obras ocorrerão em área operacional, com a presença do extravasor existente e do Córrego do Meio. Destaca-se que o sistema extravasor é essencial para a segurança da barragem, especialmente em períodos chuvosos, devendo permanecer operacional durante as intervenções ou ser temporariamente substituído por sistemas provisórios que garantam o trânsito seguro das cheias. Adicionalmente, a necessidade de reposicionamento do eixo do Córrego do Meio implicará em obras de desvio

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>51/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

e controle hidráulico temporário, garantindo o escoamento adequado e evitando o carreamento de sedimentos durante as escavações. Todos esses aspectos deverão ser contemplados no projeto detalhado da obra, de modo a garantir a segurança da estrutura, a proteção ambiental do corpo hídrico e a adequada condução das águas durante todas as fases da intervenção.

## 12.0 DESCRIÇÃO DO PROJETO

Este capítulo apresenta as principais análises técnicas realizadas para as alternativas consideradas no projeto de intervenção na Barragem Alto Jacutinga, com foco na avaliação geotécnica e hidráulica das soluções propostas. As soluções contemplam desde a descaracterização total da estrutura até diferentes cenários de reforço do maciço e/ou da fundação, visando garantir a estabilidade da estrutura remanescente e o atendimento aos critérios normativos vigentes.

São apresentadas nas Figura 12.1, Figura 12.2 e Figura 12.3, as plantas de arranjo geral correspondentes às soluções 01, 02 e 03, respectivamente.

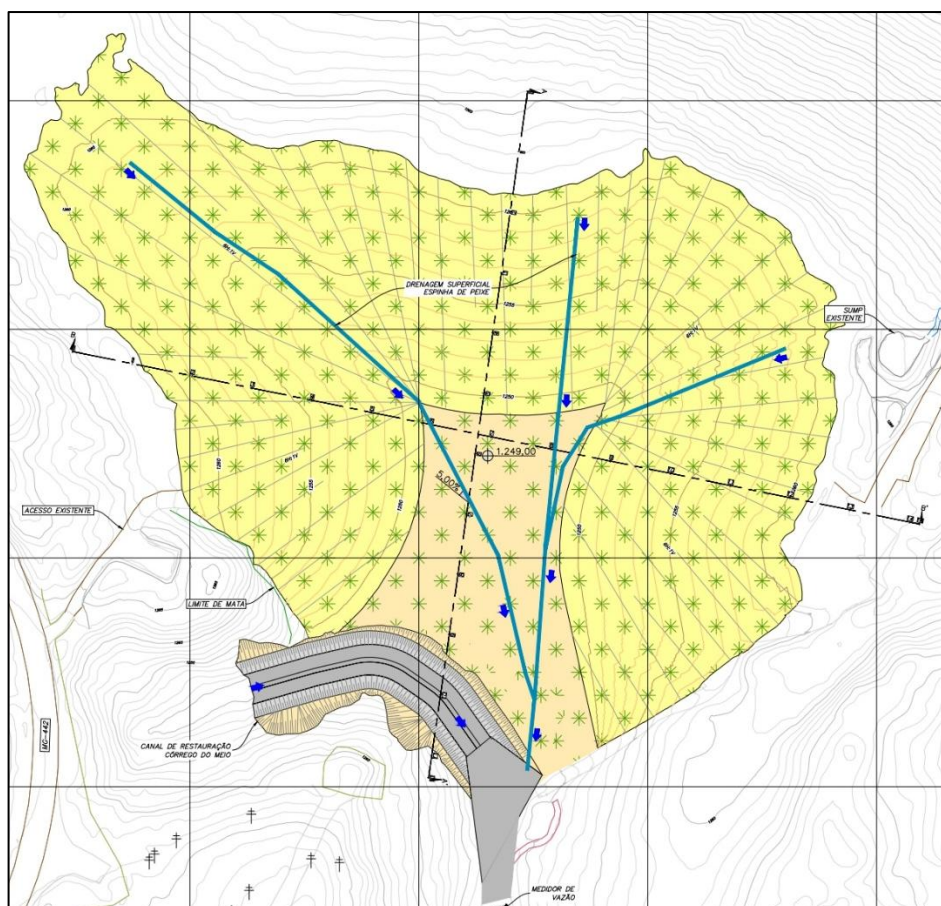


Figura 12.1 – Arranjo geral da Solução 01 – Descaracterização Total da Barragem  
 Fonte: 1850HH-X-42441 (DF+, 2025)



CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO  
- BARRAGEM ALTO JACUTINGA -  
S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

PÁGINA

52/100

REV.

0

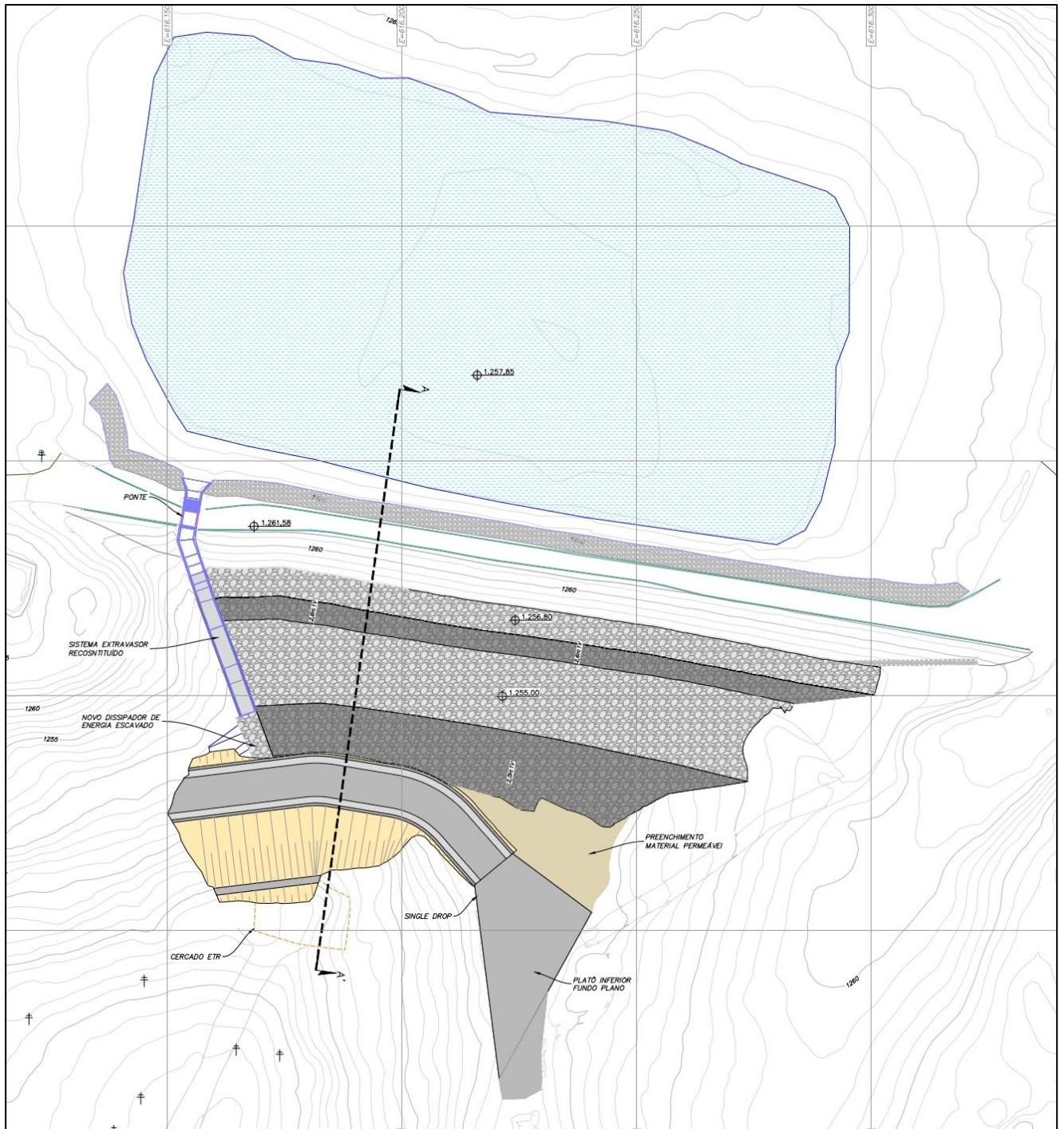


Figura 12.2 – Arranjo geral da Solução 02 – Reforço em Enrocamento  
Fonte: 1850HH-X-42444 (DF+, 2025)

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>53/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

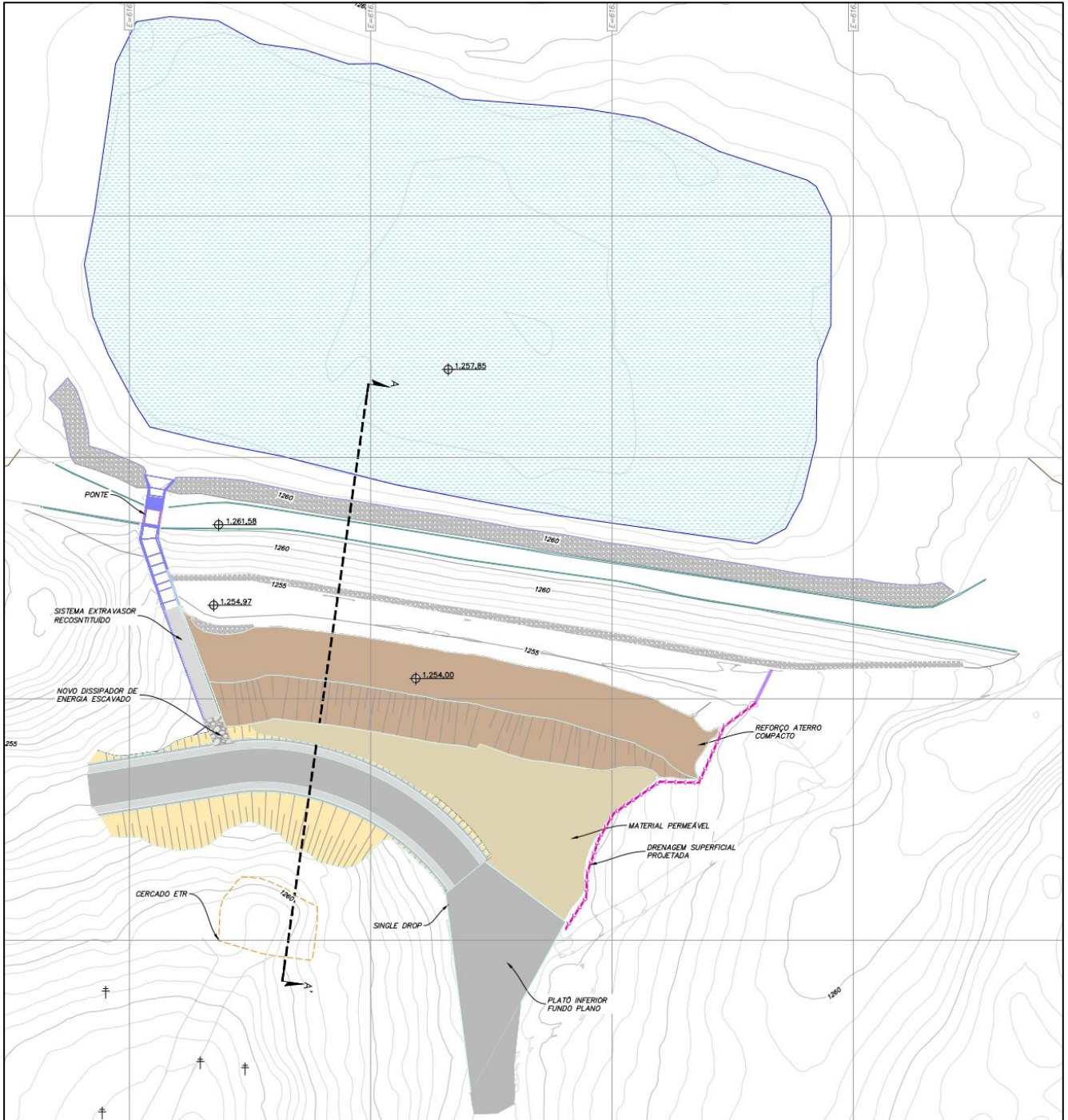


Figura 12.3 – Arranjo geral da Solução 03 – Reforço em Aterro Compactado e Tratamento de Fundação

Fonte: 1850HH-X-42447 (DF+, 2025)

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO  - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –  S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO  BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>54/100</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>	

## 12.1 AVALIAÇÃO GEOTÉCNICA

### 12.1.1 Análise de Estabilidade

As análises de estabilidade foram realizadas com o intuito de avaliar a condição de segurança do maciço remanescente da Barragem Alto Jacutinga e a condição da estrutura após execução das melhorias propostas. Para as análises de estabilidade foram analisadas as seções A-A', B-B' e C-C', definidas nos desenhos do Projeto de Atualização das Seções Geológica-Geotécnicas (1850HH-X-42100, 1850HH-X-42101 e 1850HH-X-42102) com base na interpretação das novas campanhas de investigação.

As análises de estabilidade foram realizadas utilizando o software *Slide 2*, desenvolvido pela Rocscience, considerando os métodos de Morgenstern-Price, Spencer e Bishop abrangendo rupturas de forma circular, determinando, para cada superfície potencial de ruptura, um fator de segurança (FS). Para as análises com superfícies de ruptura não circular foram utilizados os métodos de Morgenstern-Price e Spencer. **Será apresentado apenas análises com menor FS.**

#### 12.1.1.1 *Cenários de análise – Solução 01*

Considerando que a Solução 01 prevê a descaracterização total da estrutura, com a remoção integral dos sedimentos do reservatório e a escavação dos maciços da barragem até o nível do terreno natural, as análises de estabilidade realizadas neste projeto têm por objetivo avaliar exclusivamente as condições temporárias associadas às etapas construtivas, não se aplicando aos cenários operacionais, sísmicos ou pós-sismo definidos pela NBR 13028 (ABNT, 2024), uma vez que a estrutura, após a conclusão das obras, não possuirá mais as características de barragem.

Para a Solução 01, foi considerado o seguinte cenário de análise:

- **Cenário Temporário de Escavação:** Avaliação da estabilidade global dos taludes a montante e a jusante após escavação do sedimento do reservatório, considerando a condição drenada, com o nível d'água do reservatório previamente rebaixado e controle das águas superficiais e subsuperficiais.

Para os cenários avaliados, foi adotado fator de segurança mínimo de 1,3.

Cabe destacar que a adoção do fator de segurança mínimo de 1,3 para as condições temporárias de escavação previstas na Solução 01 está alinhada com recomendações de literatura internacional, as quais reconhecem que este valor é aceitável exclusivamente para situações de curto prazo, estruturas temporárias ou em condições em que não exista risco de perda de contenção de material armazenado (SCHNAID *et al.*, 2020; USBR, 2011).

#### 12.1.1.2 *Cenários de análise – Solução 02 e 03*

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO  - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –  S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO  BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>55/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Para as análises de estabilidade, foram considerados cenários previstos na NBR 13.028 (ABNT, 2024): um cenário operacional (drenada e não-drenada), carregamento sísmico e condição pós-sismo (condição liquefeita).

A NBR 13028 (ABNT, 2024) prescreve um cenário de “Operação com rebaixamento rápido do nível d’água do reservatório” No entanto, durante emissão do projeto detalhado será especificado vazão de bombeamento para execução da obra.

Desta forma, os cenários analisados neste projeto, foram:

- **Cenário Operacional:** NA máximo operacional.
  - a. Considerou-se o nível máximo registrado pela instrumentação em janeiro de 2025, uma vez que foi o período de início da leitura dos novos instrumentos instalados na barragem;
    - Os cenários para condição operacional, foram realizados para **Condição Drenada Ia e Condição Não Drenada Ib (aplicável ao material Aluvião na fundação)**.
  
- **Cenário Pseudo-estática:** NA máximo operacional + ocorrência de sismo.
  - a. Foi realizada uma análise pseudo-estática com coeficiente de aceleração horizontal de 0,08 g e vertical de 0,05 g.
  - b. Considerou-se o nível máximo registrado pela instrumentação em janeiro de 2025;
    - Os cenários para condição sísmica, foram realizados para **talude de jusante Cenário II**.
  - c. Diminuição de 5% do valor da coesão e do ângulo de atrito de forma a corresponder aos efeitos dinâmicos nos materiais de fundação.
  
- **Cenário Pós-Sismo:** NA máximo operacional
  - a. Considerou-se o nível máximo registrado pela instrumentação em janeiro de 2025;
    - Os cenários para condição operacional, foram realizados para **Condição Aluvião parâmetro residual**.

#### 12.1.1.3 *Parâmetros de Resistência*

- Parâmetros Reforço – Solução 02

Para a análise de estabilidade da solução de reforço em enrocamento, os parâmetros geotécnicos adotados para o enrocamento foram baseados em valores típicos obtidos pela função de Leps (1970) para materiais de enrocamento mediano.

- Parâmetros Tratamento Fundação e Reforço – Solução 03

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>56/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

A fundação da barragem de Alto Jacutinga é composta predominantemente por materiais aluvionares localizados nas margens do Córrego do Meio e sob o aterro a jusante da barragem. Esses materiais ocorrem sob o maciço inicial e recobrem o saprolito de quartzomica xisto, apresentando contatos erosivos e espessuras de até 3 metros. O aluvião possui uma matriz arenosa, com grânulos quartzosos arredondados, intercalados por lentes argilosas. Nas margens do Córrego do Meio, a matriz se caracteriza por coloração escura, devido à presença de matéria orgânica e hematita. O solo é de baixa resistência ao cisalhamento, com índice de resistência à penetração (NSPT) médio de 3 golpes, apresentando consistência variando de muito mole a média, sendo localmente classificado como rijo.

Com base nas características da fundação descritas, a Solução 3 propõe o tratamento da fundação da barragem utilizando o método de *Deep Soil Mixing* (DSM), com o objetivo de garantir a segurança estrutural e o atendimento às premissas estabelecidas no item 7.3.

Para a definição dos parâmetros geotécnicos conceituais do aluvião tratado com DSM, a DF+ utilizou os métodos atualmente aplicados em cenários similares. Destaca-se que, durante a fase de projeto detalhado, poderá ser necessário o emprego de outros métodos para a validação dos parâmetros obtidos nesta etapa, além da execução de uma área experimental para confirmação dos resultados.

A definição dos parâmetros geotécnicos conceituais do aluvião tratado foi realizada com o auxílio da metodologia proposta por Hachich et al. (1998), utilizando as Equação 2, Equação 3 e na Equação 4.

$$c' = \frac{qu}{2} \quad \text{Equação 2}$$

$$c_{eq} = c \cdot (1 - Ts) + (Ts * c') \quad \text{Equação 3}$$

$$\Phi_{eq} = \Phi \cdot (1 - Ts) + (Ts * \Phi') \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

- c: Coesão inicial: 8 KPa (Anexo F do documento RL-1850HH-X-39793 Rev. 0 (DF+, 2025));
- $\Phi$ : Ângulo de atrito inicial: 27° (Anexo F do documento RL-1850HH-X-39793 Rev. 0 (DF+, 2025));
- c': Coesão da área tratada;
- $\Phi'$ : Ângulo de atrito da área tratada (utilizado conservadoramente o mesmo valor da coesão inicial);

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>57/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

- qu: Resistência a compressão simples (Estimado com base no - *An Introduction to the Deep Soil Mixing Methods as Used in Geotechnical Applications* - FHWA-RD-99-138 (2000))
- $c_{eq}$ : Coesão equivalente;
- $\Phi_{eq}$ : Ângulo de atrito equivalente;
- Ts: Taxa de substituição;

Com relação à permeabilidade da região tratada, é consenso entre os autores, que o DSM reduz significativamente a permeabilidade do solo. A estimativa desse valor é complexa, pois depende de diversas variáveis. Assim, para esta etapa do projeto, será adotada de forma conservadora a permeabilidade do concreto, que é na ordem de  $k = 10^{-9}$ , conforme Cruz et al. (2004). Ressalta-se que, durante a fase de projeto detalhado caso essa solução seja escolhida, serão aplicados outros métodos para validar a permeabilidade equivalente da região tratada, incluindo a recomendação da realização de ensaios em uma área experimental para confirmar os resultados calculados.

Tabela 12.1 - Parâmetros do aluvião tratado

Material	Cor	Parâmetros de resistência		Parâmetros de permeabilidade			
		$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$S_u/\sigma'_v$	k (m/s)	$k_v/k_h$ (2)
Aluvião equivalente		16 (1)	20	27		$7,4 \times 10^{-9}$	0,5
Aluvião tratado		16 (1)	100	27(1)		$7,4 \times 10^{-9}$	0,5
Aluvião		16	8	27	0,43	$7,4 \times 10^{-6}$	1,0

Nota:

(1) Os parâmetros foram adotados de forma conservadora, mantendo-se o valor inicial utilizado.

### 12.1.2 Apresentação Fatores de Segurança Pós-implantação Soluções

A seguir a Tabela 12.2 a Tabela 12.5 apresentam os fatores de segurança obtidos nas análises de estabilidade global realizadas para a Barragem Alto Jacutinga, considerando a etapa de escavação do sedimento do reservatório, prevista na Solução 01 – Descaracterização Total. Ressalta-se que esta etapa contempla a remoção praticamente integral do sedimento atualmente presente no reservatório, permanecendo apenas uma pequena porção de material junto ao pé do talude de montante, conformada com inclinação aproximada de 1V:6H, a fim de garantir a estabilidade temporária da configuração final da escavação até a conclusão das obras de descaracterização.

A Tabela 12.6 a Tabela 12.13 apresentam os fatores de segurança obtidos para as análises da Solução 02, considerando os quatro cenários de análise apresentados no item 12.1.1.2. Na sequência, a Tabela 12.14 a Tabela 12.21, apresentam o restante das análises, respectiva a Solução 03.



CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

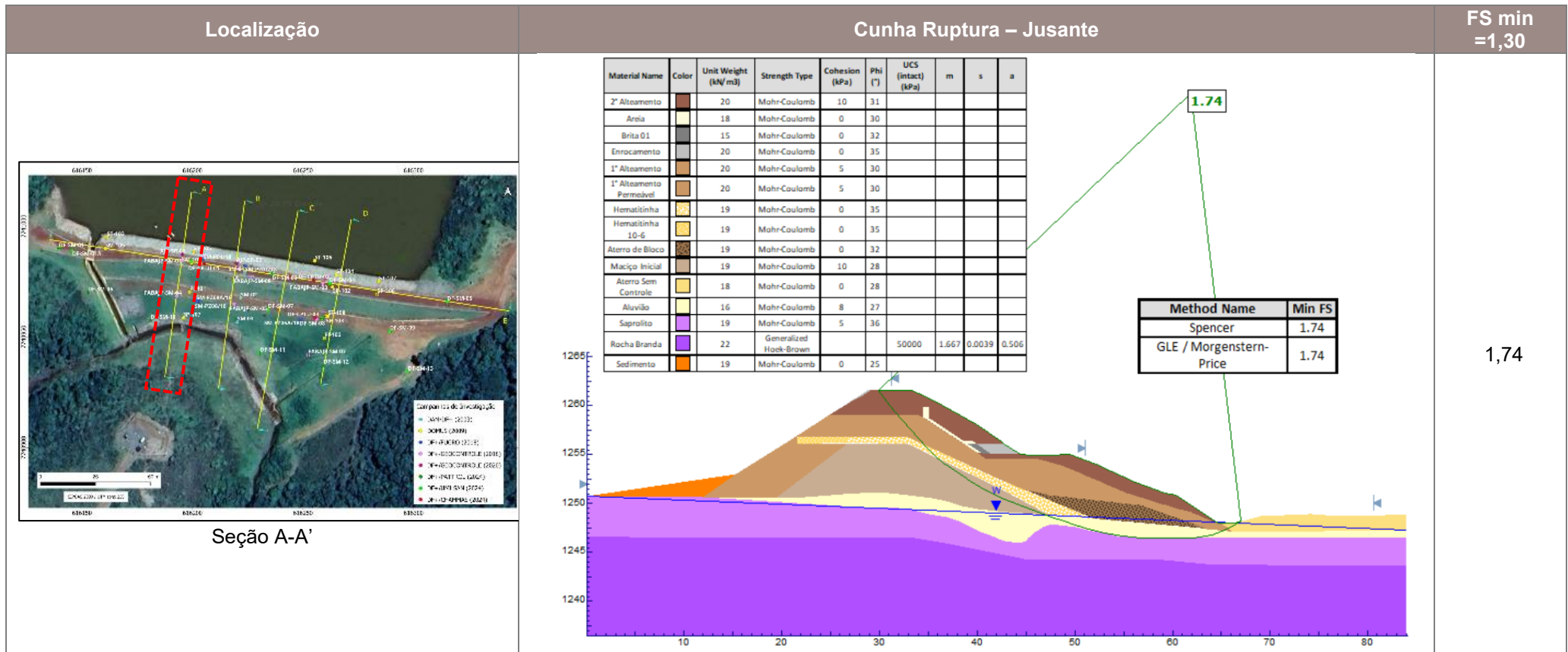
PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO  
- BARRAGEM ALTO JACUTINGA -  
S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE  
**RL-1850HH-X-40051**  
Nº (CONTRATADA)  
**DF23-C044-5-ENG-RTE-3579**

PÁGINA  
**58/100**  
REV.  
**0**

Tabela 12.2 – Fatores de Segurança Solução 01 – A Jusante – Seção A-A'





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

59/100

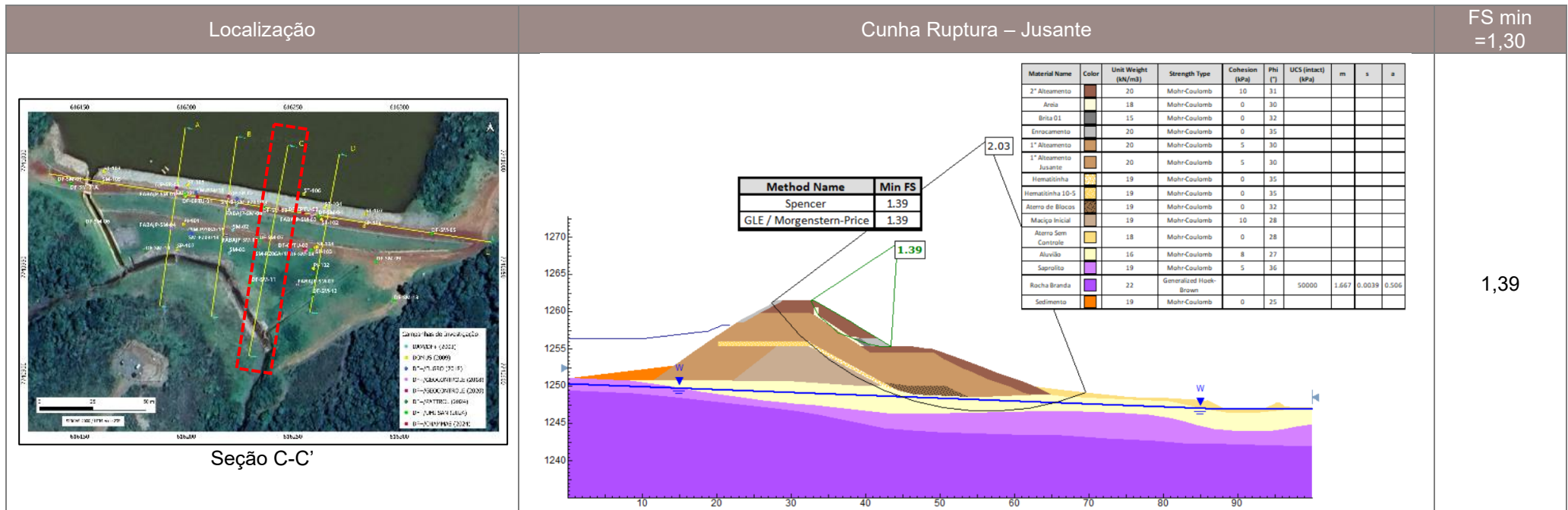
Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

Tabela 12.3 – Fatores de Segurança Solução 01 – A Jusante – Seção C-C'





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO  
JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

60/100

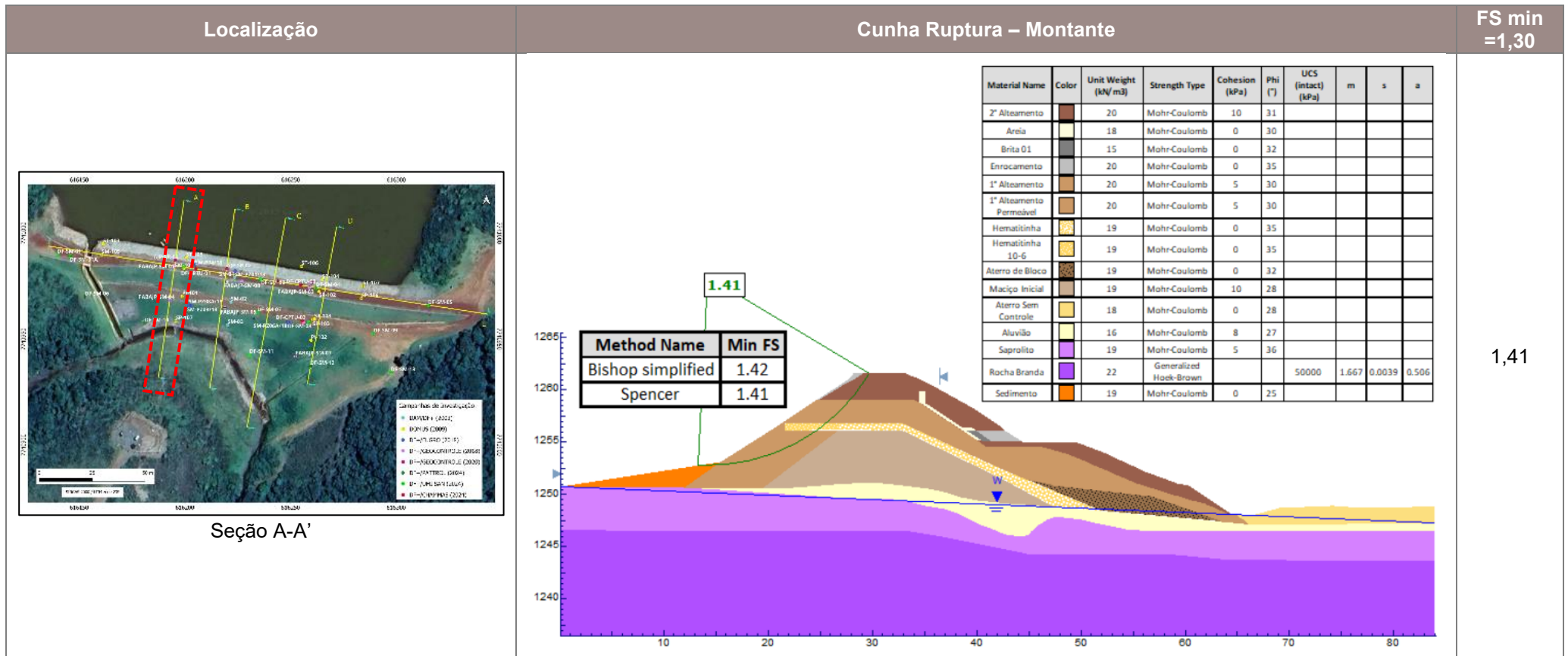
Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

Tabela 12.4 – Fatores de Segurança Solução 01 – A Montante – Seção A-A'





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO  
JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

61/100

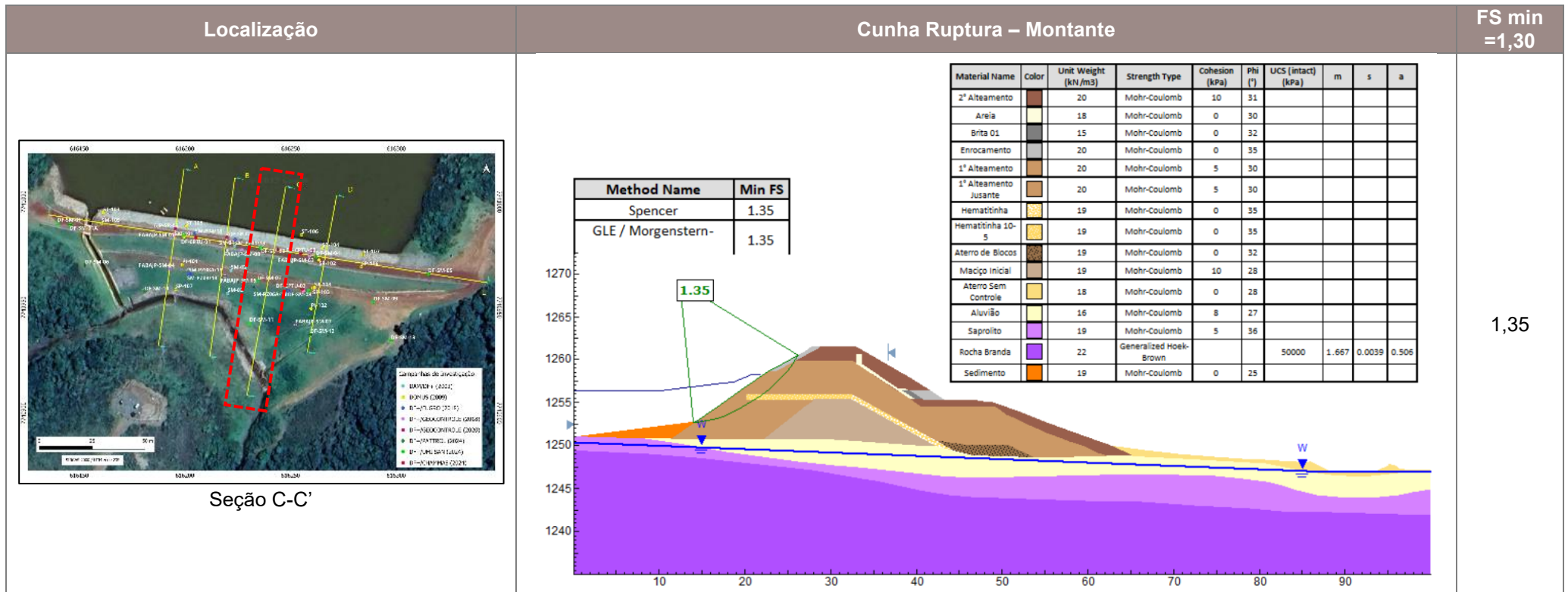
Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

Tabela 12.5 – Fatores de Segurança Solução 01 – A Montante – Seção C-C'





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

62/100

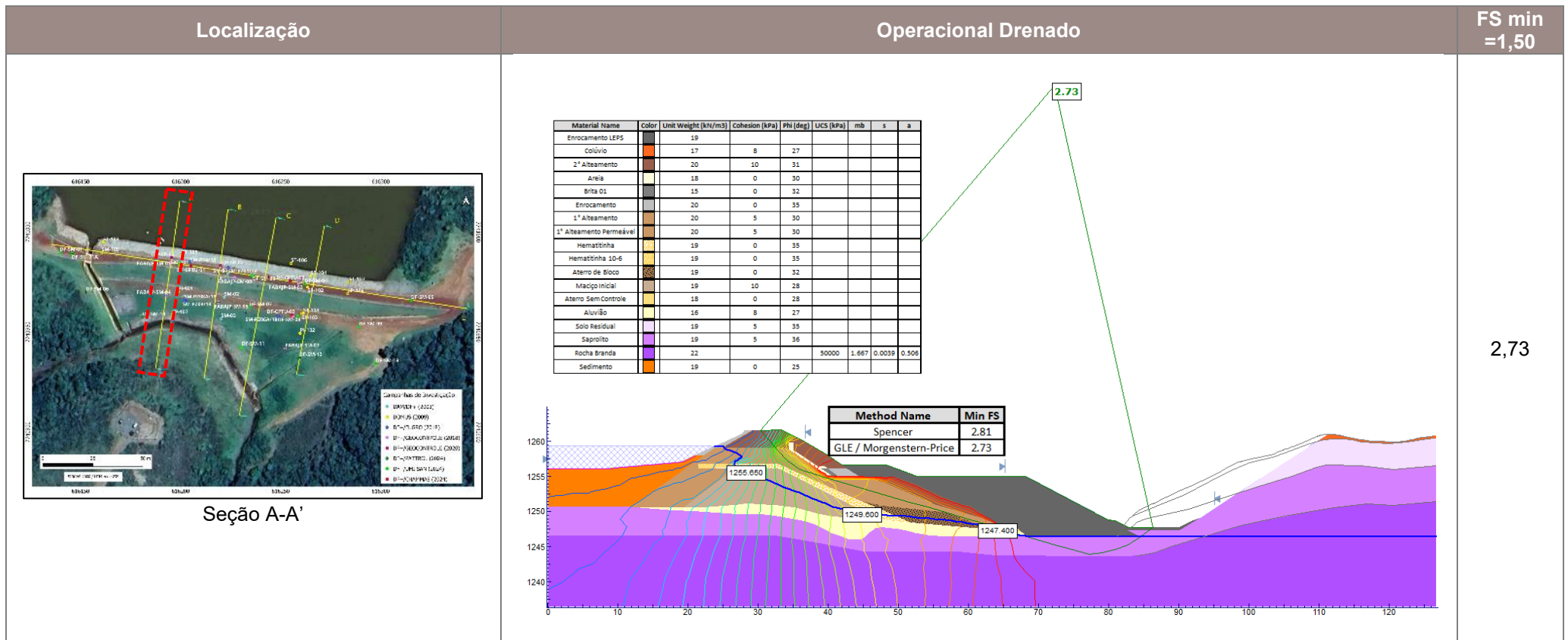
Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

Tabela 12.6 – Fatores de Segurança Solução 02 – Cenário Operacional Drenado – Seção A-A'





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO  
JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

63/100

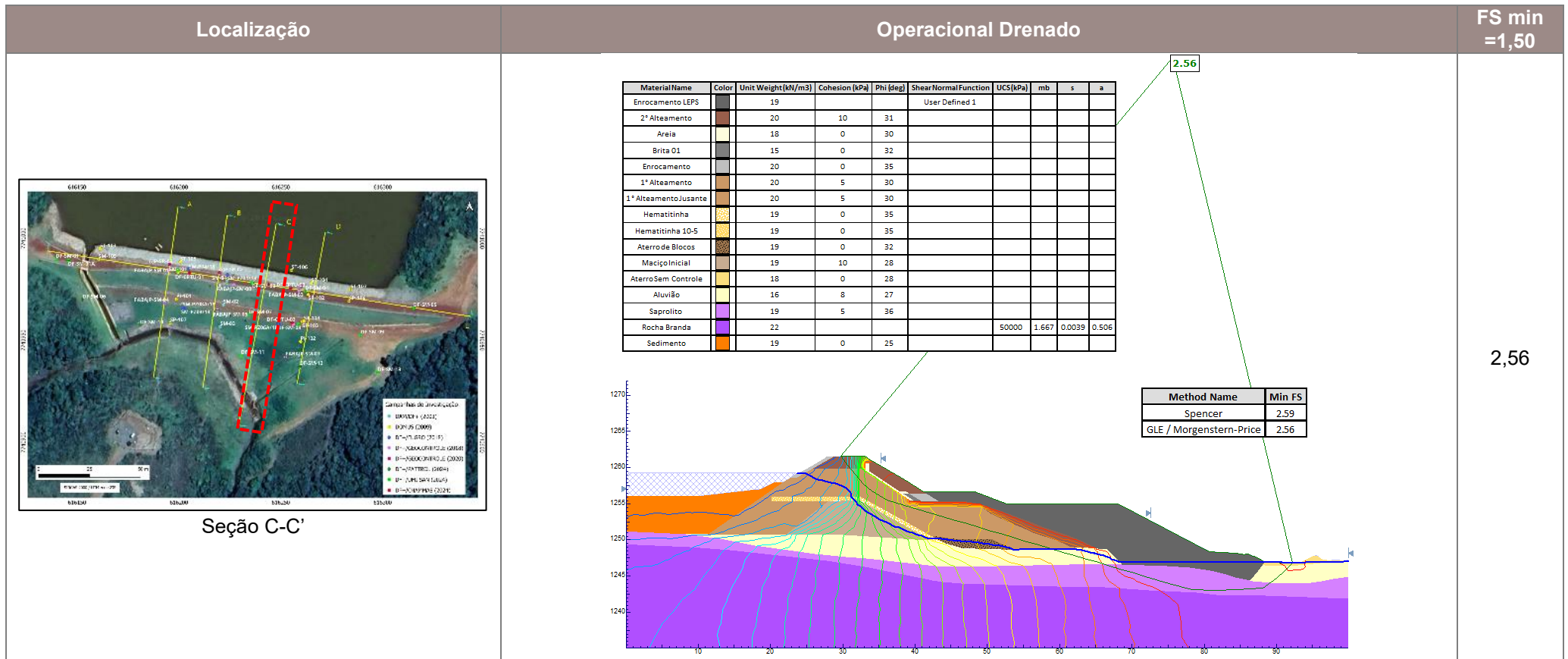
Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

Tabela 12.7 – Fatores de Segurança Solução 02 – Cenário Operacional Drenado – Seção C-C'





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

64/100

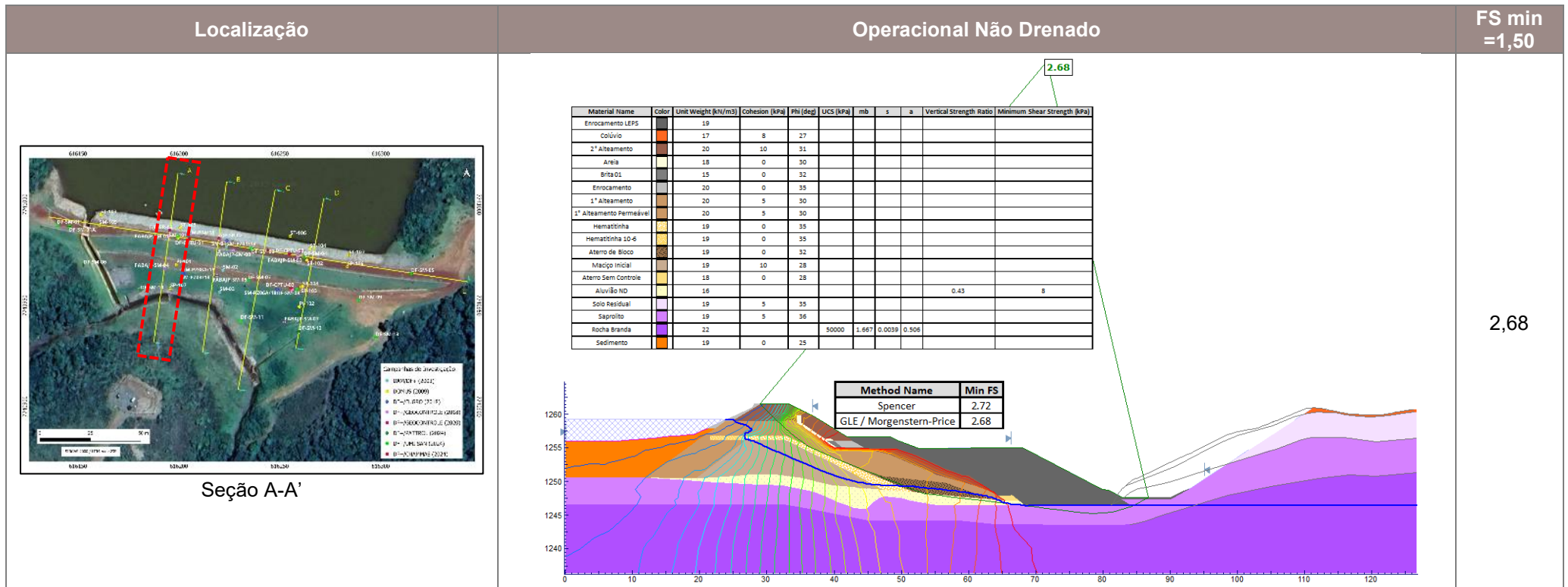
Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

Tabela 12.8 – Fatores de Segurança Solução 02 – Cenário Operacional Não Drenado – Seção A-A'





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

65/100

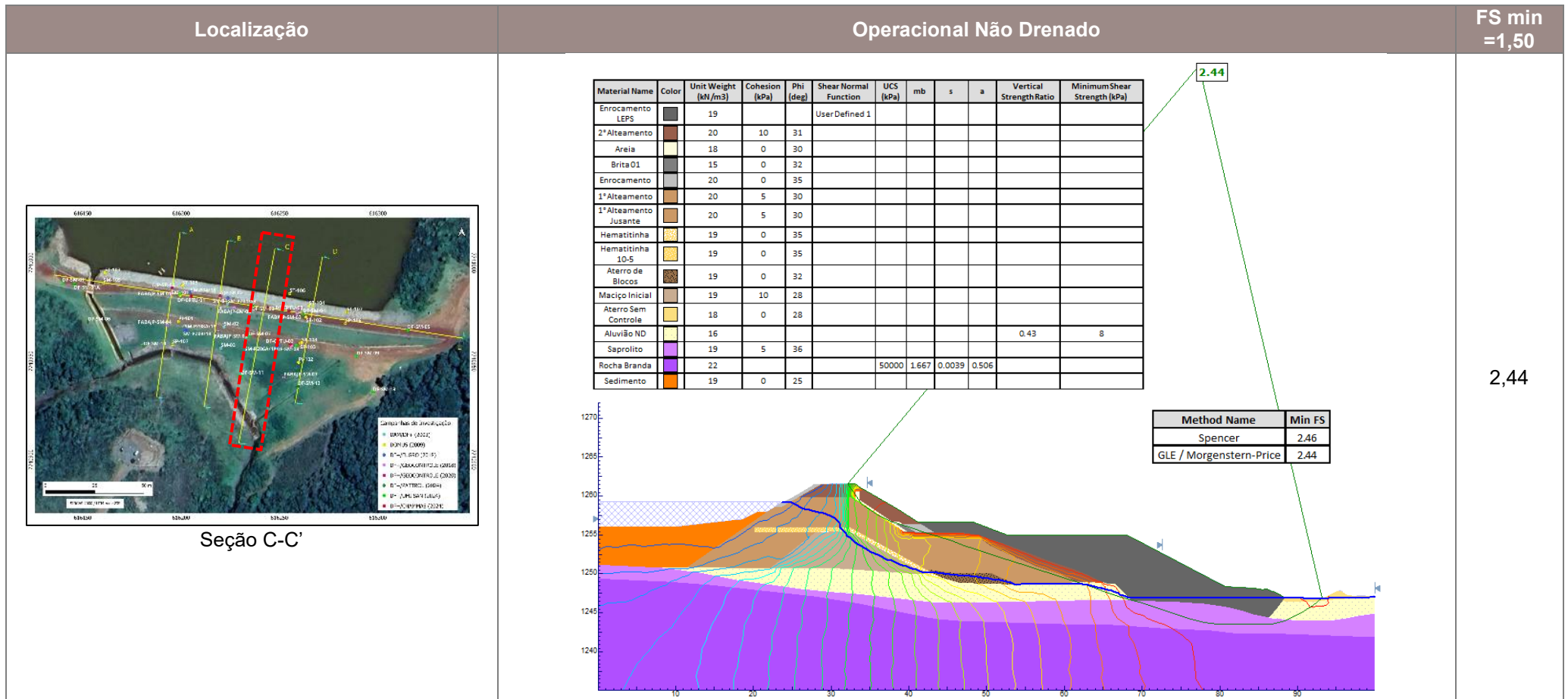
Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

Tabela 12.9 – Fatores de Segurança Solução 02 – Cenário Operacional Não Drenado – Seção C-C'





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

66/100

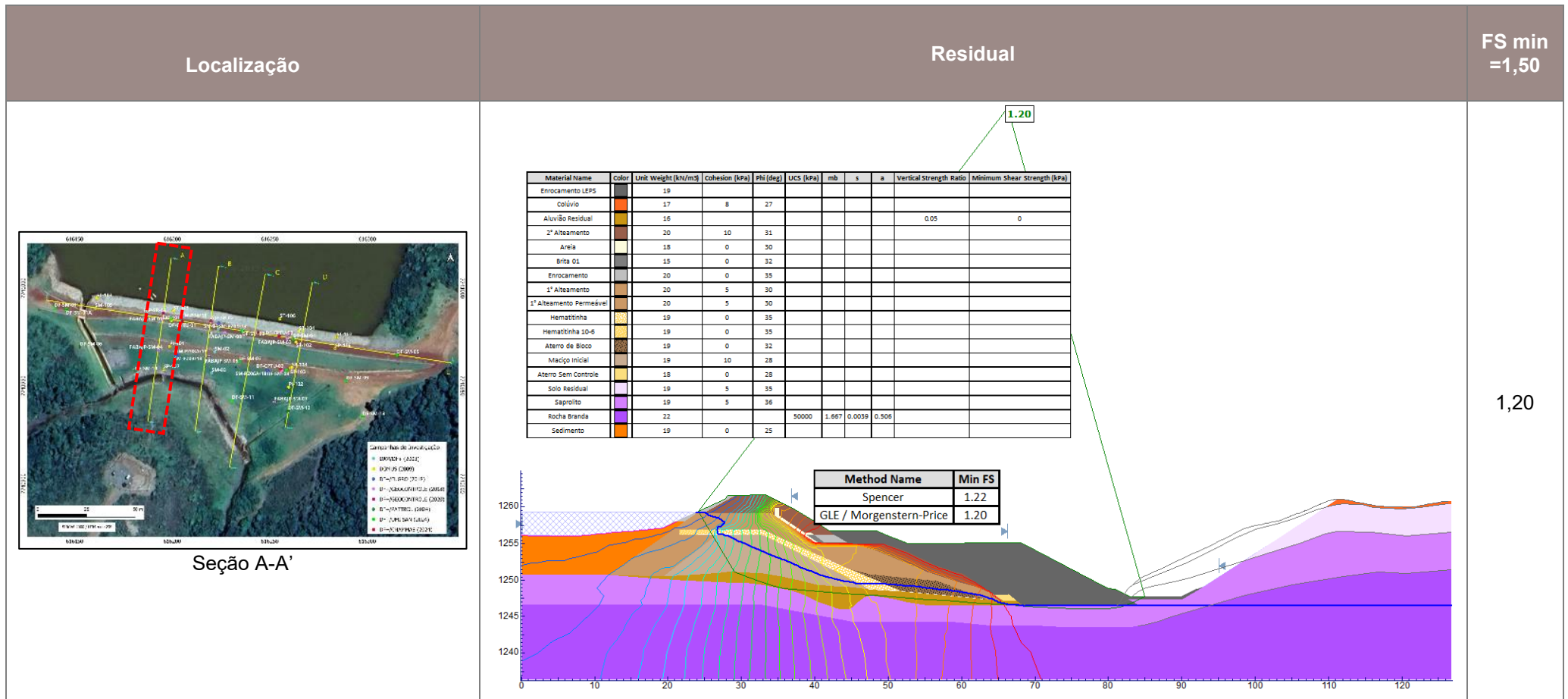
Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

Tabela 12.10 – Fatores de Segurança Solução 02 – Cenário Residual – Seção A-A'





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

67/100

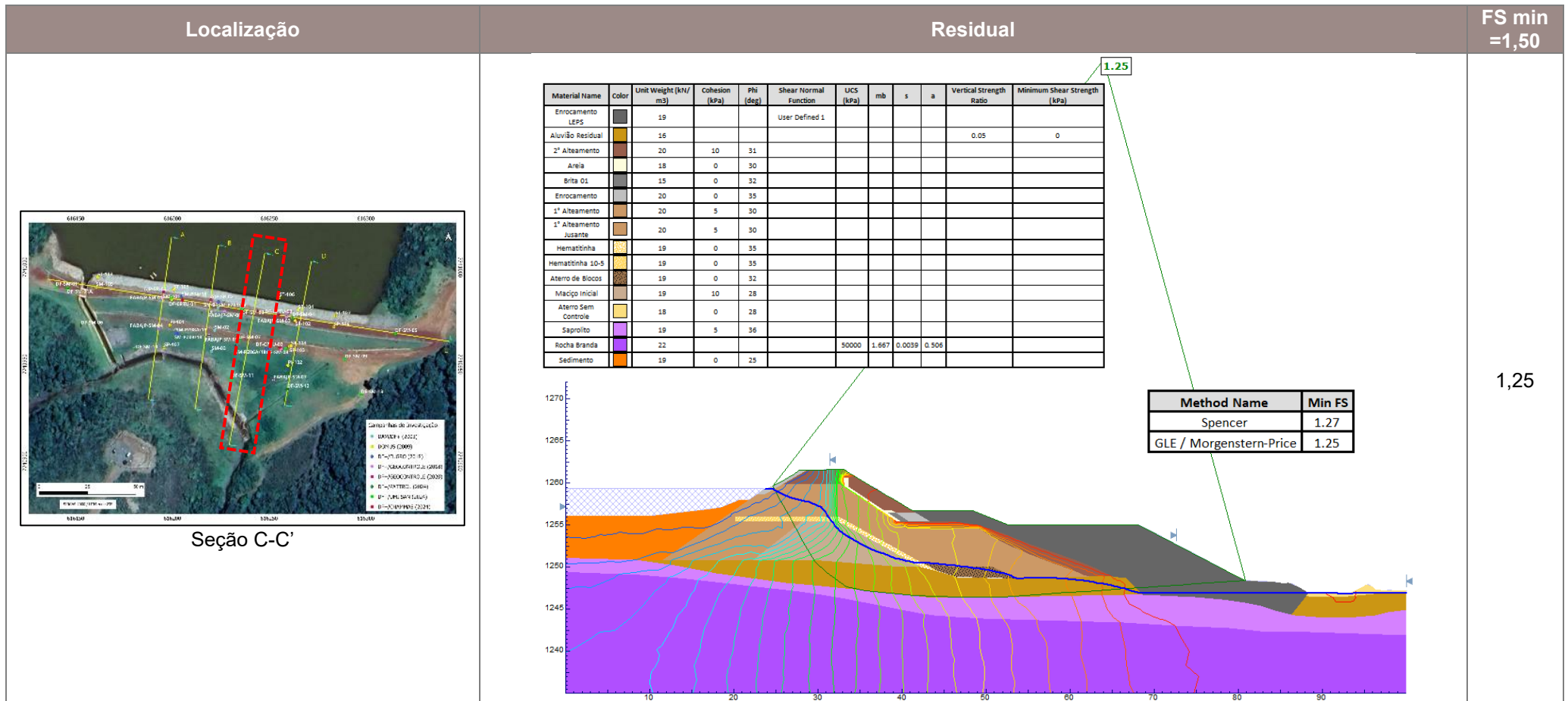
Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

Tabela 12.11 – Fatores de Segurança Solução 02 – Cenário Residual – Seção C-C'





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

68/100

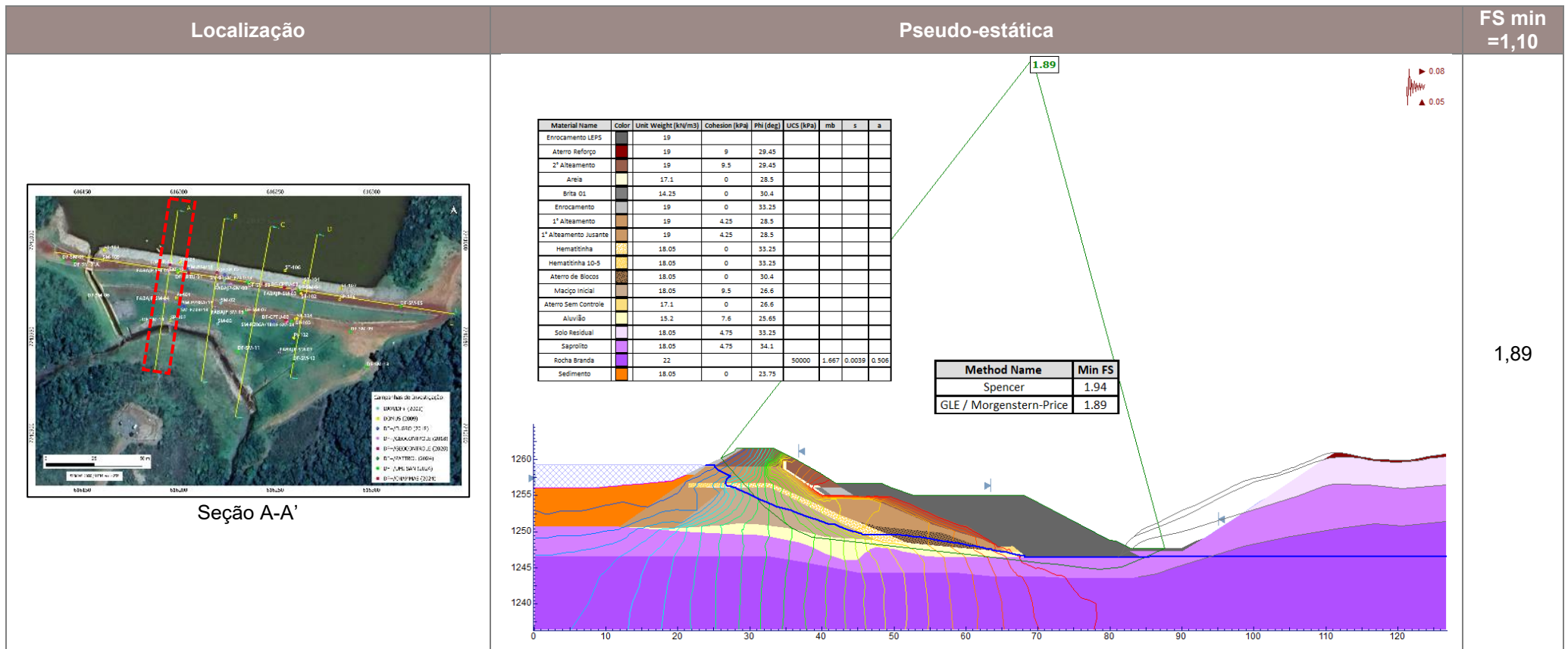
Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

Tabela 12.12 – Fatores de Segurança Solução 02 – Cenário Pseudo-estática – Seção A-A'





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

69/100

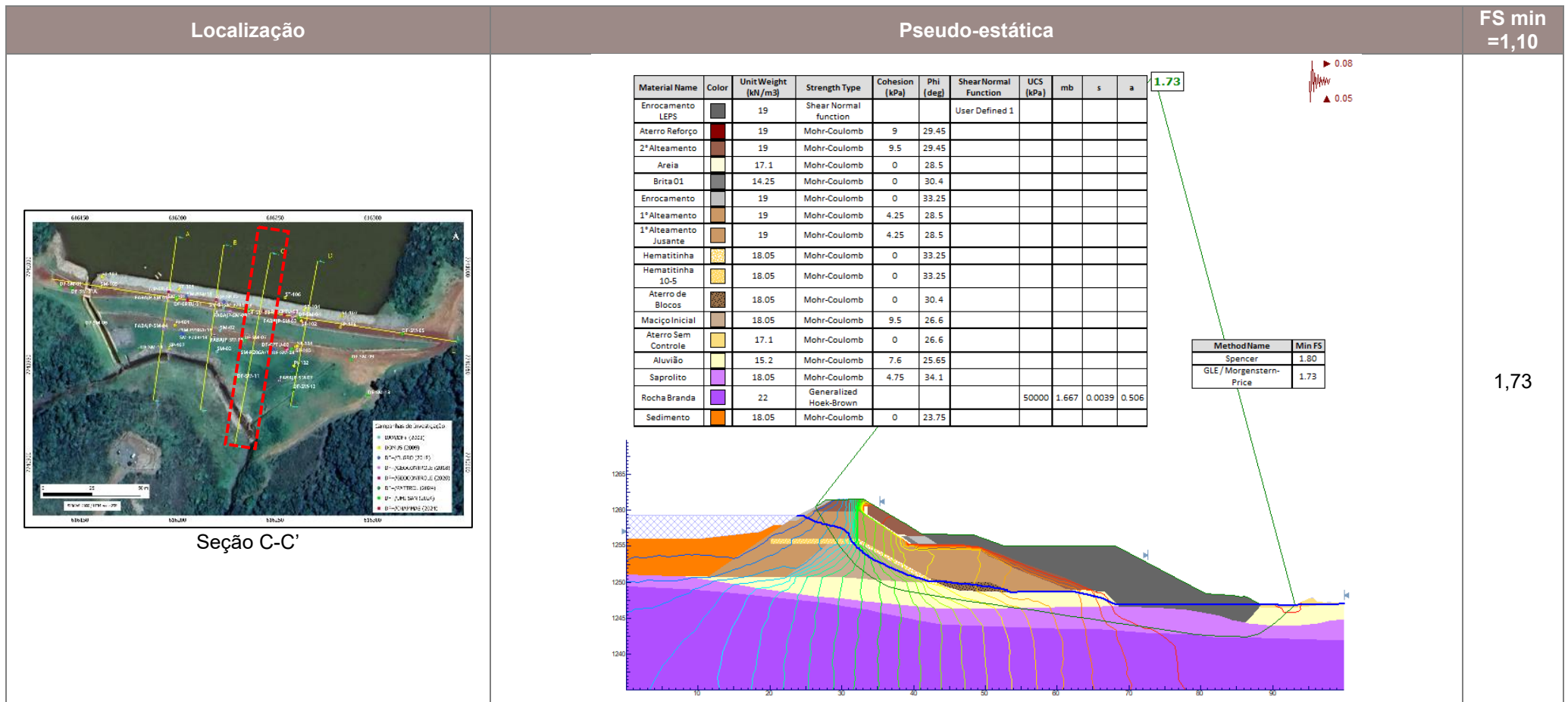
Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

Tabela 12.13 – Fatores de Segurança Solução 02 – Cenário Pseudo-estática – Seção C-C’





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

70/100

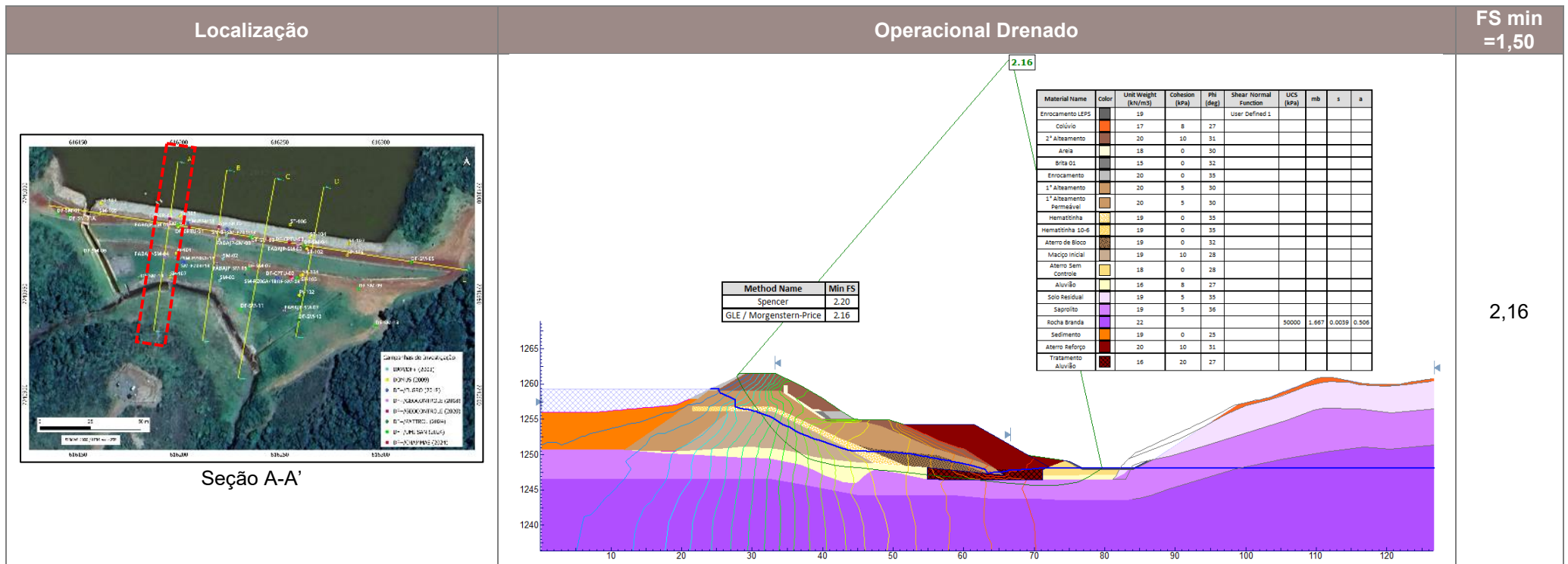
Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

Tabela 12.14 – Fatores de Segurança Solução 03 – Cenário Operacional Drenado – Seção A-A'





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

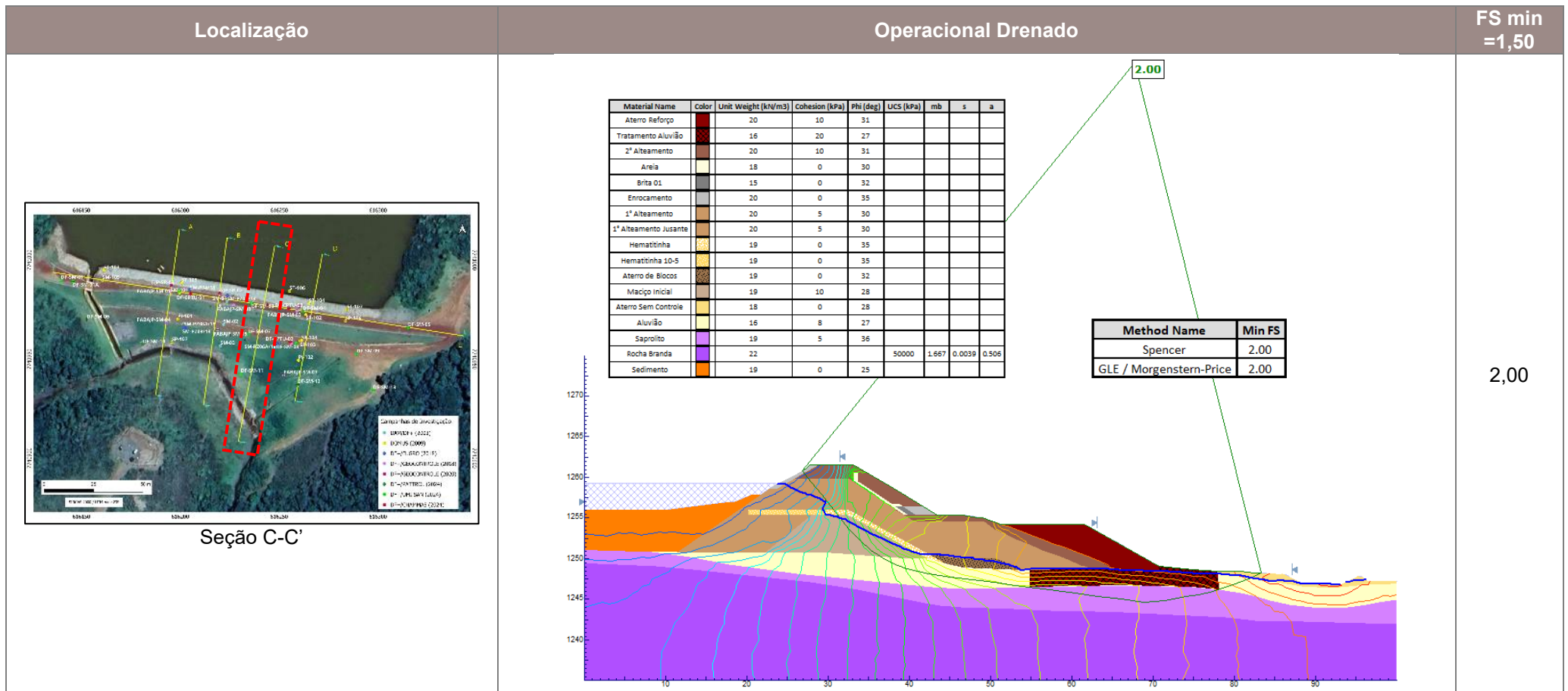
PÁGINA

71/100

REV.

0

Tabela 12.15 – Fatores de Segurança Solução 03 – Cenário Operacional Drenado – Seção C-C’





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

72/100

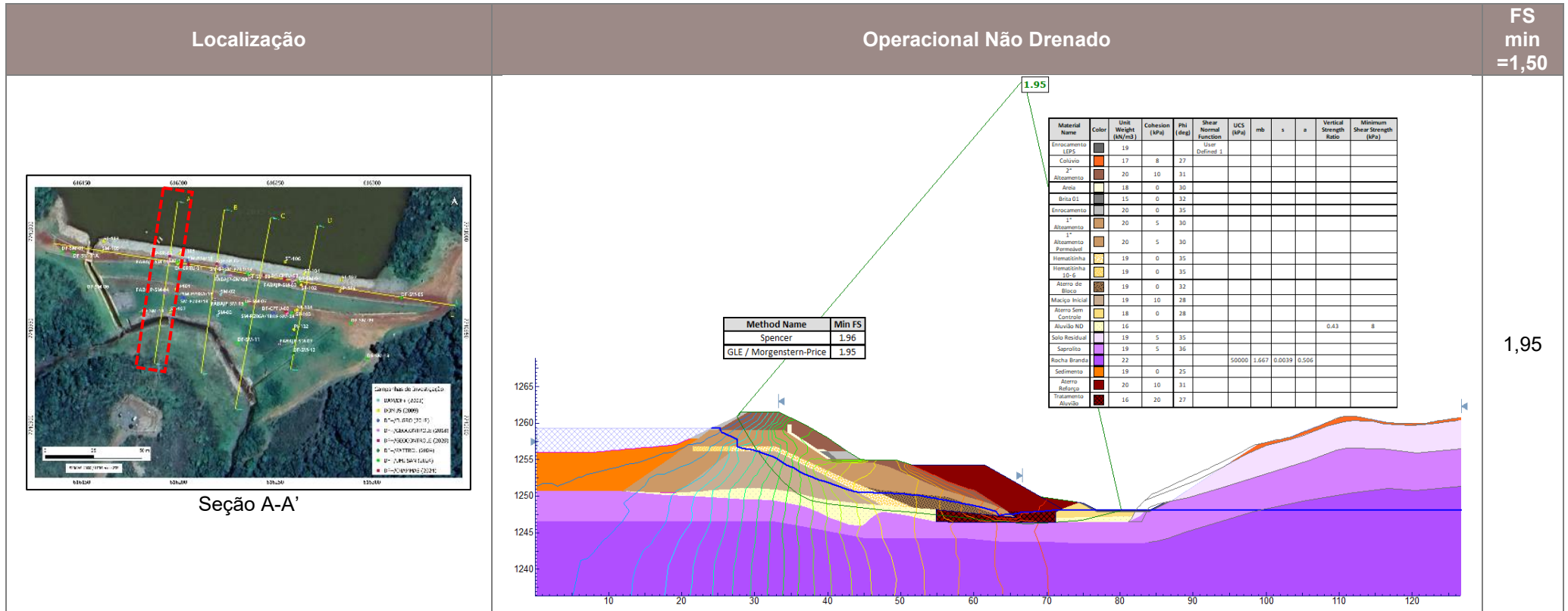
Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

Tabela 12.16 – Fatores de Segurança Solução 03 – Cenário Operacional Não Drenado – Seção A-A'





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

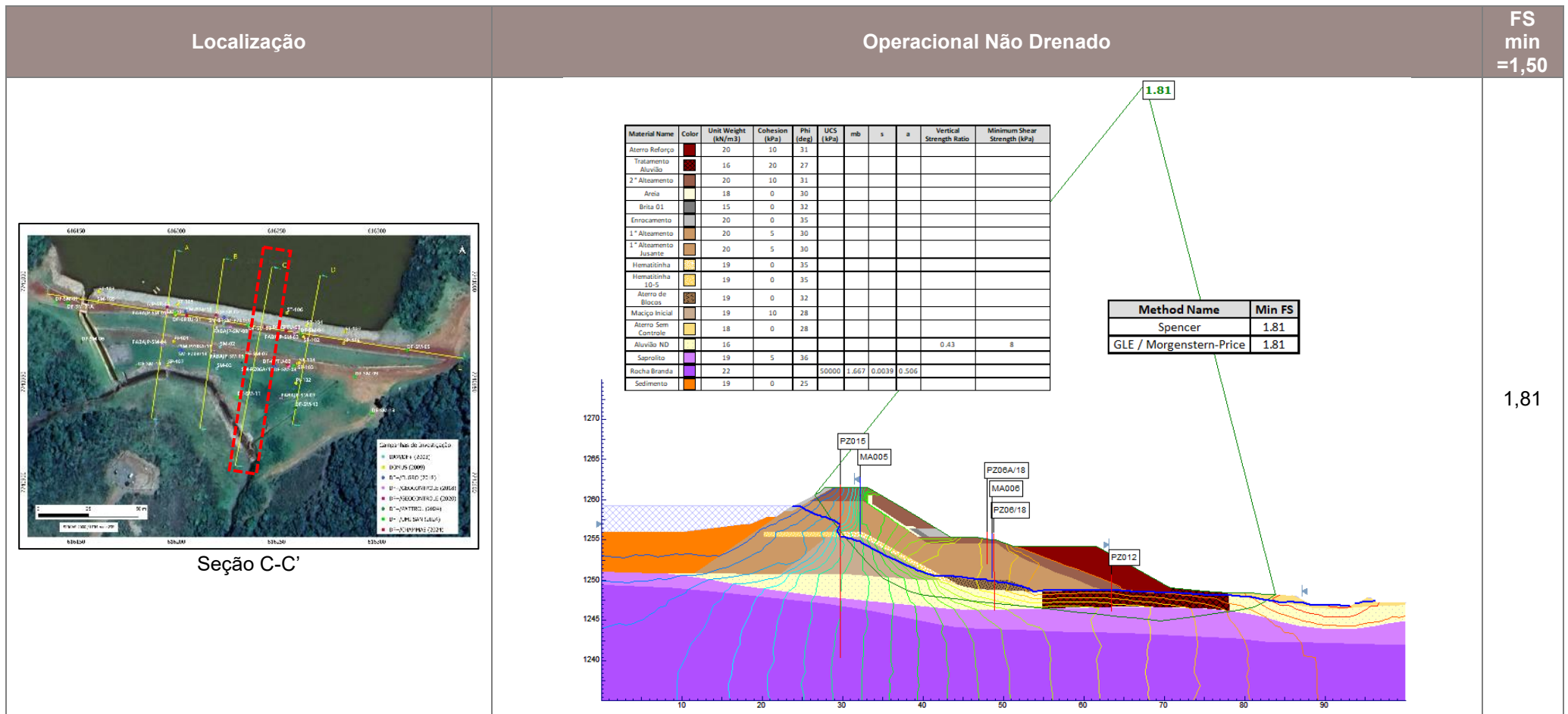
PÁGINA

73/100

REV.

0

Tabela 12.17 – Fatores de Segurança Solução 03 – Cenário Operacional Não Drenado – Seção C-C'





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO  
JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

74/100

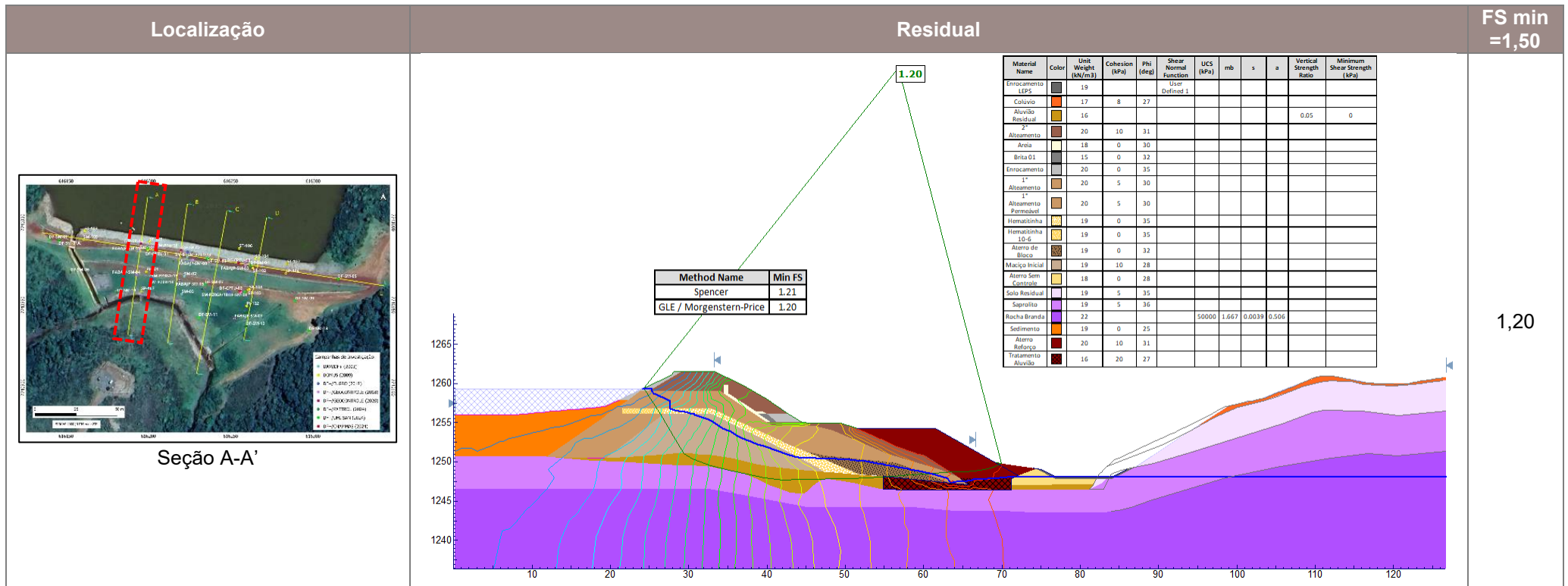
Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

Tabela 12.18 – Fatores de Segurança Solução 03 – Cenário Residual – Seção A-A'





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

75/100

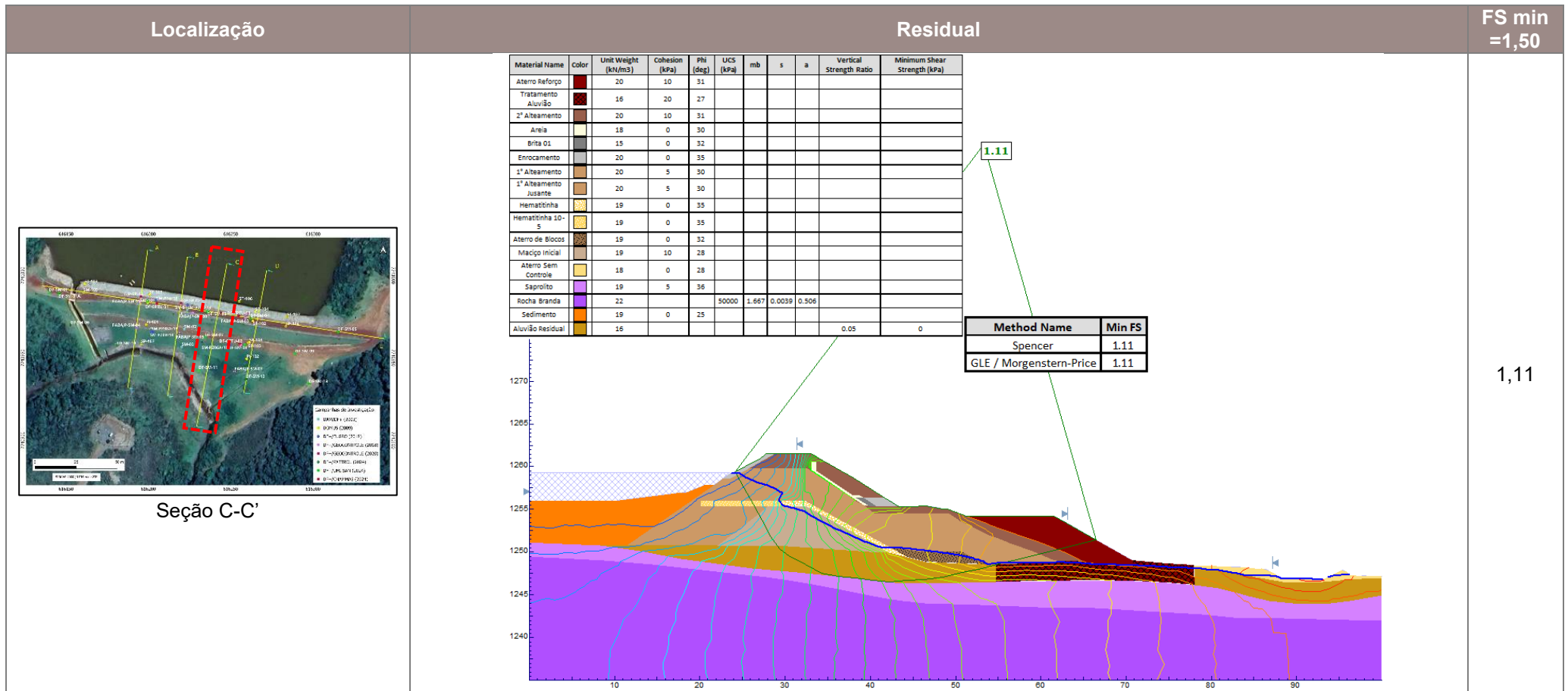
Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

Tabela 12.19 – Fatores de Segurança Solução 03 – Cenário Residual – Seção C-C'





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

76/100

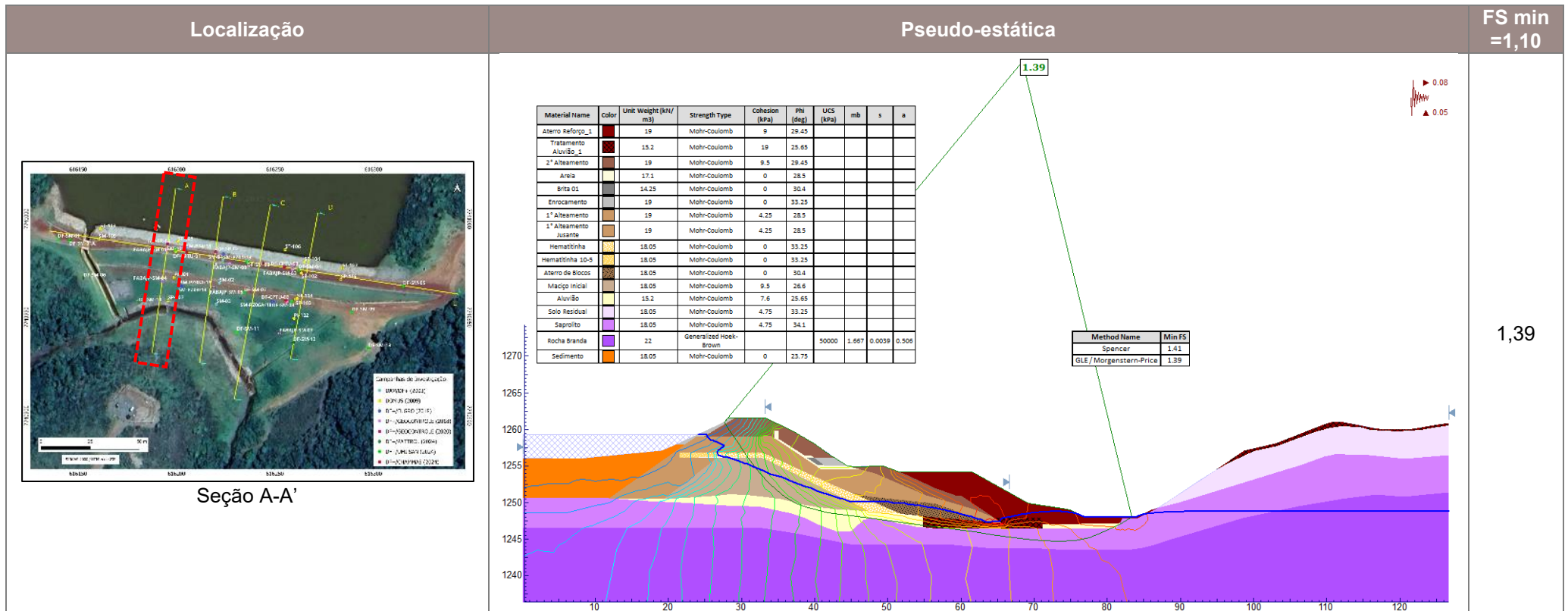
Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

Tabela 12.20 – Fatores de Segurança Solução 03 – Cenário Pseudo-estática – Seção A-A'





CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40051

PÁGINA

77/100

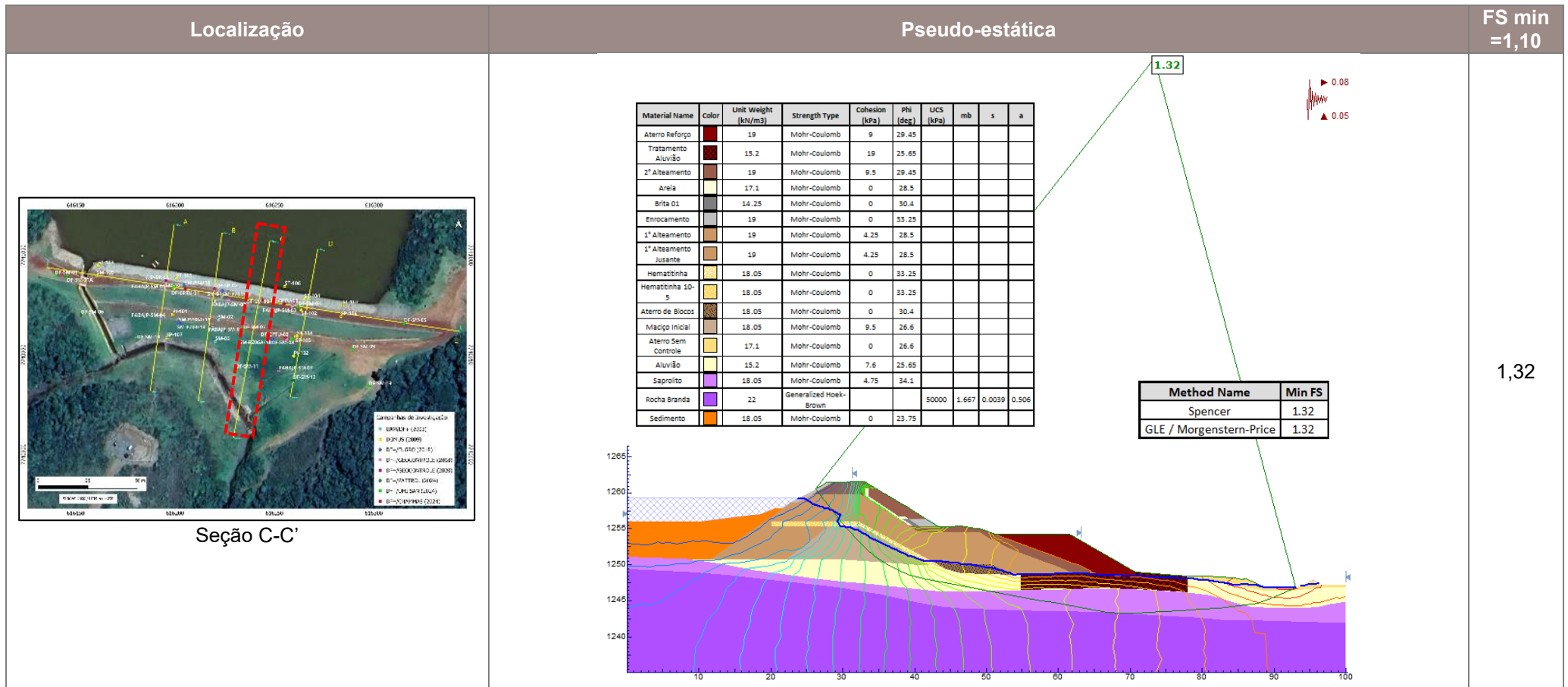
Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3579

REV.

0

Tabela 12.21 – Fatores de Segurança Solução 03 – Cenário Pseudo-estática – Seção C-C’



		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>78/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

## 12.2 VERIFICAÇÕES HIDROLÓGICAS E HIDRÁULICAS DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS

Dentre as alternativas estudadas no presente projeto, são avaliados dois conceitos que envolvem o reforço ou a descaracterização da barragem Alto Jacutinga. Sendo assim, nos itens subsequentes serão apresentadas as verificações hidrológicas e hidráulicas, particulares às alternativas de reforço ou à alternativa de descaracterização.

### 12.2.1 Solução 1: Descaracterização Total

Um dos objetivos da descaracterização de barragens é a retomada da condição natural autorregulada dos sistemas fluviais (MORRIS e FAN, 1998). Adicionalmente, conforme indicado no Art. 2º, parágrafo VIII da Resolução ANM nº 95/2022, classifica-se como barragem descaracterizada a *“estrutura que não recebe, permanentemente, aporte de rejeitos e/ou sedimentos oriundos de sua atividade fim, a qual deixa de possuir características ou de exercer função de barragem, de acordo com projeto técnico”*.

Sendo assim, tendo em vista a retomada da condição de autorregulação do sistema fluvial da região, bem como limitar a contribuição do escoamento superficial e mitigar a acumulação de água no atual reservatório de Alto Jacutinga, neste projeto foram indicados canais do tipo espinha de peixe para direcionar o escoamento superficial.

Para definir e otimizar o eixo dos canais do tipo espinha de peixe, foi elaborado um modelo digital de elevação local, posteriormente utilizado para verificar a região de acúmulo de células de fluxo. Na Figura 12.4 são apresentadas as linhas de fluxo adotadas como orientação para o início dos canais do tipo espinha de peixe.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>79/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

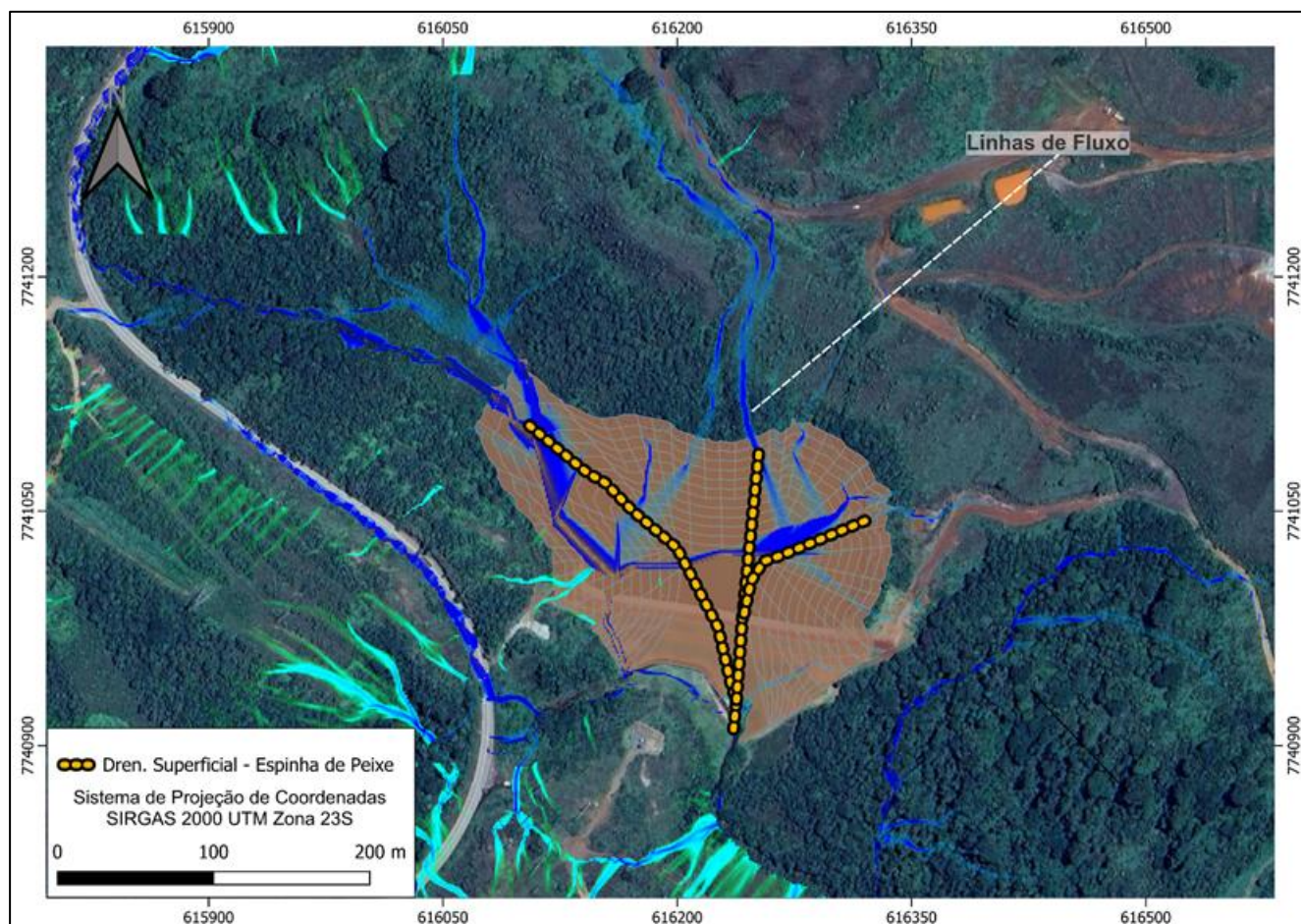


Figura 12.4 – Mapa de acúmulos de células de fluxo adotado para determinar eixo dos canais espinha de peixe.

Para dimensionar os dispositivos hidráulicos envolvidos na solução de descaracterização, foram adotadas as vazões afluentes críticas, determinadas nos modelos hidrológicos para as regiões da barragem Alto Jacutinga e do Córrego do Meio. Os resultados das vazões afluentes ao Córrego do Meio para TRs 5 e 10.000 anos, adotadas para projetar os leitos menor e maior dos canais, respectivamente, são apresentados na Tabela 12.22 e na Tabela 12.23.

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>80/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Tabela 12.22 – Resultado das vazões afluentes ao Córrego do Meio – 5 anos.

Duração	Vazão Afluente (m³/s)
1 hora	3,61
2 horas	4,85
3 horas	4,95
4 horas	4,78
6 horas	4,33
8 horas	5,36
10 horas	4,90
12 horas	4,52
<b>18 horas</b>	<b>5,46</b>
24 horas	4,55

Tabela 12.23 – Resultado das vazões afluentes ao Córrego do Meio – 10.000 anos.

Duração	Vazão Afluente (m³/s)
1 hora	42,06
<b>2 horas</b>	<b>47,95</b>
3 horas	45,65
4 horas	42,48
6 horas	36,97
8 horas	37,76
10 horas	33,33
12 horas	29,87
18 horas	29,86
24 horas	24,06

Para dimensionar os leitos menor e maior dos canais do tipo espinha de peixe, foram adotados os resultados das vazões afluentes à área da barragem Alto Jacutinga, para TRs 5 e 10.000 anos, respectivamente. Estes valores de vazão afluente são apresentados na Tabela 12.24 e na Tabela 12.25

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>81/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Tabela 12.24 – Resultado das vazões afluentes à região do reservatório de Alto Jacutinga – 5 anos.



Duração	Vazão Afluente (m³/s)
1 hora	1,68
2 horas	2,32
3 horas	2,35
4 horas	2,24
6 horas	1,99
8 horas	2,53
10 horas	2,29
12 horas	2,09
<b>18 horas</b>	<b>2,66</b>
24 horas	2,21

Tabela 12.25 – Resultado das vazões afluentes à região do reservatório de Alto Jacutinga – 10.000 anos.

Duração	Vazão Afluente (m³/s)
1 hora	23,12
<b>2 horas</b>	<b>25,13</b>
3 horas	23,50
4 horas	21,66
6 horas	18,59
8 horas	18,65
10 horas	16,36
12 horas	14,61
18 horas	14,89
24 horas	12,04

Na Figura 12.5 é apresentado o arranjo geral das soluções hidráulicas propostas no contexto da descaracterização de Alto Jacutinga. Para a seção hidráulica do córrego do meio, o leito menor foi dimensionado em função da vazão afluente crítica expressa na Tabela 12.22. Já o leito maior foi dimensionado em função da vazão afluente crítica expressa Tabela 12.23.

Para o dimensionamento da seção hidráulica dos canais do tipo espinha de peixe, foi adotada a vazão afluente crítica expressa na Tabela 12.24 para o leito menor e na Tabela 12.25 para o leito maior.

		CLASSIFICAÇÃO:	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>	
		RESTRITA	Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>82/100</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº (CONTRATADA)	REV. <b>0</b>	
		<b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>		

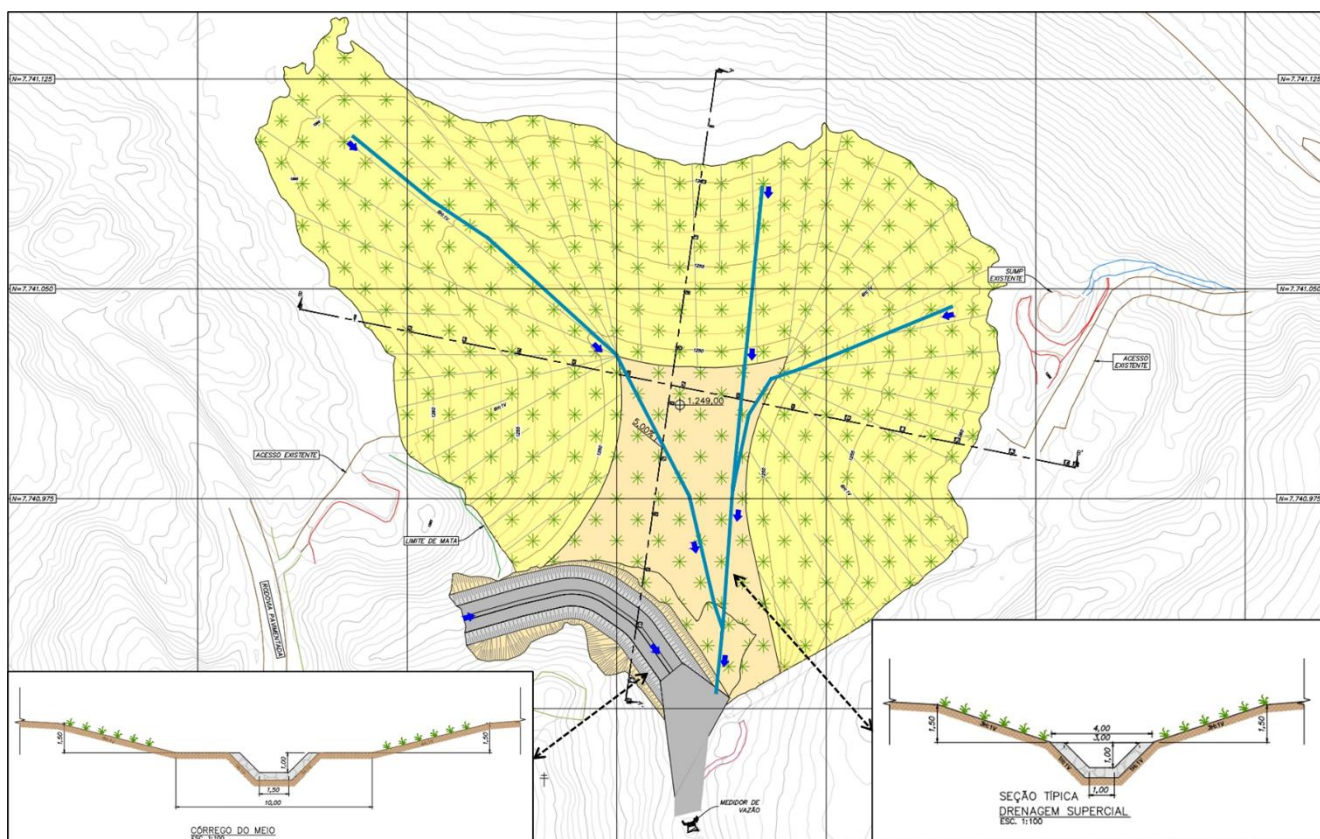



Figura 12.5 – Arranjo geral de canais do tipo espinha de peixe e de restauração do Córrego do Meio considerando a descaracterização de Alto Jacutinga.  
Fonte: 1850HH-X-42441 (DF+, 2025)

Com relação ao aporte de sedimentos a jusante, associado à remoção da barragem Alto Jacutinga, conforme observado no mapa de uso e ocupação do solo (Figura 10.2), a bacia de contribuição apresenta uso predominante associado à PDE e às áreas vegetadas.

Nesse sentido, considerando o cenário de descaracterização da barragem Alto Jacutinga, estimou-se o aporte de sedimentos adicional em Barragem Barnabé 1, situada na extremidade de jusante do sistema em cascata. Foram consideradas taxas de produção de sedimentos embasadas em publicações científicas (Baptista et al., 2017; Beskow et al., 2009; EPA, 1976), apresentadas na Tabela 12.26.

Tabela 12.26 – Caracterização e aporte anual de sedimentos na Barragem Barnabé 1 considerando a descaracterização de Alto Jacutinga

Uso e ocupação do solo	Taxa de produção de sedimentos admitida	Área ha	Volume de sedimentos produzido anualmente m <sup>3</sup>
	m <sup>3</sup> /ha.ano		
Cava, Solo Exposto	600	2,85	1.710
Pilha, urban., campo sujo e pastagem	300	65,4	19.620

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>83/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Uso e ocupação do solo	Taxa de produção de sedimentos admitida	Área	Volume de sedimentos produzido anualmente
	m³/ha.ano	ha	m³
Vegetação densa	30	10,87	326
		<b>TOTAL</b>	<b>21.656</b>

Conforme apresentado na Tabela 12.26, estima-se um aporte de sedimentos anual de aproximadamente 21.656 m<sup>3</sup>, sendo este valor inferior ao volume de espera disponível no reservatório abaixo da elevação da soleira de Barnabé 1 (305.362 m<sup>3</sup>), conforme apresentado no Relatório de Inspeção Regular – RISR (RL-1850HH-X-39795 – DF+, 2025). Considerando que o tempo de residência necessário para a sedimentação em ambiente lêntico ocorre nos domínios do volume de espera, tem-se que, para as condições futuras projetadas, o balanço de massa adicional provocado pela descaracterização de Alto Jacutinga não compromete o estudo de trânsito de cheias e de retenção de sedimentos da Barragem Barnabé 1.

### 12.2.2 Soluções 2 e 3: Reforço do Maciço

Para as soluções que envolveram reforçar o maciço e manter a função de amortecimento da barragem Alto Jacutinga, foi necessário verificar a confluência entre as vazões provenientes do Córrego do Meio e do extravasor da barragem em um modelo hidráulico bidimensional para o TR 500 anos.

Para que fossem estabelecidas as condições de contorno e as vazões de entrada da modelagem bidimensional da confluência entre o Córrego do Meio e a restituição da barragem Alto Jacutinga, foram extraídos os hidrogramas de saída da modelagem hidrológica apresentada no item 10.1.

Os referidos hidrogramas de saída, adotados como condição de contorno para o desenvolvimento da modelagem bidimensional da confluência entre o Córrego do Meio e a restituição da barragem Alto Jacutinga são apresentados na Figura 12.6. Adicionalmente, a vazão resultante da confluência entre esses hidrogramas de saída é expressa na Tabela 12.27.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>84/100</b>
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

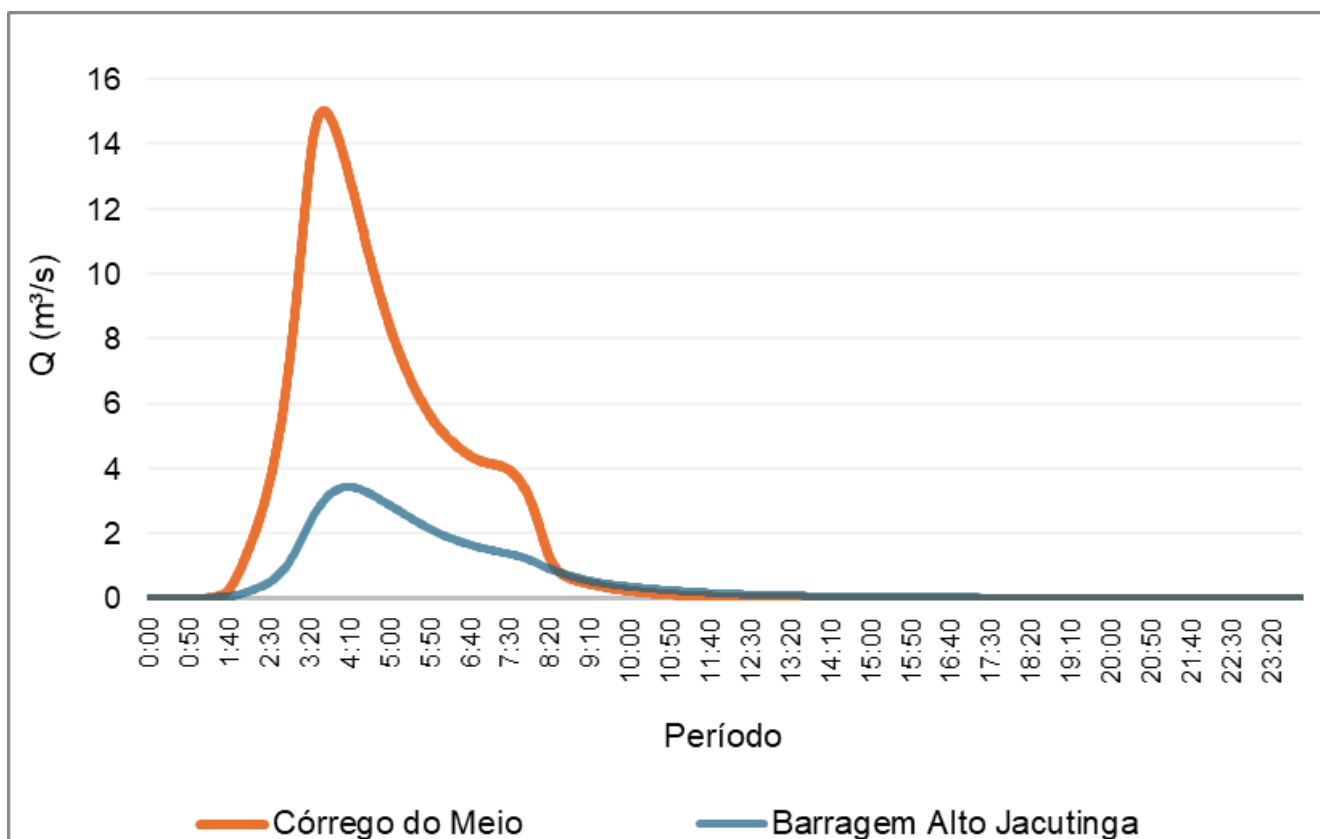


Figura 12.6 – Hidrogramas de saída da barragem Alto Jacutinga e do Córrego do Meio TR 500 – 8 horas.

Tabela 12.27 – Resultado das vazões afluentes ao Córrego do Meio – 500 anos.

Duração	Elevação (m)	Vazão Afluente (m³/s)
1 hora	1283,79	13,37
<b>2 horas</b>	<b>1284,00</b>	<b>16,43</b>
3 horas	1284,06	16,24
4 horas	1284,06	15,45
6 horas	1284,02	13,77
8 horas	1284,13	16,14
10 horas	1284,08	14,63
12 horas	1284,03	13,38
18 horas	1284,06	14,56
24 horas	1283,95	11,84

Na Figura 12.7 e na Figura 12.8 são apresentados os arranjos gerais das soluções hidráulicas propostas no contexto de reforço de Alto Jacutinga, considerando as soluções 2 e 3. É

		CLASSIFICAÇÃO:	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>	
		RESTRITA	Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>85/100</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº (CONTRATADA)	REV.	
		<b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	<b>0</b>	

importante destacar que o canal de restauração do Córrego do Meio é igual para ambas as soluções. Para a seção hidráulica do Córrego do Meio, o canal foi dimensionado em função da vazão afluente crítica correspondente ao TR de 500 anos expressa na Tabela 12.27.

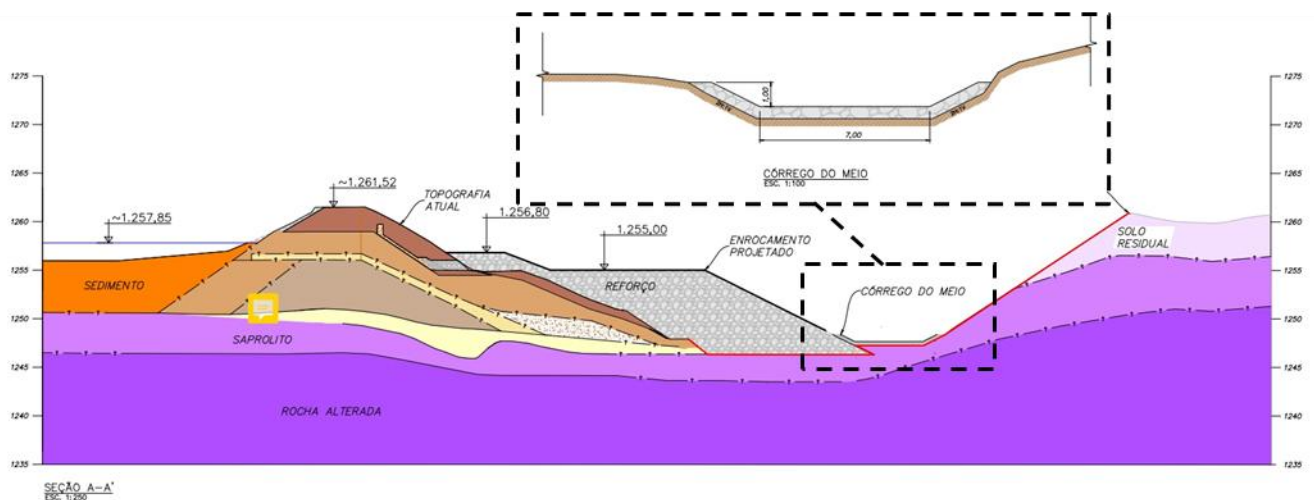


Figura 12.7 – Arranjo geral do canal de restauração do Córrego do Meio considerando a solução 2 do reforço de Alto Jacutinga.

Fonte: 1850HH-X-42445 (DF+, 2025)

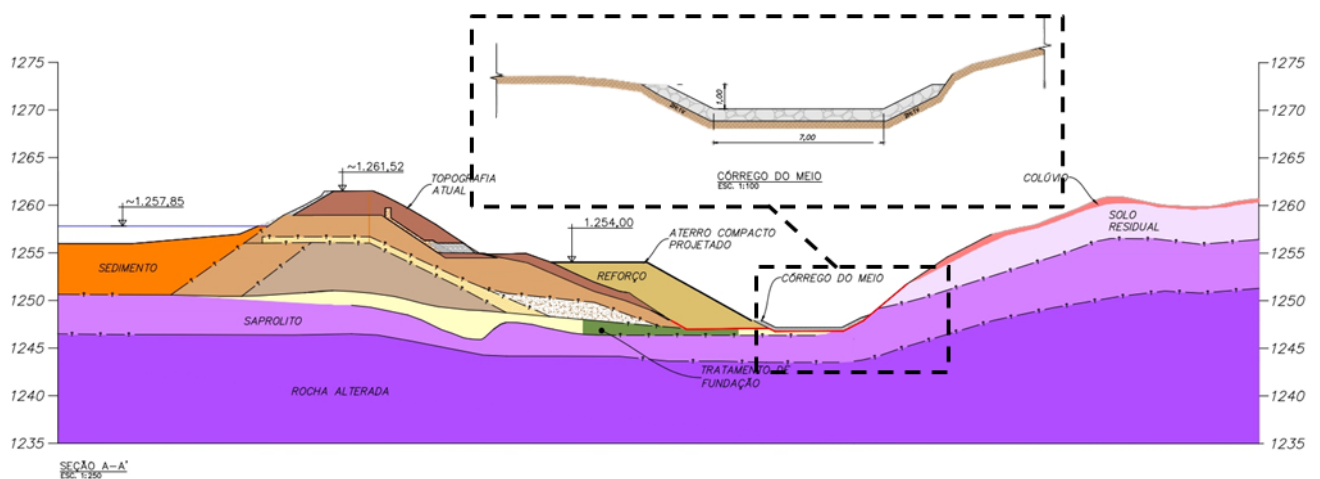


Figura 12.8 – Arranjo geral do canal de restauração do Córrego do Meio considerando a solução 3 do reforço de Alto Jacutinga.

Fonte: 1850HH-X-42448 (DF+, 2025)

Na Figura 12.9 são apresentados os resultados obtidos para profundidades na simulação do dispositivo hidráulico destinado à restauração do Córrego do Meio, para as Soluções 2 e 3, considerando os hidrogramas afluentes do TR de 500 anos, com destaque para a profundidade máxima da lâmina de água no canal. De maneira análoga, na Figura 12.10 são apresentadas as velocidades assumidas pela lâmina de água.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>86/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Conforme ilustrado na referida figura, a profundidade no Córrego do Meio não excede os limites da calha do canal, projetado em enrocamento. Adicionalmente, fica indicado pelas linhas de fluxo, que o maciço da barragem não seria atingido pela água diante da passagem da lâmina associada à vazão de projeto.

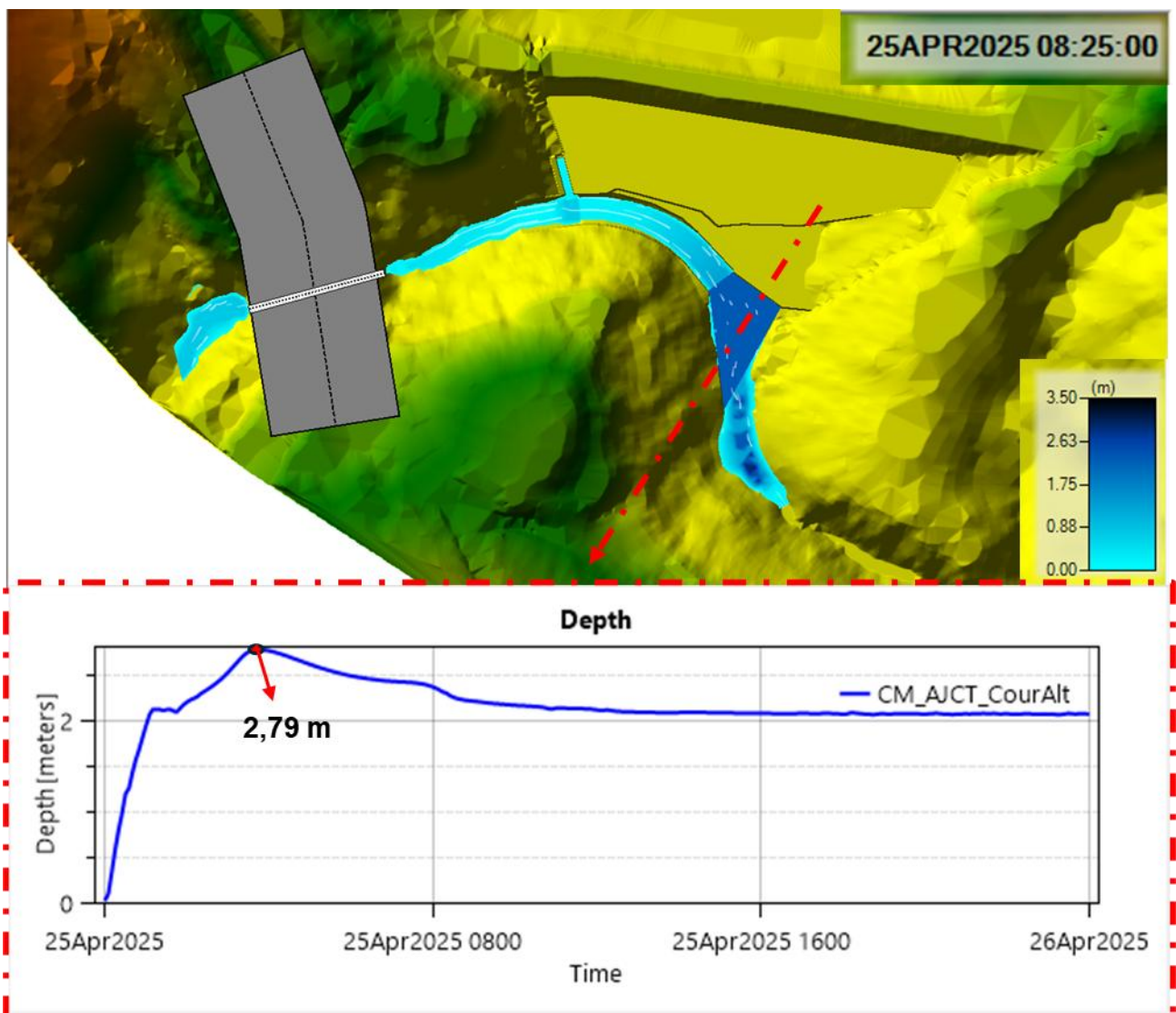



Figura 12.9 – Resultados para profundidade na simulação do canal de restauração do Córrego do Meio para as Soluções 2 e 3 com destaque para a mais alta lâmina de água TR 500 – 8 horas.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>87/100</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>	

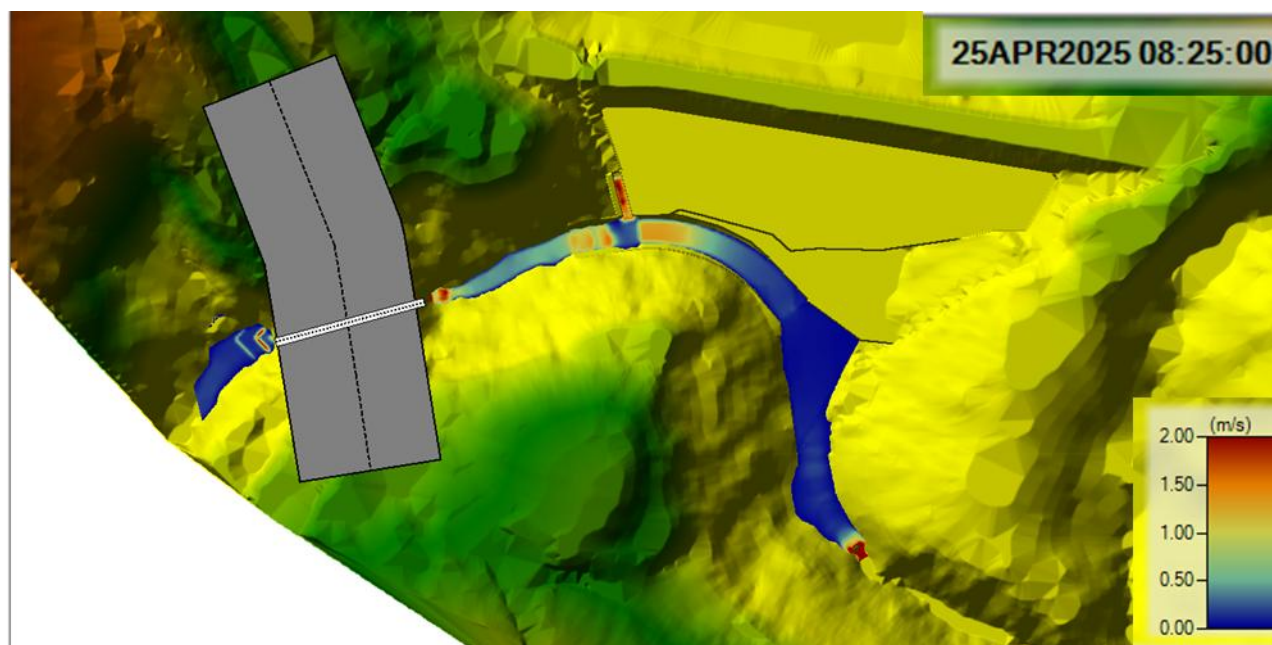


Figura 12.10 – Resultados obtidos para velocidades na simulação do canal de restauração do Córrego do Meio para as Soluções 2 e 3.

A simulação realizada considera um hidrograma de **24 horas** de duração e as vazões na calha do canal passam a ser desprezíveis após cerca de 14 horas decorridas, conforme indicado na Figura 12.6. Na região do pé da barragem, ao final do canal trapezoidal, foi concebida uma região de expansão com declividade fraca e queda singular. Esse trecho tem como finalidade a formação de mudança de regime escoamento de forma bruscamente variada, propositalmente formando um ressalto que dissipe parte da energia da lâmina de água.

### 13.0 METODOLOGIA DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

A metodologia de análise multicritério é uma ferramenta importante para apoiar a tomada de decisões em projetos complexos, especialmente quando múltiplos fatores técnicos, ambientais, econômicos e sociais devem ser considerados simultaneamente. Ao permitir a avaliação conjunta de variáveis com naturezas distintas, essa abordagem proporciona uma visão mais abrangente e estruturada do problema em questão, promovendo maior transparência e fundamentação nas decisões de engenharia.

No contexto deste estudo, a análise multicritério foi empregada como instrumento auxiliar na seleção da solução mais adequada entre as alternativas de projeto consideradas, buscando equilibrar critérios técnicos, operacionais e de viabilidade.

#### 13.1 PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA

Entre os métodos disponíveis para análise multicritério, adotou-se neste trabalho o Processo de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process – AHP), desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1970. O AHP é amplamente utilizado em problemas de decisão que envolvem

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>88/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

múltiplos critérios, sendo reconhecido pela sua capacidade de estruturar decisões complexas por meio da decomposição hierárquica dos elementos envolvidos.

A metodologia baseia-se na construção de uma hierarquia que representa o objetivo geral da decisão, os critérios e subcritérios relevantes, e, por fim, as alternativas possíveis. As comparações são realizadas par a par, permitindo a atribuição de pesos relativos conforme o grau de importância entre os elementos. Esses pesos refletem a prioridade de cada critério ou alternativa no contexto do problema analisado.

A principal vantagem do AHP está na combinação de avaliações qualitativas e quantitativas de forma sistemática, viabilizando a análise integrada de aspectos técnicos multidisciplinares. Além disso, a metodologia permite a verificação de consistência das preferências estabelecidas pelo tomador de decisão, conferindo maior confiabilidade ao processo.

### 13.2 DEFINIÇÃO DAS DIMENSÕES E VARIÁVEIS

A sistemática de avaliação multicritério adotada neste estudo foi organizada conforme a estrutura apresentada na Figura 13.1. Nessa estrutura, dimensão é definida como o conjunto de critérios que pertencem a uma mesma disciplina técnica ou área temática relevante para a tomada de decisão. Já as variáveis são os parâmetros específicos que compõem cada uma dessas dimensões, refletindo os fatores que influenciam diretamente o desempenho de cada alternativa.



Figura 13.1 – Dimensões e Variáveis.

A seguir, são apresentadas as quatro dimensões principais utilizadas na análise, juntamente com a justificativa de sua escolha e a descrição geral das variáveis que as compõem:

#### I. Aspectos Construtivos - AC

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>89/100</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>	

Esta dimensão avalia a viabilidade de execução das soluções propostas sob a ótica da engenharia de construção. Considera os desafios logísticos, técnicos e operacionais envolvidos na implantação de cada alternativa, além de sua influência no cronograma, na qualidade final da obra e na segurança durante a execução.

As variáveis associadas são:

- **Complexidade Executiva (AC1):** avalia a dificuldade técnica da execução de cada alternativa, considerando o número de frentes de obra, o grau de interferência com estruturas existentes e a necessidade de técnicas construtivas especializadas;
- **Controle Tecnológico (AC2):** examina a exigência de controle rigoroso de processos e parâmetros de execução (ex: controle de tratamento, compactação, execução de drenos), além da sensibilidade da solução a desvios operacionais;
- **Risco Executivo (AC3):** estima os riscos técnicos e operacionais envolvidos na execução da solução, como instabilidades temporárias, falhas construtivas e escavações críticas;
- **Produtividade Executiva (AC4):** avalia o tempo necessário para implementação da solução, considerando interdependência de etapas, acessos, mobilização, escavações e processos construtivos.

## II. Aspectos Econômicos - AE

Essa dimensão considera os custos envolvidos na implantação e operação das soluções. É fundamental para a análise de viabilidade financeira e sustentabilidade do projeto a longo prazo, englobando tanto os investimentos iniciais quanto os custos futuros de manutenção.

As variáveis consideradas são:


- **Custos de Implantação – CAPEX (AE1):** refere-se ao custo total estimado para execução da alternativa, incluindo materiais, serviços, equipamentos e logística.
- **Custo Operacional – OPEX (AE2):** avalia os custos previstos para operação, monitoramento e manutenção após a implantação da solução.

## III. Aspectos Ambientais e Hídricos - AAH

Esta dimensão tem como foco a minimização dos impactos ambientais e o controle hídrico durante a implantação das soluções. Considera os efeitos das intervenções sobre os corpos d'água, a fauna, a vegetação e as áreas de preservação permanente (APP).

As variáveis avaliadas são:

- **Gestão de Sedimentos (AAH1):** eficácia no controle e destinação adequada dos sedimentos durante a obra.

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>90/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

- **Manejo de Águas (AAH2):** estima o risco de descontrole de vazões ou desestabilização de estruturas hidráulicas durante a execução, especialmente quando envolvem desvio e sistemas provisórios.
- **Alteração e Atividades em ADA (AAH3):** considera o grau de intervenção em áreas de preservação ambiental, como margens de cursos d'água e matas ciliares, exigência de licenciamento e eventuais compensações ambientais.

#### IV. Aspectos de Segurança Operacional – AS

Esta dimensão busca garantir que a solução escolhida proporcione estabilidade e segurança à estrutura após sua implantação. Avalia as condições estruturais, hidráulicas e geotécnicas futuras, levando em conta a robustez das soluções executadas e sua confiabilidade ao longo do tempo.

As variáveis incluídas são:

- **Segurança Geotécnica (AS1):** avalia a estabilidade dos taludes, fundações e do corpo da barragem após execução.
- **Segurança Hidráulica (AS2):** capacidade de escoamento seguro em eventos de cheia após obra.
- **Segurança Estrutural (AS3):** aplica-se especialmente às estruturas de concreto (extravadores, canais), avaliando sua integridade e durabilidade no longo prazo.

##### 13.2.1 ATRIBUIÇÃO DE NÍVEIS DE IMPORTÂNCIA PARA CADA DIMENSÃO E VARIÁVEL

Foi realizado um fórum técnico com os especialistas da DF+ juntamente com a VALE no dia 07/05/25, para validação da metodologia de análise multicritérios bem como a atribuição de pesos para hierarquização entre as dimensões e entre as variáveis de uma mesma dimensão.

Para a definição do nível de importância entre as dimensões e entre as variáveis de cada dimensão comparadas par a par neste estudo, definiram-se os graus de relevância utilizados apresentados na Tabela 13.1.

Tabela 13.1 - Escala de comparação par a par.

3	1	1/3
Mais relevante	Igualmente relevante	Menos relevante

Durante o fórum, utilizando a escala de comparação apresentada da tabela acima, discutiu-se em conjunto o grau de relevância par a par das dimensões e de cada variável por dimensão e, a partir da resposta consensual, foram obtidas as matrizes de importância apresentadas na Tabela 13.2 e Tabela 13.3.



		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>91/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Tabela 13.2 - Matriz de Importância – Dimensões.

DIMENSÕES	AC	AE	AEH	AS	TOTAL
Aspectos Construtivos	1	3	3	3	<b>10</b>
Aspectos Econômicos	0,33	1	3	3	<b>7,33</b>
Aspectos Ambientais e Hidricos	0,33	0,33	1	3	<b>4,66</b>
Aspectos Segurança Operacional	0,33	0,33	0,33	1	<b>1,99</b>

Tabela 13.3 - Matriz de Importância – Variáveis.

MATRIZ					
ASPECTOS CONSTRUTIVOS					TOTAL
Variáveis	AC1	AC2	AC3	AC4	
Complexidade executiva - AC1	1	3	0,33	3	<b>7,33</b>
Controle tecnológico da execução – AC2	0,33	1	0,33	1	<b>2,66</b>
Risco executivo - AC3	3	3	1	3	<b>10</b>
Produtividade Executiva – AC4	0,33	1	0,33	1	<b>2,66</b>
ASPECTOS ECONÔMICOS					TOTAL
Variáveis	AE1		AE2		
Custos de implantação CAPEX - AE1	1		1		<b>2</b>
Custo operação OPEX - AE2	1		1		<b>2</b>
ASPECTOS AMBIENTAIS E HIDRICOS					TOTAL
Variáveis	AAH1	AAH2	AAH3		
Gestão Sedimentos - AAH1	1	3	1		<b>5</b>
Manejo águas - AAH2	0,33	1	0,33		<b>1,66</b>
Alteração e Atividade em ADA	1	3	1		<b>5</b>
ASPECTOS SEGURANÇA OPERACIONAL					TOTAL
Variáveis	AS1	AS2	AS3		
Segurança Geotécnica	1	3	3		<b>7</b>
Segurança Hidráulica	0,33	1	3		<b>4,33</b>
Segurança Estrutural	0,33	0,33	1		<b>1,66</b>

Dado o grau de relevância par a par das variáveis e dimensão avaliadas, foram elaboradas as respectivas matrizes de importância normalizadas, a partir da divisão do valor de cada aspecto pela soma total de cada coluna. A Prioridade Média Local (PML) resultante, cujo valor demonstra o domínio de um critério (dimensão/variável) sobre o outro, é obtida pelas médias das colunas com os números normalizados. Na Tabela 13.4 está apresentada a matriz de importância normalizada e a PML das dimensões e na Tabela 13.5, a matriz de importância normalizada e a PML das variáveis.


		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>92/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Tabela 13.4 - Matriz de Importância Normalizada e PML – Dimensões

DIMENSOES	AC	AE	AAH	AS	PML
Aspectos Construtivos	0,503	0,644	0,409	0,300	<b>46,4%</b>
Aspectos Econômicos	0,166	0,215	0,409	0,300	<b>27,2%</b>
Aspectos Ambientais e Hídricos	0,166	0,071	0,136	0,300	<b>16,8%</b>
Aspecto Segurança Operacional	0,166	0,071	0,045	0,100	<b>9,5%</b>

Tabela 13.5 - Matriz de Importância Normalizada e PML – Variáveis.

ASPECTOS CONSTRUTIVOS					PML
Variáveis	AC1	AC2	AC3	AC4	
Complexidade executiva - AC1	0,215	0,375	0,166	0,375	<b>28,3%</b>
Controle tecnológico da execução – AC2	0,071	0,125	0,166	0,125	<b>12,2%</b>
Risco executivo - AC3	0,644	0,375	0,503	0,375	<b>47,4%</b>
Produtividade Executiva – AC4	0,071	0,125	0,166	0,125	<b>12,2%</b>
ASPECTOS ECONÔMICOS					PML
Variáveis	AE1		AE2		
Custos de implantação CAPEX - AE1	0,500		0,500		<b>50,0%</b>
Custo operação OPEX - AE2	0,500		0,500		<b>50,0%</b>
ASPECTOS AMBIENTAIS E HIDRICOS					PML
Variáveis	AAH1	AAH2	AAH3		
Gestão Sedimentos - AAH1	0,429	0,429	0,429		<b>42,9%</b>
Manejo águas - AAH2	0,142	0,143	0,142		<b>14,2%</b>
Alteração e Atividade em ADA - AH3	0,429	0,429	0,429		<b>42,9%</b>
ASPECTOS SEGURANÇA OPERACIONAL					PML
Variáveis	AS1	AS2	AS3		
Segurança Geotécnica – AS1	0,602	0,693	0,429		<b>57,5%</b>
Segurança Hidráulica – AS2	0,199	0,231	0,429		<b>28,6%</b>
Segurança Estrutural – AS3	0,199	0,076	0,143		<b>13,9%</b>

### 13.2.2 Avaliação das Alternativas em Relação as Variáveis

A avaliação das variáveis referente as dimensões pontuadas acima foram avaliadas e quantificadas conforme os itens a seguir. As notas foram aplicadas a princípio pela equipe multicliplinar da DF+.

Na Tabela 13.6 apresenta-se as avaliações realizadas em relação a cada uma das alternativas, em relação as dimensões apresentadas neste estudo.


		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>93/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Tabela 13.6 – Justificativas Técnicas para atribuição de Notas.

Dimensão	Variável	Justificativa Técnica
Aspecto Construtivo	AC1 – Complexidade Executiva	Soluções 02 e 03 apresentam maior complexidade, envolvendo demolição e reconstrução do extravasor, escavação em talude natural e execução de nichos no pé da barragem. A Solução 03, em especial, demanda múltiplas etapas construtivas contando com tratamento de fundação. Solução 01 é mais simples, focada em rebaixamento do reservatório, remoção de sedimento e maciço.
	AC2 – Controle Tecnológico	A Solução 03 requer controle tecnológico mais rigoroso, incluindo execução intercalada de DSM, drenos e compactação em camadas. A Solução 02 demanda controle na escavação intercalada no pé da barragem. A Solução 01 exige menor controle, com foco na escavação e remoção de material.
	AC3 – Risco Executivo	A Solução 01 apresenta risco executivo moderado, com logística focada na remoção de sedimentos. Soluções 02 e 03 têm risco elevado devido à escavação no pé da barragem, risco de colapsos locais e possível impacto no estado de tensões da estrutura existente.
	AC4 – Produtividade Executiva	Solução 01 tende a ter maior prazo, seguida pela Solução 03 e após Solução 02. A solução 01 apresenta prazo superior uma vez que a remoção de sedimentos é lenta por conta da drenagem do material. Solução 03 exige fases construtivas sequenciais mais demoradas (DSM, dreno, compactação) e intervenções no extravasor, resultando no maior prazo.
Aspecto Econômico	AE1 – Custo de Implantação (CAPEX)	Solução 01 tem menor CAPEX, mesmo apresentando elevado custo de DMT (Em caso de distâncias maiores, os custos podem alterar consideravelmente). Solução 03 terá um custo intermediário seguido do maior custo a solução 02.
	AE2 – Custo Operacional Futuro (OPEX)	Solução 01 elimina o passivo do reservatório, com OPEX mínimo. Soluções 02 e 03 mantêm sistemas ativos que exigem inspeções periódicas e manutenção.
Aspecto Ambiental e Hídricos	AAH1 – Gestão de Sedimentos	Solução 01 depende de logística eficiente de escavação e transporte. Soluções 02 e 03 exigem controle contínuo de sedimentos no córrego, risco de carreamento e, no caso da 03, manejo na execução do DSM, em virtude de possíveis colmatações.
	AAH2 – Risco de Desestabilização Hídrica	Solução 01 elimina o volume represado, com menor risco. Soluções 02 e 03 envolvem desvio de córrego e extravasor, com risco de falhas em sistemas provisórios.
	AAH3 – Intervenção em Área de Preservação Permanente (ADA)	Solução 01 interfere em área mais ampla ao redor da estrutura, exigindo maior supressão. Soluções 02 e 03 têm faixa de intervenção mais restrita a região de jusante, mas ainda requerem licenciamento.
Aspecto Segurança Operacional	AS1 – Segurança Geotécnica	Solução 03 oferece maior reforço geotécnico, mas também maior risco se mal executada. Solução 02 possui reforço intermediário com enrocamento. Solução 01 depende da estabilidade natural e escoamento adequado, risco menor.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>94/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

	AS2 – Segurança Hidráulica	Solução 01 elimina reservatório, reduzindo risco. Soluções 02 e 03 dependem da eficiência do extravasor e da canalização.
	AS3 – Segurança Estrutural	Solução 03 e Solução 02 permanência de um extravasor como ativo. Solução 01 não demanda estruturas permanentes em concreto.

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>95/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

- Pesos e notas atribuídas para as variáveis dos Aspectos Construtivos

A seguir, serão apresentadas as tabelas com variáveis e respectivos pesos (PML) e a nota atribuída para cada alternativa em relação a variável avaliada. A média ponderada é a nota final das notas atribuídas a cada uma das duas alternativas em relação à variável examinada, o que gera a nota final por alternativa.

A Tabela 13.7 apresenta o peso e a nota para cada alternativa em relação aos Aspectos Construtivos.

Tabela 13.7 - Pesos e notas atribuídas para as variáveis dos Aspectos Construtivos

Aspectos Construtivos				
Variáveis	Pesos AHP (%)	Notas Atribuídas		
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Complexidade executiva - AC1	28	3	2	1
Controle tecnológico da execução – AC2	12	3	2	1
Risco executivo - AC3	47	3	1	1
Produtividade Executiva – AC4	12	3	2	1
<b>Média ponderada</b>	-	3	1,53	1

A Tabela 13.7 apresenta o peso e a nota para cada alternativa em relação aos Aspectos Econômicos, a pontuação para este aspecto foi dada através da Planilha de Quantitativos (PQ-1850HH-X-34172, DF+/2025).

Tabela 13.8 - Pesos e notas atribuídas para as variáveis dos Aspectos Econômicos.

Aspectos Econômicos				
Variáveis	Pesos AHP (%)	Notas Atribuídas		
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Custos de implantação CAPEX - AE1	50	3	1	2
Custo operação OPEX - AE2	50	3	1	1
<b>Média ponderada</b>	-	3	1	1,5

A Tabela 13.7 apresenta o peso e a nota para cada alternativa em relação aos Aspectos Ambientais e Hídricos.


		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>96/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Tabela 13.9 - Pesos e notas atribuídas para as variáveis dos Aspectos Ambientais e Hídricos.

ASPECTOS AMBIENTAIS E HIDRICOS				
Variáveis	Pesos AHP (%)	Notas Atribuídas		
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Gestão Sedimentos - AAH1	43	1	3	3
Manejo águas - AAH2	14	2	1	1
Alteração e Atividade em ADA	43	1	2	2
<b>Média ponderada</b>	-	1,14	2,28	2,28

A Tabela 13.7 apresenta o peso e a nota para cada alternativa em relação aos Aspectos de Segurança Operacional.

Tabela 13.10 - Pesos e notas atribuídas para as variáveis dos Aspectos Segurança Operacional.

ASPECTOS SEGURANÇA OPERACIONAL				
Variáveis	Pesos AHP (%)	Notas Atribuídas		
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Segurança Geotécnica	57	3	2	2
Segurança Hidráulica	29	3	2	2
Segurança Estrutural	14	3	2	2
<b>Média ponderada</b>	-	3	2	2

### 13.2.3 Hierarquização Das Alternativas Conforme Método AHP

Considerando as notas associadas a cada variável, a Tabela 13.11 apresenta um resumo das notas das alternativas por dimensão obtidas nos itens anteriores através da análise das variáveis.

Tabela 13.11 - Notas das alternativas por dimensão.

Alternativas	Dimensões			
	Aspectos Construtivos	Aspectos Econômicos	Aspectos Hídricos	Aspectos Segurança
Solução 01	3,0	3,0	1,14	3,0
Solução 02	1,53	1,0	2,29	2,0
Solução 03	1,0	1,5	2,29	2,0

A hierarquização das alternativas é realizada através da multiplicação das notas pelo peso de cada dimensão (PML) apresentado Tabela 13.5 e, por fim, a nota final da avaliação para cada

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>97/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

alternativa é obtida através da soma das notas ponderadas obtidas para cada dimensão conforme Tabela 13.12.

Tabela 13.12 - Notas ponderadas por dimensão e nota final das alternativas

Soluções	Dimensões				Nota Final
	Aspectos Construtivos	Aspectos Econômicos	Aspectos Hídricos	Aspectos Segurança	
Solução 01	1,39	0,82	0,19	0,29	<b>2,69</b>
Solução 02	0,71	0,27	0,38	0,19	1,56
Solução 03	0,46	0,41	0,38	0,19	1,45

A avaliação multicritérios resultou que a **Solução 01 com o cenário de descaracterização da Barragem** apresentou a maior Nota Final (2,69) e conseqüentemente a maior ordem (Valor Hierarquizado), e a **Solução 02 no cenário de Reforço em Enrocamento** ficou com a segunda maior Nota Final (1,56) com base nos aspectos avaliados.

#### 14.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar alternativas viáveis para a melhoria das condições de estabilidade da Barragem Alto Jacutinga, considerando os fatores de segurança observados atualmente, as características geotécnicas da fundação e as exigências legais em vigor. Embora os fatores de segurança da estrutura atendam aos limites mínimos definidos pela NBR 13028:2024 e Resolução ANM nº 95/2022, a proximidade com os valores de limiar, associada à presença de camada de aluvião com baixa resistência e a consistência fofa, indicando a possibilidade de mobilização não drenada quando solicitado, motivou a necessidade de elevação do fator de segurança ou descaracterização da Barragem.

Dentre as soluções analisadas, as alternativas factíveis incluem:

- Solução 01: Descaracterização com Remoção Total – Esta alternativa prevê o rebaixamento do nível d’água do reservatório, escavação completa dos sedimentos e do maciço da barragem, com reconformação do terreno até a cota do relevo original;
- Solução 02: Reforço com Enrocamento e Escavação do Aluvião – Envolve a escavação do aluvião a jusante por meio de trincheiras (nichos), execução de transições e reforço com enrocamento compactado;
- Solução 03: Reforço com Solo Compactado e Tratamento de Fundação – Consiste na execução de um aterro compactado que funciona como base para o tratamento da fundação e também como reforço estrutural.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO  - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –  S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO  BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF  RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>98/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

Neste estudo, foram apresentadas as principais características técnicas e operacionais de cada alternativa. Em seguida, foi realizada uma avaliação multicritério, que considerou aspectos técnicos, ambientais, econômicos, operacionais e regulatórios, permitindo a comparação entre os diferentes cenários propostos.

Como resultado da análise, a **Solução 01 (Descaracterização Total)** obteve a maior Nota Final (2,69), posicionando-se como a alternativa mais favorável sob os critérios avaliados.

Por fim, a escolha da alternativa a ser adotada deverá considerar, além dos aspectos técnicos e legais aqui apresentados, a viabilidade de execução no prazo estipulado pelas normas regulatórias, os impactos operacionais para o empreendimento, bem como os aspectos socioambientais envolvidos.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>99/100</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

## 15.0 REFERÊNCIAS

ABNT NBR 13028/2024. Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água.

BAPTISTA, M B, DE PÁDUA, V L. 2016. Restauração de sistemas fluviais. Universidade Federal de Minas Gerais.

BRAY, J. D., & MACEDO, J. 2019. Procedure for Estimating Shear-Induced Seismic Slope Displacement for Shallow Crustal Earthquakes. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 145(12), 04019106.

BRUCE, Ronald A. An Introduction to the Deep Soil Mixing Methods Used in Geotechnical Applications. McLean, VA: Turner-Fairbank Highway Research Center, Federal Highway Administration, 2000. (Relatório FHWA-RD-99-138).

CDA, 2013. “Dam Safety Guidelines 2007”, ver. 2013. Library and Archives Canada Cataloguing in Publication Data, 88 p.

CDA, 2014. “Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams”. Library and Archives Canada Cataloguing in Publication Data, 48 p.

DUNCAN, J.M. et al. 2014. Soil strength and slope stability. John Wiley & Sons.

HUFF, F. A., 1990. Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois. Illinois State Water Survey, Champaign. Department of energy and natural resources – Circular 173, 22p.


ICOLD, 2011. Improving Tailings Dam Safety – Critical Aspects of Management, Design, Operation and closure – Bulletin 139. Paris, FR, 180 p.

MORRIS, G.L, FAN, J. 1998. Reservoir Sedimentation Handbook, Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use. McGraw-Hill Book Co., New York, 805 p.

SCHNAID, F.; MELLO, L. G. F. S. de; DZIALOSZYNSKI, B. S. *Guidelines and recommendations on minimum factors of safety for slope stability of tailings dams*. Soils and Rocks, v. 43, n. 3, p. 369–395, 2020. DOI: <https://doi.org/10.28927/SR.433369>.

TUCCI, Carlos E. et al. 1993. Hidrologia: ciência e aplicação. 943p.

USBR (2011). U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation Design Standards No. 13 – Embankment Dams - Chapter 4: Static Stability Analysis. USBR, [s.l.], 159 p.

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40051</b>	PÁGINA <b>100/100</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3579</b>	REV. <b>0</b>

## 16.0 EQUIPE TÉCNICA

EMPRESA RESPONSÁVEL POR ESTE DOCUMENTO	
Razão social:	DF + Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos Ltda.
CNPJ:	07.214.006/0001-00
Endereço:	Av. Professor Mário Werneck, 60 - 5º, 6º e 7º andares - Bairro Estoril, CEP 30455-610 Belo Horizonte - MG

EQUIPE TÉCNICA			
Nome	Sigla	Área de atuação	Responsabilidade no projeto
Bruno de Paiva	BPB	Diretoria	Diretor de Operações
Daniel Lanzieri	DRL	Geotecnia	Engenheiro de Registro – EdR, Revisão
Júnio Fagundes	JRF	Geotecnia	Revisão
Débora Mesavilla	DTM	Geotecnia	Elaboração
Yuri Mendes	YMS	Geotecnia	Elaboração
Lincoln Almeida	LVA	Recursos Hídricos	Revisão
Luane Monteiro	LIB	Recursos Hídricos e Qualidade	Revisão de Qualidade
Eduardo Murta	ELM	Recursos Hídricos	Elaboração
Tatiana Gonçalves	TGD	Geologia	Elaboração

EMPRESA RESPONSÁVEL PELO EMPREENDIMENTO	
Razão social:	VALE S/A
CNPJ:	33.592.510/0001-54
Endereço:	Praia de Botafogo, 186 salas 701 a 901 - RJ



Av. Professor Mário Werneck, 60  
5º, 6º e 7º andares  
Bairro Estoril, CEP 30455-610  
Belo Horizonte – MG  
[www.dfmais.eng.br](http://www.dfmais.eng.br)

## **Dados de ART e CTF**

Com o objetivo de promover as disposições da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018, Lei Geral de Proteção de Dados – LGPD, foi retirado deste arquivo as ARTs e CTFs dos profissionais envolvidos, a fim de resguardar os dados pessoais.



Importante destacar que estes documentos foram disponibilizados nos estudos ambientais protocolados no órgão ambiental para respectiva análise do processo de Licenciamento Ambiental.



## **ANEXO 3.**



# **PROJETO DE ENGENHARIA DETALHADO (RL-1850HH-X-40017)**



		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>2/57</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>	

## ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>PÁGINA</u>
1.0	OBJETIVO	3
2.0	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	3
3.0	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	4
4.0	DADOS CARTOGRÁFICOS	5
5.0	CÓDIGOS, NORMAS E REFERÊNCIAS TÉCNICAS	6
6.0	CHARACTERIZAÇÃO GERAIS DA ESTRUTURA EXISTENTE	7
7.0	HISTÓRICO DA BARRAGEM	8
8.0	CRITÉRIOS E PREMISSAS DE PROJETO	10
9.0	CONCEPÇÃO DO PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO	14
10.0	ESTUDOS GEOTÉCNICOS	32
11.0	INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO	36
12.0	ESTUDOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS	37
13.0	SEQUENCIAMENTO CONSTRUTIVO	47
14.0	PLANILHA DE QUANTIDADES	53
15.0	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA CONSTRUTIVA	53
16.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
17.0	REFERÊNCIAS	55
18.0	EQUIPE TÉCNICA	57

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO  - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –  S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO  BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO  RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>3/57</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>	

## 1.0 OBJETIVO

Este relatório tem por objetivo apresentar os estudos referentes ao Projeto Detalhado de Descaracterização da Barragem Alto Jacutinga, localizada na Mina de Fábrica, no município de Congonhas/MG.

O Projeto foi desenvolvido com base nos preceitos da Resolução ANM n° 95 de 2022, e suas atualizações nas Resoluções ANM n° 130/2023 e n° 175/2024, e contempla a remoção dos sedimentos e do maciço da barragem, atendendo às exigências regulamentares para a descaracterização e adequação da estrutura.

## 2.0 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos foi contratada pela VALE para elaborar o Projeto Detalhado de Descaracterização da Barragem Alto Jacutinga, dando continuidade aos trabalhos iniciados no Projeto Conceitual (RL-1850HH-X-40052 – DF+, 2025), o qual foi desenvolvido com base no Estudo de Alternativas e *Trade-Off* (RL-1850HH-X-40051 – DF+, 2025). Este estudo, elaborado pela DF+, avaliou três soluções distintas para a descaracterização da barragem: (i) remoção total de sedimentos e maciço, (ii) reforço com enrocamento, e (iii) reforço com aterro compactado e tratamento de fundação. A partir dessa análise, a solução de descaracterização mediante remoção total foi a alternativa selecionada.



O Projeto Detalhado foi desenvolvido considerando a legislação vigente aplicável às barragens de mineração, os critérios técnicos do setor e as principais publicações técnicas reconhecidas. A Barragem Alto Jacutinga, cuja função é a contenção de sedimentos da bacia de contribuição, foi implantada em três etapas (dique de partida e dois alteamentos – a jusante e em linha de centro). Apesar de apresentar fatores de segurança em conformidade com a NBR 13028/2024, os valores verificados permanecem próximos aos limites mínimos estabelecidos (conforme relatório RL-1850HH-X-40054, RISR – ANM / RTSB - FEAM – DF+, 2025).

Conforme o disposto no **Art. 54, incisos 1° e 8° da Resolução ANM n° 95 de 2022**, que estabelece critérios para reforço ou descaracterização de barragens de mineração:

*§ 1° No caso de barragens de mineração que iniciaram a instalação ou a operação antes da entrada em vigor da Lei n° 14.066, de 2020, **em que seja identificada comunidade**, conforme conceito de áreas urbanas, aglomerados rurais ou subnormais e aldeias definidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, **na ZAS, deverá ser feita a descaracterização da estrutura, ou o reassentamento da população e o resgate do patrimônio cultural, ou obras de reforço que garantam a estabilidade efetiva da estrutura.***

*§ 5° As obras de reforço citadas no § 1° se referem à execução de intervenções que incrementem a segurança da estrutura que permanecerá, devendo, além das obrigações constantes nesta Resolução:*

*I - obter Fator de Segurança na condição não drenada global com valor igual ou superior a 1,50 para resistência de pico, quando os materiais forem sujeitos à mobilização por resistência não drenada;*

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>4/57</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

**§ 8º Para o empreendedor que irá descaracterizar a estrutura, ou reassentar a população e resgatar o patrimônio cultural, o prazo para tal conclusão é até 31 de dezembro de 2027.**

Em consonância com a justificativa de descaracterização associada à estabilidade geotécnica, é importante destacar que o volume de sedimentos atualmente produzido na área de contribuição da barragem Alto Jacutinga não é expressivo em função da cobertura vegetal local. Adicionalmente, existem duas barragens a jusante, Gambá e Barnabé 1, capazes de cumprir a função de contenção residual de sedimentos, caso necessário.



Com base nessas diretrizes, a solução adotada compreende: rebaixamento do nível d'água do reservatório, escavação e remoção dos sedimentos acumulados, descaracterização controlada dos alteamentos e do maciço principal, e reconformação da área até a cota do terreno natural pré-existente.

### 3.0 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Para a elaboração deste relatório foram considerados os documentos descritos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Documentos considerados para elaboração do presente trabalho

Descrição	Código do Documento	Data da Emissão	Revisão
ESTUDO DE AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DA ESTRUTURA	BCV-B-AJ-RE-001-B	2003	-
ESTUDOS E PROJETOS DE ENGENHARIA PARA AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA	RL-1850HH-G-30555	30/11/09	0
ESTUDO DE CHUVAS INTENSAS E PMP CORREDOR SUL/ SUDESTE	RL-1800AC-X-00002	08/05/23	0
AMEAÇA SÍSMICA BARRAGEM ALTO JACUTINGA	RL-1850HH-X-39165	22/07/24	0
LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	10-ARQUIVO_BARRAGEM_ALTO_JACUTINGA_CN_OUTUBRO_2024.dwg (CEPEMAR, OUTUBRO DE 2024)	31/10/24	0
MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO – PROJETO ATUALIZAÇÃO SEÇÕES GEOLÓGICA-GEOTÉCNICAS	1850HH-X-42097	30/06/25	0
SEÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA TRANSVERSAL - PROJETO ATUALIZAÇÃO SEÇÕES GEOLÓGICA-GEOTÉCNICAS	1850HH-X-42100	07/08/25	0
SEÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA TRANSVERSAL - PROJETO ATUALIZAÇÃO SEÇÕES GEOLÓGICA-GEOTÉCNICAS	1850HH-X-42101	07/08/25	0

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>5/57</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

Descrição	Código do Documento	Data da Emissão	Revisão
PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	ET-1850HH-X-34338	27/08/24	2
AUDITORIA – BARRAGEM ALTO JACUTINGA RISR – ANM	RL-1850HH-X-39793	31/03/25	1
AUDITORIA – BARRAGEM ALTO JACUTINGA RISR – ANM / RTSB - FEAM	RL-1850HH-X-40054	25/08/25	0
ESTUDO DE ALTERNATIVAS E TRADE-OFF RELATÓRIO TÉCNICO	RL-1850HH-X-40051	30/06/25	0
PROJETOS CONCEITUAL DE DESCARACTERIZAÇÃO	RL-1850HH-X-40052	18/08/25	0



#### 4.0 DADOS CARTOGRÁFICOS

Os dados cartográficos utilizados neste projeto foram disponibilizados pela VALE. Ressalta-se que os documentos não acompanharam numeração padrão da VALE, nem Anotação de Responsabilidade Técnica - ART. Na Tabela 4.1 são apresentados os dados cartográficos utilizados neste estudo.

Tabela 4.1 – Dados cartográficos utilizados neste estudo

Nome/nº do Arquivo (empresa, ano)	Conteúdo	Tipo de Levantamento	Sistema de Coordenadas Datum
GAL 442_rev_0.dwg	Levantamento cadastral do bueiro que passa sob a MG 442	Levantamento cadastral	UTM SIRGAS 2000
gmi_qfer_fis_top_In_toporest ituicaoriginaljoao pereira1966.shp	Topografia primitiva utilizada para As Is (DF+, 2021). Gerada a partir da restituição fotogrametria, portanto pode apresentar imprecisões;	Levantamento cadastral	UTM Convertido para SIRGAS 2000
10- ARQUIVO_BARRAGEM_AL TO_JACUTINGA_CN_OUTU BRO_2024.dwg (CEPEMAR, OUTUBRO DE 2024)	Levantamento topográfico realizado no período de 13/09/2023 a 29/09/2023, Levantamento topográfico complementar realizado no dia 14/03/24 e 14/05/2024 e MINIVUX em 11/01/2024 Levantamento complementar no dia 13/08/2024.	Levantamento Cadastral e Laser Scanner Aerotransportado (minivux)	UTM SIRGAS 2000

Ressalta-se que os dados e as informações referentes ao levantamento topográfico utilizado neste estudo foram disponibilizados pelo cliente e não houve tratamento destes dados pela DF+ Engenharia.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>6/57</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>	

## 5.0 CÓDIGOS, NORMAS E REFERÊNCIAS TÉCNICAS



Este documento deverá considerar a última edição dos códigos e normas citados a seguir, além das leis e regulamentações das autoridades locais. Em caso de conflito, o mais estrito prevalecerá.

As publicações que regulamentam este documento são:

- NBR 13.028/2024 Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimento e reservação de água – Requisitos;
- Resolução ANM nº 95/2022 – Consolida atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração.
- Resolução ANM nº 130/2023, publicada em 24 de fevereiro de 2023, alterou dispositivos da Resolução ANM nº 95/2022.
- Resolução ANM nº 175/2024, publicada em 2 de agosto de 2024, alterou dispositivos da Resolução ANM nº 95/2022.
- Lei 23.291/2019 - Institui a política estadual de segurança de barragens do Estado de Minas Gerais;
- Lei nº 14.066/2020 – Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB);
- Decreto nº 48.140/2021 - Regulamenta dispositivos da Lei nº 23.291, de 25 de fevereiro de 2019, que institui a Política Estadual de Segurança de Barragens – PESB, estabelece medidas para aplicação do art. 29 da Lei nº 21.972, de 21 de janeiro de 2016, em relação às barragens submetidas à PESB e altera o Decreto nº 47.383, de 2 de março de 2018.
- CONAMA Resolução nº 357/2005 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- CONAMA Resolução nº 410/2009 – Altera o art. 44 da Resolução nº 357/2005 e o art. 3º da Resolução nº 397/2008.
- CONAM Resolução nº 430/2011 - complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005,

Além disso, mencionam-se as referências técnicas relevantes que também orientam este documento:

- Diretrizes para a Elaboração de Projeto de Barragens – Volume 5. ANA, 2016;
- Padrão Global da Indústria para a gestão de Rejeitos - *Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM)*;
- *Technical Bulletin: Application of Dam Safety Guidelines* – CDA, 2014;
- *Embankment Dams – Chapter 6: Freeboard* – USCE, 2012;
- *Bulletin on Safe Passage of Extreme Floods* – ICOLD, 2012.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>7/57</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>	

## 6.0 CARACTERIZAÇÃO GERAIS DA ESTRUTURA EXISTENTE

A Barragem Alto Jacutinga está localizada no município de Congonhas/MG e faz parte do complexo Paraopeba Sul, Mina de Fábrica, pertencente à VALE S.A. A estrutura situa-se em torno dos pontos de coordenadas geográficas de Latitude 7.741.005 e Longitude 616.205 (SIRGAS 2000), tendo como objetivo a contenção de sedimentos oriundos da cava exploratória, da Pilha de Estéril e dos acessos dos arredores. A Figura 6.1 ilustra a localização da estrutura.

O acesso à estrutura pode ser feito a partir da BR-040, partindo-se de Belo Horizonte e seguindo no sentido Rio de Janeiro até o trevo de Belo Vale, a partir do qual percorre-se cerca de 1 km de distância pela MG-442. O trecho final é uma estrada de terra até a área da barragem.

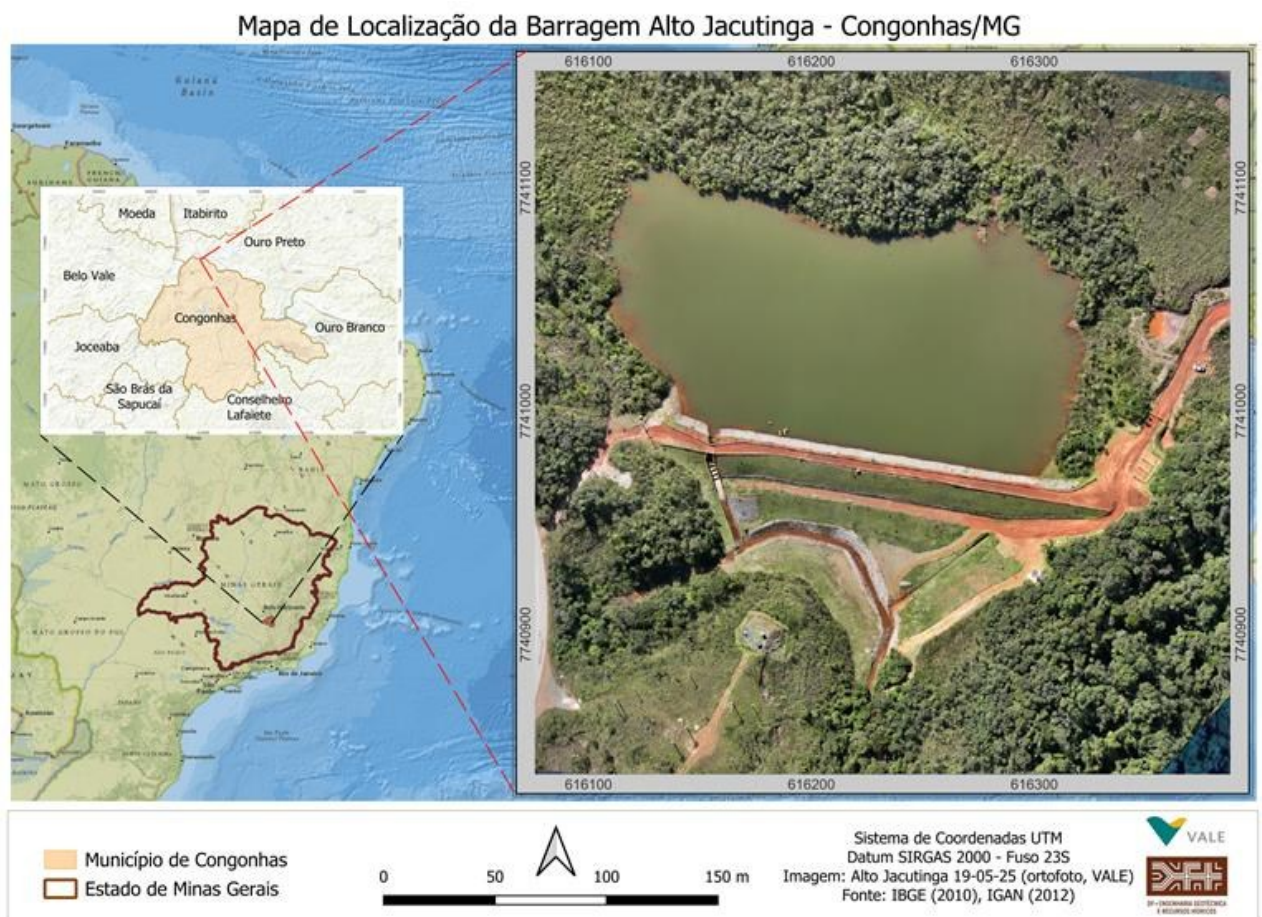


Figura 6.1 - Mapa de localização da Barragem Alto Jacutinga

A Figura 6.2 apresenta uma foto de drone da estrutura obtida em abril de 2025, contendo uma visão geral dos componentes da estrutura.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>8/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

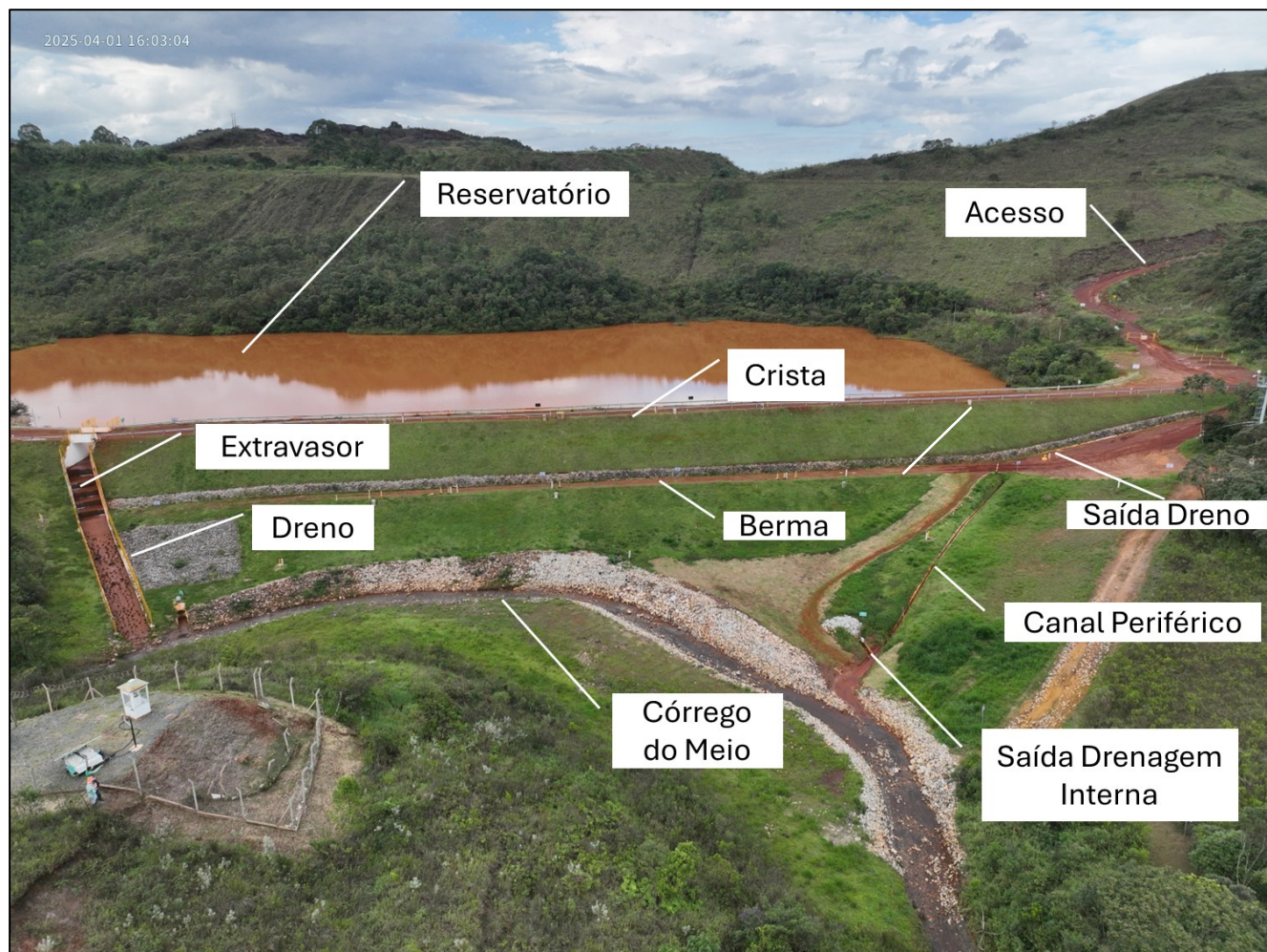




Figura 6.2 – Vista geral da estrutura e identificação dos componentes em imagem de drone (VALE, 04/2025)

## 7.0 HISTÓRICO DA BARRAGEM

A Barragem Alto Jacutinga foi construída em 1984 com o conceito de maciço de terra homogêneo, possuindo aproximadamente 4,60 m de altura e coroamento na elevação 1254,20 m, com a finalidade de conter sedimentos e clarificar as águas provenientes das cavas exploratórias e estradas situadas na bacia de contribuição do córrego Alto Jacutinga. Não se tem, no entanto, informações quanto aos procedimentos de implantação e não existem projetos básico, executivo, nem “Como construído” desta estrutura.

Ainda de acordo com o relatório “como está” elaborado pela DF+ (RL-1850HH-X-34097, 2020), em 1986 foi realizado o primeiro alteamento da estrutura, com cerca de 5,60m, tendo por diretriz a linha de centro da barragem, com a crista assumindo a elevação 1259,80 m.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>9/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

Em 2014, foi realizada a interseção entre o canal de descarga, através da remoção do bueiro tubular e implantação de galeria unicelular em concreto armado e seção retangular. A porção inferior do extravasor foi aproveitada.

De acordo com o Manual de Operação da Barragem Alto Jacutinga (VL-FAB-MO-AJAC-102014-001, VALE, 2014), foram previstas medidas corretivas na barragem com o objetivo de melhorar o circuito hidráulico, controlar surgências intermitentes no talude de jusante, reparar as condições de proteção superficial dos taludes e automatizar os instrumentos instalados. O projeto de medidas corretivas, elaborado pela DOMUS em 2009, é apresentado no relatório técnico RL-1850HH-G-30567.



Uma das medidas corretivas realizadas consistiu na elevação da crista, pós-primeiro alteamento, em cerca de 1,60 m, passando da El. 1.259,80 m para a El. 1.261,40 m, e com isto a barragem passou a ter uma altura máxima de 11,80 m e crista com 225,15 m de comprimento e 4,0 m de largura. O segundo alteamento foi construído pelo método de jusante, este possui projeto *As Built* elaborado pela construtora Pontal em 2015, conforme documento “*As Built* Alto Jacutinga”.

A geometria mencionada acima sofreu alteração em virtude do estudo topográfico realizado pela DF+ durante a elaboração do projeto “como está”, com apoio técnico da JB TOPOGRAFIA, e do melhor entendimento da fundação proporcionado pela campanha de investigação auxiliar executada pela GEOCONTROLE em 2018. Portanto, após o segundo alteamento em 2015, a barragem atingiu a elevação 1.261,55 m, comprimento de 216,1 m e altura máxima de 14,7 m em relação ao ponto mais baixo da fundação (segundo as validações topográficas realizadas em 2018, pela JB Topografia).

Para controle do nível de água e amortecimento da onda de cheias, a Barragem Alto Jacutinga opera com o sistema extravasor localizado na ombreira direita, composto por emboque com perfil *Creager* na elevação 1.259,30 m, seguido por um trecho em escada e, após os degraus, existe um trecho liso em concreto até o início do trecho final. O trecho final é constituído por calha em concreto com blocos implantados no fundo, para dissipação de energia.

No ano de 2024, a DF+ realizou a solicitação de novas investigações geológico-geotécnicas objetivando o refinamento dos contatos entre as unidades geológicas, realizando uma caracterização e melhor compreensão dos materiais da fundação e do maciço. Ao final do ano de 2024, as novas investigações foram realizadas e uma atualização das seções geológicas da Barragem foram emitidas na auditoria de março de 2025 (RL-1850HH-X-39793 - DF+, 2025). Esta atualização contempla um aprimoramento e caracterização da fundação e do maciço, evidenciando principalmente uma maior espessura do horizonte de aluvião sob o maciço da barragem em relação aos modelos anteriores.

Os resultados obtidos para a camada de aluvião na fundação evidenciaram a baixa resistência e a consistência muito fofa desse material, indicando a possibilidade de mobilização não drenada quando solicitado, além de potencial de liquefação. Diante desse cenário e das incertezas presentes nos resultados obtidos da campanha de investigação, a DF+ por intermédio de solicitação da VALE elaborou um estudo de alternativas contemplando opções de reforço ou de remoção da barragem (RL-1850HH-X-40051 – DF+, 2025), sendo abordados

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>10/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

os principais elementos técnicos relevantes para a tomada de decisão, dentre aspectos construtivos, econômicos, ambientais e hídricos e segurança operacional. Após avaliação do referido estudo, a VALE optou pela alternativa de descaracterização através da remoção total da barragem, objeto, portanto, do projeto e relatório em questão.

## 8.0 CRITÉRIOS E PREMISSAS DE PROJETO

A seguir são apresentados os critérios e premissas considerados para o desenvolvimento deste projeto.

### I. Aspectos Gerais

#### a. Para as rampas de acesso Operacional:

- Largura livre mínima de 5,0 m (via para tráfego de uma direção, sem leira);
- Inclinação máxima de rampa de 15%;
- Raio mínimo de curvatura de 12 m;
- Leira com altura mínima 0,60 m, espessura 0,40 m, ângulo de 40° e 33°, conforme PGS-004292;
- Aterro deverá ser executado com material preferencialmente silto-argiloso, esteirado e compactado, com controle de compactação;
- Taludes do aterro terão inclinação mínima de 1,5H:1,0V;
- Camada de regularização superior de 0,10 m de cascalho.



#### b. O local de armazenamento, processamento ou empilhamento do sedimento escavado do reservatório, além do próprio material da barragem, foi definido pela VALE como sendo a PDE Barnabé em reunião dia 29/08/25, com o seguinte DMT definido:

- Trajeto PDE Jacutinga: ≈ 6,5 km.

#### c. A área de canteiro de obra foi indicada pela VALE em reunião no dia 18/07/2025;



#### d. Para desenvolvimento do projeto, utilizou-se como base a topografia primitiva (gmi\_qfer\_fis\_top\_In\_toporestituicaoriginaljoao pereira1966.shp) para projetar a escavação do sedimento até encontrar a superfície do terreno natural. Contudo, essa escavação poderá sofrer mudança durante a execução da obra, caso as condições encontradas forem divergentes dos dados obtidos nesta base;

#### e. Inclinação para escavação do sedimento na ordem de 6H:1V;



		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>11/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

- f. Os estudos serão desenvolvidos a partir da base topográfica disponibilizada conforme documento “Levantamento CEPEMAR, arquivo 10-ARQUIVO\_BARRAGEM\_ALTO\_JACUTINGA\_CN\_OUTUBRO\_2024.dwg (CEPEMAR, OUTUBRO DE 2024);
- g. Deverá ser implantado um programa de controle de turbidez com base no monitoramento da vazão de restituição a jusante da Barragem Barnabé 1. O objetivo desse programa é mitigar o risco de carreamento de particulados decorrentes das atividades de escavação, assegurando que os níveis de sólidos suspensos permaneçam dentro de padrões aceitáveis e reduzindo a possibilidade de impactos a jusante.
- h. Deverá ser realizado o rebaixamento prévio do nível d’água do reservatório da Barragem Alto Jacutinga, de forma a viabilizar a escavação do sedimento para posterior remoção;
- i. O presente estudo não contempla a solicitação de licenciamento ambiental nem a obtenção de outorga para a intervenção na área em questão. Caso necessários, a responsabilidade por esses processos caberá ao empreendedor, conforme exigências dos órgãos reguladores competentes;
- j. O presente estudo não contempla soluções de manejo de fauna ou da microbiota, existentes no reservatório e nas adjacências da barragem, caso houver;
- k. Após a conclusão da remoção dos sedimentos do reservatório, todas as superfícies expostas deverão ser revegetadas;
- l. O material passará por uma etapa intermediária entre a remoção do reservatório e seu destino, com o objetivo de promover a secagem em um pátio localizado próximo ao acesso a barragem, tornando-o apto a ser transportado com segurança, sem risco de contaminação das vias com o sedimento em estado pastoso, e adequado para manejo no destino;
- m. As obras deverão ocorrer apenas durante período de estiagem;

## II. Aspectos Geológico-Geotécnicos

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>12/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

- a. Os parâmetros adotados para os demais materiais da barragem serão baseados no Anexo F do documento RL-1850HH-X-40054 (RISR – ANM / RTSB – FEAM - DF+, 2025);
- b. Simplificação das características do sedimento, ou seja, o material foi considerado homogêneo em todo o reservatório;
- c. Para elaboração deste estudo, foram considerados o mapeamento geológico de superfície realizado e as seções geológico-geotécnicas previamente disponibilizados, provenientes do Projeto de Atualização das Seções Geológico-Geotécnicas;
- d. Considerando que a intervenção analisada não se restringe a uma única etapa de escavação, a ser finalizada apenas em um período de estiagem, mas que envolverá a execução da primeira etapa, com rebaixamento e escavação do sedimento, em um ano e a manutenção da condição operacional dos taludes durante a passagem do período chuvoso 2025/2026, estabelecem-se os seguintes critérios de avaliação de estabilidade:
  - Para a fase de escavação temporária a ser executada na Fase 01, adota-se como critério o fator de segurança mínimo de 1,3 (USB, 2011; Schnaid et al., 2020);
  - Para a condição operacional, durante a Fase 02, os fatores de segurança deverão atender ao estabelecido pela NBR 13028/2024, de forma a assegurar a estabilidade da estrutura até a conclusão da descaracterização;
- e. As análises de estabilidade desenvolvidas no âmbito deste projeto se restringem às áreas diretamente afetadas pelas intervenções de escavação previstas para a descaracterização da Barragem Alto Jacutinga, como os taludes internos do reservatório e o corpo da barragem. Não foram avaliadas as condições de estabilidade dos taludes naturais da bacia hidrográfica adjacente, por se tratar de áreas não diretamente impactadas pelas obras;
- f. Deverá ser realizado monitoramento da instrumentação durante toda a fase de execução das obras. Sendo assim, deverá ser intensificado o monitoramento dos instrumentos automatizados de hora em hora, a fim de evidenciar a tempo quaisquer gerações abruptas de poropressão, surgências ou alterações nos



		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>13/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

fluxos de água ou deslocamentos que comprometam a estabilidade da estrutura antes e durante os trabalhos;

- g. Durante as escavações, a região do talude natural a montante do reservatório deverá ser monitorada pela Estação Total Robótica, por meio de prismas instalados. Caso haja detecção de tendência de movimento nos prismas, a escavação deverá ser paralisada para avaliação da segurança geotécnica.

### III. Aspectos de Hidrologia e Hidráulica

- a. O manejo de águas pós-descaracterização será composto por um sistema do tipo espinha de peixe, destinado a evitar o empoçamento e conduzir o escoamento superficial até o córrego do Meio;
- b. O leito do córrego do Meio será restaurado de modo a garantir a estabilidade do sistema fluvial até que a vegetação ripária fique estabelecida, após a descaracterização da estrutura geotécnica;
- c. Os dispositivos hidráulicos propostos neste estudo adotam vazões de projeto associadas a diferentes períodos de retorno (TR), em função do contexto de descaracterização e de restauração fluvial. Serão propostos dispositivos com seções mistas, associados a leitos menores em enrocamento e leitos maiores em solo revegetado;
- d. Considerando o contexto de restauração de sistemas fluviais, será considerado que os leitos menores dos canais, concebidos em enrocamento, devem comportar uma vazão associada a 5 anos de tempo de retorno (TR) (TUCCI, 1993);
- e. Adicionalmente, considerando o contexto de fechamento, usualmente envolvido na descaracterização de uma barragem, serão propostas soluções com leitos maiores, em solo revegetado, capazes de conduzir cheias associadas ao TR 10.000 anos sem impactar as áreas de obras.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>14/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

## 9.0 CONCEPÇÃO DO PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO

De acordo com o Art. 2º, parágrafo VIII, da Resolução ANM nº 95/2022, considera-se descaracterizada a estrutura que “*não recebe, permanentemente, aporte de rejeitos e/ou sedimentos oriundos de sua atividade fim, a qual deixa de possuir características ou de exercer função de barragem, de acordo com projeto técnico...*”. Em consonância com esse dispositivo, a conformação final da estrutura após a descaracterização implica a completa remoção de suas funções hidráulicas e geotécnicas, não mais existindo contenção de sedimentos nem acúmulo de água.

A solução de engenharia proposta tem como escopo a descaracterização total da Barragem Alto Jacutinga, incluindo a remoção integral do maciço da barragem e dos sedimentos acumulados no reservatório. Essa escolha foi fundamentada no Estudo de Alternativas e Trade-Off (RL-1850HH-X-40051 – DF+, 2025), o qual avaliou três possibilidades: (i) descaracterização por remoção total, (ii) reforço com enrocamento, e (iii) reforço com aterro compactado e tratamento de fundação. A alternativa selecionada apresentou maior aderência às diretrizes legais, menor impacto residual à segurança e menor interferência, conforme análise multicritério.

O escopo definido foi posteriormente desenvolvido em nível conceitual no documento RL-1850HH-X-40052 (DF+, 2025), contemplando exclusivamente a solução de descaracterização por remoção total e estabelecendo as diretrizes técnicas que nortearam a elaboração do presente projeto detalhado.

O arranjo geral prevê a escavação integral do reservatório e do maciço, restituindo o relevo natural e reintegrando o leito do Córrego do Meio ao seu traçado original, mediante a implantação de um canal de restauração e estruturas hidráulicas do tipo espinha de peixe.

A concepção considerou todas as informações técnicas disponíveis e as premissas necessárias para garantir segurança, eficiência construtiva e conformidade normativa. A solução está representada no arranjo geral (Figura 9.1) e nas seções transversais (Figura 9.2).



CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40017

PÁGINA

15/57

Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3551

REV.

0

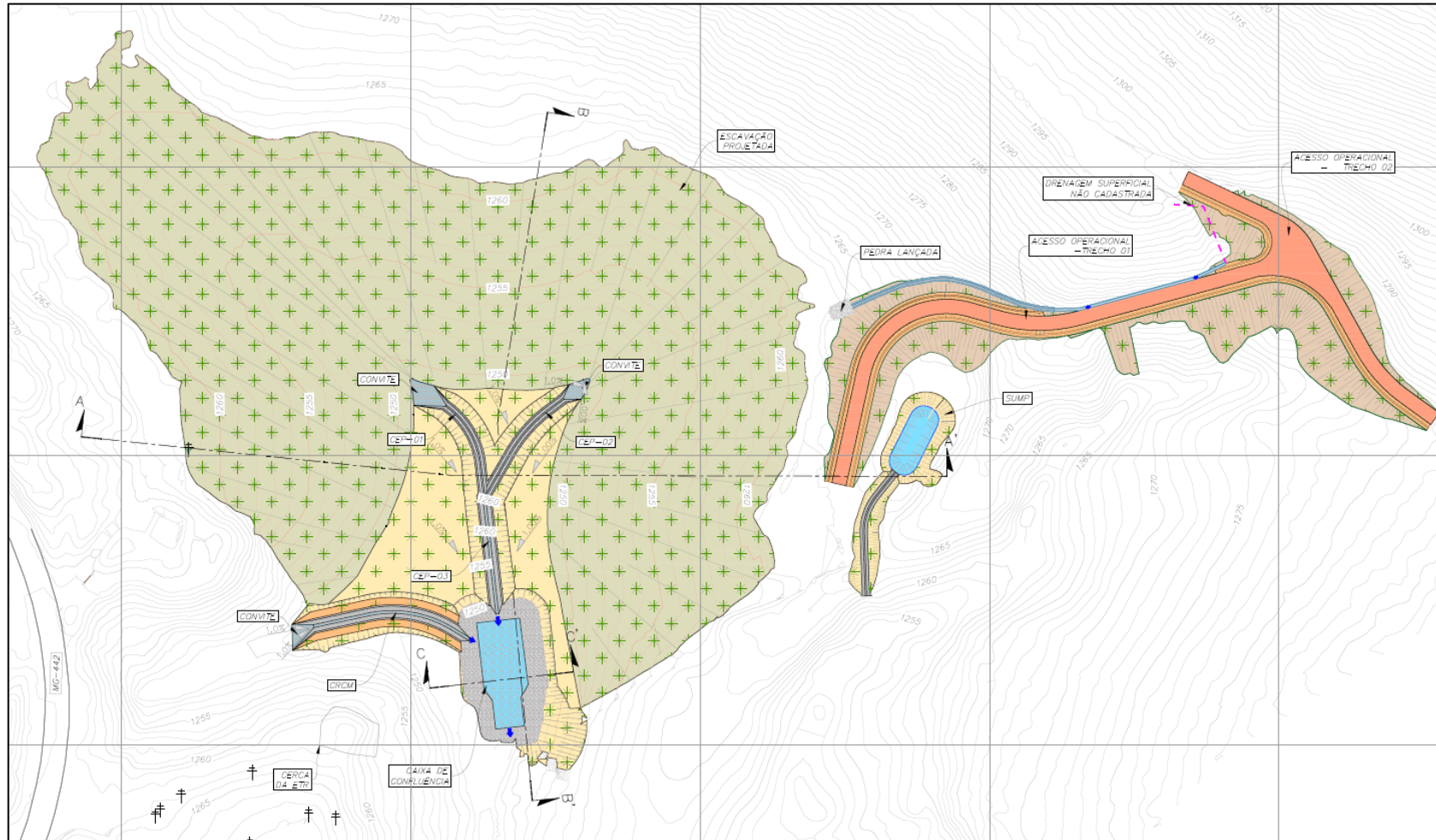


Figura 9.1 – Arranjo Geral – Planta – Descaracterização da Barragem Alto Jacutinga  
Fonte: 1850HH-X-42385 - (DF+, 2025)



CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO  
JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40017

Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3551

PÁGINA

16/57

REV.

0

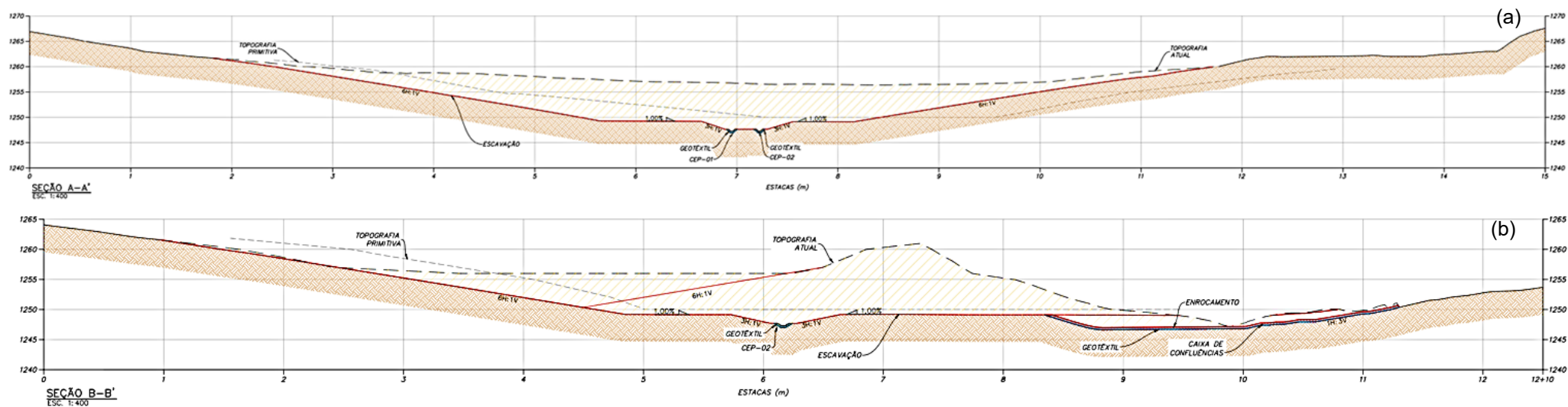




Figura 9.2 – Arranjo Geral - Seções– Descaracterização da Barragem Alto Jacutinga (a) Seção A-A' e, (b) Seção B-B'.  
Fonte: 1850HH-X-42386 - (DF+, 2025)

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>17/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

## 9.1 FASES DE IMPLANTAÇÃO

A execução das obras será conduzida em etapas sequenciais, seguindo planejamento técnico, condicionantes ambientais e diretrizes operacionais, com foco na segurança, no controle de impactos e na efetiva descaracterização da estrutura.

Para compatibilizar as frentes de serviço com o cronograma executivo da VALE, o processo foi segmentado em duas Fases Macro:

**Fase 01 (a ser executada em 2025):** Inclui as ações preparatórias para remoção dos sedimentos do reservatório da Barragem Alto Jacutinga, culminando na liberação da área para escavação e escavação de parte do sedimento.

- **Fase 02 (programada para após o período chuvoso de 2026):** Abrange a descaracterização física da estrutura, implantação das estruturas hidráulicas finais e recuperação ambiental da área.

### 9.1.1 Fase 01

#### 9.1.1.1 *Manejo da fauna e microbiota aquática*

Conforme diretrizes da equipe de Meio Ambiente da Vale, após vistoria realizada pela respectiva equipe a Barragem Alto Jacutinga não foi detectada a presença de peixes na coluna d'água. Dessa forma, não se faz necessária a etapa de despesca para a descaracterização da estrutura.



Ressalta-se, entretanto, que caso sejam encontrados exemplares da ictiofauna durante o processo de rebaixamento, o setor de Meio Ambiente deverá ser imediatamente informado, garantindo o adequado manejo conforme normas ambientais vigentes.

#### 9.1.1.2 *Rebaixamento do nível d'água do reservatório*

Esta etapa é fundamental para viabilizar a drenagem controlada do reservatório e a posterior remoção dos sedimentos depositados, além de contribuir para a redução dos gradientes hidráulicos, minimizando os riscos associados às fases de escavação.

O bombeamento deverá ocorrer de forma controlada, com taxa máxima de rebaixamento limitada a 1,0 m/dia, conforme adotado de maneira conservadora em relação ao valor de 3,3 m/dia calculado na análise de estabilidade (item 10.1.4). Esse limite foi estabelecido a partir da análise de estabilidade dos taludes, de forma a evitar instabilidades decorrentes de rebaixamento rápido.

A operação do sistema de bombeamento não terá restrição quanto ao período diário de funcionamento, desde que sejam mantidos o controle contínuo da profundidade da lâmina d'água e o monitoramento da turbidez da água bombeada. O valor de turbidez deverá ser

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>18/57</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

mantido abaixo de 100 NTU, em conformidade com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para corpos de água doce de Classe 2.

A água será direcionada ao córrego a jusante, sendo imprescindível o acompanhamento frequente das condições operacionais, de modo a permitir pronta intervenção em caso de necessidade.

Os volumes considerados neste estudo foram obtidos com base na auditoria do 2º Ciclo 2025 (RL-1850HH-X-40054) e correspondem aos volumes existentes no reservatório abaixo da soleira do extravasor.

A vazão de bombeamento foi calculada considerando:

- Operação contínua (24 horas);
- Utilização da bomba atualmente instalada no reservatório, com vazão nominal máxima de 250 m³/h.

Com base nesses parâmetros, estimou-se o tempo necessário para o esvaziamento do reservatório, conforme apresentado na Tabela 9.1.

Tabela 9.1 – Tempo estimado para esvaziamento

Volume a ser bombeado (m³)	Tempo para esvaziamento (dias)	Vazão de bombeamento 24h/d (m³/h)
43.260	8	1802,5 m³/h

Considerando que a Barragem Barnabé 1 é a última estrutura da cascata, recomenda-se a execução de monitoramento contínuo da turbidez da água imediatamente a jusante desta estrutura durante todo o período de bombeamento. Esse controle permitirá identificar variações nos sólidos suspensos e adotar medidas mitigadoras de forma tempestiva, evitando impactos à qualidade da água no corpo receptor.



### 9.1.1.3 Supressão Vegetal e Implantação Acesso Operacional

A supressão vegetal seguirá as delimitações obtidas por interpretação de imagem de satélite (Google Earth Pro – abril/2024), compatibilizadas com o projeto executivo de acessos, descaracterização e canais remanescentes.

- **Delimitações da Área Diretamente Afetada (ADA):** buffers de 10 m em torno de cada frente de intervenção, para a região do acesso operacional considerou-se 5 m;
- **Quantitativos de supressão:** conforme Tabela 9.2;
- **Representação gráfica:** Figura 9.3.

Tabela 9.2 – Quantitativos referentes à Supressão Vegetal.

Aterros e Canal de Descaracterização	
Supressão Vegetal	13.404,34 m²

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>19/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

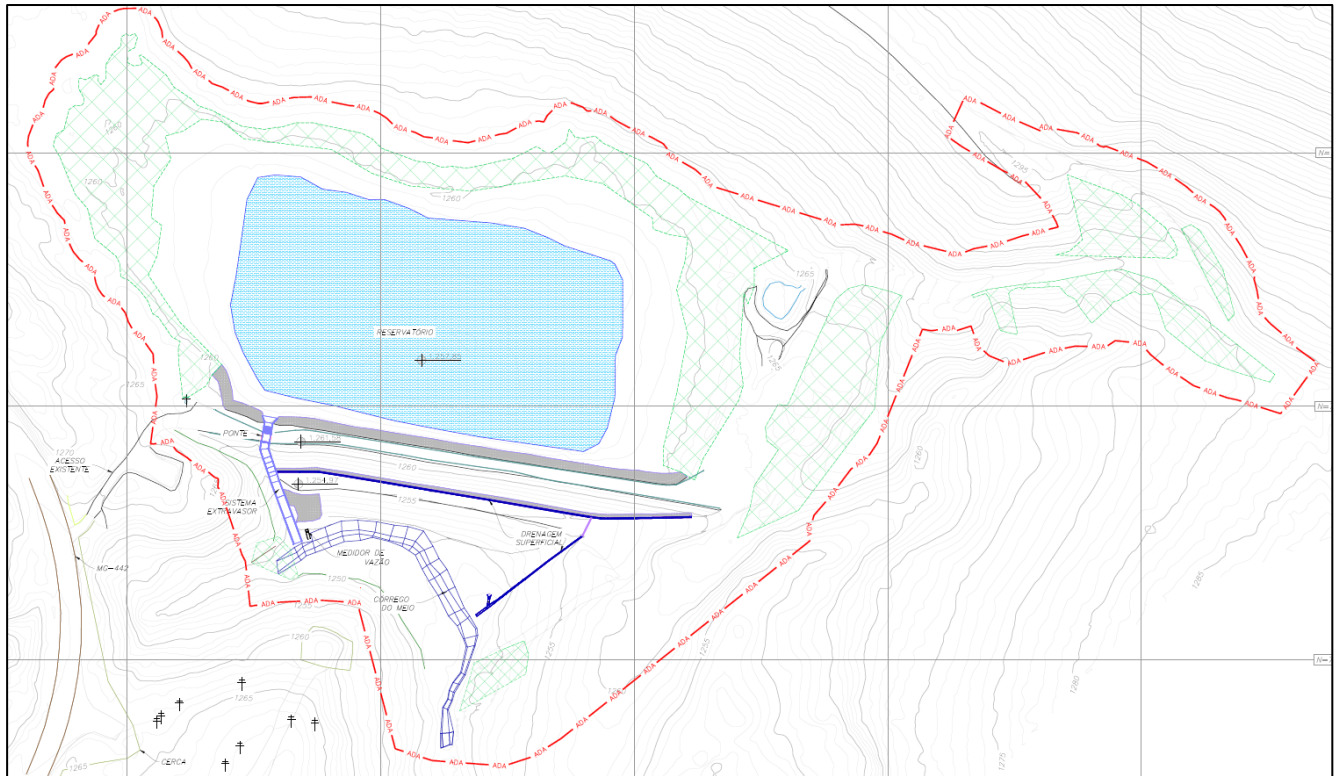


Figura 9.3 – Planta Supressão Vegetal e delimitação da ADA  
 Fonte: 1850HH-X-42397 - (DF+, 2025)

Ressalta-se que, atualmente, a área licenciada abrange única e exclusivamente a região do reservatório (Figura 9.4), sendo necessário licenciamento do restante da área para possibilitar as atividades a serem executadas para descaracterização da Barragem.



		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>20/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>



Figura 9.4 – Área Licenciada atualmente

Fonte: Google Earth Pro (imagem extraída em agosto de 2025, datada abril de 2024)

O acesso existente será mantido, porém, trechos com declividades de até 25% (Figura 9.5) inviabilizam o trânsito seguro de veículos e equipamentos pesados. Por isso, foi projetada a adequação do Acesso Operacional, conforme arranjo geral (1850HH-X-42389 – DF+, 2025) e seções (1850HH-X-42390 – DF+, 2025), garantindo as condições geométricas e estruturais necessárias ao tráfego durante a execução das obras.



Além disso, deverão ser executados dispositivos de drenagem superficial no bordo deste acesso, conforme detalhado no desenhos (1850HH-X-42392).

Para a avaliação de estabilidade dos taludes resultantes das atividades de corte e aterro previstas em projeto, foram observados os Fatores de Segurança mínimos ( $FS_{\min}$ ) estabelecidos pela NBR 11.682:2009 – Estabilidade de encostas, a qual determina os valores mínimos de Fatores de Segurança relacionando danos a vidas humanas e danos materiais e ambientais, conforme apresentado no relatório de estudos e dimensionamentos (RL-1850HH-X-40018 - DF+, 2025).

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>21/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>



Figura 9.5 – Região Acesso Operacional Existente  
 Fonte: Visita Técnica DF+ (Agosto de 2025)

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>22/57</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

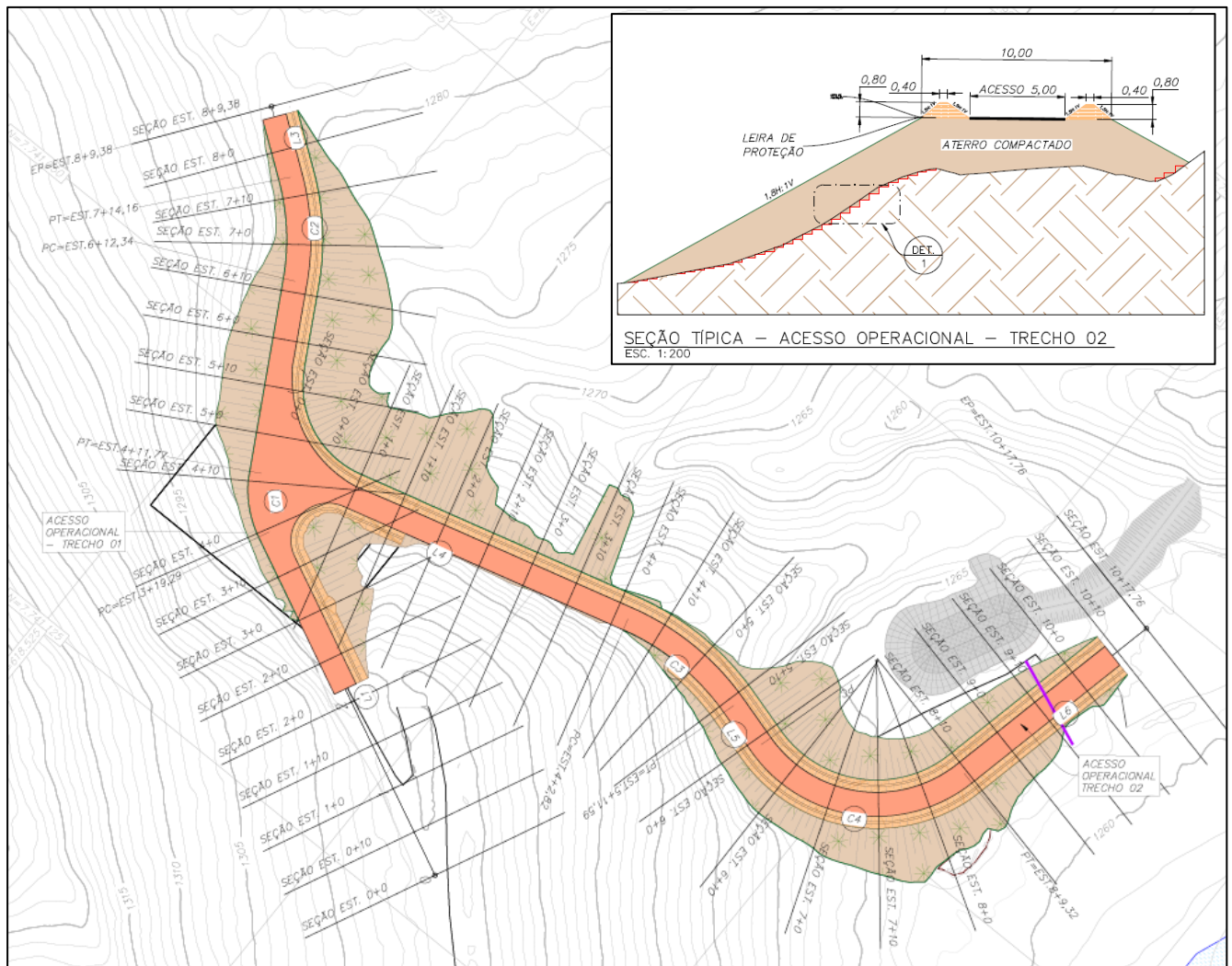




Figura 9.6 – Planta e Seção Típica do Acesso Construtivo  
 Fonte: 1850HH-X-42389 - (DF+, 2025)

#### 9.1.1.4 Execução de Aterro de Conquista

Para possibilitar a entrada de equipamentos no interior do reservatório e a execução mecanizada da escavação, após o rebaixamento do lago deverá ser implantado o acesso operacional interno a partir das margens do reservatório, utilizando técnicas de aterro esteirado e compactado, com execução adaptativa e sem geometria rígida pré-definida. Considerando a variabilidade operacional e as condições geotécnicas dos sedimentos, não será estabelecida geometria fixa para os aterros de conquista nesta fase de projeto. O detalhamento geométrico e os ajustes necessários à implantação ficarão a cargo da contratante, que deverá executá-los conforme o avanço da escavação e as condições reais observadas em campo, garantindo sempre a conformidade com os padrões técnicos e normativos aplicáveis da VALE.



		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>23/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

O aterro será lançado sobre sedimento de consistência muito mole, condição que pode acarretar dificuldades durante a execução devido à baixa capacidade de suporte do material de fundação. Em casos de maior dificuldade, poderá ser necessário o agulhamento — lançamento de blocos de rocha ou rachão sobre o solo mole — com o objetivo de aumentar sua capacidade de suporte antes da execução do aterro. Em situações mais críticas, a solução a ser adotada para viabilizar a execução sobre solo mole será indicada pelo ATO presente em campo e validada pela fiscalização, sendo definida pela projetista em função das condições efetivamente encontradas durante a obra.

#### 9.1.1.5 Remoção do sedimento do reservatório

A remoção dos sedimentos do reservatório será executada de forma a preservar, junto ao maciço, a cota final atualmente observada nesta região, evitando a exposição excessiva da base e garantindo a estabilidade do talude de montante. Para assegurar a condição de estabilidade, a conformação da escavação adotará inclinação de 1V:6H, reduzindo gradientes e prevenindo a ocorrência de instabilidades. O material, localizado além da faixa de proteção junto ao maciço, será integralmente removido, totalizando um volume estimado de 42.463 m<sup>3</sup>, e transportado para um platô situado nas proximidades do acesso à barragem, tendo como finalidade a redução da umidade natural do sedimento, viabilizando o carregamento e o transporte seguro por caminhões, além do adequado manejo do material ao destino, prevenindo contaminações das vias e áreas de transbordo.

Os pontos notáveis da escavação (remoção) para esta etapa estão representados na Figura 9.7. Destaca-se que, considerando a incerteza quanto às condições reais do sedimento no reservatório e à manutenção desta conformação, adota-se a premissa de preservar a distância do pé do talude, limitando a escavação até o alinhamento dos pontos notáveis 44 a 48.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>24/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

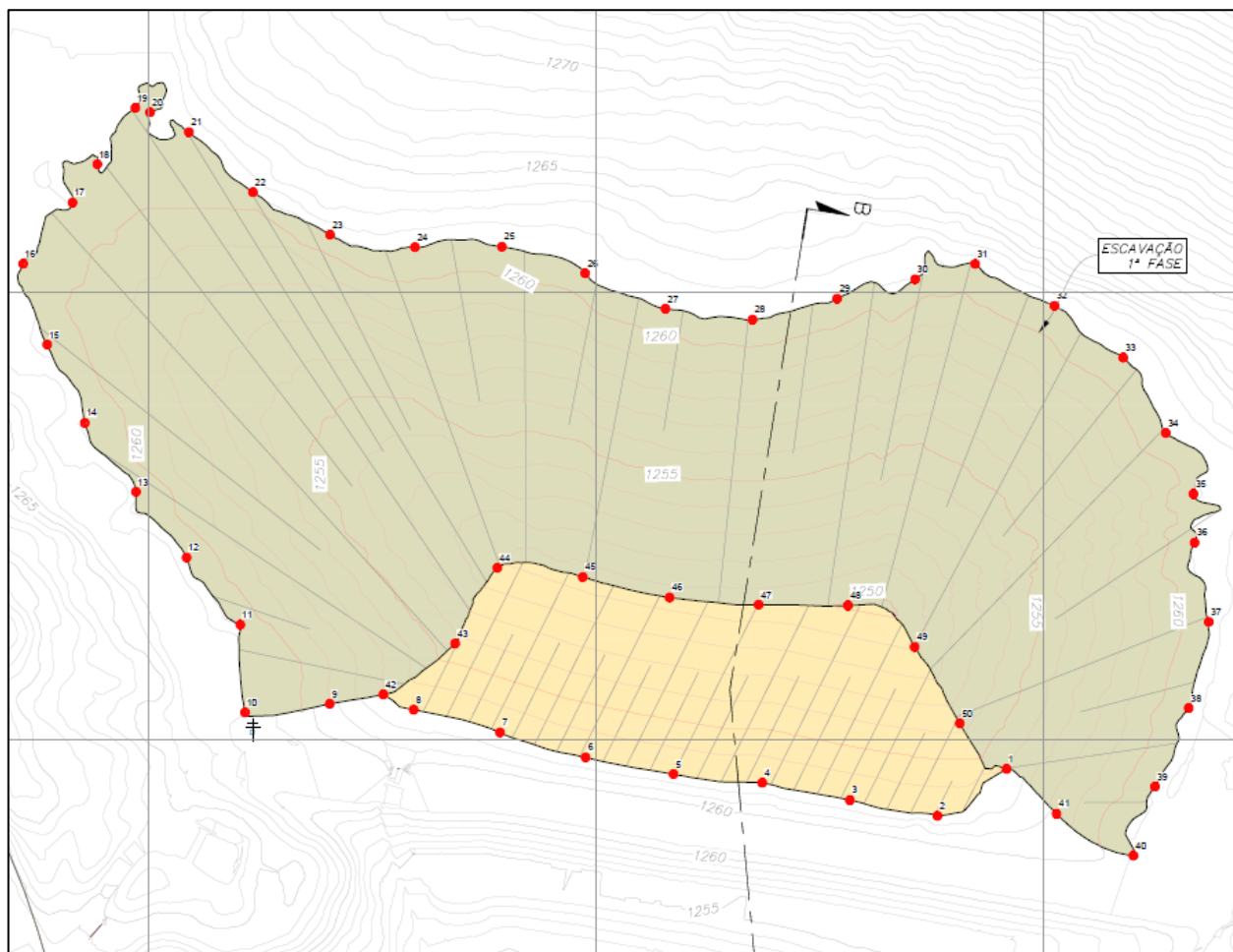




Figura 9.7 – Detalhes da Remoção de Sedimentos do Reservatório – 1º fase  
 Fonte: 1850HH-X-42387 (DF+, 2025)

Durante a etapa de escavação do reservatório o atual sistema extravasor da Barragem continuará em operação para garantia da segurança hidráulica da barragem durante a ocorrência de eventos de precipitação extrema. Portanto, deverá ser mantido o sistema de bombeamento implantado para esgotar a água que poderá se acumular no fundo durante a escavação do sedimento.

Ressalta-se que a fase de escavação deverá ser feita, obrigatoriamente, no período de estiagem. Além disso, durante as etapas de escavação, deverá ser mantido monitoramento constante de deslocamento da barragem e do talude natural a montante do reservatório por meio de ETR, além dos instrumentos de medição piezométrica.

O transporte, o destino final, o espalhamento e a conformação do material removido, bem como a execução das estruturas de drenagem e controle de sedimentos associadas a essa disposição, não estão contemplados no presente projeto.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>25/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

### 9.1.2 Fase 02

A Fase Macro 02 corresponde às ações previstas para o período pós-estação chuvosa de 2025/2026, contemplando as atividades finais de descaracterização da Barragem Alto Jacutinga. Nesta fase serão removidas as interferências remanescentes, promovida a escavação integral do maciço e do extravasor, executado o desvio e a readequação do Córrego do Meio, implantadas as estruturas hidráulicas finais e realizada a revegetação da área interveniente.

#### 9.1.2.1 *Remoção de interferências*

Nesta etapa serão removidas todas as interferências que impeçam a execução das etapas subsequentes, incluindo instrumentação geotécnica e estruturas de concreto. Serão retirados todos os tiltímetros instalados na estrutura, uma vez que, caso permaneçam apenas os remanescentes a jusante da barragem, sua eficácia no monitoramento será comprometida.

A retirada da instrumentação seguirá a seguinte ordem: antes da escavação do 2º alteamento, serão removidos todos os instrumentos localizados na crista da barragem, os demais instrumentos serão retirados conforme o avanço das etapas construtivas de escavação do maciço, que ocorrerá em três fases distintas, conforme apresentado no desenho (1850HH-X-42393 - DF+, 2025).

Além da instrumentação, também poderão ser demolidas as estruturas de drenagem superficial em concreto existentes.

#### 9.1.2.2 *Escavação do maciço da barragem e extravasor*

As atividades de descaracterização serão conduzidas em etapas sucessivas, com avanço de 2,0 m por fase. O processo terá início pela demolição do sistema extravasor existente, seguida da execução de canal provisório para condução das águas superficiais. Este canal será escavado com inclinação de talude de 3H:1V, sendo a entrada protegida por sacos de areia, de forma a direcionar a vazão para o trecho remanescente do extravasor e evitar erosões localizadas. Concluída a adaptação do canal provisório, será iniciada a remoção do maciço, mantendo-se, durante cada etapa, uma diferença de cota de aproximadamente 1,5 m acima do nível do extravasor remanescente, garantindo assim a borda livre necessária para o controle de cheias e a segurança hidráulica em caso de ocorrência de chuvas durante as obras.

Nesta fase 2 será realizada a remoção final do sedimento do reservatório, concomitante com a escavação do maciço.

A Figura 9.8 apresenta a sequência da escavação detalhada no desenho 1850HH-X42394 (DF+, 2025).



CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO  
- BARRAGEM ALTO JACUTINGA -  
S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE  
RL-1850HH-X-40017

PÁGINA  
26/57

Nº (CONTRATADA)

REV.

DF23-C044-5-ENG-RTE-3551

0

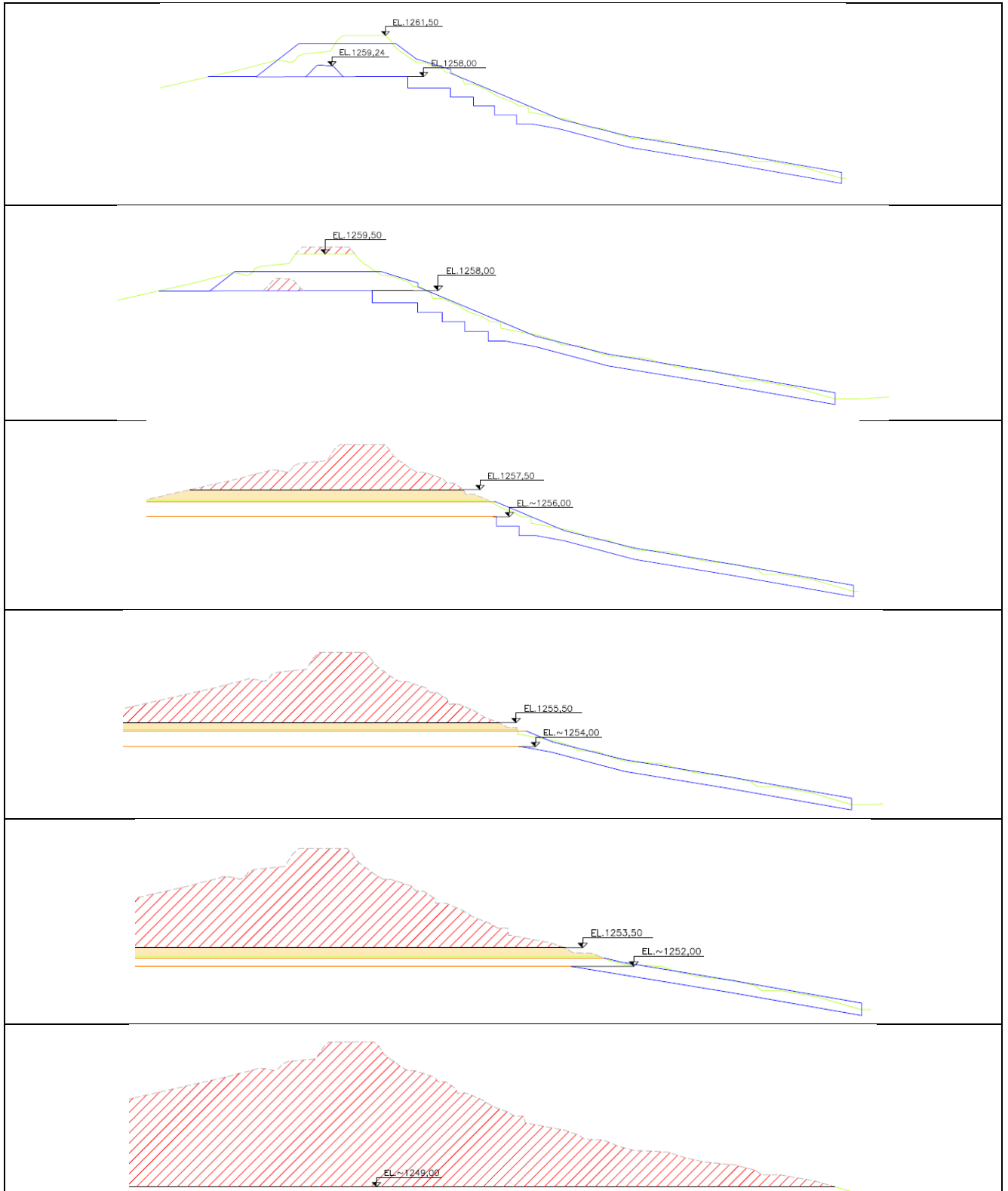




Figura 9.8 – Etapas escavação e demolição  
Fonte: 1850HH-X42394 e 1850HH-X42544 (DF+, 2025)

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>27/57</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

### 9.1.2.3 Desvio do Córrego do Meio

Para viabilizar a adequação do Canal de Restauração do Córrego do Meio (CRCM), será necessário executar um dispositivo de desvio provisório do curso de água (Figura 9.9). Este desvio, em seção triangular, poderá ser implantado após a conclusão da escavação do reservatório e do maciço ou, alternativamente, durante a fase final de escavação, conforme as condições operacionais. Porém, ambos os canais à jusante da barragem deverão ser executados impreterivelmente em período de estiagem.

O objetivo é viabilizar a restauração do Córrego do Meio mediante a execução do novo traçado de forma estável e ambientalmente segura, atendendo ao projeto hidráulico aprovado. Os sistemas de desvio são obras temporárias destinadas a manter trechos fluviais secos, permitindo a execução das estruturas definitivas, e podem ser compostos por ensecadeiras, tubulações, bombeamento e canais provisórios.

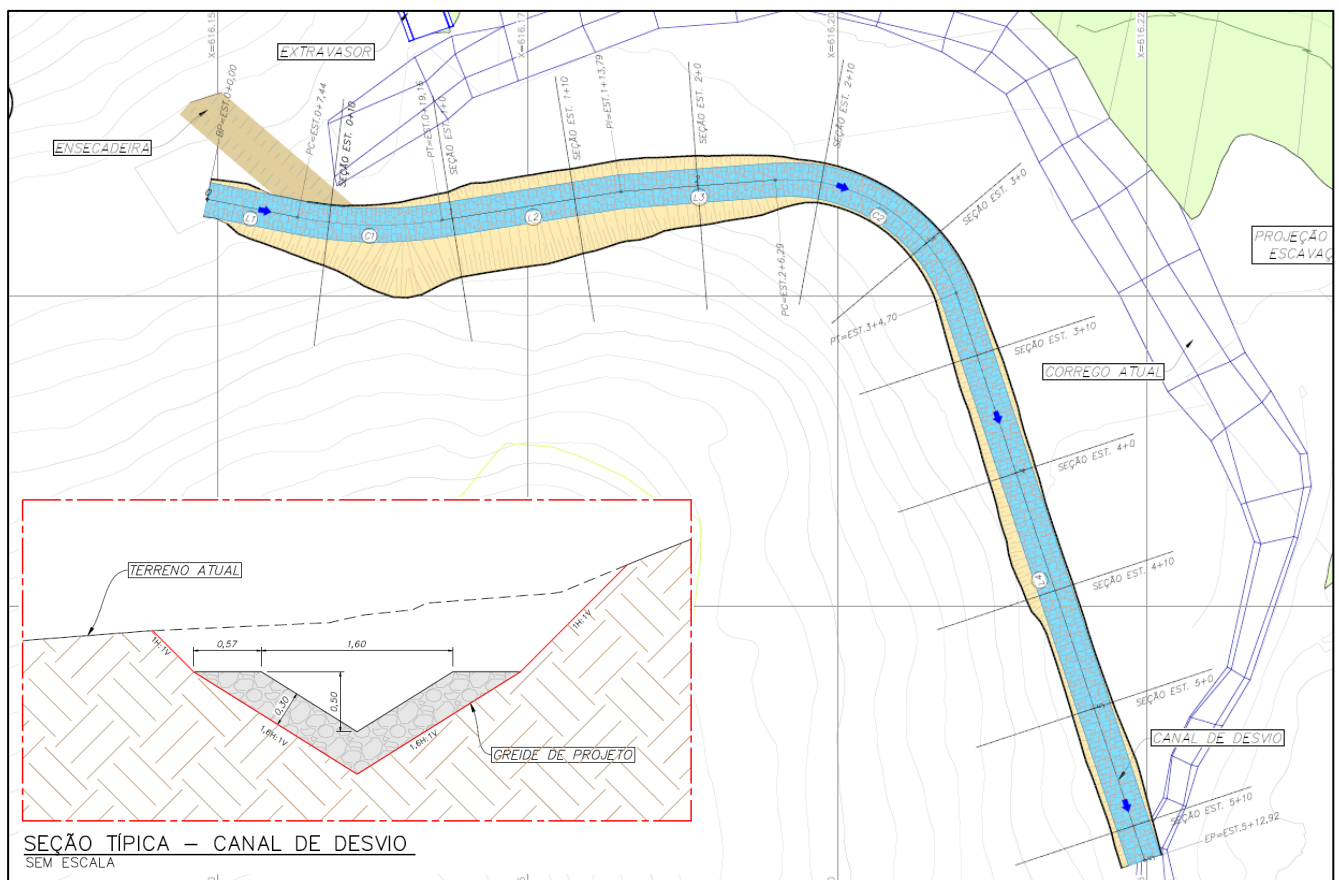




Figura 9.9 – Detalhe do Canal de Desvio Provisório do Córrego

Fonte: 1850HH-X-42461 (DF+, 2025)

### 9.1.2.4 Execução dos canais definitivos

		CLASSIFICAÇÃO:	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>	
		RESTRITA	Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>28/57</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>	

Foi projetado um sistema de canais para conduzir o escoamento na região atualmente ocupada pela Barragem Alto Jacutinga. Na Tabela 9.3 é apresentada a descrição desses dispositivos hidráulicos, com as siglas correspondentes à nomenclatura adotada e a descrição do enrocamento adotado para revestir os leitos menores de cada estrutura proposta. Adicionalmente, na Figura 9.10 é apresentada uma planta com a identificação dos dispositivos hidráulicos.

Tabela 9.3 – Descrição de dispositivos hidráulicos

Dispositivo	Sigla	Revestimento
Canal do Tipo Espinha de Peixe 1	CEP-01	Enrocamento ( $D_{50} = 0,15$ )
Canal do Tipo Espinha de Peixe 2	CEP-02	Enrocamento ( $D_{50} = 0,15$ )
Canal do Tipo Espinha de Peixe 3	CEP-03	Enrocamento ( $D_{50} = 0,15$ )
Caixa de Confluência	-	Enrocamento ( $D_{50} = 0,20$ )
Canal de Restauração do Córrego do Meio	CRCM	Enrocamento ( $D_{50} = 0,20$ )

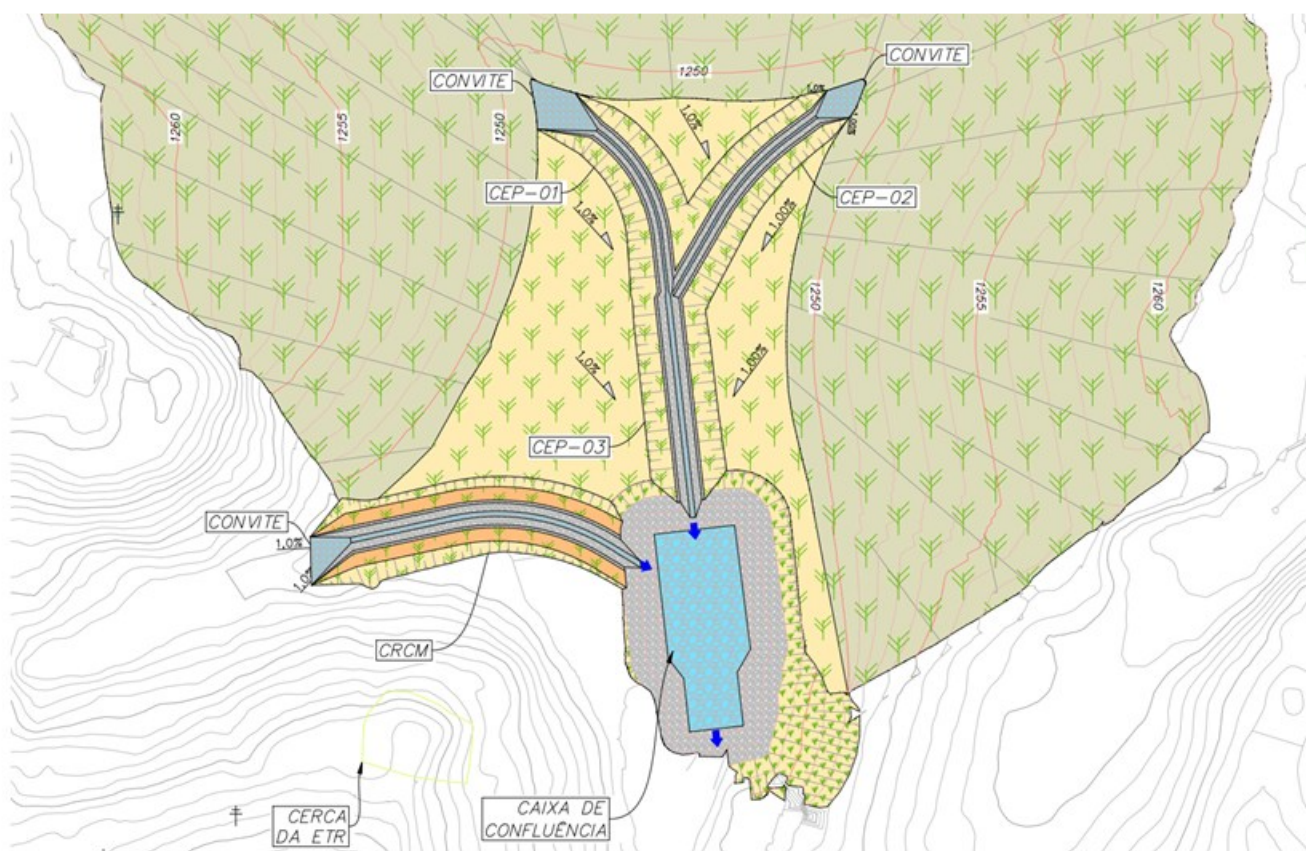




Figura 9.10 – Planta com a identificação dos dispositivos hidráulicos.  
Fonte: 1850HH-X-42385 (DF+, 2025)

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>29/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

O dimensionamento desses dispositivos foi desempenhado a partir de modelagens unidimensional e bidimensional, fundamentadas em um modelo digital de terreno (MDT), identificando as regiões de maior elevação e velocidade da lâmina de água.

Nos canais CEP-01, CEP-02 e CRCM, serão implantadas seções de convite no emboque, com a função de disciplinar a lâmina de água, suportar as velocidades mais expressivas do sistema e direcionar o escoamento para as calhas projetadas, reduzindo processos erosivos e dispersão lateral do fluxo.

Os canais trapezoidais CEP-01 e CEP-02 terão 0,50 m de base menor e 2,60 m de base maior em seu leitos revestidos com enrocamento de 30 cm de espessura ( $D_{50} = 0,15$  m), assentado sobre geotêxtil não tecido. A inclinação interna da base de enrocamento será de 1,5H:1V. O leito maior desses dispositivos, será escavado enquanto o talude revegetado apresentará inclinação de 3H:1V. Na Figura 9.11 é apresentada a seção típica do CEP-01 e do Cep-02.

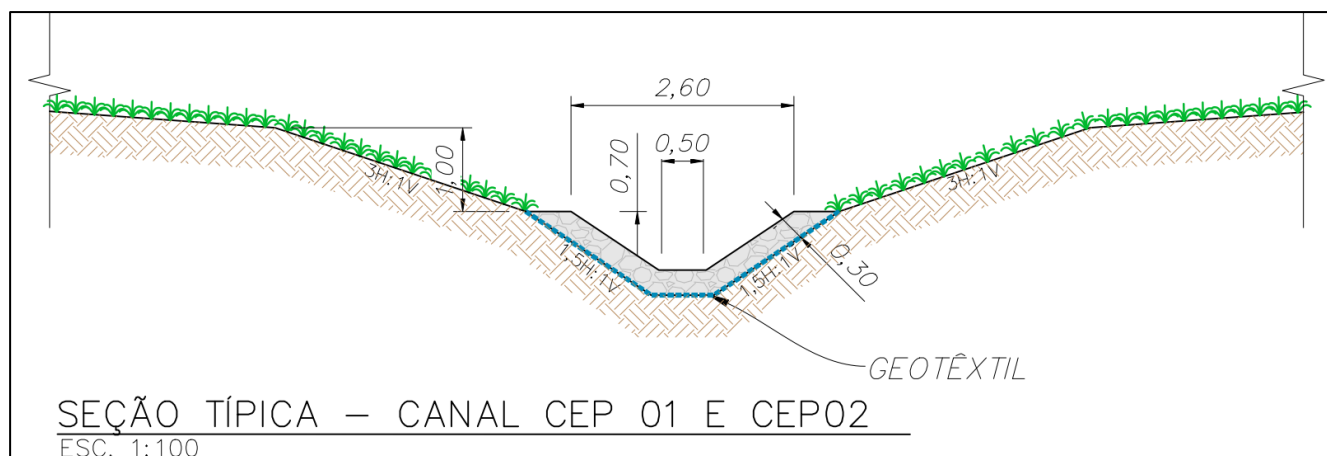




Figura 9.11 – Drenagem Superficial – CEP 01 e CEP 02 – Seções  
 Fonte: adaptado de 1850HH-X-42398 e 1850HH-X-42399 (DF+, 2025).

Os canais CEP-01 e CEP-02 conduzem o escoamento para o canal trapezoidal CEP-03, que terá 1,00 m de base menor e 4,00 m de base maior em seu leito de enrocamento, mantendo a espessura e granulometria de enrocamento. O leito maior desse dispositivo, será escavado enquanto o talude revegetado apresentará inclinação de 3H:1V. Na Figura 9.12 é apresentada a seção típica do CEP-03.

		CLASSIFICAÇÃO:	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>	
		RESTRITA	Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>30/57</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº (CONTRATADA)	REV. <b>0</b>	
		<b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>		

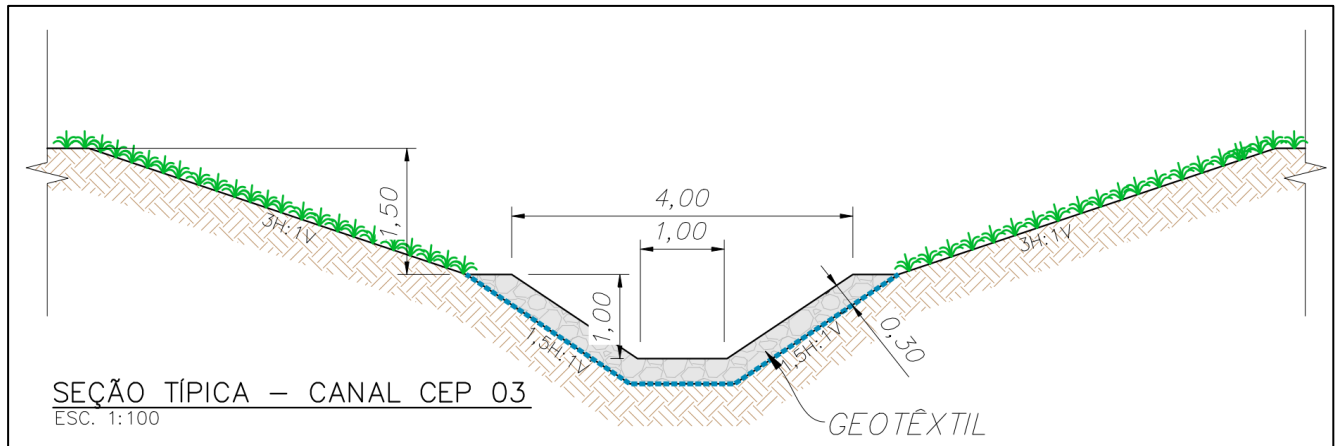


Figura 9.12 – Drenagem Superficial – CEP 03 – Seção  
Fonte: adaptado de 1850HH-X-42398 (DF+, 2025).

O Córrego do Meio, atualmente situado no pé do maciço, terá seu leito restaurado em um canal trapezoidal com base menor de 1,00 m e 4,00 m de base maior. O leito maior desse dispositivo, será escavado e composto por dois taludes revegetados com inclinações de 100H:1V e 2H:1V, respectivamente. Na Figura 9.13 é apresentada a seção típica do CRCM.

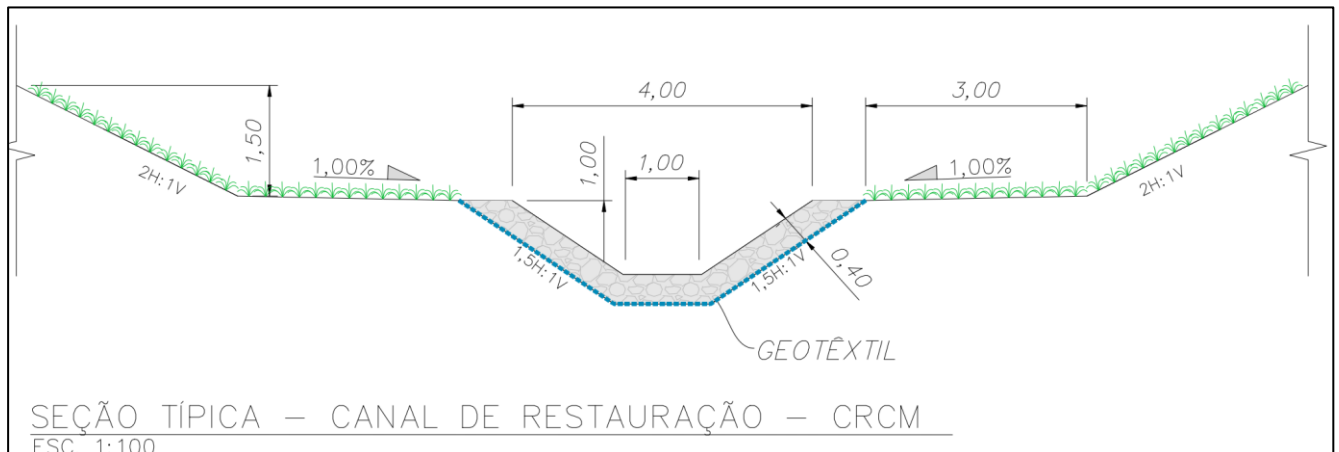




Figura 9.13 – Drenagem Superficial – CEP 03 – Seção  
Fonte: adaptado de 1850HH-X-42398 (DF+, 2025).

Na confluência entre CRCM e CEP-03, será implantada uma caixa projetada para receber e concentrar o escoamento proveniente da região atualmente ocupada pela Barragem Alto Jacutinga e o fluxo de água proveniente do Córrego do Meio. Na caixa de confluência será utilizado enrocamento com  $D_{50} = 0,20$  m e espessura de 40 cm (Figura 9.14). A jusante da caixa de confluência o escoamento será restituído ao talvegue natural.

		CLASSIFICAÇÃO:	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>	
		RESTRITA	Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>31/57</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº (CONTRATADA)	REV.	
		<b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	<b>0</b>	

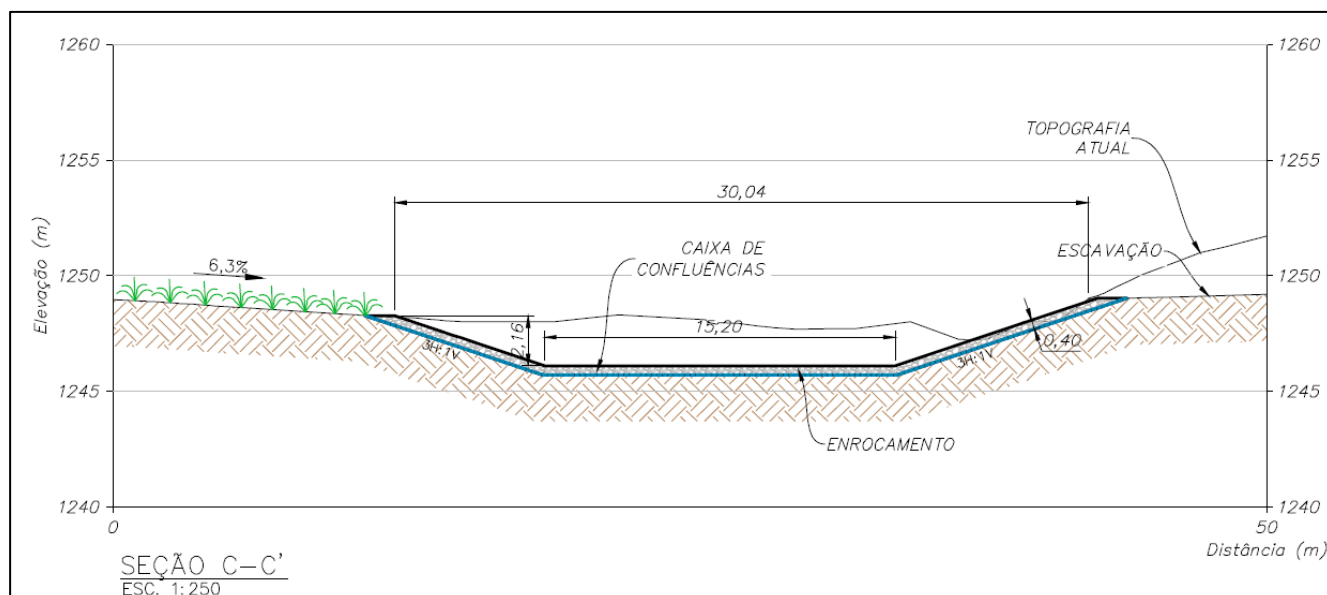


Figura 9.14 – Drenagem Superficial – Caixa de Confluência – Seção  
Fonte: adaptado de 1850HH-X-42386 (DF+, 2025).



A regularização e a escavação dos canais projetados no interior do reservatório poderão ser iniciadas de forma concomitante à escavação das etapas finais do maciço, desde que compatíveis com o cronograma executivo e as frentes de trabalho estabelecidas. Essa abordagem visa otimizar o avanço das obras e permitir que a conformação hidráulica definitiva se desenvolva de maneira integrada às demais atividades de descaracterização. Para maiores detalhes referentes ao dimensionamento dos dispositivos hidráulicos envolvidos na descaracterização, consultar o relatório (RL-1850HH-X-40018 – DF+, 2025), escopo deste mesmo projeto.

#### 9.1.2.5 Revegetação da área interveniente

Como etapa final, será realizada a revegetação, que compreenderá todas as superfícies de solo expostas durante as obras de descaracterização, incluindo os taludes conformados do reservatório, as áreas adjacentes ao maciço removido e os taludes dos canais de restituição implantados. O objetivo é restabelecer a cobertura vegetal, estabilizar o terreno e reduzir significativamente o potencial de erosão hídrica.

Será adotada a técnica de hidrossemeadura, utilizando mistura composta por sementes de espécies de rápido desenvolvimento e adaptadas à região, fertilizantes, condicionadores de solo, aplicados de forma homogênea sobre os taludes e superfícies regulares. Antes da aplicação das sementes. Os insumos sugeridos estão descritos no relatório (RL-1850HH-X-40018 – DF+, 2025), escopo deste mesmo projeto.

Será realizado tratamento superficial do solo com escarificação e, se necessário, correção química para melhoria das condições de germinação e desenvolvimento das plantas.

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>32/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

Além disso, serão implantados biorretentores (bermalongas ou mantas de fibra vegetal) dispostos em curvas de nível e na base dos taludes, com a função de reter sedimentos e proteger o solo até que a cobertura vegetal esteja estabelecida. Os biorretentores estão espaçados de 4 em 4 metros, totalizando 3 linhas com 0,40 m de espessura cada bermalunga.

As medidas previstas deverão seguir as diretrizes do projeto ambiental, sendo realizadas inspeções periódicas e manutenções corretivas para garantir a eficácia do processo de revegetação. O monitoramento deverá se estender até a consolidação da vegetação, assegurando a estabilização definitiva das áreas intervenientes.

## 10.0 ESTUDOS GEOTÉCNICOS

### 10.1 CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE


#### 10.1.1 Crítérios do Software



As análises de estabilidade e percolação foram realizadas utilizando-se o *software SLIDE 2*, desenvolvido pela *Rocscience*, cuja finalidade principal consiste em analisar o Fator de Segurança de taludes pelo método de equilíbrio limite. Desta forma, foram consideradas superfícies não-circulares através dos métodos de Spencer e Morgenstern-Price e superfícies circulares acrescentando o método de Bishop, utilizando o método de otimização *Auto Refine Search*, visando assim obterem superfícies de ruptura críticas à estabilidade dos maciços. Por sua vez, as seções em que foram empregadas superfícies freáticas foram modeladas com a função *water table*.



#### 10.1.2 Determinação Parâmetros De Resistência

As características geotécnicas dos materiais que compõem a estrutura Barragem Alto Jacutinga estão apresentadas no Anexo F do documento RL-1850HH-X-40054 (DF+, 2025) e estão resumidas na Tabela 10.1 e Tabela 10.2.

Tabela 10.1 - Parâmetros utilizados nas análises de estabilidade e percolação

Material	Cor	Parâmetros de Resistência				Parâmetros de Permeabilidade	
		$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$S_u/\sigma'_v$	$k$ (m/s)	$k_v/k_h$
2º Alteamento		20	10	31		$6,5 \times 10^{-8}$	0,5
1º Alteamento		20	5	30		$9,0 \times 10^{-6}$	0,5
Maciço Inicial		19	10	28		$2,9 \times 10^{-6}$	0,5
Aluvião		16	8	27	0,43	$7,4 \times 10^{-6}$	1,0

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>33/57</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

Material	Cor	Parâmetros de Resistência				Parâmetros de Permeabilidade	
		$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$Su/\sigma'_v$	k (m/s)	$k_v/k_h$
Solo Residual Rocha Metamáfica		19	5	31		$2,0 \times 10^{-6}$	1,0
Areia		18	0	30		$5,0 \times 10^{-3}$	1,0
Brita 01		15	0	32		$1,0 \times 10^{-1}$	1,0
Enrocamento		20	0	35		1,0	1,0
Saprólito		19	5	36		$7.4 \times 10^{-6}$	1,0
Hematitinha		19	0	35		$5,0 \times 10^{-4}$	1,0
Sedimento		19	0	25		$3,0 \times 10^{-6}$	1,0
Aterro Sem Controle		18	0	28		$8,0 \times 10^{-5}$	1,0
Aterro de Blocos		19	0	32		$9,0 \times 10^{-5}$	1,0
Aterro Acesso Operacional		18	10	28		-	-




		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>34/57</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

Tabela 10.2 – Parâmetros utilizados nas análises de estabilidade e percolação para rochas

Material	Cor	Parâmetros de Resistência					Parâmetros de Permeabilidade	
		$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	UCS (kPa)	mb	s	a	k (m/s)	$k_v/k_h$
Rocha Branda		22	50000	1,667	0,0039	0,506	$8,0 \times 10^{-7}$	1,00

Os parâmetros de permeabilidade utilizados nas análises de percolação foram calibrados com base na instrumentação instalada.

### 10.1.3 Condição Atual De Estabilidade Da Barragem

Os resultados das análises de estabilidade da condição atual da barragem estão resumidos na Tabela 10.3 e provêm da última auditoria de segurança de barragens (RL-1850HH-X-40054 – DF+, 2025). Os Fatores de Segurança mínimos de referência são baseados na NBR 13028/2024 e na Resolução nº 95 ANM (2022), e atualmente a barragem apresenta fatores acima dos preconizados pelas legislações vigentes.

Tabela 10.3 - Resumo dos resultados das análises de estabilidade – Condição atual Barragem



Seção	Cenário	FSmin	Fator de Segurança Obtido		
			Seção A-A'	Seção B-B'	Seção C-C'
A-A'	<b>Cenário I</b> (Operacional - Drenado)	1,50	1,64	1,74	1,69
	<b>Cenário I</b> (Operacional – Não Drenado)	1,30	1,33	1,74	1,32
	<b>Cenário II</b> (Pseudo-estático)	1,10	1,32	1,18	1,35

Fonte: RL-1850HH-X-40054 (DF+, 2025).

### 10.1.4 Condição de Estabilidade Durante obra

As análises de estabilidade tiveram como objetivo avaliar a segurança da Barragem Alto Jacutinga durante a execução das obras de descaracterização, bem como as condições transitórias e operacionais previstas para os anos de 2025/2026. Para tanto, foram consideradas as seções A-A', B-B' e C-C', definidas nos desenhos do Projeto de Atualização das Seções Geológico-Geotécnicas (1850HH-X-42100, 1850HH-X-42101 e 1850HH-X-42102). As seções foram estendidas até a escavação do reservatório e encontro com o talude natural, permitindo a análise global da configuração prevista.

Os cenários analisados abrangeram condições de montante e jusante, e estão apresentadas detalhadamente no relatório (RL-1850HH-X-40018 – DF+, 2025), escopo deste mesmo projeto.

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>35/57</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>



Os resultados das análises de estabilidade para todos os cenários avaliados estão apresentados na Tabela 10.4 que indicam os fatores de segurança obtidos para as seções A-A', B-B' e C-C'. Adicionalmente, a seção com conformação final dos taludes após escavação, apresentada no arranjo geral (1850HH-X-42390 – DF+, 2025), também atendeu as condições de estabilidade.

Tabela 10.4 - Resumo dos resultados das análises de estabilidade

Seção	Cenário	FSmin	Fator de Segurança Obtido		
			Seção A-A'	Seção B-B'	Seção C-C'
<b>Maciço Barragem</b>	Rebaixamento Rápido Reservatório (Jusante)	1,10	1,28	1,72	1,35
	Rebaixamento Rápido Reservatório (Montante)	1,10	1,73	1,70	1,80
	Cenário Escavação Reservatório Fase 01 (Jusante)	1,30	1,74	1,84	2,04
	Cenário Escavação Reservatório Fase 01 (Montante)	1,30	2,01	1,92	1,94
	Cenário Operacional Drenado (Jusante)	1,50	1,62	1,75	1,68
	Cenário Operacional Drenado (Montante)	1,50	2,21	2,26	2,07
	Cenário Operacional Não-Drenado (Jusante)	1,30	1,30	1,80	1,32
	Cenário Operacional Não-Drenado (Montante)	1,30	2,21	2,26	2,07
	Cenário Pseudo-estática (Jusante)	1,10	1,33	1,48	1,34
	Cenário Pseudo-estática (Montante)	1,10	1,92	1,90	1,72
Seção	Cenário	FSmin	Fator de Segurança Obtido		
<b>Talude Natural</b>	<b>Condição Pós-Obra</b>	1,50	<b>Seção B-B'</b> 3,98		

De forma geral, os resultados confirmam que:

- A conformação adotada durante etapa de remoção parcial do sedimento para as frentes de escavação é suficiente para garantir a estabilidade global durante as obras de descaracterização;
- O processo de rebaixamento rápido, mesmo em regime transiente, não compromete a integridade estrutural;
- Os fatores de segurança obtidos para as condições operacionais drenada e não drenada, bem como para o cenário pseudo-estático, atendem aos critérios normativos vigentes.

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>36/57</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

Assim, conclui-se que a configuração prevista para a descaracterização da Barragem Alto Jacutinga apresenta estabilidade global adequada nas condições temporárias e operacionais analisadas.

#### 10.1.5 Condição de Estabilidade dos Acessos Operacionais

As análises de estabilidade referentes aos acessos operacionais foram realizadas para as seções estaqueadas 1+10, 6+0 e 7+10 (desenhos 1850HH-X-42390 e 1850HH-X-42391), selecionadas por apresentarem os maiores aterros previstos no projeto. Os critérios de análises estão apresentados detalhadamente no relatório (RL-1850HH-X-40018 – DF+, 2025), escopo deste mesmo projeto.

A compilação dos resultados de todas as análises de estabilidade da condição do acesso, estão apresentados na Tabela 10.4.

Tabela 10.5 - Resumo dos resultados das análises de estabilidade



Seção	FSmin	FS obtido
Est. 1+10	1,4	1,74
Est. 6+0		1,56
Est. 7+10 Direita		1,98
Est. 7+10 Esquerda		1,88

As análises realizadas para as seções estaqueadas, considerando o devido atendimento das especificações apresentadas para construção do acesso, atenderam a esse requisito normativo, indicando que os aterros projetados para os acessos operacionais, mesmo sob a atuação da sobrecarga considerada, apresentam condições adequadas de estabilidade para a fase de implantação e uso previsto.

## 11.0 INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO

A barragem em estudo já dispõe de um sistema de instrumentação considerado suficiente para o monitoramento das poropressões e deslocamentos. Entretanto, durante a execução das obras de descaracterização, será adotada uma estratégia de intensificação das rotinas de acompanhamento, de modo a garantir a segurança da estrutura e subsidiar a tomada de decisão em tempo real, conforme apresentado no MA-1850HH-X-00013 (DF+, 2025).

Durante as etapas de escavação, correspondente à remoção de sedimentos e maciço, será priorizado o monitoramento de deslocamentos por meio das Estações Topográficas Robóticas (ETR). As leituras serão constantemente avaliadas pelo Centro de Monitoramento Geotécnico (CMG), de forma a identificar eventuais anomalias. Caso sejam verificadas variações

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>37/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

significativas nos registros, a equipe projetista deverá ser imediatamente acionada para análise e definição de medidas mitigadoras.

Recomenda-se que os prismas instalados tanto no corpo da barragem quanto no talude natural a montante do reservatório mantenham-se com visadas limpas e áreas devidamente roçadas, evitando interferências nas medições ao longo da execução da obra.

Os instrumentos automatizados terão frequência de leitura horária, com acompanhamento diário do centro de monitoramento. Caso ocorra qualquer anomalia ou desvio das leituras, as mesmas devem ser repassadas à equipe de Engenheiro de Registro (EdR). O objetivo é possibilitar o acompanhamento contínuo da evolução das poropressões na estrutura, especialmente em função das etapas de descaracterização.

Nas etapas subsequentes, a remoção dos instrumentos será realizada previamente à retirada do maciço na respectiva região, conforme detalhado no desenho de referência 1850HH-X-42393 (DF+, 2025). Dessa forma, assegura-se que não haja perdas de equipamentos durante a obra, preservando-se, ao mesmo tempo, a continuidade do monitoramento geotécnico em áreas ainda ativas.

## 12.0 ESTUDOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS

Este item apresenta os estudos hidrológicos e hidráulicos realizados no contexto do projeto de descaracterização da Barragem Alto Jacutinga. Foram propostas soluções para a gestão de escoamento no processo de descaracterização da barragem, com foco na segurança hidráulica da estrutura. O relatório (RL-1850HH-X-40018 – DF+, 2025), escopo deste mesmo projeto, apresentou os estudos desenvolvidos para a proposição dos dispositivos hidráulicos, projetados para assegurar a estabilidade da região atualmente ocupada pela Barragem Alto Jacutinga.

### 12.1 METODOLOGIA

Os estudos hidráulicos das soluções propostas neste projeto foram desenvolvidos com o auxílio de modelos computacionais unidimensionais e bidimensionais no HEC-RAS – River Analysis System, distribuído pelo *U.S. Army Corps of Engineers*.

O arranjo geral modelado no HEC-RAS incluiu as condições de contorno de entrada e saída, além das particularidades hidráulicas existentes na área diretamente afetada. O modelo hidráulico iniciou a montante da galeria existente sob a MG-442.

Na Tabela 12.1 são apresentadas as elevações de referência da galeria sob a MG-442.



		CLASSIFICAÇÃO:	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>	
		RESTRITA	Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>38/57</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>	

Tabela 12.1 – Elevações de referência e extensão da galeria sob a MG-442

Estrutura	Elevação da Galeria (m)				Extensão Média da Galeria m
	Montante		Jusante		
	Inferior	Superior	Inferior	Superior	
Galeria Sob a MG-442	1.253,25	1.255,75	1.252,35	1.254,85	47,19

Na Figura 12.1 é apresentada seção transversal que representa a galeria. Na Figura 12.2 é apresentado um o arranjo geral, contendo a galeria, conforme considerada na malha de simulação e os demais dispositivos modelados propostos no presente projeto. O coeficiente de rugosidade de Manning atribuído à galeria foi de 0,018 (s.m-1/3), correspondente ao concreto.

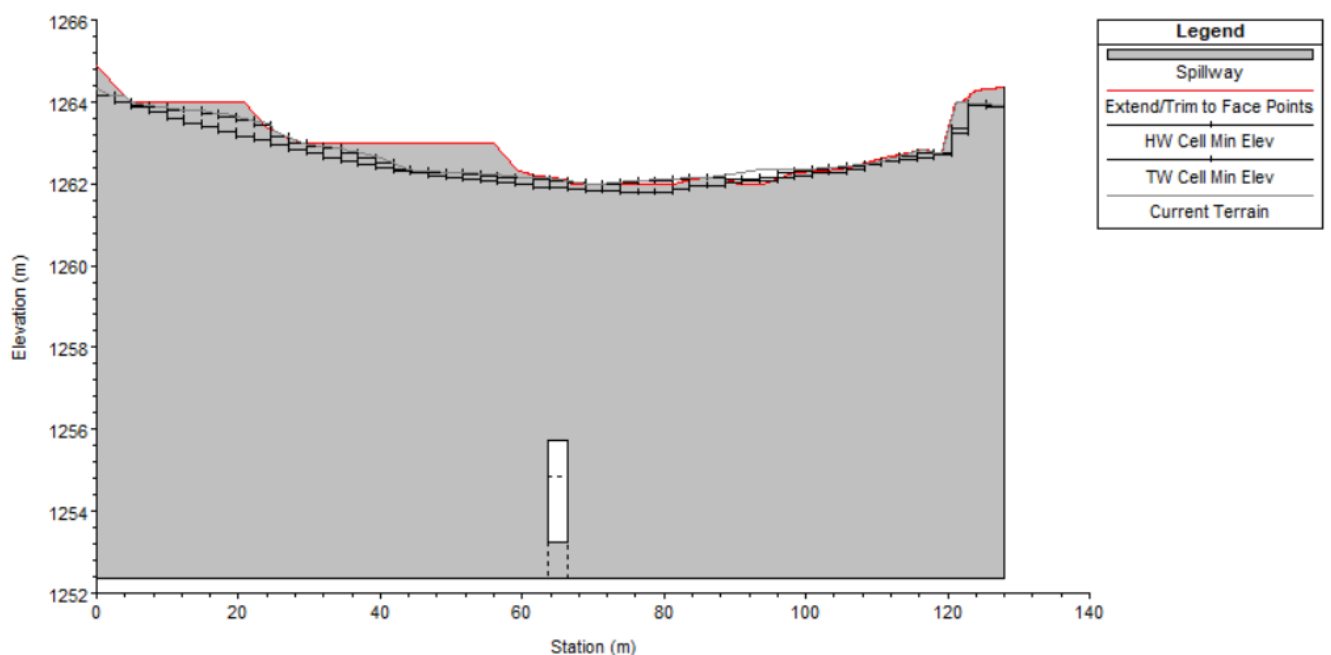




Figura 12.1 – Seção transversal da galeria sob a MG-442 no modelo hidrodinâmico

		CLASSIFICAÇÃO:	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>	
		RESTRITA	Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>39/57</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>	

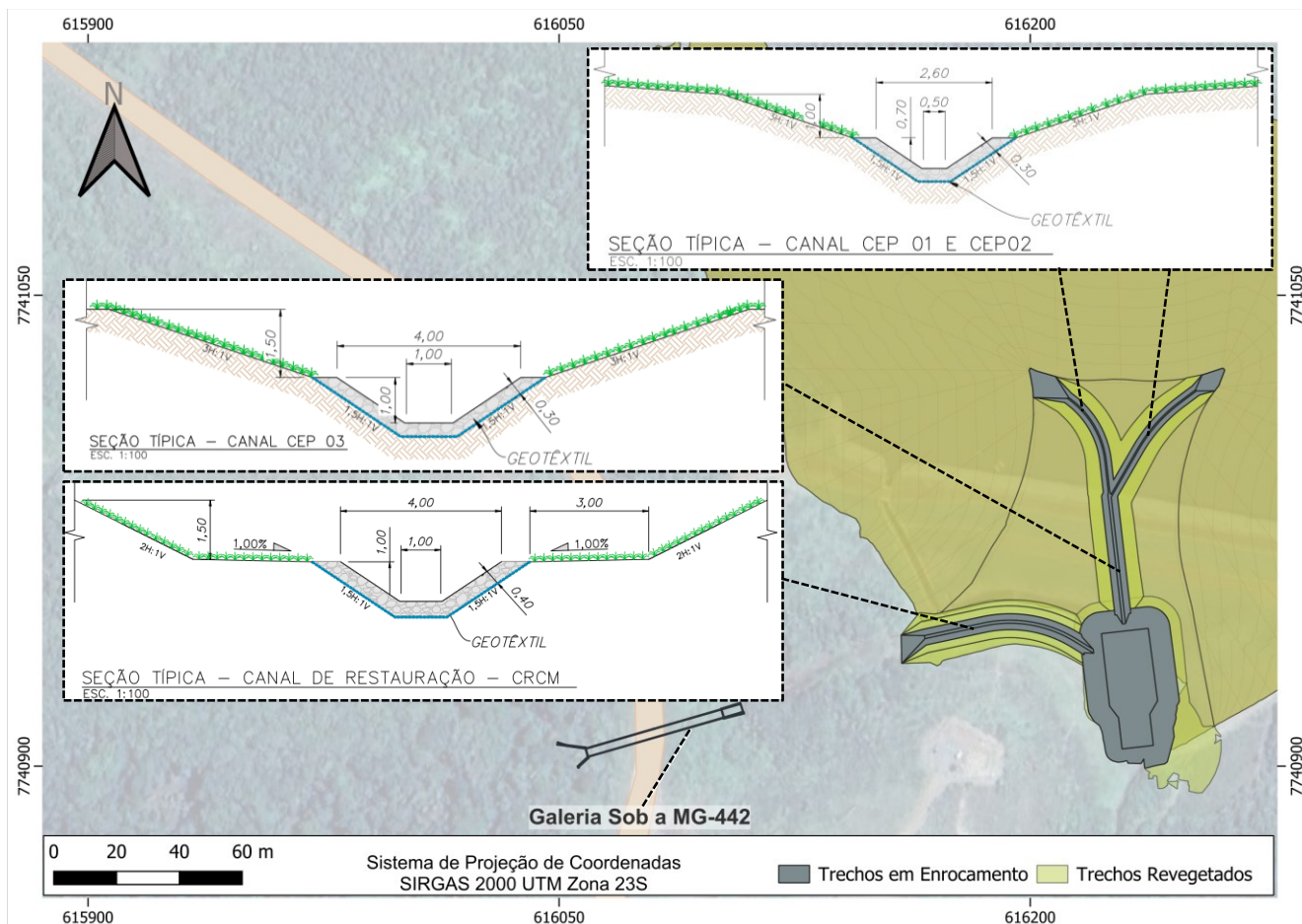




Figura 12.2 – Localização da galeria e demais dispositivos simulados

Para maiores detalhes associados ao desenvolvimento dos estudos hidrológicos e hidráulicos e à metodologia aplicada em cada etapa, consultar o relatório (RL-1850HH-X-40018 – DF+, 2025), escopo deste mesmo projeto.

## 12.2 RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos a partir das modelagens hidráulicas bidimensionais conduzidas para as soluções hidráulicas CEP-01, CEP,02, CEP-03 E CRCM, considerando os períodos de retorno associados a 5 e 10.000 anos.

Da Figura 12.9 à Figura 12.6 são apresentados os resultados obtidos para a lâmina de água e a mancha de velocidade do escoamento na simulação bidimensional dos cenários estudados, considerando os hidrogramas afluentes para TR de 5 e 10.000 anos.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>40/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

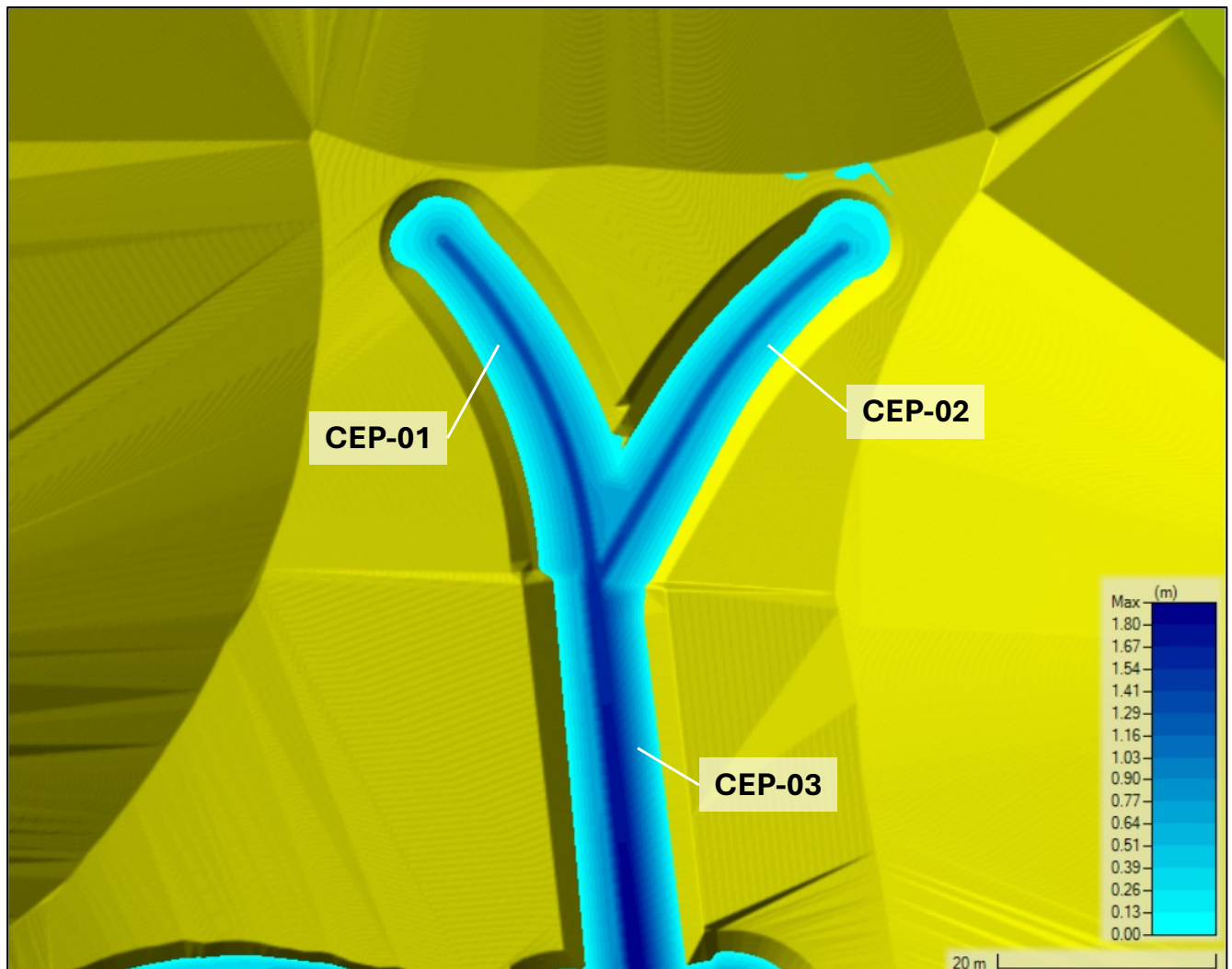




Figura 12.3 – Lâmina de água nos canais do tipo espinha de peixe (CEPs) – TR 5 Anos

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>41/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

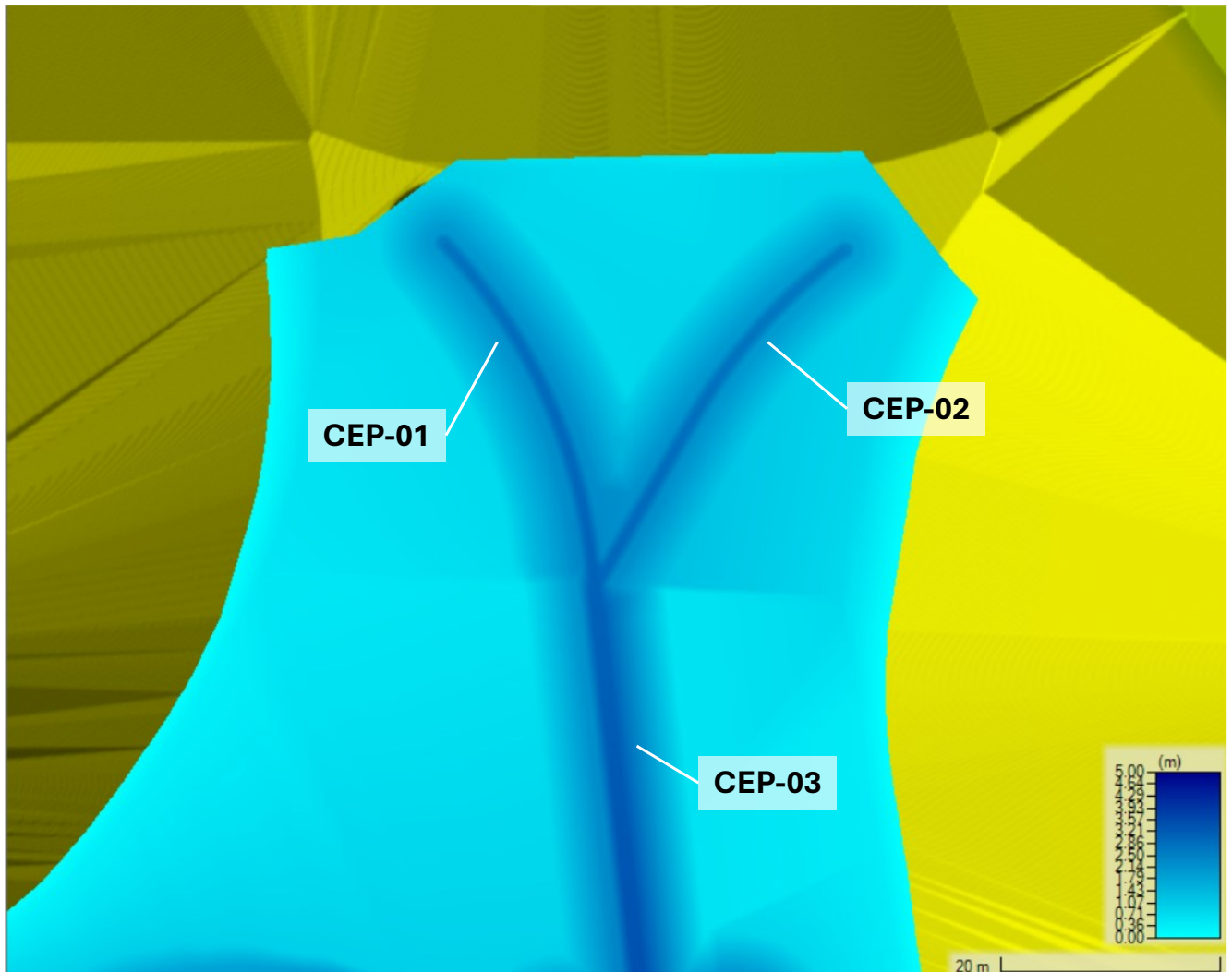




Figura 12.4 – Lâmina de água nos canais do tipo espinha de peixe (CEPs) – TR 10.000 Anos

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>42/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

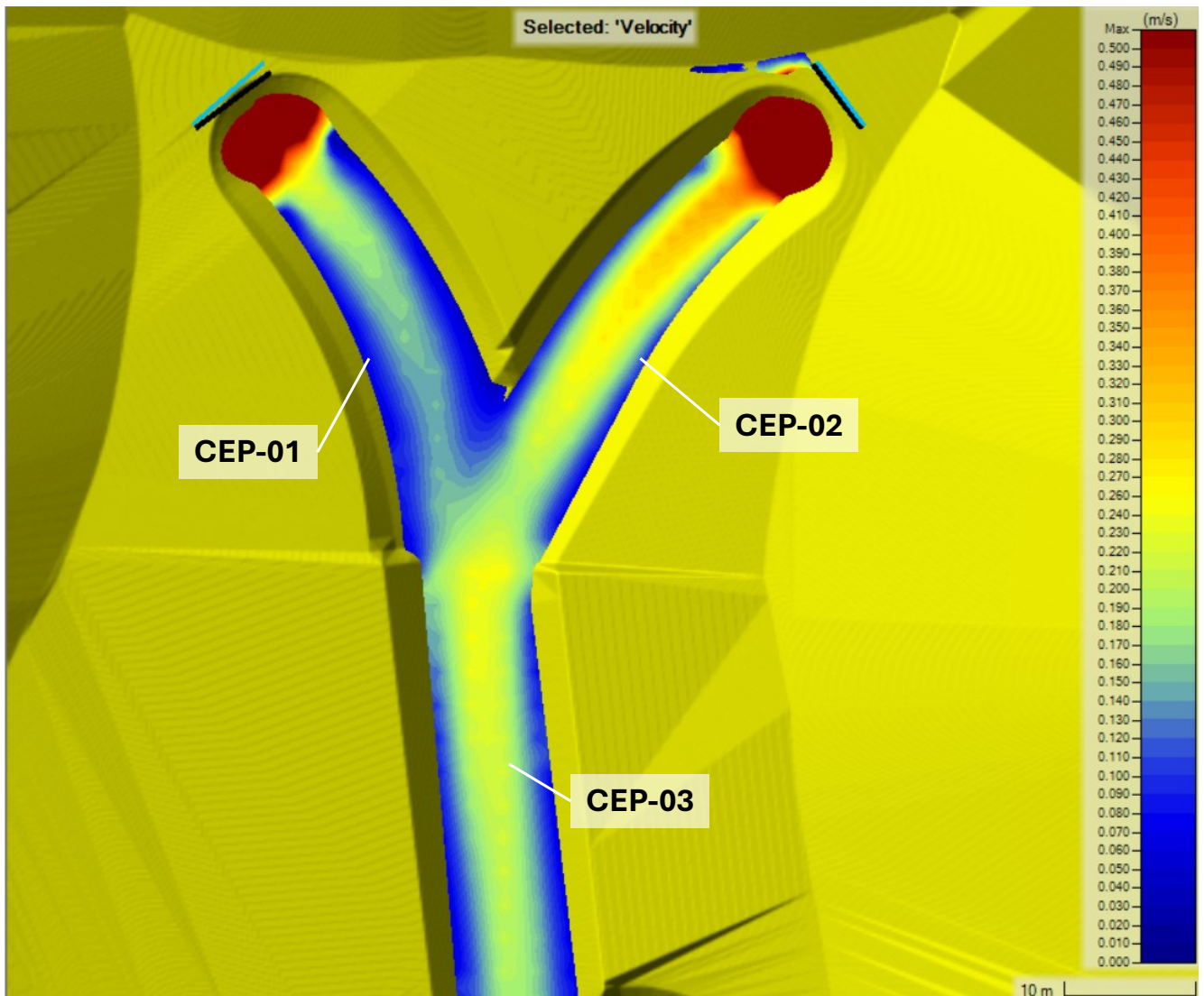




Figura 12.5 – Velocidades do escoamento nos canais do tipo espinha de peixe (CEPs) – TR 5 Anos

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>43/57</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>	

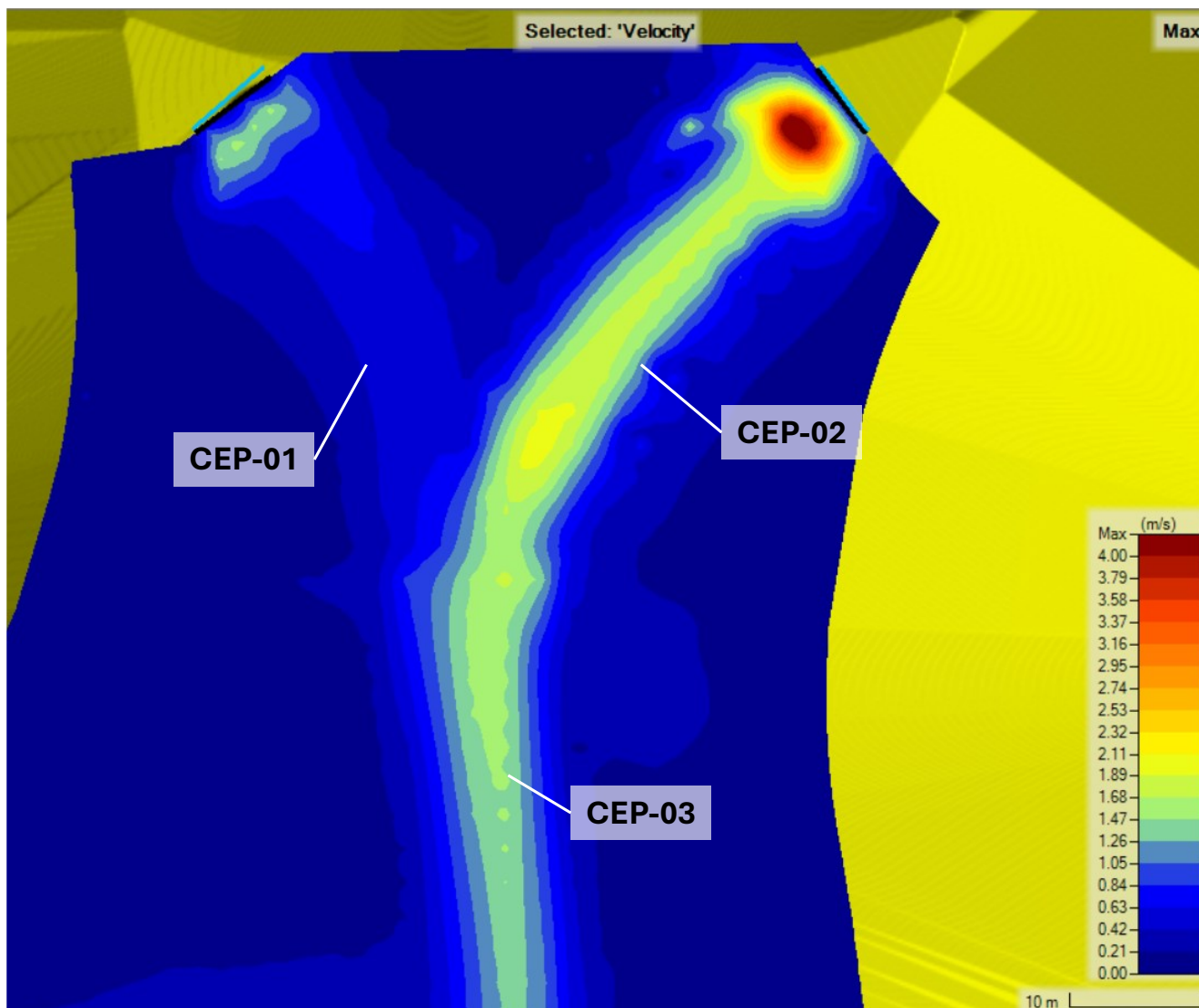




Figura 12.6 – Velocidades do escoamento nos canais do tipo espinha de peixe (CEPs) – TR 10.000 Anos

A verificação das velocidades máximas no início dos canais CEP-01 e CEP-02 resultou na concepção dos canais convite, que possuem revestimento em enrocamento e seção projetada para direcionar o escoamento à calha dos dispositivos hidráulicos. Para a chuva associada ao tempo de retorno (TR) de 5 anos, espera-se que o escoamento seja contido no leito revestido por enrocamento. No caso da vazão associada ao TR de 10.000 anos, é prevista a inundação da planície anteriormente ocupada pelo reservatório da barragem, em um evento extremo de curta duração, com aproximadamente duas horas. Conforme indicado no relatório de estudos e dimensionamentos (RL-1850HH-X-40018 - DF+, 2025), o diâmetro do enrocamento destinado a revestir os canais foi calculado para resistir aos esforços associados à velocidade da lâmina de água identificada nas simulações.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>44/57</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>	

Da Figura 12.7 à Figura 12.10 são apresentados os resultados obtidos para a lâmina de água e a mancha de velocidade do escoamento na simulação bidimensional dos cenários estudados, considerando os hidrogramas afluentes para TR de 5 e 10.000 anos.

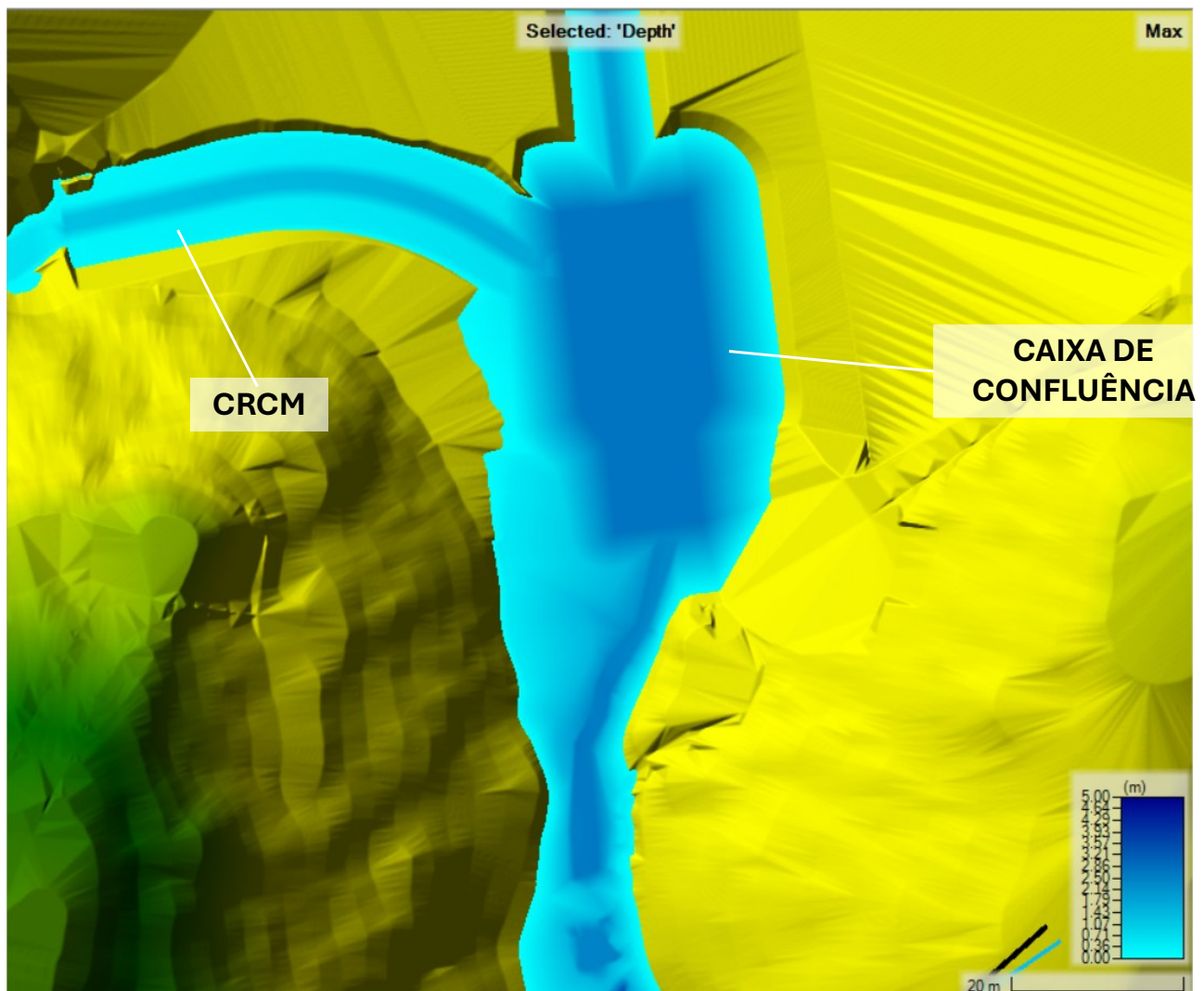




Figura 12.7 – Lâmina de água no Canal de Restauração do Córrego do Meio (CRCM) e na caixa de confluência – TR 5 Anos

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>45/57</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>	

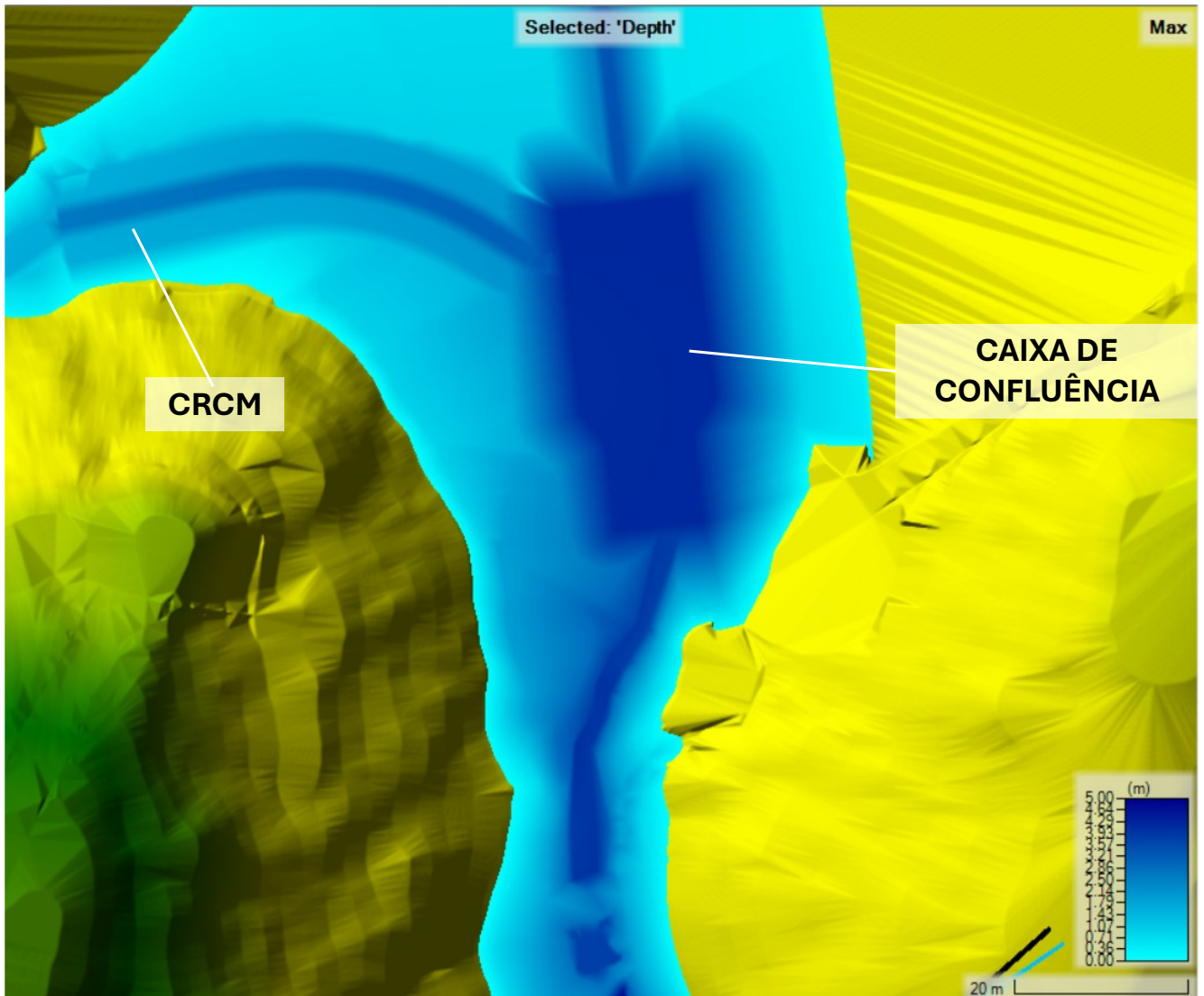




Figura 12.8 – Lâmina de água no Canal de Restauração do Córrego do Meio (CRCM) e na caixa de confluência – TR 10.000 Anos

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>46/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

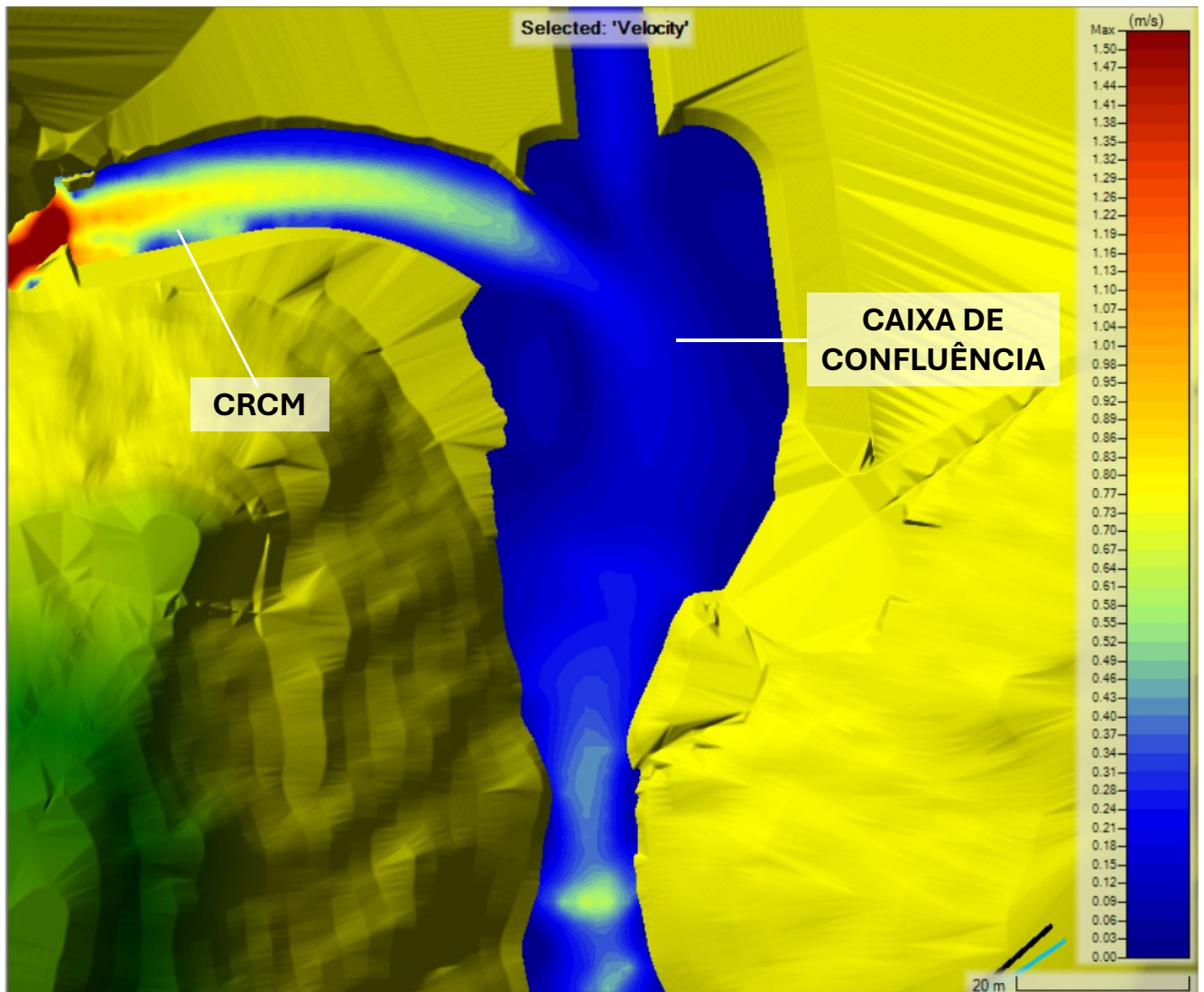




Figura 12.9 – Velocidades do escoamento no Canal de Restauração do Córrego do Meio (CRCM) e na caixa de confluência – TR 5 Anos

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>47/57</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>	

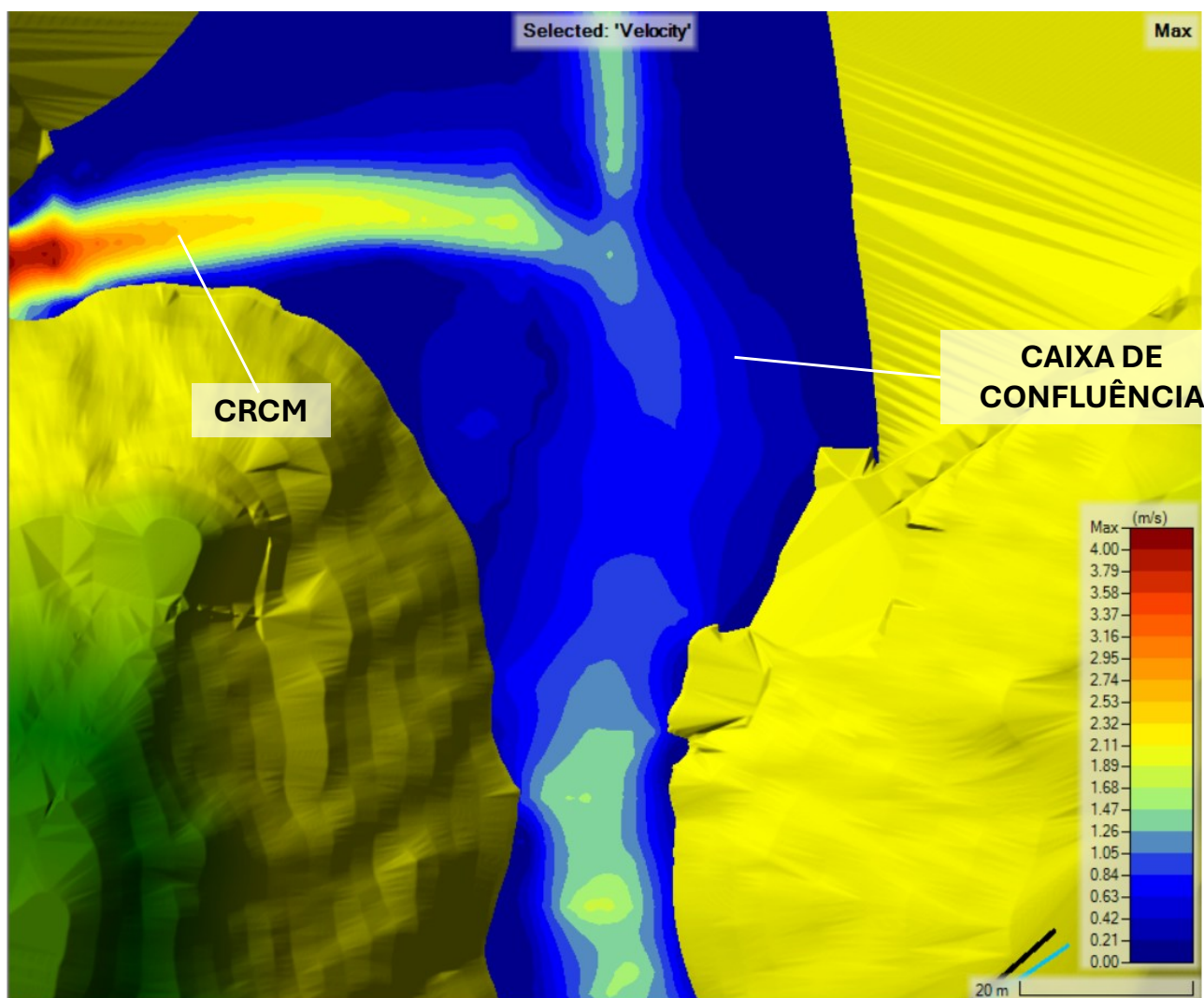


Figura 12.10 – Velocidades do escoamento no Canal de Restauração do Córrego do Meio (CRCM) e na caixa de confluência – TR 10.000 Anos

A verificação das velocidades máximas no início do canal CRCM resultou na concepção do canal convíte, que possui revestimento em enrocamento e seção projetada para direcionar o escoamento à calha do dispositivos hidráulico. Para a chuva associada ao tempo de retorno (TR) de 5 anos, espera-se que o escoamento seja contido no leito revestido por enrocamento. No caso da vazão associada ao TR de 10.000 anos, é prevista a inundação da do leito maior do Córrego do Meio em um evento extremo de curta duração, com aproximadamente duas horas.

### 13.0 SEQUENCIAMENTO CONSTRUTIVO

O planejamento executivo do projeto de descaracterização da Barragem Alto Jacutinga detalha as atividades principais de forma sequencial, com destaque para as etapas de:



CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO  
JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40017

PÁGINA

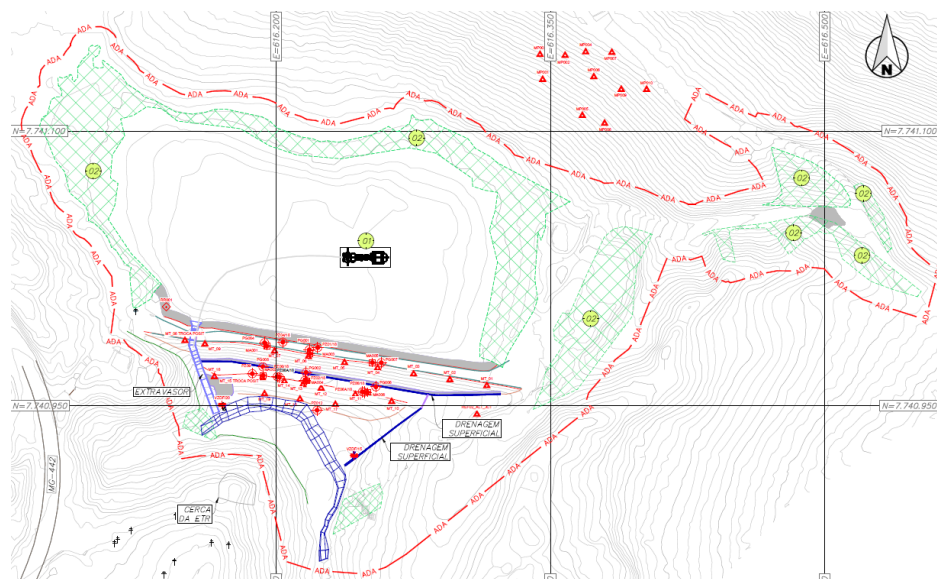
48/57

Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3551

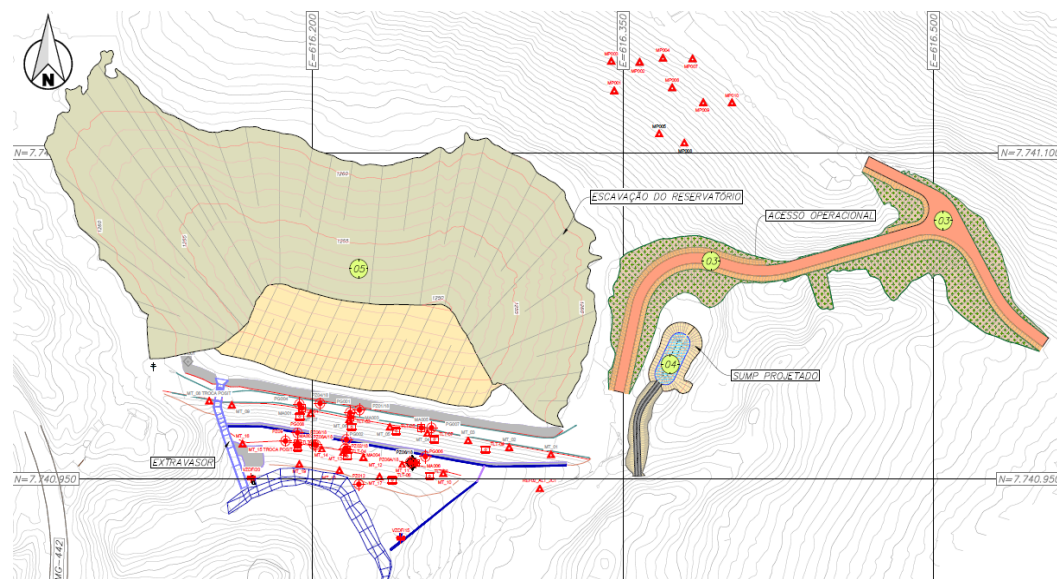
REV.

0



Fase 01

- (1) Rebaixamento Controlado no Nível de Água do Reservatório;
- (2) Supressão Vegetal da área diretamente afetada;



Fase 01

- (3) Execução do Acesso Operacional;
- (4) Escavação do reservatório, mantendo faixa de sedimento próximo ao talude, conforme desenho (1850HH-X-42387);

Figura 13.1 – Sequência Construtiva – Fase 01



CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO  
JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40017

PÁGINA

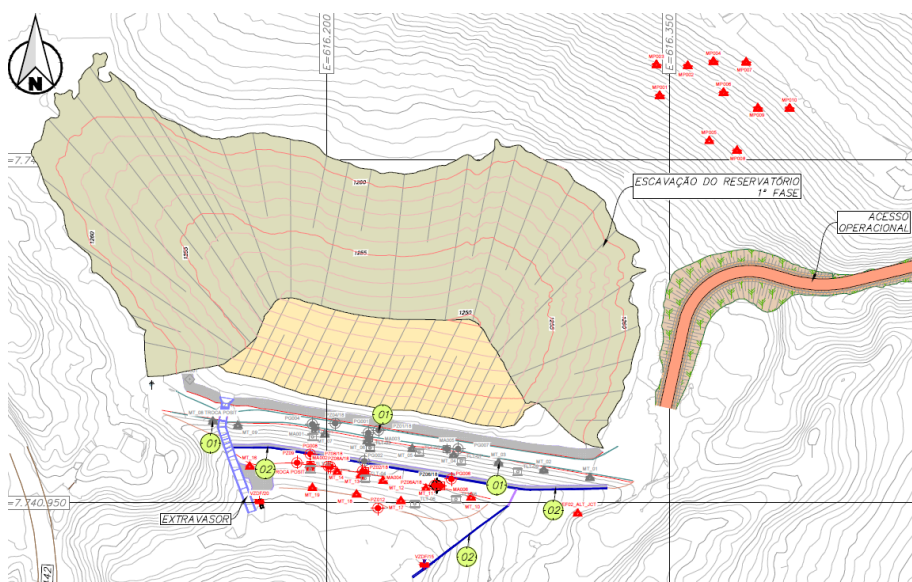
49/57

Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3551

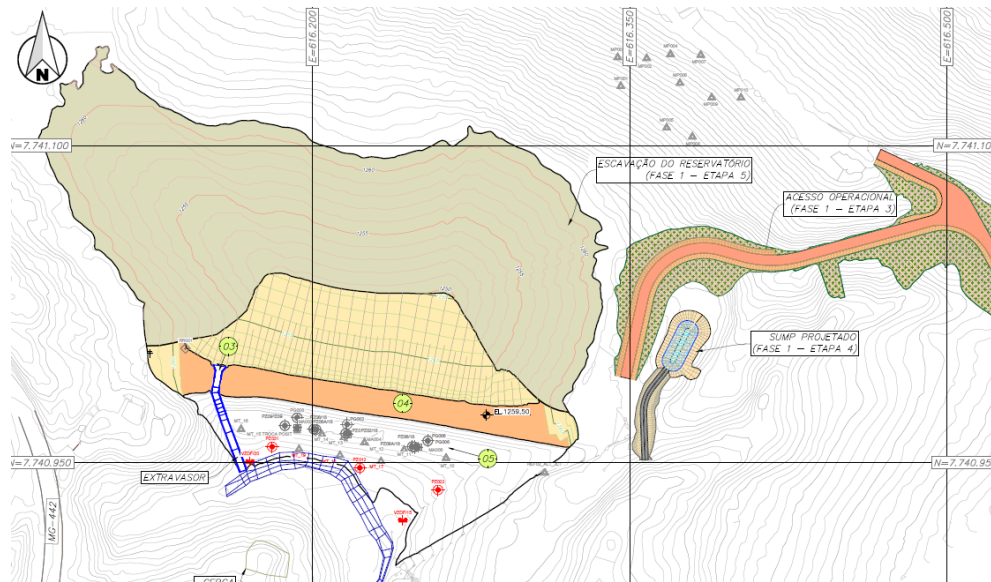
REV.

0



Fase 02

- (1) Demolição e retirada dos instrumentos instalados na crista da Barragem e tiltímetros;
- (2) Demolição do sistema de drenagem superficial;



Fase 02

- (3) Rebaixamento da soleira do Sistema Extravasor até El. 1.258 m;
- (4) Escavação do Maciço até El. 1.259,5 m;
- (5) Remoção Instrumentos da berma.

Figura 13.2 – Sequência Construtiva – Fase 02 – Etapa 01 a 05



CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO  
JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40017

PÁGINA

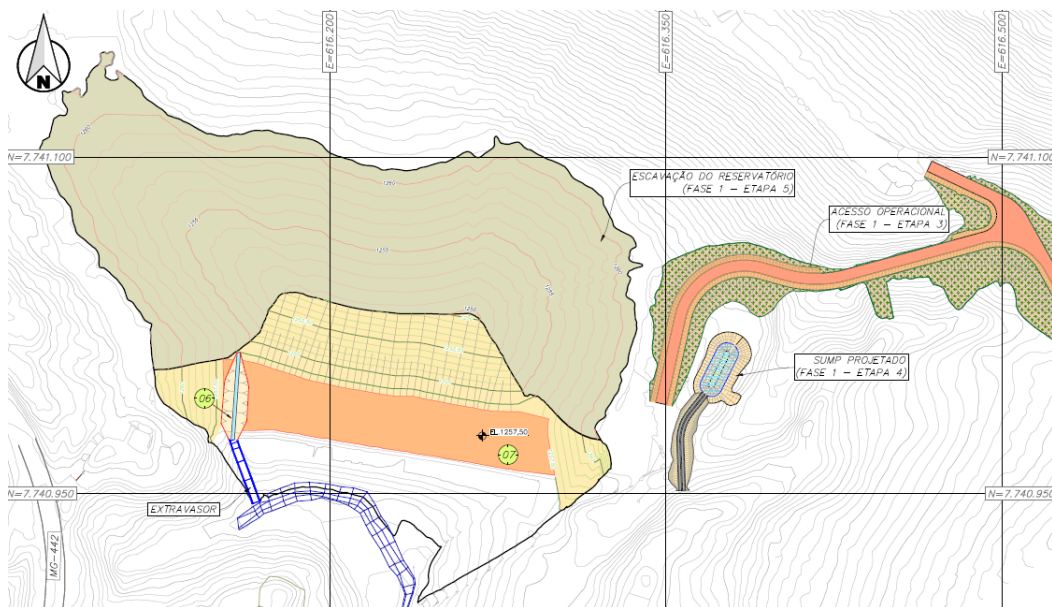
50/57

Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3551

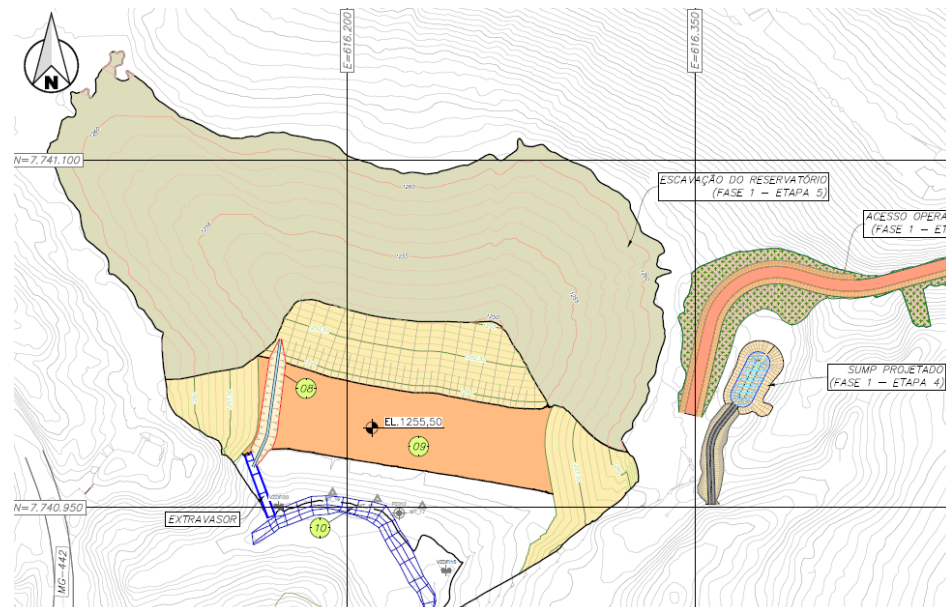
REV.

0



Fase 02

- (6) Rebaixamento da soleira do Sistema Extravador até El. 1.256 m;
- (7) Escavação do maciço até El. 1.257,5 m;



Fase 02

- (8) Rebaixamento da soleira do Sistema Extravador até El. 1.254 m;
- (9) Escavação do Maciço até El. 1.255,5 m;
- (10) Remoção do restante dos Instrumentos.

Figura 13.3 – Sequência Construtiva – Fase 02 – Etapa 06 a 10



CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO  
JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40017

PÁGINA

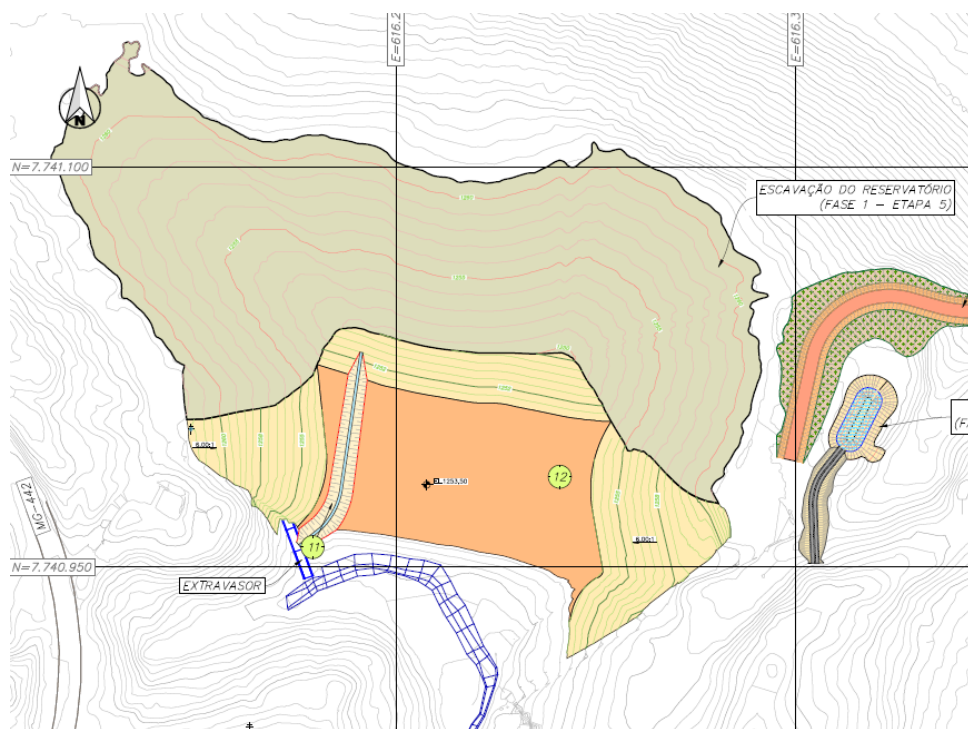
51/57

Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3551

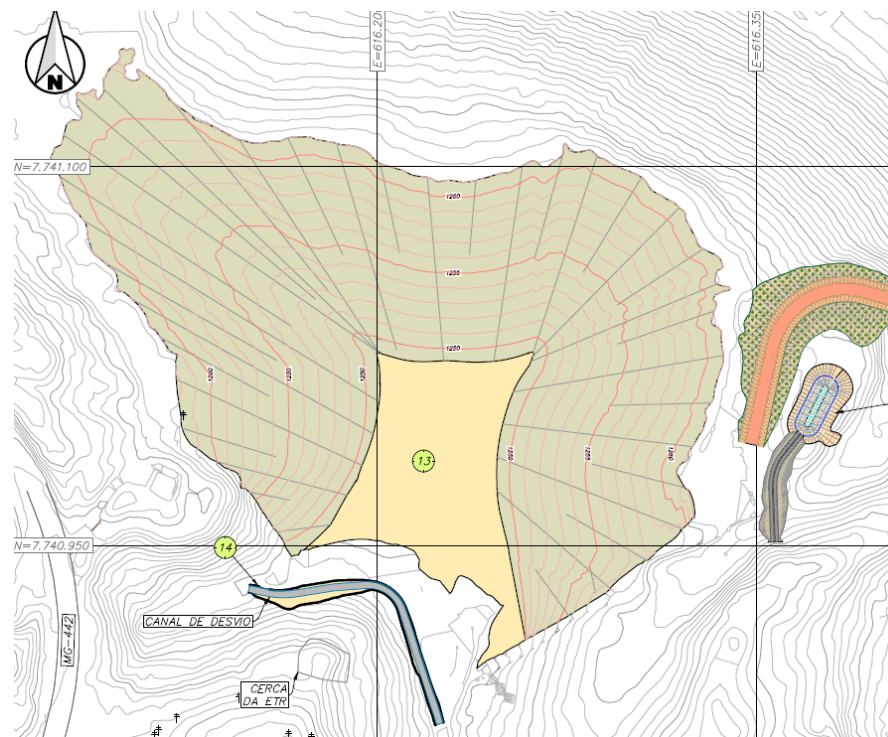
REV.

0



Fase 02

- (11) Rebaixamento da soleira do Sistema Extravasor até El. 1.252 m;
- (12) Escavação do Maciço até El. 1.253,5 m;



Fase 02

- (13) Escavação do restante do maciço;
- (14) Implantação do canal de desvio;

Figura 13.4 – Sequência Construtiva – Fase 02 – Etapa 11 a 14



CLASSIFICAÇÃO:  
RESTRITA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO  
JACUTINGA – S8617

PROJETO DETALHADO  
BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA  
ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA  
PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALE

RL-1850HH-X-40017

PÁGINA

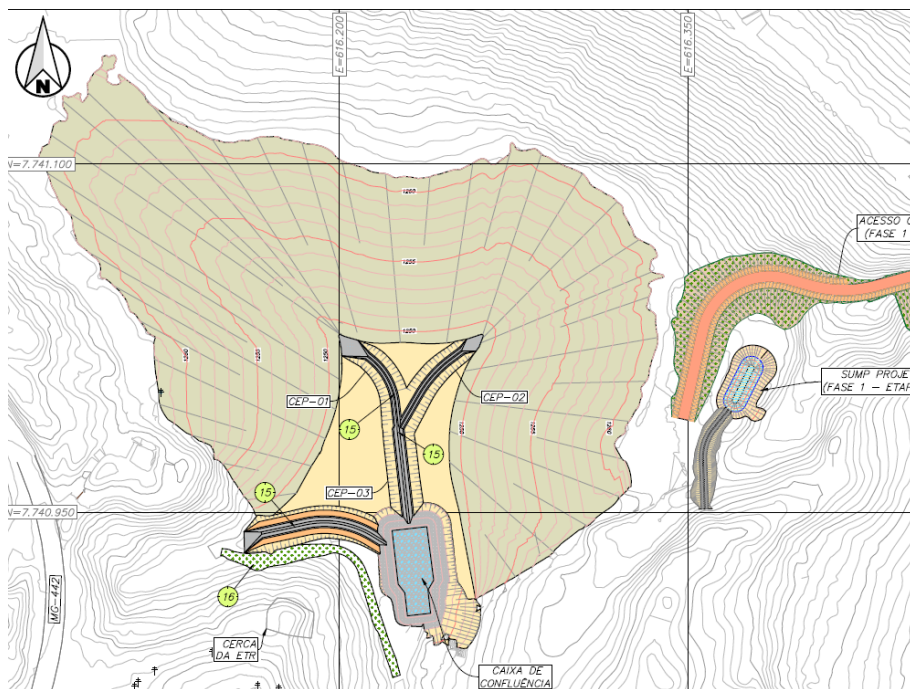
52/57

Nº (CONTRATADA)

DF23-C044-5-ENG-RTE-3551

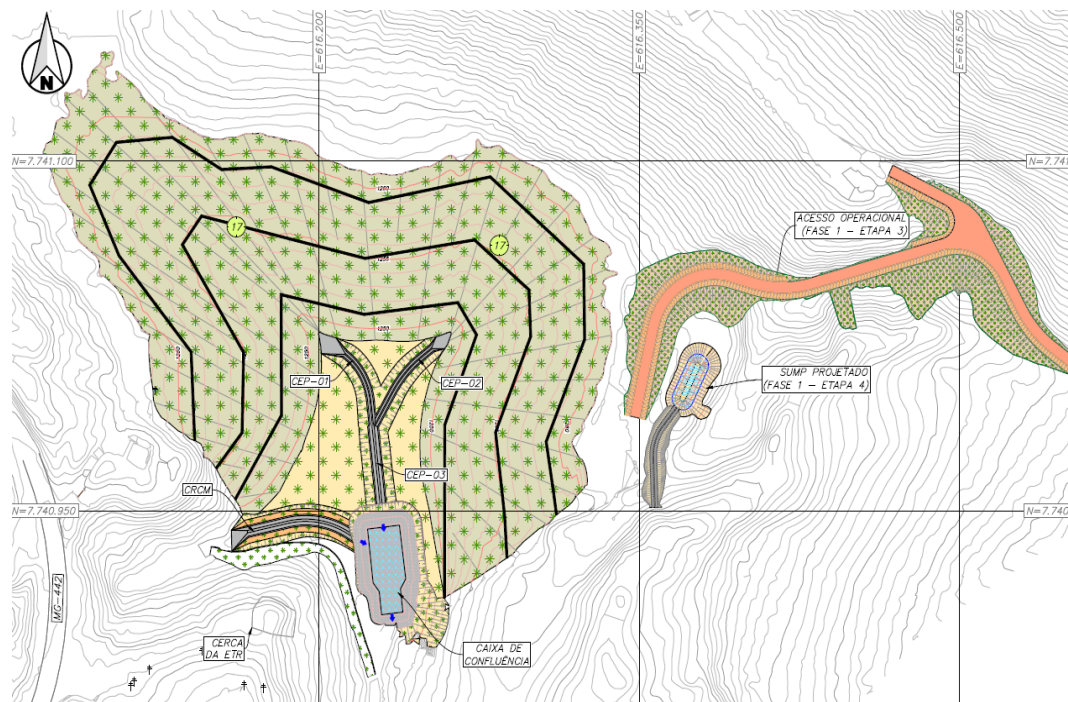
REV.

0



Fase 02



- (15) Construção dos canais espinha de peixe e canais remanescentes;
- (16) Remoção do canal de desvio;



Fase 02

- (17) Execução dos serviços de revegetação.

Figura 13.5 – Sequência Construtiva – Fase 02 – Etapa 15 a 17.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>53/57</b>	
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>	

## 14.0 PLANILHA DE QUANTIDADES

A planilha de quantidades para o Projeto Detalhado de Descaracterização da Barragem Alto Jacutinga está apresentada no documento PQ-1850HH-X-34169 (DF+, 2025).

## 15.0 ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA CONSTRUTIVA

Foi elaborada uma especificação técnica construtiva relacionada ao Projeto Detalhado de Descaracterização da Barragem Alto Jacutinga. A especificação técnica é apresentada no documento ET-1850HH-X-34480.

## 16.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS



Este capítulo apresenta as principais considerações finais relativas ao Projeto Detalhado de Descaracterização da Barragem Alto Jacutinga, consolidando os aspectos técnicos abordados ao longo do relatório. As premissas adotadas, as soluções de engenharia propostas, os estudos complementares necessários e as recomendações para execução do projeto são aqui sintetizados, com o objetivo de orientar e garantir a segurança, viabilidade e conformidade regulatória das intervenções previstas.

As investigações geológicas, geotécnicas e geofísicas realizadas ao longo dos últimos anos forneceram base sólida para a modelagem do comportamento dos materiais da estrutura e de sua fundação. Ainda assim, na medida em que as escavações forem avançando, será importante manter o acompanhamento geotécnico e a reavaliação de condições de campo, de modo a validar ou refinar as premissas assumidas neste projeto.

Adicionalmente, ressalta-se que as análises de estabilidade contemplaram todas as condições envolvidas nas etapas de escavação e operação, incluindo o período de chuvoso e a manutenção das condições dos taludes. Todos os critérios de estabilidade, conforme as premissas estabelecidas, estão sendo atendidos, garantindo que a geometria projetada seja estável durante a execução das obras e que não haja estrutura remanescente após a conclusão da descaracterização.



Considera-se que o sistema extravasor deve ser demolido concomitantemente ao maciço, assegurando sua permanência como ponto mais baixo (1,5 m) das escavações em cada etapa do sequenciamento e, conseqüentemente, destino do escoamento superficial. Quando alcançados a laje do emboque e os degraus, nova curva de descarga deve prevalecer para a checagem da passagem de cheias e garantia da borda livre mínima de um metro no reservatório, mesmo durante o processo de descaracterização.

Para a evolução da maturidade do projeto conceitual à presente etapa detalhada, foram avaliadas as condições hidráulicas dos canais CEP-01, CEP-02, CEP-03 e CRCM em ambiente bidimensional no HEC-RAS. Essa verificação hidráulica subsidiou tecnicamente decisões referentes ao revestimento dos canais em trechos críticos.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>54/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

As simulações desempenhadas revelaram que as soluções propostas são eficientes na condução do escoamento superficial durante as etapas envolvidas na descaracterização da estrutura. Além disso, a análise considerou a performance dos dispositivos hidráulicos diante de chuvas associadas a 5 e 10.000 anos de período de retorno.

Por fim, destaca-se que a delimitação da área de supressão vegetal, definida a partir de um *offset* de 10 metros ao redor da escavação, com ampliação pontual na região do Córrego do Meio, garante margem operacional suficiente para execução segura das obras. O manejo ambiental e a revegetação subsequente deverão considerar as diretrizes técnicas e legais vigentes, assegurando a reintegração ecológica e paisagística da área descaracterizada.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>55/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

## 17.0 REFERÊNCIAS

ABNT NBR 13028/2024. Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água.

BAPTISTA, M.; LARA, M. Fundamentos de engenharia hidráulica. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2016.

BAPTISTA, M B, DE PÁDUA, V L. 2016. Restauração de sistemas fluviais. Universidade Federal de Minas Gerais.

BRAY, J. D., & MACEDO, J. 2019. Procedure for Estimating Shear-Induced Seismic Slope Displacement for Shallow Crustal Earthquakes. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 145(12), 04019106.

BRUCE, Ronald A. An Introduction to the Deep Soil Mixing Methods Used in Geotechnical Applications. McLean, VA: Turner-Fairbank Highway Research Center, Federal Highway Administration, 2000. (Relatório FHWA-RD-99-138).

CDA, 2013. “Dam Safety Guidelines 2007”, ver. 2013. Library and Archives Canada Cataloguing in Publication Data, 88 p.

CDA, 2014. “Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams”. Library and Archives Canada Cataloguing in Publication Data, 48 p.

CASULLI, V. (2009). *A high-resolution wetting and drying algorithm for free-surface hydrodynamics*. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 60(4):391–408.

CEA, L. E FRENCH, J. (2012). *Bathymetric error estimation for the calibration and validation of estuarine hydrodynamic models*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 100:124–132.



CHOW, V. T. Open-Channel Hydraulics, International Student Edition, 1959.

DUNCAN, J.M. et al. 2014. Soil strength and slope stability. John Wiley & Sons.

HUFF, F. A., 1990. Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois. Illinois State Water Survey, Champaign. Department of energy and natural resources – Circular 173, 22p.

ICOLD, 2011. Improving Tailings Dam Safety – Critical Aspects of Management, Desing, Operation and closure – Bulletin 139. Paris, FR, 180 p.

MORRIS, G.L, FAN, J. 1998. Reservoir Sedimentation Handbook, Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use. McGraw-Hill Book Co., New York, 805 p.

		CLASSIFICAÇÃO: <b>RESTRITA</b>	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO          - BARRAGEM ALTO JACUTINGA –          S8617</b>	
<b>PROJETO DETALHADO          BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA          ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA          PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO          RELATÓRIO TÉCNICO</b>			Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>56/57</b>
			Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

SCHNAID, F.; MELLO, L. G. F. S. de; DZIALOSZYNSKI, B. S. *Guidelines and recommendations on minimum factors of safety for slope stability of tailings dams*. Soils and Rocks, v. 43, n. 3, p. 369–395, 2020. DOI: <https://doi.org/10.28927/SR.433369>.



LI, Z. e HODGES, B. R. (2019). *Modeling subgrid-scale topographic effects on shallow marsh hydrodynamics and salinity transport*. Advances in Water Resources, 129:1–15.

TUCCI, Carlos E. et al. 1993. Hidrologia: ciência e aplicação. 943p.

UNITED STATES. BUREAU OF RECLAMATION – USBR. (1987). *Design of small dams*. US Department of the Interior, Bureau of Reclamation.

SÁNCHEZ, J. ET AL. *HEC-RAS 2D Sediment Transport Technical Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA, 2019.

USBR (2011). U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation Design Standards No. 13 – Embankment Dams - Chapter 4: Static Stability Analysis. USBR, [s.l.], 159 p.

		CLASSIFICAÇÃO: RESTRITA	<b>PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO - BARRAGEM ALTO JACUTINGA – S8617</b>
<b>PROJETO DETALHADO BARRAGENS – MINA DE FÁBRICA ENGENHARIA DE REGISTRO – BARRAGEM ALTO JACUTINGA PROJETO DETALHADO DE DESCARACTERIZAÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		Nº VALE <b>RL-1850HH-X-40017</b>	PÁGINA <b>57/57</b>
		Nº (CONTRATADA) <b>DF23-C044-5-ENG-RTE-3551</b>	REV. <b>0</b>

## 18.0 EQUIPE TÉCNICA

EMPRESA RESPONSÁVEL POR ESTE DOCUMENTO	
Razão social:	DF + Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos Ltda.
CNPJ:	07.214.006/0001-00
Endereço:	Av. Professor Mário Werneck, 60 - 5º, 6º e 7º andares - Bairro Estoril, CEP 30455-610 Belo Horizonte - MG

EQUIPE TÉCNICA			
Nome	Sigla	Área de atuação	Responsabilidade no projeto
Bruno de Paiva	BPB	Diretoria	Diretor de Operações
Daniel Lanzieri	DRL	Geotecnia	Engenheiro de Registro – EdR, Revisão
Júnio Fagundes	JRF	Geotecnia	Revisão
Débora Mesavilla	DTM	Geotecnia	Elaboração
Luis Freitas	LAF	Recursos Hídricos	Revisão
Eduardo Murta	ELM	Recursos Hídricos	Elaboração

EMPRESA RESPONSÁVEL PELO EMPREENDIMENTO	
Razão social:	VALE S/A
CNPJ:	33.592.510/0001-54
Endereço:	Praia de Botafogo, nº 186, salas: 901, 1101, 1601 (parte), 1701 e 1801 - Botafogo, Rio de Janeiro - RJ / CEP: 22.250-145



Av. Professor Mário Werneck, 60  
5º, 6º e 7º andares  
Bairro Estoril, CEP 30455-610  
Belo Horizonte – MG  
[www.dfmais.eng.br](http://www.dfmais.eng.br)



## **ANEXO 4.**

# **CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO E AS ARTS DOS RESPONSÁVEIS PELO MONITORAMENTO DE QUALIDADE DO AR**

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO BAM 1020 (PM10)**

**INFORMAÇÕES GERAIS**

**Solicitante:** Vale - Nova Lima  
**Número do certificado:** CEAIR 471224  
**Endereço:** Rua das Buganvilias nº 1307 condomínio Morro do Chapéu - Nova Lima - MG  
**Data de emissão:** 06/05/2024

**DADOS DO EQUIPAMENTO**

**Marca:** MetOne  
**Nº de Série:** U12348  
**Modelo:** BAM 1020

**DADOS DA CALIBRAÇÃO**

**Calibrado por:** Bruno Pereira  
**Local:** Pires  
**Data e hora final:** 06/05/2024 11h  
**Função:** Técnico de operação  
**Data e hora inicial:** 03/05/2024 10h

**EQUIPAMENTOS DE CALIBRAÇÃO - FLUXÔMETRO**

**Marca:** EMIATEC  
**Serial:** 20200818  
**Validade:** 18/05/2024  
**Certificado Nº:** 145460  
**Modelo:** SFM20000  
**Data da calibração:** 18/05/2023  
**Calibrado por:** CHROMPACK

**VERIFICAÇÃO DE VAZAMENTO E FLUXO**

<b>Vazamento Inicial (lpm):</b>	0,7	<b>Vazamento Final (lpm):</b>	0,5
<b>Fluxo do BAM (lpm):</b>	16,7	<b>Fluxo Flowmeter (lpm):</b>	16,78
<b>Temperatura (Celsius):</b>	25	<b>Pressão (Torr):</b>	760
<b>Diferença Percentual:</b>	0,48%	<b>Tolerância &lt; 5% :</b>	OK
<b>Fluxo Final (lpm):</b>	16,78	<b>Incerteza Expandida (lpm):</b>	0,62 (k=2 ; v <sub>eff</sub> = ∞)

**VERIFICAÇÃO E LIMPEZA MECÂNICA**

<b>Limpeza do Nozzle:</b>	OK	<b>Limpeza do Rolo Pressor:</b>	OK
<b>Limpeza do Vane:</b>	OK	<b>Limpeza do Inlet PM10:</b>	OK
<b>Limpeza do Capstan:</b>	OK		

**VERIFICAÇÃO DA MEMBRANA**

<b>LAST m (mg):</b>	0,866	<b>Diferença (mg):</b>	0,018
<b>ABS (mg):</b>	0,884	<b>Diferença %:</b>	2,04%

**VERIFICAÇÃO DOS VALORES DO SETUP**

<b>BAM SAMPLE:</b>	50	<b>Cv:</b>	1,024
<b>OFFSET:</b>	-0,015	<b>ABS:</b>	0,884
<b>COUNT TIME:</b>	4	<b>K:</b>	0,985
<b>FLOW RATE:</b>	16,7	<b>Qo:</b>	0
<b>FLOW TYPE:</b>	STD	<b>usw:</b>	0,3
<b>CONC TYPE:</b>	STD	<b>BKGD:</b>	-0,004

**NOTAS E INFORMAÇÕES ADICIONAIS**

- 1) A incerteza expandida U, que é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com V<sub>eff</sub> graus de liberdade efetivos, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
- 2) As incertezas padrão da medição foram determinadas de acordo com a Norma nº NIT-DICLA-021 - Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração - Inmetro, revisão 10 de julho/2020.
- 3) Este certificado é válido somente para o item citado e só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita da Aires.
- 4) A incerteza expandida expressa em µg/m<sup>3</sup>, se refere ao cálculo das incertezas combinadas dos equipamentos, fluxômetro e padrões de calibração.
- 5) Todos as atividades executadas foram realizadas conforme o procedimento interno IT.AIR.77A-22

**REALIZADO POR**

*Bruno Siqueira Pereira*

Bruno Siqueira Pereira  
Técnico de Operação

**APROVADO POR**

*Victor Rodrigues*

Victor Rodrigues  
Supervisor de Manutenção Externa

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO BAM 1020 (PTS)**

**INFORMAÇÕES GERAIS**

**Solicitante:** Vale - Nova Lima  
**Número do certificado:** CEAIR 471324  
**Data de emissão:** 06/05/2024  
**Endereço:** Rua das Buganvilias nº 1307 condomínio Morro do Chapéu - Nova Lima - MG

**DADOS DO EQUIPAMENTO**

**Marca:** MetOne  
**Modelo:** BAM 1020  
**Nº de Série:** P18309

**DADOS DA CALIBRAÇÃO**

**Calibrado por:** Bruno Pereira  
**Função:** Técnico de operação  
**Local:** Pires  
**Data e hora inicial:** 03/05/2024 10h  
**Data e hora final:** 06/05/2024 11h

**EQUIPAMENTOS DE CALIBRAÇÃO - FLUXÔMETRO**

**Marca:** EMIATEC  
**Modelo:** SFM20000  
**Serial:** 20200818  
**Data da calibração:** 18/05/2023  
**Validade:** 18/05/2024  
**Calibrado por:** CHROMPACK  
**Certificado Nº:** 145460

**VERIFICAÇÃO DE VAZAMENTO E FLUXO**

<b>Vazamento Inicial (lpm):</b>	0,6	<b>Vazamento Final (lpm):</b>	0,4
<b>Fluxo do BAM (lpm):</b>	16,9	<b>Fluxo Flowmeter (lpm):</b>	16,5
<b>Temperatura (Celsius):</b>	25	<b>Pressão (Torr):</b>	760
<b>Diferença Percentual:</b>	2,37%	<b>Tolerância &lt; 5% :</b>	OK
<b>Fluxo Final (lpm):</b>	16,50	<b>Incerteza Expandida (lpm):</b>	0,62 (k=2 ; v <sub>eff</sub> = ∞)

**VERIFICAÇÃO E LIMPEZA MECÂNICA**

<b>Limpeza do Nozzle:</b>	OK	<b>Limpeza do Rolo Pressor:</b>	OK
<b>Limpeza do Vane:</b>	OK	<b>Limpeza do Inlet PTS:</b>	OK
<b>Limpeza do Capstan:</b>	OK		

**VERIFICAÇÃO DA MEMBRANA**

<b>LAST m (mg):</b>	0,836	<b>Diferença (mg):</b>	0,003
<b>ABS (mg):</b>	0,839	<b>Diferença %:</b>	0,36%

**VERIFICAÇÃO DOS VALORES DO SETUP**

<b>BAM SAMPLE:</b>	50	<b>Cv:</b>	0,95
<b>OFFSET:</b>	-0,015	<b>ABS:</b>	0,839
<b>COUNT TIME:</b>	4	<b>K:</b>	0,995
<b>FLOW RATE:</b>	16,7	<b>Qo:</b>	0
<b>FLOW TYPE:</b>	STD	<b>usw:</b>	0,305
<b>CONC TYPE:</b>	STD	<b>BKGD:</b>	0,003

**NOTAS E INFORMAÇÕES ADICIONAIS**

- 1) A incerteza expandida U, que é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com  $V_{\text{eff}}$  graus de liberdade efetivos, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
- 2) As incertezas padrão da medição foram determinadas de acordo com a Norma nº NIT-DICLA-021 - Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração - Inmetro, revisão 10 de julho/2020.
- 3) Este certificado é válido somente para o item citado e só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita da Aires.
- 4) A incerteza expandida expressa em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se refere ao cálculo das incertezas combinadas dos equipamentos, fluxômetro e padrões de calibração.
- 5) Todos as atividades executadas foram realizadas conforme o procedimento interno IT.AIR.77A-22

**REALIZADO POR**

*Bruno Siqueira Pereira*

Bruno Siqueira Pereira  
Técnico de Operação

**APROVADO POR**

*Victor Rodrigues*

Victor Rodrigues  
Supervisor de Manutenção Externa

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO BAM 1020 (PM10)**

**INFORMAÇÕES GERAIS**

Solicitante:	Vale - Nova Lima		Data de emissão:	28/02/2025
Número do certificado:	CEAIR 620025			
Endereço:	Rua das Baganvilias nº 1307 condomínio Morro do Chapéu - Nova Lima - MG			

**DADOS DO EQUIPAMENTO**

Marca:	MetOne	Modelo:	BAM 1020
Nº de Série:	P22950		

**DADOS DA CALIBRAÇÃO**

Calibrado por:	Rafael Ferreira	Função:	Técnico de operação
Local:	Bairro Motta, Ouro Preto - MG	Data e hora inicial:	25/02/2025 10h17
Data e hora final:	28/02/2025 10h45		

**EQUIPAMENTOS DE CALIBRAÇÃO - FLUXÔMETRO**

Marca:	TSI 4000 SERIES	Modelo:	4043E
Serial:	404307000000	Data da calibração:	09/04/2024
Validade:	09/04/2025	Calibrado por:	Gabriel Prates Loriato
Certificado Nº:	CEAIR 431824		

**VERIFICAÇÃO DE VAZAMENTO E FLUXO**

Vazamento Inicial (lpm):	0,5	Vazamento Final (lpm):	0,48
Fluxo do BAM (lpm):	16,69	Fluxo Flowmeter (lpm):	16,69
Temperatura (Celsius):	29	Pressão (Torr):	760
Diferença Percentual:	0,00%	Tolerância < 5% :	OK
Fluxo Final (lpm):	16,69	Incerteza Expandida (lpm):	0,62 (k=2 ; v <sub>eff</sub> = ∞)

**VERIFICAÇÃO E LIMPEZA MECÂNICA**

Limpeza do Nozzle:	OK	Limpeza do Rolo Pressor:	OK
Limpeza do Vane:	OK	Limpeza do Inlet PM10:	OK
Limpeza do Capstan:	OK		

**VERIFICAÇÃO DA MEMBRANA**

LAST m (mg):	0,804	Diferença (mg):	0,002
ABS (mg):	0,806	Diferença %:	0,25%

**VERIFICAÇÃO DOS VALORES DO SETUP**

BAM SAMPLE:	50	Cv:	0.945
OFFSET:	-0,015	ABS:	0.806
COUNT TIME:	4	K:	0.973
FLOW RATE:	16,7	Qo:	0
FLOW TYPE:	STD	usw:	0.299
CONC TYPE:	STD	BKGD:	-0.0029

**NOTAS E INFORMAÇÕES ADICIONAIS**

- 1) A incerteza expandida U, que é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com  $V_{eff}$  graus de liberdade efetivos, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
- 2) As incertezas padrão da medição foram determinadas de acordo com a Norma nº NIT-DICLA-021 - Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração - Inmetro, revisão 10 de julho/2020.
- 3) Este certificado é válido somente para o item citado e só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita da Aires.
- 4) A incerteza expandida expressa em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se refere ao cálculo das incertezas combinadas dos equipamentos, fluxômetro e padrões de calibração.
- 5) Todos as atividades executadas foram realizadas conforme o procedimento interno IT.AIR.77A-22

REALIZADO POR



Rafael Augusto Judice Ferreira  
Técnico de Operação

APROVADO POR



Vhictor Rodrigues  
Coordenador de Operações

## **Dados de ART e CTF**

Com o objetivo de promover as disposições da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018, Lei Geral de Proteção de Dados – LGPD, foi retirado deste arquivo as ARTs e CTFs dos profissionais envolvidos, a fim de resguardar os dados pessoais.

Importante destacar que estes documentos foram disponibilizados nos estudos ambientais protocolados no órgão ambiental para respectiva análise do processo de Licenciamento Ambiental.

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO BAM 1020 (PTS)**

**INFORMAÇÕES GERAIS**

Solicitante: Vale - Nova Lima  
 Número do certificado: CEAIR 459524  
 Endereço: Rua das Buganvilias nº 1307 condomínio Morro do Chapéu - Nova Lima - MG  
 Data de emissão: 09/05/2024

**DADOS DO EQUIPAMENTO**

Marca: MetOne  
 Modelo: BAM 1020  
 Nº de Série: P18518

**DADOS DA CALIBRAÇÃO**

Calibrado por: Bruno Pereira  
 Função: Técnico de operação  
 Local: Mota  
 Data e hora inicial: 06/05/2024 13:00  
 Data e hora final: 09/05/2024 14:00

**EQUIPAMENTOS DE CALIBRAÇÃO - FLUXÔMETRO**

Marca: EMIATEC  
 Modelo: SFM20000  
 Serial: 20200818  
 Data da calibração: 18/05/2023  
 Validade: 18/05/2024  
 Certificado Nº: 145460  
 Calibrado por: CHROMPACK

**VERIFICAÇÃO DE VAZAMENTO E FLUXO**

Vazamento Inicial (lpm):	0,2	Vazamento Final (lpm):	0,6
Fluxo do BAM (lpm):	16,57	Fluxo Flowmeter (lpm):	16,71
Temperatura (Celsius):	25	Pressão (Torr):	760
Diferença Percentual:	0,84%	Tolerância < 5% :	OK
Fluxo Final (lpm):	16,71	Incerteza Expandida (lpm):	0,62 (k=2 ; v <sub>eff</sub> = ∞)

**VERIFICAÇÃO E LIMPEZA MECÂNICA**

Limpeza do Nozzle:	OK	Limpeza do Rolo Pressor:	OK
Limpeza do Vane:	OK	Limpeza do Inlet PTS:	OK
Limpeza do Capstan:	OK		

**VERIFICAÇÃO DA MEMBRANA**

LAST m (mg):	0,797	Diferença (mg):	0,009
ABS (mg):	0,788	Diferença %:	1,14%

**VERIFICAÇÃO DOS VALORES DO SETUP**

BAM SAMPLE:	50	Cv:	1
OFFSET:	-0,015	ABS:	0,788
COUNT TIME:	4	K:	0,995
FLOW RATE:	16,7	Qo:	-0,1
FLOW TYPE:	STD	usw:	0,311
CONC TYPE:	STD	BKGD:	0,005

**NOTAS E INFORMAÇÕES ADICIONAIS**

- 1) A incerteza expandida U, que é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com V<sub>eff</sub> graus de liberdade efetivos, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
- 2) As incertezas padrão da medição foram determinadas de acordo com a Norma nº NIT-DICLA-021 - Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração - Inmetro, revisão 10 de julho/2020.
- 3) Este certificado é válido somente para o item citado e só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita da Aires.
- 4) A incerteza expandida expressa em µg/m<sup>3</sup>, se refere ao cálculo das incertezas combinadas dos equipamentos, fluxômetro e padrões de calibração.
- 5) Todos as atividades executadas foram realizadas conforme o procedimento interno IT.AIR.77A-22

**REALIZADO POR**

*Bruno Siqueira Pereira*

Bruno Siqueira Pereira  
Técnico de Operação

**APROVADO POR**

*Victor Rodrigues*

Victor Rodrigues  
Supervisor de Manutenção Externa

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO BAM 1020 (PTS)

INFORMAÇÕES GERAIS

Solicitante: Vale - Nova Lima  
Número do certificado: CEAIR 459524 Data de emissão: 09/05/2024  
Endereço: Rua das Buganvilias nº 1307 condomínio Morro do Chapéu - Nova Lima - MG

DADOS DO EQUIPAMENTO

Marca: MetOne Modelo: BAM 1020  
Nº de Série: P18518

DADOS DA CALIBRAÇÃO

Calibrado por: Bruno Pereira Função: Técnico de operação  
Local: Mota Data e hora inicial: 06/05/2024 13:00  
Data e hora final: 09/05/2024 14:00

EQUIPAMENTOS DE CALIBRAÇÃO - FLUXÔMETRO

Marca: EMIATEC Modelo: SFM20000  
Serial: 20200818 Data da calibração: 18/05/2023  
Validade: 18/05/2024  
Certificado Nº: 145460 Calibrado por: CHROMPACK

VERIFICAÇÃO DE VAZAMENTO E FLUXO

Vazamento Inicial (lpm):	0,2	Vazamento Final (lpm):	0,6
Fluxo do BAM (lpm):	16,57	Fluxo Flowmeter (lpm):	16,71
Temperatura (Celsius):	25	Pressão (Torr):	760
Diferença Percentual:	0,84%	Tolerância < 5% :	OK
Fluxo Final (lpm):	16,71	Incerteza Expandida (lpm):	0,62 (k=2 ; veff = ∞)

VERIFICAÇÃO E LIMPEZA MECÂNICA

Limpeza do Nozzle:	OK	Limpeza do Rolo Pressor:	OK
Limpeza do Vane:	OK	Limpeza do Inlet PTS:	OK
Limpeza do Capstan:	OK		

VERIFICAÇÃO DA MEMBRANA

LAST m (mg):	0,797	Diferença (mg):	0,009
ABS (mg):	0,788	Diferença %:	1,14%

VERIFICAÇÃO DOS VALORES DO SETUP

BAM SAMPLE:	50	Cv:	1
OFFSET:	-0,015	ABS:	0,788
COUNT TIME:	4	K:	0,995
FLOW RATE:	16,7	Qo:	-0,1
FLOW TYPE:	STD	usw:	0,311
CONC TYPE:	STD	BKGD:	0,005

NOTAS E INFORMAÇÕES ADICIONAIS

- 1) A incerteza expandida U, que é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com  $V_{eff}$  graus de liberdade efetivos, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
- 2) As incertezas padrão da medição foram determinadas de acordo com a Norma nº NIT-DICLA-021 - Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração - Inmetro, revisão 10 de julho/2020.
- 3) Este certificado é válido somente para o item citado e só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita da Aires.
- 4) A incerteza expandida expressa em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se refere ao cálculo das incertezas combinadas dos equipamentos, fluxômetro e padrões de calibração.
- 5) Todos as atividades executadas foram realizadas conforme o procedimento interno IT.AIR.77A-22

REALIZADO POR

*Bruno Siqueira Pereira*

Bruno Siqueira Pereira  
Técnico de Operação

APROVADO POR

*Vhictor Rodrigues*

Vhictor Rodrigues  
Coordenador de operação

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO BAM 1020 (PM10)**

**INFORMAÇÕES GERAIS**

Solicitante: Vale - Nova Lima  
 Número do certificado: CEAIR 459624  
 Endereço: Rua das Buganvilias nº 1307 condomínio Morro do Chapéu - Nova Lima - MG  
 Data de emissão: 09/05/2024

**DADOS DO EQUIPAMENTO**

Marca: MetOne  
 Modelo: BAM 1020  
 Nº de Série: P18568

**DADOS DA CALIBRAÇÃO**

Calibrado por: Bruno Pereira  
 Local: Mota  
 Data e hora final: 09/05/2024 14:00  
 Função: Técnico de operação  
 Data e hora inicial: 06/05/2024 13:00

**EQUIPAMENTOS DE CALIBRAÇÃO - FLUXÔMETRO**

Marca: EMIATEC  
 Serial: 20200818  
 Validade: 18/05/2024  
 Certificado Nº: 145460  
 Modelo: SFM20000  
 Data da calibração: 18/05/2023  
 Calibrado por: CHROMPACK

**VERIFICAÇÃO DE VAZAMENTO E FLUXO**

Vazamento Inicial (lpm):	0,3	Vazamento Final (lpm):	0,8
Fluxo do BAM (lpm):	16,52	Fluxo Flowmeter (lpm):	16,68
Temperatura (Celsius):	25	Pressão (Torr):	760
Diferença Percentual:	0,97%	Tolerância < 5% :	OK
Fluxo Final (lpm):	16,68	Incerteza Expandida (lpm):	0,62 (k=2 ; v <sub>eff</sub> = ∞)

**VERIFICAÇÃO E LIMPEZA MECÂNICA**

Limpeza do Nozzle:	OK	Limpeza do Rolo Pressor:	OK
Limpeza do Vane:	OK	Limpeza do Inlet PM10:	OK
Limpeza do Capstan:	OK		

**VERIFICAÇÃO DA MEMBRANA**

LAST m (mg):	0,854	Diferença (mg):	0,006
ABS (mg):	0,848	Diferença %:	0,71%

**VERIFICAÇÃO DOS VALORES DO SETUP**

BAM SAMPLE:	50	Cv:	0,99
OFFSET:	-0,015	ABS:	0,848
COUNT TIME:	4	K:	0,998
FLOW RATE:	16,7	Qo:	-0,1
FLOW TYPE:	STD	usw:	0,312
CONC TYPE:	STD	BKGD:	0,002

**NOTAS E INFORMAÇÕES ADICIONAIS**

- 1) A incerteza expandida U, que é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com V<sub>eff</sub> graus de liberdade efetivos, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
- 2) As incertezas padrão da medição foram determinadas de acordo com a Norma nº NIT-DICLA-021 - Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração - Inmetro, revisão 10 de julho/2020.
- 3) Este certificado é válido somente para o item citado e só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita da Aires.
- 4) A incerteza expandida expressa em µg/m<sup>3</sup>, se refere ao cálculo das incertezas combinadas dos equipamentos, fluxômetro e padrões de calibração.
- 5) Todos as atividades executadas foram realizadas conforme o procedimento interno IT.AIR.77A-22

**REALIZADO POR**

*Bruno Siqueira Pereira*

Bruno Siqueira Pereira  
Técnico de Operação

**APROVADO POR**

*Victor Rodrigues*

Victor Rodrigues  
Supervisor de Manutenção Externa

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO BAM 1020 (PTS)**

**INFORMAÇÕES GERAIS**

**Solicitante:** Vale - Nova Lima  
**Número do certificado:** CEAIR 471324  
**Data de emissão:** 06/05/2024  
**Endereço:** Rua das Buganvilias nº 1307 condomínio Morro do Chapéu - Nova Lima - MG

**DADOS DO EQUIPAMENTO**

**Marca:** MetOne  
**Modelo:** BAM 1020  
**Nº de Série:** P18309

**DADOS DA CALIBRAÇÃO**

**Calibrado por:** Bruno Pereira  
**Função:** Técnico de operação  
**Local:** Pires  
**Data e hora inicial:** 03/05/2024 10h  
**Data e hora final:** 06/05/2024 11h

**EQUIPAMENTOS DE CALIBRAÇÃO - FLUXÔMETRO**

**Marca:** EMIATEC  
**Modelo:** SFM20000  
**Serial:** 20200818  
**Data da calibração:** 18/05/2023  
**Validade:** 18/05/2024  
**Calibrado por:** CHROMPACK  
**Certificado Nº:** 145460

**VERIFICAÇÃO DE VAZAMENTO E FLUXO**

<b>Vazamento Inicial (lpm):</b>	0,6	<b>Vazamento Final (lpm):</b>	0,4
<b>Fluxo do BAM (lpm):</b>	16,9	<b>Fluxo Flowmeter (lpm):</b>	16,5
<b>Temperatura (Celsius):</b>	25	<b>Pressão (Torr):</b>	760
<b>Diferença Percentual:</b>	2,37%	<b>Tolerância &lt; 5% :</b>	OK
<b>Fluxo Final (lpm):</b>	16,50	<b>Incerteza Expandida (lpm):</b>	0,62 (k=2 ; v <sub>eff</sub> = ∞)

**VERIFICAÇÃO E LIMPEZA MECÂNICA**

<b>Limpeza do Nozzle:</b>	OK	<b>Limpeza do Rolo Pressor:</b>	OK
<b>Limpeza do Vane:</b>	OK	<b>Limpeza do Inlet PTS:</b>	OK
<b>Limpeza do Capstan:</b>	OK		

**VERIFICAÇÃO DA MEMBRANA**

<b>LAST m (mg):</b>	0,836	<b>Diferença (mg):</b>	0,003
<b>ABS (mg):</b>	0,839	<b>Diferença %:</b>	0,36%

**VERIFICAÇÃO DOS VALORES DO SETUP**

<b>BAM SAMPLE:</b>	50	<b>Cv:</b>	0,95
<b>OFFSET:</b>	-0,015	<b>ABS:</b>	0,839
<b>COUNT TIME:</b>	4	<b>K:</b>	0,995
<b>FLOW RATE:</b>	16,7	<b>Qo:</b>	0
<b>FLOW TYPE:</b>	STD	<b>usw:</b>	0,305
<b>CONC TYPE:</b>	STD	<b>BKGD:</b>	0,003

**NOTAS E INFORMAÇÕES ADICIONAIS**

- 1) A incerteza expandida U, que é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com  $V_{\text{eff}}$  graus de liberdade efetivos, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
- 2) As incertezas padrão da medição foram determinadas de acordo com a Norma nº NIT-DICLA-021 - Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração - Inmetro, revisão 10 de julho/2020.
- 3) Este certificado é válido somente para o item citado e só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita da Aires.
- 4) A incerteza expandida expressa em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se refere ao cálculo das incertezas combinadas dos equipamentos, fluxômetro e padrões de calibração.
- 5) Todos as atividades executadas foram realizadas conforme o procedimento interno IT.AIR.77A-22

**REALIZADO POR**

*Bruno Siqueira Pereira*

Bruno Siqueira Pereira  
Técnico de Operação

**APROVADO POR**

*Victor Rodrigues*

Victor Rodrigues  
Supervisor de Manutenção Externa

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO BAM 1020 (PTS)**

**INFORMAÇÕES GERAIS**

Solicitante: Vale - Nova Lima  
 Número do certificado: CEAIR 619925  
 Endereço: Rua das Baganvilias nº 1307 condomínio Morro do Chapéu - Nova Lima - MG  
 Data de emissão: 28/02/2025

**DADOS DO EQUIPAMENTO**

Marca: MetOne  
 Modelo: BAM 1020  
 Nº de Série: P18518

**DADOS DA CALIBRAÇÃO**

Calibrado por: Rafael Ferreira  
 Função: Técnico de operação  
 Local: Bairro Motta, Ouro Preto - MG  
 Data e hora inicial: 25/02/2025 10h14  
 Data e hora final: 28/02/2025 10h40

**EQUIPAMENTOS DE CALIBRAÇÃO - FLUXÔMETRO**

Marca: TSI 4000 SERIES  
 Modelo: 4043E  
 Serial: 404307000000  
 Data da calibração: 09/04/2024  
 Validade: 09/04/2025  
 Certificado Nº: CEAIR 431824  
 Calibrado por: Gabriel Prates Loriato

**VERIFICAÇÃO DE VAZAMENTO E FLUXO**

Vazamento Inicial (lpm):	0,1	Vazamento Final (lpm):	0,1
Fluxo do BAM (lpm):	16,7	Fluxo Flowmeter (lpm):	16,64
Temperatura (Celsius):	30	Pressão (Torr):	760
Diferença Percentual:	0,36%	Tolerância < 5% :	OK
Fluxo Final (lpm):	16,64	Incerteza Expandida (lpm):	0,62 (k=2 ; veff = ∞)

**VERIFICAÇÃO E LIMPEZA MECÂNICA**

Limpeza do Nozzle:	OK	Limpeza do Rolo Pressor:	OK
Limpeza do Vane:	OK	Limpeza do Inlet PTS:	OK
Limpeza do Capstan:	OK		

**VERIFICAÇÃO DA MEMBRANA**

LAST m (mg):	0,791	Diferença (mg):	0,003
ABS (mg):	0,788	Diferença %:	0,38%

**VERIFICAÇÃO DOS VALORES DO SETUP**

BAM SAMPLE:	50	Cv:	1.000
OFFSET:	-0,015	ABS:	0.788
COUNT TIME:	4	K:	0.995
FLOW RATE:	16,7	Qo:	-0.100
FLOW TYPE:	STD	usw:	0.311
CONC TYPE:	STD	BKGD:	0.0040

**NOTAS E INFORMAÇÕES ADICIONAIS**

- 1) A incerteza expandida U, que é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com  $V_{eff}$  graus de liberdade efetivos, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
- 2) As incertezas padrão da medição foram determinadas de acordo com a Norma nº NIT-DICLA-021 - Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração - Inmetro, revisão 10 de julho/2020.
- 3) Este certificado é válido somente para o item citado e só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita da Aires.
- 4) A incerteza expandida expressa em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se refere ao cálculo das incertezas combinadas dos equipamentos, fluxômetro e padrões de calibração.
- 5) Todos as atividades executadas foram realizadas conforme o procedimento interno IT.AIR.77A-22

REALIZADO POR



Rafael Augusto Judice Ferreira  
Técnico de Operação

APROVADO POR



Vhictor Rodrigues  
Coordenador de Operações

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO BAM 1020 (PM10)**

**INFORMAÇÕES GERAIS**

<b>Solicitante:</b>	Vale - Nova Lima	<b>Data de emissão:</b>	28/02/2025
<b>Número do certificado:</b>	CEAIR 620025		
<b>Endereço:</b>	Rua das Baganvilias nº 1307 condomínio Morro do Chapéu - Nova Lima - MG		

**DADOS DO EQUIPAMENTO**

<b>Marca:</b>	MetOne	<b>Modelo:</b>	BAM 1020
<b>Nº de Série:</b>	P22950		

**DADOS DA CALIBRAÇÃO**

<b>Calibrado por:</b>	Rafael Ferreira	<b>Função:</b>	Técnico de operação
<b>Local:</b>	Bairro Motta, Ouro Preto - MG	<b>Data e hora inicial:</b>	25/02/2025 10h17
<b>Data e hora final:</b>	28/02/2025 10h45		

**EQUIPAMENTOS DE CALIBRAÇÃO - FLUXÔMETRO**

<b>Marca:</b>	TSI 4000 SERIES	<b>Modelo:</b>	4043E
<b>Serial:</b>	404307000000	<b>Data da calibração:</b>	09/04/2024
<b>Validade:</b>	09/04/2025	<b>Calibrado por:</b>	Gabriel Prates Loriato
<b>Certificado Nº:</b>	CEAIR 431824		

**VERIFICAÇÃO DE VAZAMENTO E FLUXO**

<b>Vazamento Inicial (lpm):</b>	0,5	<b>Vazamento Final (lpm):</b>	0,48
<b>Fluxo do BAM (lpm):</b>	16,69	<b>Fluxo Flowmeter (lpm):</b>	16,69
<b>Temperatura (Celsius):</b>	29	<b>Pressão (Torr):</b>	760
<b>Diferença Percentual:</b>	0,00%	<b>Tolerância &lt; 5% :</b>	OK
<b>Fluxo Final (lpm):</b>	16,69	<b>Incerteza Expandida (lpm):</b>	0,62 (k=2 ; v <sub>eff</sub> = ∞)

**VERIFICAÇÃO E LIMPEZA MECÂNICA**

<b>Limpeza do Nozzle:</b>	OK	<b>Limpeza do Rolo Pressor:</b>	OK
<b>Limpeza do Vane:</b>	OK	<b>Limpeza do Inlet PM10:</b>	OK
<b>Limpeza do Capstan:</b>	OK		

**VERIFICAÇÃO DA MEMBRANA**

<b>LAST m (mg):</b>	0,804	<b>Diferença (mg):</b>	0,002
<b>ABS (mg):</b>	0,806	<b>Diferença %:</b>	0,25%

**VERIFICAÇÃO DOS VALORES DO SETUP**

<b>BAM SAMPLE:</b>	50	<b>Cv:</b>	0.945
<b>OFFSET:</b>	-0,015	<b>ABS:</b>	0.806
<b>COUNT TIME:</b>	4	<b>K:</b>	0.973
<b>FLOW RATE:</b>	16,7	<b>Qo:</b>	0
<b>FLOW TYPE:</b>	STD	<b>usw:</b>	0.299
<b>CONC TYPE:</b>	STD	<b>BKGD:</b>	-0.0029

**NOTAS E INFORMAÇÕES ADICIONAIS**

- 1) A incerteza expandida U, que é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com  $V_{eff}$  graus de liberdade efetivos, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
- 2) As incertezas padrão da medição foram determinadas de acordo com a Norma nº NIT-DICLA-021 - Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração - Inmetro, revisão 10 de julho/2020.
- 3) Este certificado é válido somente para o item citado e só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita da Aires.
- 4) A incerteza expandida expressa em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se refere ao cálculo das incertezas combinadas dos equipamentos, fluxômetro e padrões de calibração.
- 5) Todos as atividades executadas foram realizadas conforme o procedimento interno IT.AIR.77A-22

REALIZADO POR



Rafael Augusto Judice Ferreira  
Técnico de Operação

APROVADO POR



Vhictor Rodrigues  
Coordenador de Operações

**VALE**  
ANÁLISE DE CERTIFICADO  
Centro de Controle Ambiental

(x) **Aprovado**  
( ) **Reprovado**  
( ) **Aprovado com restrição**

Assinado digitalmente por  
01586479  
DN: cn=01586479  
Motivo: Concorde com as partes  
especificadas neste documento  
Data: 06/05/2025



Empresa Certificada:  
Certification Standard  
ISO9001:2015

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO BAM 1020 (PTS)**

**INFORMAÇÕES GERAIS**

**Solicitante:** Vale - Nova Lima  
**Número do certificado:** CEAIR 658125  
**Data de emissão:** 05/05/2025  
**Endereço:** Rua das Buganvilias nº 1307 condomínio Morro do Chapéu - Nova Lima - MG

**DADOS DO EQUIPAMENTO**

**Marca:** MetOne  
**Modelo:** BAM 1020  
**Nº de Série:** P18309

**DADOS DA CALIBRAÇÃO**

**Calibrado por:** Rafael Ferreira  
**Função:** Técnico de operação  
**Local:** Pires, Congonhas - MG  
**Data e hora inicial:** 22/04/2025 12h38  
**Data e hora final:** 29/04/2025 13h40

**EQUIPAMENTOS DE CALIBRAÇÃO - FLUXÔMETRO**

**Marca:** SIARGO  
**Modelo:** MF 5706-N-25  
**Serial:** PADQA533526  
**Data da calibração:** 22/10/2024  
**Validade:** 22/10/2025  
**Certificado Nº:** 023580/2024  
**Calibrado por:** Lempé

**VERIFICAÇÃO DE VAZAMENTO E FLUXO**

<b>Vazamento Inicial (lpm):</b>	0,2	<b>Vazamento Final (lpm):</b>	0,15
<b>Fluxo do BAM (lpm):</b>	16,63	<b>Fluxo Flowmeter (lpm):</b>	16,65
<b>Temperatura (Celsius):</b>	29	<b>Pressão (Torr):</b>	760
<b>Diferença Percentual:</b>	0,12%	<b>Tolerância &lt; 5% :</b>	OK
<b>Fluxo Final (lpm):</b>	16,65	<b>Incerteza Expandida (lpm):</b>	0,62 (k=2 ; veff = ∞)

**VERIFICAÇÃO E LIMPEZA MECÂNICA**

<b>Limpeza do Nozzle:</b>	OK	<b>Limpeza do Rolo Pressor:</b>	OK
<b>Limpeza do Vane:</b>	OK	<b>Limpeza do Inlet PTS:</b>	OK
<b>Limpeza do Capstan:</b>	OK		

**VERIFICAÇÃO DA MEMBRANA**

<b>LAST m (mg):</b>	0,836	<b>Diferença (mg):</b>	0,003
<b>ABS (mg):</b>	0,839	<b>Diferença %:</b>	0,36%

**VERIFICAÇÃO DOS VALORES DO SETUP**

<b>BAM SAMPLE:</b>	50	<b>Cv:</b>	0,95
<b>OFFSET:</b>	-0,015	<b>ABS:</b>	0,839
<b>COUNT TIME:</b>	4	<b>K:</b>	0,995
<b>FLOW RATE:</b>	16,7	<b>Qo:</b>	0
<b>FLOW TYPE:</b>	STD	<b>usw:</b>	0,305
<b>CONC TYPE:</b>	STD	<b>BKGD:</b>	0,003

**NOTAS E INFORMAÇÕES ADICIONAIS**

- 1) A incerteza expandida U, que é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com  $V_{eff}$  graus de liberdade efetivos, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
- 2) As incertezas padrão da medição foram determinadas de acordo com a Norma nº NIT-DICLA-021 - Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração - Inmetro, revisão 10 de julho/2020.
- 3) Este certificado é válido somente para o item citado e só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita da Aires.
- 4) A incerteza expandida expressa em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se refere ao cálculo das incertezas combinadas dos equipamentos, fluxômetro e padrões de calibração.
- 5) Todos as atividades executadas foram realizadas conforme o procedimento interno IT.AIR.77A-22

REALIZADO POR

*Rafael A J Ferreira*

Rafael Augusto Judice Ferreira  
Técnico de Operação

APROVADO POR

*Vhictor Rodrigues*

Vhictor Rodrigues  
Coordenador de Operações



**ANÁLISE DE CERTIFICADO**  
Centro de Controle Ambiental

- (x) **Aprovado**  
( ) **Reprovado**  
( ) **Aprovado com restrição**

HUGO PATRICK OLIVEIRA MENDES

Assinado digitalmente por  
01586479  
DN: cn=01586479  
Motivo: Concorde com as partes  
especificadas neste documento  
Data: 06/05/2025



Empresa Certificada:  
Certification Standard  
ISO9001:2015

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO BAM 1020 (PM10)**

**INFORMAÇÕES GERAIS**

**Solicitante:** Vale - Nova Lima  
**Número do certificado:** CEAIR 658425  
**Data de emissão:** 05/05/2025  
**Endereço:** Rua das Buganvilias nº 1307 condomínio Morro do Chapéu - Nova Lima - MG

**DADOS DO EQUIPAMENTO**

**Marca:** MetOne  
**Modelo:** BAM 1020  
**Nº de Série:** U12348

**DADOS DA CALIBRAÇÃO**

**Calibrado por:** Rafael Ferreira  
**Função:** Técnico de operação  
**Local:** Pires, Congonhas - MG  
**Data e hora inicial:** 22/04/2025 12h38  
**Data e hora final:** 29/04/2025 13h40

**EQUIPAMENTOS DE CALIBRAÇÃO - FLUXÔMETRO**

**Marca:** SIARGO  
**Modelo:** MF 5706-N-25  
**Serial:** PADQA533526  
**Data da calibração:** 22/10/2024  
**Validade:** 22/10/2025  
**Calibrado por:** Lempe  
**Certificado Nº:** 023580/2024

**VERIFICAÇÃO DE VAZAMENTO E FLUXO**

<b>Vazamento Inicial (lpm):</b>	0,34	<b>Vazamento Final (lpm):</b>	0,3
<b>Fluxo do BAM (lpm):</b>	16,7	<b>Fluxo Flowmeter (lpm):</b>	16,7
<b>Temperatura (Celsius):</b>	29	<b>Pressão (Torr):</b>	760
<b>Diferença Percentual:</b>	0,00%	<b>Tolerância &lt; 5% :</b>	OK
<b>Fluxo Final (lpm):</b>	16,70	<b>Incerteza Expandida (lpm):</b>	0,62 (k=2 ; veff = ∞)

**VERIFICAÇÃO E LIMPEZA MECÂNICA**

<b>Limpeza do Nozzle:</b>	OK	<b>Limpeza do Rolo Pressor:</b>	OK
<b>Limpeza do Vane:</b>	OK	<b>Limpeza do Inlet PM10:</b>	OK
<b>Limpeza do Capstan:</b>	OK		

**VERIFICAÇÃO DA MEMBRANA**

<b>LAST m (mg):</b>	0,866	<b>Diferença (mg):</b>	0,018
<b>ABS (mg):</b>	0,884	<b>Diferença %:</b>	2,04%

**VERIFICAÇÃO DOS VALORES DO SETUP**

<b>BAM SAMPLE:</b>	50	<b>Cv:</b>	1,024
<b>OFFSET:</b>	-0,015	<b>ABS:</b>	0,884
<b>COUNT TIME:</b>	4	<b>K:</b>	0,985
<b>FLOW RATE:</b>	16,7	<b>Qo:</b>	0
<b>FLOW TYPE:</b>	STD	<b>usw:</b>	0,3
<b>CONC TYPE:</b>	STD	<b>BKGD:</b>	-0,004

**NOTAS E INFORMAÇÕES ADICIONAIS**

- 1) A incerteza expandida U, que é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com  $V_{eff}$  graus de liberdade efetivos, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
- 2) As incertezas padrão da medição foram determinadas de acordo com a Norma nº NIT-DICLA-021 - Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração - Inmetro, revisão 10 de julho/2020.
- 3) Este certificado é válido somente para o item citado e só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita da Aires.
- 4) A incerteza expandida expressa em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se refere ao cálculo das incertezas combinadas dos equipamentos, fluxômetro e padrões de calibração.
- 5) Todos as atividades executadas foram realizadas conforme o procedimento interno IT.AIR.77A-22

REALIZADO POR

*Rafael A J Ferreira*

Rafael Augusto Judice Ferreira  
Técnico de Operação

APROVADO POR

*Vhictor Rodrigues*

Vhictor Rodrigues  
Coordenador de Operações

## **Dados de ART e CTF**

Com o objetivo de promover as disposições da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018, Lei Geral de Proteção de Dados – LGPD, foi retirado deste arquivo as ARTs e CTFs dos profissionais envolvidos, a fim de resguardar os dados pessoais.

Importante destacar que estes documentos foram disponibilizados nos estudos ambientais protocolados no órgão ambiental para respectiva análise do processo de Licenciamento Ambiental.

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO BAM 1020 (PTS)**

**INFORMAÇÕES GERAIS**

Solicitante: Vale - Nova Lima  
 Número do certificado: CEAIR 459524  
 Endereço: Rua das Buganvilias nº 1307 condomínio Morro do Chapéu - Nova Lima - MG  
 Data de emissão: 09/05/2024

**DADOS DO EQUIPAMENTO**

Marca: MetOne  
 Modelo: BAM 1020  
 Nº de Série: P18518

**DADOS DA CALIBRAÇÃO**

Calibrado por: Bruno Pereira  
 Função: Técnico de operação  
 Local: Mota  
 Data e hora inicial: 06/05/2024 13:00  
 Data e hora final: 09/05/2024 14:00

**EQUIPAMENTOS DE CALIBRAÇÃO - FLUXÔMETRO**

Marca: EMIATEC  
 Modelo: SFM20000  
 Serial: 20200818  
 Data da calibração: 18/05/2023  
 Validade: 18/05/2024  
 Certificado Nº: 145460  
 Calibrado por: CHROMPACK

**VERIFICAÇÃO DE VAZAMENTO E FLUXO**

Vazamento Inicial (lpm):	0,2	Vazamento Final (lpm):	0,6
Fluxo do BAM (lpm):	16,57	Fluxo Flowmeter (lpm):	16,71
Temperatura (Celsius):	25	Pressão (Torr):	760
Diferença Percentual:	0,84%	Tolerância < 5% :	OK
Fluxo Final (lpm):	16,71	Incerteza Expandida (lpm):	0,62 (k=2 ; v <sub>eff</sub> = ∞)

**VERIFICAÇÃO E LIMPEZA MECÂNICA**

Limpeza do Nozzle:	OK	Limpeza do Rolo Pressor:	OK
Limpeza do Vane:	OK	Limpeza do Inlet PTS:	OK
Limpeza do Capstan:	OK		

**VERIFICAÇÃO DA MEMBRANA**

LAST m (mg):	0,797	Diferença (mg):	0,009
ABS (mg):	0,788	Diferença %:	1,14%

**VERIFICAÇÃO DOS VALORES DO SETUP**

BAM SAMPLE:	50	Cv:	1
OFFSET:	-0,015	ABS:	0,788
COUNT TIME:	4	K:	0,995
FLOW RATE:	16,7	Qo:	-0,1
FLOW TYPE:	STD	usw:	0,311
CONC TYPE:	STD	BKGD:	0,005

**NOTAS E INFORMAÇÕES ADICIONAIS**

- 1) A incerteza expandida U, que é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com  $V_{\text{eff}}$  graus de liberdade efetivos, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
- 2) As incertezas padrão da medição foram determinadas de acordo com a Norma nº NIT-DICLA-021 - Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração - Inmetro, revisão 10 de julho/2020.
- 3) Este certificado é válido somente para o item citado e só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita da Aires.
- 4) A incerteza expandida expressa em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se refere ao cálculo das incertezas combinadas dos equipamentos, fluxômetro e padrões de calibração.
- 5) Todos as atividades executadas foram realizadas conforme o procedimento interno IT.AIR.77A-22

**REALIZADO POR**

*Bruno Siqueira Pereira*

Bruno Siqueira Pereira  
Técnico de Operação

**APROVADO POR**

*Victor Rodrigues*

Victor Rodrigues  
Supervisor de Manutenção Externa

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO BAM 1020 (PM10)**

**INFORMAÇÕES GERAIS**

Solicitante: Vale - Nova Lima  
 Número do certificado: CEAIR 459624  
 Endereço: Rua das Buganvilias nº 1307 condomínio Morro do Chapéu - Nova Lima - MG  
 Data de emissão: 09/05/2024

**DADOS DO EQUIPAMENTO**

Marca: MetOne  
 Modelo: BAM 1020  
 Nº de Série: P18568

**DADOS DA CALIBRAÇÃO**

Calibrado por: Bruno Pereira  
 Função: Técnico de operação  
 Local: Mota  
 Data e hora inicial: 06/05/2024 13:00  
 Data e hora final: 09/05/2024 14:00

**EQUIPAMENTOS DE CALIBRAÇÃO - FLUXÔMETRO**

Marca: EMIATEC  
 Modelo: SFM20000  
 Serial: 20200818  
 Data da calibração: 18/05/2023  
 Validade: 18/05/2024  
 Certificado Nº: 145460  
 Calibrado por: CHROMPACK

**VERIFICAÇÃO DE VAZAMENTO E FLUXO**

Vazamento Inicial (lpm):	0,3	Vazamento Final (lpm):	0,8
Fluxo do BAM (lpm):	16,52	Fluxo Flowmeter (lpm):	16,68
Temperatura (Celsius):	25	Pressão (Torr):	760
Diferença Percentual:	0,97%	Tolerância < 5% :	OK
Fluxo Final (lpm):	16,68	Incerteza Expandida (lpm):	0,62 (k=2 ; v <sub>eff</sub> = ∞)

**VERIFICAÇÃO E LIMPEZA MECÂNICA**

Limpeza do Nozzle:	OK	Limpeza do Rolo Pressor:	OK
Limpeza do Vane:	OK	Limpeza do Inlet PM10:	OK
Limpeza do Capstan:	OK		

**VERIFICAÇÃO DA MEMBRANA**

LAST m (mg):	0,854	Diferença (mg):	0,006
ABS (mg):	0,848	Diferença %:	0,71%

**VERIFICAÇÃO DOS VALORES DO SETUP**

BAM SAMPLE:	50	Cv:	0,99
OFFSET:	-0,015	ABS:	0,848
COUNT TIME:	4	K:	0,998
FLOW RATE:	16,7	Qo:	-0,1
FLOW TYPE:	STD	usw:	0,312
CONC TYPE:	STD	BKGD:	0,002

**NOTAS E INFORMAÇÕES ADICIONAIS**

- 1) A incerteza expandida U, que é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com V<sub>eff</sub> graus de liberdade efetivos, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
- 2) As incertezas padrão da medição foram determinadas de acordo com a Norma nº NIT-DICLA-021 - Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração - Inmetro, revisão 10 de julho/2020.
- 3) Este certificado é válido somente para o item citado e só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita da Aires.
- 4) A incerteza expandida expressa em µg/m<sup>3</sup>, se refere ao cálculo das incertezas combinadas dos equipamentos, fluxômetro e padrões de calibração.
- 5) Todos as atividades executadas foram realizadas conforme o procedimento interno IT.AIR.77A-22

**REALIZADO POR**

*Bruno Siqueira Pereira*

Bruno Siqueira Pereira  
Técnico de Operação

**APROVADO POR**

*Victor Rodrigues*

Victor Rodrigues  
Supervisor de Manutenção Externa

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO BAM 1020 (PM10)**

**INFORMAÇÕES GERAIS**

**Solicitante:** Vale - Nova Lima  
**Número do certificado:** CEAIR 471224  
**Data de emissão:** 06/05/2024  
**Endereço:** Rua das Buganvilias nº 1307 condomínio Morro do Chapéu - Nova Lima - MG

**DADOS DO EQUIPAMENTO**

**Marca:** MetOne  
**Modelo:** BAM 1020  
**Nº de Série:** U12348

**DADOS DA CALIBRAÇÃO**

**Calibrado por:** Bruno Pereira  
**Função:** Técnico de operação  
**Local:** Pires  
**Data e hora inicial:** 03/05/2024 10h  
**Data e hora final:** 06/05/2024 11h

**EQUIPAMENTOS DE CALIBRAÇÃO - FLUXÔMETRO**

**Marca:** EMIATEC  
**Modelo:** SFM20000  
**Serial:** 20200818  
**Data da calibração:** 18/05/2023  
**Validade:** 18/05/2024  
**Calibrado por:** CHROMPACK  
**Certificado Nº:** 145460

**VERIFICAÇÃO DE VAZAMENTO E FLUXO**

<b>Vazamento Inicial (lpm):</b>	0,7	<b>Vazamento Final (lpm):</b>	0,5
<b>Fluxo do BAM (lpm):</b>	16,7	<b>Fluxo Flowmeter (lpm):</b>	16,78
<b>Temperatura (Celsius):</b>	25	<b>Pressão (Torr):</b>	760
<b>Diferença Percentual:</b>	0,48%	<b>Tolerância &lt; 5% :</b>	OK
<b>Fluxo Final (lpm):</b>	16,78	<b>Incerteza Expandida (lpm):</b>	0,62 (k=2 ; v <sub>eff</sub> = ∞)

**VERIFICAÇÃO E LIMPEZA MECÂNICA**

<b>Limpeza do Nozzle:</b>	OK	<b>Limpeza do Rolo Pressor:</b>	OK
<b>Limpeza do Vane:</b>	OK	<b>Limpeza do Inlet PM10:</b>	OK
<b>Limpeza do Capstan:</b>	OK		

**VERIFICAÇÃO DA MEMBRANA**

<b>LAST m (mg):</b>	0,866	<b>Diferença (mg):</b>	0,018
<b>ABS (mg):</b>	0,884	<b>Diferença %:</b>	2,04%

**VERIFICAÇÃO DOS VALORES DO SETUP**

<b>BAM SAMPLE:</b>	50	<b>Cv:</b>	1,024
<b>OFFSET:</b>	-0,015	<b>ABS:</b>	0,884
<b>COUNT TIME:</b>	4	<b>K:</b>	0,985
<b>FLOW RATE:</b>	16,7	<b>Qo:</b>	0
<b>FLOW TYPE:</b>	STD	<b>usw:</b>	0,3
<b>CONC TYPE:</b>	STD	<b>BKGD:</b>	-0,004

**NOTAS E INFORMAÇÕES ADICIONAIS**

- 1) A incerteza expandida U, que é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com V<sub>eff</sub> graus de liberdade efetivos, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
- 2) As incertezas padrão da medição foram determinadas de acordo com a Norma nº NIT-DICLA-021 - Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração - Inmetro, revisão 10 de julho/2020.
- 3) Este certificado é válido somente para o item citado e só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita da Aires.
- 4) A incerteza expandida expressa em µg/m<sup>3</sup>, se refere ao cálculo das incertezas combinadas dos equipamentos, fluxômetro e padrões de calibração.
- 5) Todos as atividades executadas foram realizadas conforme o procedimento interno IT.AIR.77A-22

**REALIZADO POR**

*Bruno Siqueira Pereira*

Bruno Siqueira Pereira  
Técnico de Operação

**APROVADO POR**

*Victor Rodrigues*

Victor Rodrigues  
Supervisor de Manutenção Externa



## **ANEXO 5.**

# **ESTUDO DE CRITÉRIO LOCACIONAL ESPELEOLÓGICO**



**TERMO DE REFERÊNCIA  
PARA CRITÉRIO LOCACIONAL**

**MINA DE FÁBRICA**

**VALE S.A.**

**CONGONHAS – MG  
FEVEREIRO DE 2026**

**EMPRESA RESPONSÁVEL PELA EXECUÇÃO**



**Ativo Ambiental Ltda.**

**CNPJ: 12.350.182/0001-00**

**Website: [www.ativoambiental.com.br](http://www.ativoambiental.com.br)**

**ENDEREÇO**

**Avenida do Contorno, 2090, Floresta, 30110-012**

**Belo Horizonte, MG.**

**Tel.: (31)3481-3335**

**E-mail: [leandro@ativoambiental.com.br](mailto:leandro@ativoambiental.com.br) / [flavia@ativoambiental.com.br](mailto:flavia@ativoambiental.com.br)**

**REPRESENTANTE CONTRATADA**

**Geógrafo Leandro M. Duarte Maciel – CREA 126866 D**

**EMPRESA RESPONSÁVEL PELO EMPREENDIMENTO**



**VALE S/A – MINA DE ÁGUAS CLARAS**

**CNPJ: 33.592.510/0447-98**

**[www.vale.com](http://www.vale.com)**

**ENDEREÇO**

**Mina de Águas Claras**

**Av. de Ligação 3080, prédio 1, 1º andar – Águas Claras. CEP 34000-000**

**Nova Lima, MG**

**Tel: (31) 3481-3335**

**FISCAL DO PROJETO/SOLICITANTE**

**Carlos Calle Tapia**

**[carlos.calle@vale.com](mailto:carlos.calle@vale.com)**



Equipe técnica	Formação	Função
Leandro Maciel	Geógrafo / CREA 126866-D	Coordenação geral
Juliana Macaron Longo	Bióloga / CRBio 70722/04-D	Gerente de projetos
Bruno Daniel Lenhare	Geólogo / CREA 34608MG	Elaboração do relatório
Lais Furtado Oliveira	Bióloga / CRBio 123845/04-D	Elaboração do relatório

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	3
1.1	ÁREA DE ESTUDO .....	3
2	MÉTODOS.....	5
3	RESULTADOS .....	6
4	CONCLUSÕES.....	9
5	REFERÊNCIAS .....	10
6	ANEXOS: DOCUMENTOS TÉCNICOS .....	11

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Grau de potencialidade de ocorrência de cavidades por litotipo.....	5
---	---

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Localização e vias de acesso para a área de estudo, Área Diretamente Afetada (Barragem Alto Jacutinga).....	4
Mapa 2: Mapa de potencial espeleológico da área das obras na área de estudo.....	8

## 1 INTRODUÇÃO

O presente Termo de Referência estabelece as diretrizes técnicas e o escopo mínimo dos estudos espeleológicos a serem desenvolvidos no âmbito do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), requerido para o processo de licenciamento ambiental das obras de descaracterização da Barragem Alto Jacutinga, situada na Mina de Fábrica, no município de Congonhas, Minas Gerais, sob responsabilidade da Vale S.A.

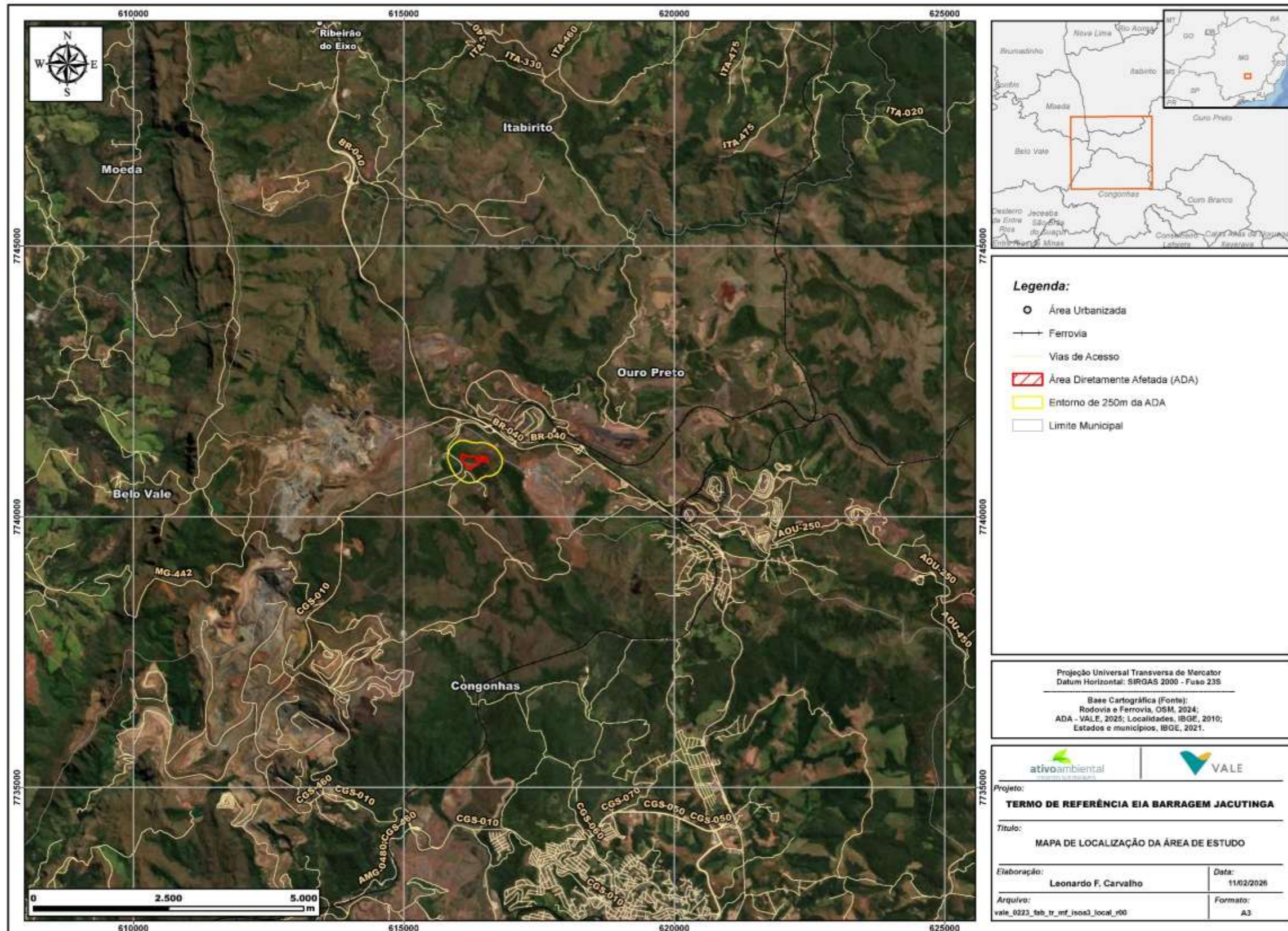
O documento tem por finalidade orientar a elaboração dos estudos necessários à adequada avaliação do patrimônio espeleológico potencialmente afetado pelas intervenções previstas, principalmente aquelas associadas à supressão de vegetação e às obras emergenciais destinadas à descaracterização da estrutura de contenção. A formulação deste Termo de Referência decorre da necessidade de compatibilizar as etapas de planejamento, implantação e operação das intervenções com as exigências estabelecidas pelos órgãos ambientais competentes, em âmbito estadual e federal, assegurando conformidade com o arcabouço normativo aplicável à proteção do patrimônio espeleológico.

Em atendimento às disposições da Deliberação Normativa COPAM nº 217/2017, das Instruções Normativas MMA nº 02/2009 e nº 02/2017, bem como da Instrução de Serviço SISEMA nº 08/2017, este Termo de Referência define os procedimentos técnicos de prospecção, caracterização, análise de relevância e avaliação de impactos sobre o meio espeleológico. Considera-se, para fins de delimitação da área de influência, o enquadramento da Barragem Alto Jacutinga e seu entorno imediato, abrangendo raio de 250 metros a partir da poligonal convexa da estrutura, conforme critérios técnicos usualmente adotados em estudos espeleológicos para fins de licenciamento ambiental.

Busca-se, assim, assegurar a adequada integração entre as atividades do empreendimento e a avaliação ambiental do patrimônio espeleológico, em consonância com as diretrizes técnicas do CECAV/ICMBio e do SISEMA/MG, garantindo a identificação, a análise e o manejo apropriado de eventuais cavidades naturais subterrâneas situadas na área de influência direta e indireta do empreendimento. Ressalta-se, contudo, que, as atividades de prospecção espeleológica realizadas na área de estudo não identificaram a ocorrência de cavidades naturais subterrâneas no interior da poligonal analisada.

### 1.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na Mina de Fábrica, no município de Congonhas, Estado de Minas Gerais, inserida no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero. O acesso principal se dá a partir da Rodovia BR-040, no sentido Rio de Janeiro, partindo de Belo Horizonte. O trajeto segue até o entroncamento com a Rodovia MG-452, em direção ao município de Belo Vale, percorrendo-se aproximadamente 1 km até o ponto de acesso à via vicinal que conduz à área da Barragem Alto Jacutinga. O acesso final é realizado por estrada não pavimentada de uso restrito, que conduz diretamente à área operacional da estrutura de contenção. A localização da área de estudo e as vias de acesso são apresentadas no Mapa 1, que ilustra tanto a Área Diretamente Afetada (ADA) quanto o buffer de 250 metros estabelecido conforme a DN COPAM nº 217/2017.



Mapa 1: Localização e vias de acesso para a área de estudo, Área Diretamente Afetada (Barragem Alto Jacutinga).

## 2 MÉTODOS

A avaliação espeleológica deverá seguir os procedimentos estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM nº 217/2017, que define os critérios locais para o enquadramento de empreendimentos passíveis de licenciamento ambiental, bem como as orientações da Instrução Normativa MMA nº 02/2017 e da Instrução de Serviço SEMAD nº 08/2017.

De acordo com a DN COPAM nº 217/2017, empreendimentos localizados em áreas de alto ou muito alto potencial espeleológico devem apresentar estudos detalhados de prospecção. Áreas classificadas como de médio, baixo ou ocorrência improvável devem ser avaliadas conforme parâmetros da IS SEMAD nº 08/2017.

*Para a avaliação do critério locacional em questão, deverá ser consultado o mapa de potencialidade de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas elaborado pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas –CECAV/ICMBio. O mapa encontra-se disponível na IDE-SISEMA (<http://www.idesisma.meioambiente.mg.gov.br/>) e no seguinte link:*

<http://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-e-atividades/potencialidade-de-ocorrencia-de-cavernas.html>.

De acordo com essa norma, empreendimentos localizados em áreas de alto ou muito alto potencial espeleológico devem apresentar estudos detalhados de prospecção, enquanto áreas classificadas como de médio, baixo ou ocorrência improvável devem ser avaliadas à luz da Instrução de Serviço SEMAD nº 08/2017 (Tabela 1).

Tabela 1: Grau de potencialidade de ocorrência de cavidades por litotipo.

Litotipo	Grau de Potencialidade
Calcário, Dolomito, Evaporito, Metacalcário, Formação ferrífera bandada, Itabirito e Jaspilito	Muito Alto
Calcrete, Carbonatito, Mármore e Margá	Alto
Arenito, Conglomerado, Filito, Folhelho, Fosforito, Grauvaca, Metaconglomerado, Metapelito, Metassilito, Micaxisto, Milonito, Quartzito, Pelito, Riolito, Ritmito, Rocha calcissilicática, Silito e Xisto	Médio
Anortosito, Arcóseo, Augengnaise, Basalto, Charnockito, Diabasio, Diamictito, Enderbitto, Gabro, Gnaise, Granito, Granitóide, Granodiorito, Hornfels, Kinzigito, Komatito, Laterita, Metachert, Migmatito, Monzogranito, Olivina gabro, Ortoanfilito, Sienito, Sienogranito, Tonalito, Trondhjemitto, entre outros litotipos	Baixo
Aluvião, Areia, Argila, Cascalho, Lamito, Linhito, Turfa e outros sedimentos	Ocorrência Improvável

A área de estudo está inserida em um contexto de quartzitos do Grupo Itacolomi, que apresentam alto potencial de ocorrência de cavidades, segundo ilustrado no Mapa 2. Contudo, os trabalhos de prospecção espeleológica realizados na área de estudo não identificaram nenhuma cavidade.

A metodologia aplicada consistiu em:

1. Revisão documental e levantamento secundário – análise dos relatórios técnicos existentes.

2. Análise de contexto geológico e geomorfológico — descrição detalhada das unidades litológicas e estruturas geológicas locais, identificação das discontinuidades e avaliação de sua relação com as feições espeleológicas observadas. Serão utilizados mapas geológicos oficiais (CPRM, VALE e IBGE) e produtos derivados de fotointerpretação de alta resolução.
3. Prospecção e caracterização de cavidades — realização de inspeções espeleológicas direcionadas à área de influência direta (raio de 250 m), com descrição das feições morfológicas, desenvolvimento, litologia hospedeira, indicadores de estabilidade e registros biológicos observáveis. Todos os pontos amostrados deverão ser georreferenciados em SIRGAS2000/UTM 23K, com emissão de relatórios fotográficos e fichas de campo padronizadas.
4. Geoprocessamento e mapeamento temático — elaboração de mapas geológicos e geomorfológicos de detalhe, cartas de localização das cavidades e produtos cartográficos representando a área diretamente afetada (ADA) e a área de influência direta (AID). Os produtos deverão integrar o relatório técnico final e ser disponibilizados em formato digital compatível com SIG.

### 3 RESULTADOS

Os resultados apresentados a seguir referem-se à avaliação espeleológica realizada na área da Barragem Alto Jacutinga, inserida na Mina de Fábrica, com foco na identificação, caracterização e análise dos possíveis impactos associados às intervenções previstas para as obras de descaracterização da estrutura. As informações foram obtidas a partir de prospecções confirmatórias em campo e da análise técnica dos documentos disponibilizados pela Vale S.A., incluindo os estudos de caracterização da barragem, os projetos executivos de descaracterização e os documentos ambientais correlatos que subsidiam o processo de licenciamento.

O escopo das atividades contemplou a Área Diretamente Afetada (ADA) das intervenções previstas, bem como um entorno de referência correspondente a 250 metros a partir da poligonal convexa da estrutura, em conformidade com as diretrizes estabelecidas no Termo de Referência Espeleológico e na Instrução de Serviço SISEMA nº 08/2017. As ações desenvolvidas abrangeram a prospecção sistemática para identificação de cavidades naturais subterrâneas, a verificação da existência de registros prévios no Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE).

***i) Prospecção espeleológica sobre a ADA do empreendimento e sobre seu entorno em um raio de 250 metros, conforme o ANEXO I (Diretrizes para elaboração de relatório de Prospecção Espeleológica) do termo de referência para critério locacional (TRCL);***

Os estudos de prospecção espeleológica, que abrangem toda a ADA do projeto acrescida de um buffer de 250 metros, foram desenvolvidos em distintas fases, conforme apresentado a seguir:

**1. Lume (2010–2011; revisão 2014):** os estudos de prospecção espeleológica foram executados pela empresa LUME Consultoria Ambiental entre 2010 e 2011, com revisão em 2014, abrangendo a ADA da Barragem Alto Jacutinga e seu entorno de 250 metros. Os trabalhos não identificaram cavidades naturais subterrâneas no interior da poligonal de estudo.

**2. Ativo Ambiental (2024): relatório de atividades de campo prospecção complementar Mina de Fábrica:** o levantamento foi executado por meio de caminhamento sistemático (prospecção convencional a pé), com adensamento da malha nas áreas de maior potencial espeleológico, visando garantir cobertura

adequada da área estudada. as trilhas percorridas foram georreferenciadas, com registro dos pontos de controle e das eventuais feições identificadas, utilizando coordenadas em UTM, DATUM SIRGAS 2000.

Os resultados contemplam a delimitação cartográfica da ADA e da faixa de entorno de 250 metros, mapa das linhas de caminhamento sobre imagem de satélite, identificação e caracterização das feições espeleológicas eventualmente registradas, bem como registro fotográfico e arquivos digitais compatíveis com os formatos exigidos pelo órgão ambiental. Os trabalhos não identificaram cavidades naturais subterrâneas na ADA nem no entorno de 250 metros analisado.

**3. Prospecções interna Vale:** Complementarmente, a Vale conduziu prospecções internas na área de estudo, cujos resultados, juntamente com os demais levantamentos, estão consolidados no Mapa 2. As prospecções não identificaram cavidades naturais subterrâneas na ADA nem no entorno de 250 metros da estrutura.

*ii) Caracterização das cavidades, que deverá seguir os critérios básicos do CECAV, conforme o ANEXO III do TRCL;*

Não foram identificadas cavidades naturais subterrâneas na área de estudo. Dessa forma, a caracterização das cavidades, conforme previsto neste item, não se aplica ao presente caso.

*iii) Avaliação dos impactos da atividade ou do empreendimento sobre o patrimônio espeleológico, que deverá considerar todos os impactos reais e potenciais sobre todas as cavidades identificadas na ADA e no seu entorno de 250m, bem como sobre suas respectivas áreas de influência, visando identificar se os impactos negativos são reversíveis ou irreversíveis, conforme o ANEXO III do TRCL;*

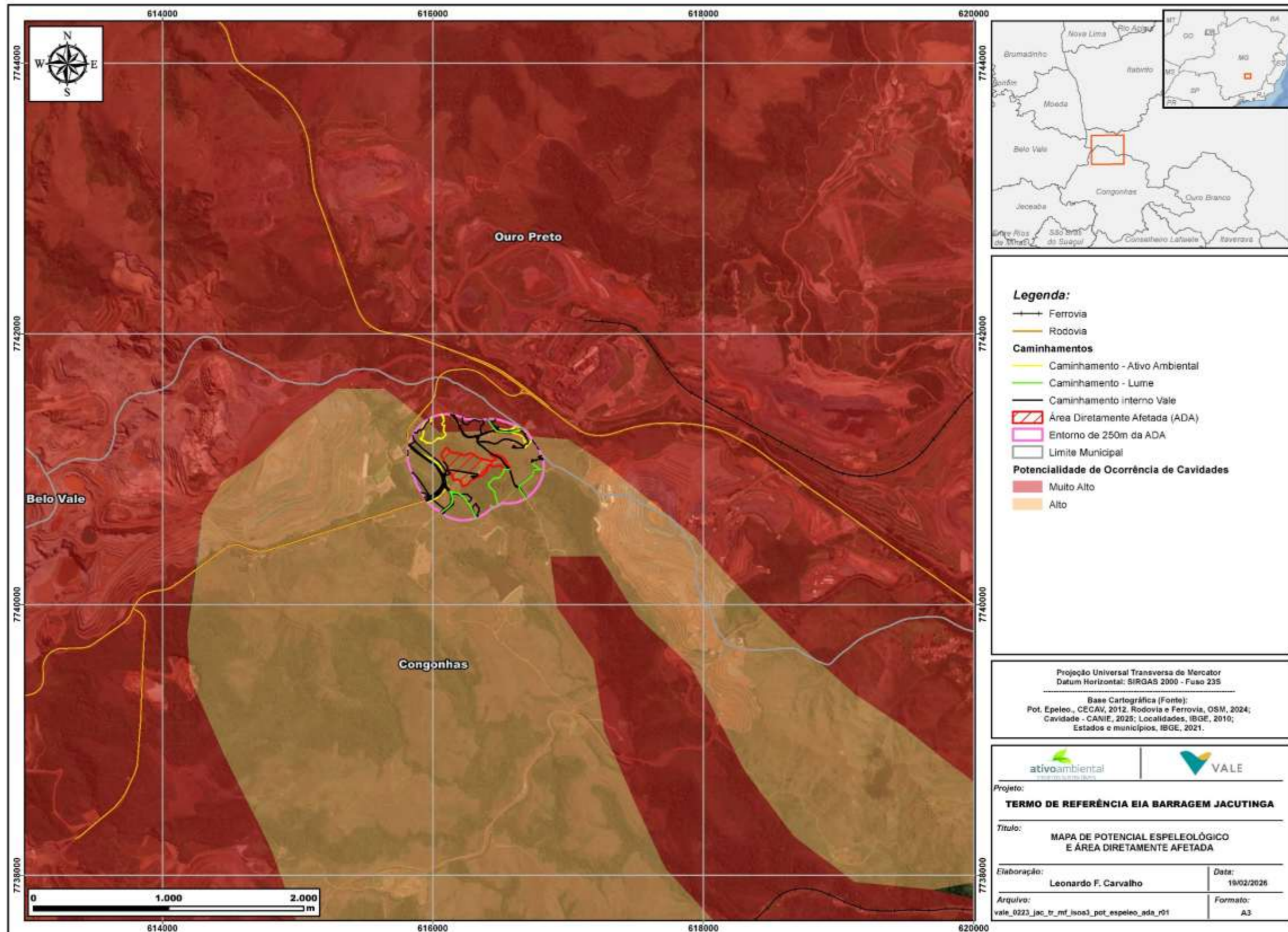
Não foram identificadas cavidades naturais subterrâneas na poligonal de estudo. Dessa forma, a avaliação dos impactos sobre o patrimônio espeleológico, conforme previsto neste item, não se aplica ao presente caso.

*iv) Caso haja impactos irreversíveis na área de influência das cavidades naturais subterrâneas sem que seja afetada a integridade física e ecológica da cavidade, será solicitado o estudo de área de influência, conforme ANEXO II da DN;*

Não foram identificadas cavidades naturais subterrâneas na área de estudo. Dessa forma, a avaliação de impactos irreversíveis na área de influência de cavidades, conforme previsto neste item, não se aplica ao presente caso.

*v) Caso haja impactos negativos irreversíveis nas cavidades naturais subterrâneas ou na área de influência final das cavidades de forma a afetar a integridade física e ecológica da cavidade, o empreendedor deverá apresentar estudo de definição de grau de relevância, conforme metodologia proposta pela Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiental N° 02/2017, bem como a proposta de compensação espeleológica, conforme critérios estabelecidos pela Instrução de Serviço da SEMAD N° 08/2017.*

Não foram identificadas cavidades naturais subterrâneas na área de estudo. Dessa forma, a definição do grau de relevância e a proposta de compensação espeleológica, conforme previsto neste item, não se aplicam ao presente caso.



Mapa 2: Mapa de potencial espeleológico da área das obras na área de estudo.

## 4 CONCLUSÕES

Com base na consolidação dos estudos e relatórios técnicos disponíveis – elaborados por LUME (2014) e Ativo Ambiental (2024) –, verifica-se que a área da Mina de Fábrica foi objeto de prospecções espeleológicas sucessivas e complementares, abrangendo integralmente a Área Diretamente Afetada (ADA) e seu entorno de 250 metros, em conformidade com as diretrizes do Termo de Referência para Critério Locacional (TRCL) e da Deliberação Normativa COPAM nº 217/2017.

Os levantamentos realizados, em sua totalidade, não identificaram cavidades naturais subterrâneas no interior da poligonal de estudo, incluindo a ADA e seu entorno de 250 metros.

Dessa forma, conclui-se que o Projeto Fábrica é ambientalmente viável sob o ponto de vista espeleológico, não havendo, até o presente momento, necessidade de medidas compensatórias previstas na IN MMA nº 02/2017 e na IS SEMAD nº 08/2017.

Recomenda-se, contudo, que durante a execução das atividades de campo e implantação das estruturas previstas no EIA Global, sejam mantidos os seguintes procedimentos:

- Acompanhamento técnico especializado em geologia e espeleologia em eventuais novas frentes de trabalho;
- Registro sistemático de quaisquer feições naturais que possam configurar cavidades, garantindo o devido protocolo junto ao CECAV;
- Atualização do banco de dados espeleológico da mina, incorporando os resultados futuros ao histórico técnico consolidado da VALE S.A.

## 5 REFERÊNCIAS

ATIVO AMBIENTAL LTDA. *Prospecção Complementar – Mina de Fábrica*. Belo Horizonte: Ativo Ambiental, 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). *Instrução Normativa nº 02, de 20 de agosto de 2017*. Estabelece as diretrizes e os procedimentos para a proteção das cavidades naturais subterrâneas e de suas áreas de influência. Diário Oficial da União, Brasília, 21 ago. 2017.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV). *Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavidades Naturais Subterrâneas – Estado de Minas Gerais*. Brasília: ICMBio/CECAV, 2019. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav>. Acesso em: out. 2025.

LUME Consultoria Ambiental. *Prospecção Espeleológica da Mina de Fábrica*. Belo Horizonte: Lume, 2014.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM). *Deliberação Normativa COPAM nº 217, de 06 de dezembro de 2017*. Estabelece os critérios locacionais e os procedimentos de enquadramento de empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental em função do potencial de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas. Diário do Executivo, Belo Horizonte, 07 dez. 2017.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD). *Instrução de Serviço SEMAD nº 08/2017 – Revisão 1*. Define o procedimento técnico-operacional para a avaliação e o licenciamento ambiental em áreas com potencial de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas. Belo Horizonte, 2017.

MINAS GERAIS. Governo do Estado de Minas Gerais. *Decreto Estadual nº 47.749, de 11 de novembro de 2019*. Dispõe sobre os procedimentos e prazos relativos às intervenções emergenciais de caráter corretivo e à regularização ambiental subsequente. Diário Oficial de Minas Gerais, Belo Horizonte, 12 nov. 2019.

## 6 ANEXO A: DOCUMENTOS TÉCNICOS

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis CADASTROS TÉCNICOS FEDERAIS CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR			
<b>Registro n.º</b>	<b>Data da consulta:</b>	<b>CR emitido em:</b>	<b>CR válido até:</b>
5663082	13/01/2026	13/01/2026	13/04/2026
<b>Dados básicos:</b>			
CPF: 301.381.988-02			
Nome: BRUNO DANIEL LENHARE			
<b>Endereço:</b>			
logradouro: RUA FLORIANÓPOLIS			
N.º: 187		Complemento:	
Bairro: WERNER PLAAS		Município: AMERICANA	
CEP: 13478-470		UF: SP	
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA</b>			
Código CBO	Ocupação	Área de Atividade	
2134-05	Geólogo	Controlar serviços de geologia, geofísica e oceanografia	
2134-05	Geólogo	Efetuar serviços geotécnicos	
2134-05	Geólogo	Estudar ambientes terrestres e aquáticos	
2134-05	Geólogo	Gerir atividades de proteção, conservação e reabilitação ambiental	
2134-05	Geólogo	Pesquisar natureza geológica, geofísica e oceanográfica	
2134-05	Geólogo	Prestar assessoria e consultoria	
<p>Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.</p> <p>A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.</p> <p>O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.</p> <p>O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.</p>			
<b>Chave de autenticação</b>		JET4DPM3CV5LKTGH	

## **Dados de ART e CTF**

Com o objetivo de promover as disposições da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018, Lei Geral de Proteção de Dados – LGPD, foi retirado deste arquivo as ARTs e CTFs dos profissionais envolvidos, a fim de resguardar os dados pessoais.

Importante destacar que estes documentos foram disponibilizados nos estudos ambientais protocolados no órgão ambiental para respectiva análise do processo de Licenciamento Ambiental.



## **ANEXO 6.**

# **PLANILHA DE DADOS DA FLORA**



## **ANEXO 7.**

# **PROGRAMA DE RESGATE DE FLORA**



## **RESGATE DE FLORA**

# **Relatório de Resgate de Flora – Barragem Alto Jacutinga – Mina de Fábrica – Municípios de Congonhas e Ouro Preto/MG**



## EMPRESA RESPONSÁVEL PELO EMPREENDIMENTO

Nome do Empreendedor: Vale S.A.

CNPJ: 33.417.445/0017- 68

Endereço: Avenida de Ligação, nº3580, Águas Claras

CEP – Município – U.F.: 34006-270 – Nova Lima – Minas Gerais

Telefone: (31) 3916-3370

E-mail: leilane.gomes@vale.com

Contato: Leilane Bárbara Gomes

## EMPRESA RESPONSÁVEL POR ESTE RELATÓRIO

Nome da Empresa: Sete Soluções e Tecnologia Ambiental Ltda.

CNPJ: 02.052.511/0001-82

Endereço: Rua Pernambuco, 1000 – 5º andar – Funcionários

CEP – Município – U.F.: 30130-151 – Belo Horizonte – Minas Gerais

Telefone: (31) 3287-5177

E-mail: thiago.guimaraes@sete-sta.com.br

Líder do Projeto: Thiago Álvares Guimarães



EQUIPE TÉCNICA		
TÉCNICO	FORMAÇÃO	RESPONSABILIDADE NO PROJETO
Nara Cotta de Figueiredo	Bióloga	Especialista
EQUIPE DE APOIO		
NOME		RESPONSABILIDADE
Fábio Souza Silva		Ajudante
Jair Pascoal Dias		Ajudante
José Quirino Dias		Ajudante



## Sumário

1.	APRESENTAÇÃO.....	5
2.	INTRODUÇÃO.....	5
3.	LOCALIZAÇÃO .....	5
4.	EXECUÇÃO DA ATIVIDADE.....	7
4.1	Resgate de flora .....	7
4.2	Metodologia utilizada.....	7
4.3	Descritivo das atividades realizadas .....	8
4.4	Registro fotográfico .....	8
5.	RESULTADOS.....	11
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	12
	ANEXOS .....	13
	ANEXO 1.....	14

## Lista de Figuras

Figura 01	Localização da área de resgate de flora.....	6
-----------	--	---

## Lista de Quadros

Quadro 01	Relação das espécies e quantitativo de mudas resgatadas.....	11
-----------	--	----



## 1. APRESENTAÇÃO

Este relatório tem como objetivo apresentar os resultados das atividades de resgate de flora realizado pela empresa Sete Soluções e Tecnologia Ambiental referente ao contrato VALE 5900122383, em atendimento a Comunicação de Intervenção Emergencial do projeto de descaracterização da Barragem Alto Jacutinga, pertinente ao documento nº 2100.01.0048560/2025-29, para a Mina de Fábrica, Municípios de Congonhas e Ouro Preto /MG.

## 2. INTRODUÇÃO

Conforme documento apresentado por empresa terceira especializada em investigações geológico-geotécnicas, após a elaboração de estudos contemplando opções de reforço ou de remoção da Barragem Alto Jacutinga, sendo abordados os principais elementos técnicos relevantes para a tomada de decisão, dentre aspectos construtivos, ambientais, hídricos e de segurança operacional, a VALE S/A optou pela alternativa de descaracterização através da remoção total da barragem.

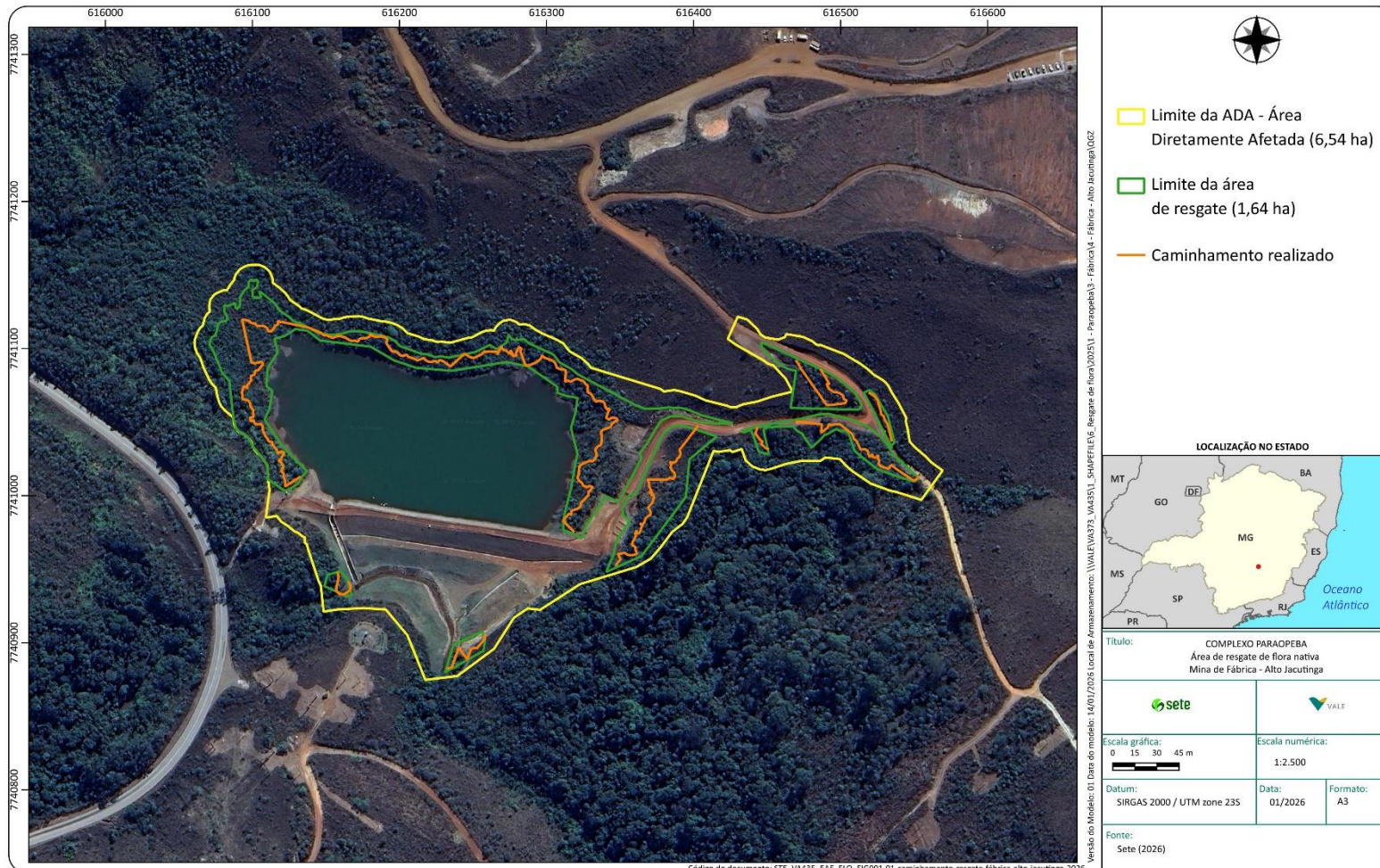
Para viabilizar a execução da obra de remoção total da barragem, será necessária adequação dos acessos e áreas operacionais. Essa adequação implicará na ampliação da área de intervenção, o que resultará na supressão de vegetação nativa localizada na região adjacente à estrutura existente.

## 3. LOCALIZAÇÃO

As atividades de resgate de flora ocorreram em áreas pertencentes a Barragem Alto Jacutinga – Mina de Fábrica – Municípios de Congonhas e Ouro Preto/MG (Figura 01).



Figura 01 Localização da área de resgate de flora





## 4. EXECUÇÃO DA ATIVIDADE

### 4.1 Resgate de flora

Por meio da execução do programa de resgate de flora, pretende-se contribuir para a conservação da diversidade biológica e do patrimônio genético da vegetação local, principalmente, das espécies endêmicas, raras, ameaçadas de extinção e/ou imunes ao corte; adquirir conhecimento científico a respeito de práticas de resgate e formas de propagação das diferentes espécies; e subsidiar os projetos de recomposição e/ou enriquecimento de áreas degradadas por meio do fornecimento de plantas.

Como o principal objetivo é preservar o patrimônio genético das comunidades vegetais, o resgate de flora contempla o maior número possível de espécies e formas de propagação.

Para tanto, é importante uma análise prévia dos estudos ambientais desenvolvidos no local para embasamento das tomadas de decisões. A escolha das espécies foi pautada em consulta à esses estudos prévios realizados no local de intervenção e enfatiza grupos com as seguintes características: úteis para os processos de restauração de áreas degradadas, como as pioneiras e as potencialmente atrativas para fauna; ameaçadas de extinção; endêmicas; raras; pouco frequentes, que apresentam maior susceptibilidade à extinção; típicas dos ecossistemas locais e que apresentaram alto índice de valor de importância nos estudos fitossociológicos; conhecidas popularmente pelo seu uso paisagístico, alimentar e medicinal; e de importância econômica como as madeiras de lei, cuja exploração na região pode ter causado a sua diminuição.

Nesse contexto, o emprego do processo de resgate de espécies nativas em áreas que sofrerão intervenção e, conseqüente, reintrodução dessas espécies em áreas que serão preservadas e/ou em áreas a serem recuperadas, justifica-se por ser um conjunto de medidas voltadas para a mitigação dos impactos decorrentes da redução das populações de espécies da flora, contribuindo, mesmo que “ex situ”, para a conservação da biodiversidade dessas comunidades vegetais.

O programa de resgate de flora deve se adequar ao cronograma executivo do empreendimento em questão, de forma a viabilizar e garantir o sucesso das ações propostas, devendo o mesmo ser efetuado anteriormente à operação de corte da vegetação presente na área.

### 4.2 Metodologia utilizada

O resgate de flora ocorre no período da manhã e seu plantio em embalagens para produção de mudas, no período da tarde do mesmo dia do resgate. As áreas de intervenção são percorridas e abertas trilhas de prospecção, com a delimitação de quadrantes, onde é realizado o método de varredura.

Este método consiste em verificar todos os tipos de propágulos existentes no quadrante, permitindo a seleção daqueles de interesse, para resgatar todos os indivíduos com condições de sobrevivência. As plantas são resgatadas manualmente com o auxílio de sachos.



Características como a forma de vida (herbácea, arbustiva ou arbórea) da espécie e suas peculiaridades fisiológicas determinam qual será a melhor metodologia de resgate, permitindo maior sucesso na taxa de sobrevivência das mudas.

Portanto, espécies arbóreas e grande parte das arbustivas são resgatadas através da coleta de plântulas que, após serem retiradas do solo, são armazenadas em baldes plásticos com água para evitar desidratação.

Já o resgate de indivíduos jovens e adultos é indicado para as fisionomias rupestres, onde deve-se priorizar a manutenção da integridade do sistema radicular da planta para ser transplantado em substrato similar ao de origem, que possui condições adequadas para o estabelecimento das mudas.

### 4.3 Descritivo das atividades realizadas

As atividades foram conduzidas por uma equipe composta por uma bióloga e três auxiliares de campo. Essa equipe foi ao local acompanhada de um responsável da área, para realizar um reconhecimento e discutir as estratégias e metodologias de resgate.

De posse do mapa da área de intervenção, percorreu-se as glebas para identificação dos acessos e da vegetação a ser suprimida e posterior definição da logística de trabalho.

O plano de trabalho foi orientado pelo sistema *Avenza*, para o acompanhamento dos caminhos percorridos garantindo-se a máxima cobertura da área.

A área de intervenção é composta por vegetação em regeneração e taludes já antropizados, por isso, o material botânico foi coletado apenas na área de intervenção ambiental, contemplando os diferentes micro-habitats.

Foram investidos dois dias de trabalho no local, onde foram percorridos todos os fragmentos selecionados para intervenção.

O sucesso do resgate e a qualidade das mudas produzidas está diretamente ligada aos cuidados no momento da execução. Neste caso, os indivíduos resgatados foram acondicionadas em caixas e baldes com água para evitar a quebra das raízes e evitar a desidratação, identificados, triados, podados e replantados no mesmo dia.

### 4.4 Registro fotográfico

As imagens a seguir referem-se às atividades descritas nesse relatório.



**Foto 01 - Visão parcial da área de intervenção.**



**Foto 02 - Visão parcial da área de intervenção.**



**Foto 03 - Vegetação no interior do fragmento.**



**Foto 04 - Vegetação no interior do fragmento.**



**Foto 05 - Abertura de trilha para prospecção.**



**Foto 06 - Abertura de trilha para prospecção.**



Foto 07 - Caminhamento para coleta de plântulas.



Foto 08 - Utilização do sacho para desprendimento de raízes.



Foto 09 - Acondicionamento em balde com água.



Foto 10 - Material botânico replantado em viveiro.



Foto 11 - *Calibrachoa elegans*



Foto 12 - *Calibrachoa elegans*



## 5. RESULTADOS

Os resgates de flora nas áreas de intervenção ocorreram nos dias 04 de dezembro de 2025 e 07 de janeiro de 2026. Foram resgatados um total de 93 indivíduos, de 14 espécies diferentes.

Conforme evidenciado pelo quadro 1, é possível visualizar as espécies e o quantitativo de mudas resgatadas pela equipe de flora.

**Quadro 01 Relação das espécies e quantitativo de mudas resgatadas**

FAMÍLIA	ESPÉCIE	NOME POPULAR	PROPÁGULO	QUANTIDADE
Orchidaceae	<i>Epidendrum secundum</i>	orquídea-bambu	Indivíduo jovem/adulto	3
Solanaceae	<i>Calibrachoa elegans</i>	-	Indivíduo adulto	1
Salicaceae	<i>Casearia decandra</i>	espeto	Plântula	4
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	mamica-de-porca	Plântula	7
Primulaceae	<i>Myrsine umbellata</i>	capororoca	Plântula	20
Lauraceae	<i>Nectandra oppositifolia</i>	canela-ferrugem	Plântula	3
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	copaíba	Plântula	5
Anacardiaceae	<i>Tapirira obtusa</i>	-	Plântula	24
Proteaceae	<i>Roupala montana</i>	carne-de-vaca	Plântula	6
Thymelaceae	<i>Daphnopsis utilis</i>	embira-branca	Plântula	5
Fabaceae	<i>Machaerium brasiliense</i>	jacarandá-atam	Plântula	2
Apocynaceae	<i>Aspidosperma sp.</i>	peroba	Plântula	1
Annonaceae	<i>Guatteria sp.</i>	pindaíba	Plântula	1
Annonaceae	<i>Xylopia sp.</i>	-	Plântula	11



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades realizadas consistiram no emprego de técnicas adequadas com a correta execução para o resgate de flora, apresentando um quantitativo relevante para o tamanho da área proposta, uma vez que foram resgatados 93 indivíduos, numa área de 1,64 hectares.

Os indivíduos resgatados foram replantados no Centro de Produção de Mudanças Nativas da VALE, localizado no Centro de Tecnologia de Ferrosos (CTF), situado no município de Nova Lima/MG, com o objetivo de posterior reintrodução das espécies no processo de restauração de áreas degradadas.



# ANEXOS



# ANEXO 1

## Anotação de Responsabilidade Técnica - ART



**Serviço Público Federal  
Conselho Federal de Biologia  
Conselho Regional de Biologia - 4ª Região**

Situação DEFERIDO		Data: 03/12/2025
<b>ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA - ART</b>		Nº: 20251000120891
<b>DADOS DO(A) PROFISSIONAL</b>		
Nome: NARA COTTA DE FIGUEIREDO	Registro CRBio: 070764/04-D	
Cpf: 075.336.106-01	Categoria: BIÓLOGO(A)	
E-mail: NARACOTTA@GMAIL.COM	Telefone: (31) 9986-1564	
<b>DADOS DO REQUISITANTE DA ATIVIDADE PROFISSIONAL</b>		
Nome/Razão social: SETE SOLUÇÕES E TECNOLOGIA AMBIENTAL LTDA	CPF/CNPJ: 02.052.511/0001-62	
Endereço: AVENIDA DO CONTORNO, S/N 2 ANDAR		
Bairro: SANTO ANTÔNIO	Cidade: BELO HORIZONTE	
CEP: 30.110-935	UF: MG	
Site/Redes Sociais:	E-mail:	
<b>DADOS DA ATIVIDADE PROFISSIONAL</b>		
Município(s) do trabalho: CONGONHAS		UF: MG
Tipo de atividade: Prestação de Serviço	Se cargo ou função:	
Formato de execução da atividade: PRESENCIAL		
Atividades Profissionais: 1. COORDENAÇÃO, SUPERVISÃO E/OU ORIENTAÇÃO DE ESTUDOS/PROJETOS DE PESQUISA E/OU SERVIÇOS		
Áreas de conhecimento: 1. BOTÂNICA	Áreas de atuação: MEIO AMBIENTE E BIODIVERSIDADE	
Detalhamento da área de atuação: 1. RESGATE E SALVAMENTO DA FAUNA E FLORA		
Forma de participação: EQUIPE	Perfil da equipe: BIÓLOGA E AJUDANTES DE CAMPO	
Identificação da Atividade: PLANEJAMENTO, COORDENAÇÃO E EXECUÇÃO DAS ATIVIDADES DE RESGATE DE FLORA.		
Descrição da atividade: Planejamento, coordenação e execução das atividades de resgate de flora, marcação de matrizes e coleta de sementes para produção de mudas provenientes das áreas de intervenção em vegetação nativa; através da Comunicação de Intervenção Emergencial - projeto de descaracterização da Barragem Alto Jacutinga - Mina de Fábrica - Congonhas/MG. Referente ao Processo nº 2100.01.0048560/2025-29.		
Valor: R\$ 5.347,28	Total de horas: 176	
Data de início: 03/12/2025	Data prevista para o Término:	
<b>ASSINATURAS</b>		
Declaro ser em verdadeiras as informações acima		
Assinatura Digital do(a) Profissional	Assinatura Digital do(a) Contratante	
<b>SOLICITAÇÃO DE BAIXA</b>		
Motivo: <input type="checkbox"/> Conclusão <input type="checkbox"/> Distrato <input type="checkbox"/> Cancelamento		
Data efetiva do Término da Atividade: / /		
Assinatura Digital do(a) Profissional		
Assinatura Digital do(a) Contratante		



## **ANEXO 8.**

# **DADOS BRUTOS DE FAUNA**





[clam.com.br](http://clam.com.br)