

**TERRACOTA**  
GEOTECNIA

## **BARRAGEM B1 – MINA IPÊ**



### **RELATÓRIO TRIMESTRAL DE ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO DE DESCARACTERIZAÇÃO**

**RELATÓRIO TÉCNICO**  
**12822-R-BA-RL-08-GE\_r1**

**FEVEREIRO**  
**2024**

TERRACOTA GEOTECNIA		TERRACOTA CONSULTORIA E PROJETOS																					
MINERAÇÃO MORRO DO IPÊ S.A.																							
Nº. CONTRATADA: 12822-R-BA-RL-08-GE_r1		<b>BARRAGEM B1 – MINA IPÊ</b> <b>RELATÓRIO TÉCNICO</b> <b>RELATÓRIO TRIMESTRAL DE ACOMPANHAMENTO</b> <b>DO PROCESSO DE DESCARACTERIZAÇÃO</b>																					
Nº. MORRO DO IPÊ: IPE.OP.RL.8000.GT.20.920																							
CONTROLE DE REVISÃO DAS FOLHAS																							
Rev doc	00	01				Rev doc	00	01				Rev doc	00	01				Rev doc	00	01			
Revisão da folha					Revisão da folha					Revisão da folha					Revisão da folha								
1	X	X				26	X	X				51	X	X				76	X	X			
2	X	X				27	X	X				52	X	X				77	X	X			
3	X	X				28	X	X				53	X	X				78	X	X			
4	X	X				29	X	X				54	X	X				79	X	X			
5	X	X				30	X	X				55	X	X				80	X	X			
6	X	X				31	X	X				56	X	X				81	X	X			
7	X	X				32	X	X				57	X	X				82	X	X			
8	X	X				33	X	X				58	X	X				83	X	X			
9	X	X				34	X	X				59	X	X				84	X	X			
10	X	X				35	X	X				60	X	X				85	X	X			
11	X	X				36	X	X				61	X	X				86	X	X			
12	X	X				37	X	X				62	X	X				87	X	X			
13	X	X				38	X	X				63	X	X				88	X	X			
14	X	X				39	X	X				64	X	X				89					
15	X	X				40	X	X				65	X	X				90					
16	X	X				41	X	X				66	X	X				91					
17	X	X				42	X	X				67	X	X				92					
18	X	X				43	X	X				68	X	X				93					
19	X	X				44	X	X				69	X	X				94					
20	X	X				45	X	X				70	X	X				95					
21	X	X				46	X	X				71	X	X				96					
22	X	X				47	X	X				72	X	X				97					
23	X	X				48	X	X				73	X	X				98					
24	X	X				49	X	X				74	X	X				99					
25	X	X				50	X	X				75	X	X				100					
REV.	T.E	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES																					
00	B	EMISSÃO PARA COMENTÁRIOS																					
01	I	APROVADO																					
TIPO DE EMISSÃO	(A) PRELIMINAR (B) PARA COMENTÁRIOS (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO	(E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G) CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO	(I) APROVADO (J) LIBERADO PARA COMPRA (K) CERTIFICADO																				
	REV. 00	REV. 01	REV.	REV.	REV.	REV.	REV.	REV.	REV.	REV.	REV.	REV.	REV.	REV.	REV.	REV.	REV.	REV.	REV.	REV.	REV.	REV.	REV.
DATA	27/02/2024	29/02/2024																					
EXECUTADO	GFL / EJC	GFL / EJC																					
VERIFICADO	EJC	EJC																					
APROVADO	EJC	EJC																					

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Documentos de referência.....</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Códigos e Normas .....</b>	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>Ficha Técnica do Empreendimento .....</b>	<b>7</b>
4.1	Identificação do Empreendedor .....	7
4.2	Identificação do Empreendimento.....	7
4.3	Endereço para Envio de Correspondência .....	7
4.4	Identificação do Representante Legal do Empreendimento.....	7
4.5	Responsável Técnico pela Segurança da Barragem .....	7
4.6	Responsável Técnico pela Elaboração do Projeto para Descaracterização.....	8
4.7	Equipe Técnica Responsável pela Elaboração do Projeto para Descaracterização.....	8
4.8	Localização da Barragem.....	8
4.9	Função atual.....	9
4.10	Características Gerais .....	10
4.11	Classificação da Barragem.....	14
<b>5.</b>	<b>Projeto de Descaracterização .....</b>	<b>19</b>
5.1	Descrição do Projeto .....	20
5.2	Alterações de Projeto.....	25
5.3	Atividades Preparatórias.....	25
5.3.1	Poço de Rebaixamento.....	25
5.3.2	Sistema de Bombeamento no Reservatório.....	26
5.3.3	Adequação da Caixa de Dissipação do Sistema Extravisor .....	27
5.4	Cronograma .....	27
5.5	Riscos Geológicos-Geotécnicos.....	29
5.6	Condição da Estrutura no Período Avaliado .....	29
5.6.1	Inspeções de Campo .....	29
5.6.2	Anomalias Detectadas Durante as Inspeções .....	29
5.6.3	Instrumentação Instalada na Barragem .....	31
5.6.3.1	Leituras Instrumentação .....	38
5.6.4	Análise de Estabilidade .....	56
5.6.4.1	Premissas adotadas nas Simulações .....	57
5.6.4.2	Sismicidade do Local da Barragem .....	59
5.6.4.3	Definição da Condição da Superfície Freática .....	65

5.6.4.4	Parâmetros de Resistência .....	66
5.6.4.5	Resultados .....	67
5.7	Controle Ambiental durante as Obras de Descaracterização .....	80
5.8	Programa de Monitoramento para as Obras de Descaracterização .....	81
5.9	Rotina de Monitoramento .....	82
<b>6.</b>	<b>Obras de Descaracterização .....</b>	<b>83</b>
<b>7.</b>	<b>Situação atual dos demais itens do Termo de Referência .....</b>	<b>83</b>
<b>8.</b>	<b>Assinaturas .....</b>	<b>87</b>
<b>9.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>88</b>

## 1. Introdução

O presente documento corresponde ao Relatório Técnico de Acompanhamento do Processo de Descaracterização da Barragem B1 - Mina Ipê, referente ao trimestre (Novembro/2023 a Janeiro/2024), elaborado de acordo com o Termo de Referência para Acompanhamento do Processo de Descaracterização de Barragens Alteadas a Montante no Estado de Minas Gerais, disponibilizado pela FEAM em 28/11/2022.

Para atender às necessidades da Mineração Morro do Ipê S.A., a Terracota Geotecnia foi contratada para elaboração do Projeto Executivo de Descaracterização da Barragem B1 - Mina Ipê, o qual foi emitido em fevereiro de 2023. O escopo do projeto foi definido de forma a atender ao Termo de Referência para Descaracterização de Barragens Alteadas pelo Método de Montante, elaborado pelos órgãos estaduais de meio ambiente SEMAD e FEAM, em específico ao item 3.3.1 que trata de Projeto de Descaracterização para Barragens com Declaração de Condição de Estabilidade Garantida. O escopo do projeto foi subdividido em um total de 03 (três) marcos, conforme descrito abaixo:

- **Marco 1:** Relatório de consolidação de dados;
- **Marco 2:** Relatório de diagnóstico das condições da estrutura;
- **Marco 3:** Projeto Executivo de Descaracterização (desenhos e documentos técnicos).

Apesar de o projeto executivo ter sido emitido em fevereiro de 2023, as obras de descaracterização da Barragem B1 – Mina Ipê não foram iniciadas até o momento.

## 2. Documentos de referência

Os documentos, disponíveis para consulta, relativos à barragem são:

- IPE.OP.RL.8000.GT.20.558\_r2 – Barragem B1 – Mina Ipê – Projeto Executivo de Descaracterização – Relatório Técnico de Consolidação de Dados. Terracota Consultoria e Projetos Ltda. Novembro/2023;
- IPE.OP.RL.8000.GT.20.559\_r2 – Barragem B1 – Mina Ipê – Projeto Executivo de Descaracterização – Relatório Técnico de Diagnóstico da Estrutura. Terracota Consultoria e Projetos Ltda. Novembro/2023;
- IPE.OP.RL.8000.GT.20.560\_r2 – Barragem B1 – Mina Ipê – Projeto Executivo de Descaracterização – Relatório Técnico do Projeto. Terracota Consultoria e Projetos Ltda. Novembro/2023;
- IPE.OP.RL.8000.GT.20.641\_r2 – Barragem B1 – Mina Ipê – Projeto Executivo de Descaracterização – Especificação Técnica. Terracota Consultoria e Projetos Ltda. Novembro/2023;
- IPE.OP.RL.8000.GT.20.642\_r2 – Barragem B1 – Mina Ipê – Projeto Executivo de Descaracterização – Planilha de Quantidades. Terracota Consultoria e Projetos Ltda. Novembro/2023;
- IPE.OP.DE.8000.GT.20.652\_r2 a IPE.OP.DE.8000.GT.20.679\_r2 – Barragem B1 – Mina Ipê – Projeto Executivo de Descaracterização – Desenhos do Projeto. Terracota Consultoria e Projetos Ltda. Novembro/2023;
- IPE.OP.RL.8000.GT.20.719\_r1 – Relatório Técnico de Auditoria Extraordinária de Segurança de Barragem – Barragem B1 Ipê – Mina Ipê – FEAM – 2º Semestre de 2023. Terracota Consultoria e Projetos Ltda. Agosto/2023;
- IPE.OP.RL.8000.GT.20.652\_r1 – Barragem B1 – Mina Ipê – Níveis de Controle da Instrumentação – Carta de Risco – Não-drenado. Terracota Consultoria e Projetos Ltda. Agosto/2023.

### **3. Códigos e Normas**

Os Códigos e/ou Normas relacionados foram utilizados na elaboração deste documento ou contêm instruções e procedimentos aplicáveis a ele, devendo ser utilizados na sua revisão mais recente. Em caso de conflito, o mais estrito prevalecerá.

- Lei nº 12.334/2010 - Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens;
- 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), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração);
- Lei Estadual nº 23.291/2019 - Institui a Política Estadual de Segurança de Barragens;
- Decreto nº 48.140/2021 - Regulamenta dispositivos da Lei nº 23.291/2019 - Estabelece medidas para aplicação do Art. 29 da Lei nº 21.972/2016 e dá outras providências;
- Resolução nº 95/2022 da ANM - Consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração;
- Termo de Referência para Descaracterização de Barragens Alteadas pelo Método de Montante (SEMAD/FEAM) - Estabelece os requisitos mínimos de um Projeto para a Descaracterização de Barragens alteadas pelo método de montante no Estado de Minas Gerais a ser apresentado à Fundação Estadual de Meio Ambiente, conforme previsto na Lei 23.291, de 25 de fevereiro de 2019, que institui a Política Estadual de Segurança de Barragem;
- Termo de Referência para Acompanhamento do Processo de Descaracterização de Barragens Alteadas a Montante no Estado de Minas Gerais (SEMAD/FEAM) - Estabelece os requisitos mínimos do relatório técnico de acompanhamento da descaracterização das barragens alteadas pelo método à montante no Estado de Minas Gerais, conforme o art. 13 da Lei 23.291, de 25 de fevereiro de 2019, que institui a Política Estadual de Segurança de Barragens;
- Norma ABNT NBR 13.028/2017 - dispõe sobre os requisitos mínimos para a elaboração e apresentação de projeto de barragens de mineração, incluindo as barragens para disposição de rejeitos de beneficiamento, contenção de sedimentos gerados por erosão e reservação de água em mineração.

## **4. Ficha Técnica do Empreendimento**

### **4.1 Identificação do Empreendedor**

Razão Social: Mineração Morro do Ipê S.A.

CNPJ: 22.902.554/0001-17

Inscrição Estadual: 293732116

Endereço: Rodovia BR 381, Parte, KM 520, S/Nº –  
Brumadinho – MG – 35460-000

Telefone: (31) 3614-1800 / (31) 3181-1315

E-mail: [casaipe@ipemineração.com](mailto:casaipe@ipemineração.com)

### **4.2 Identificação do Empreendimento**

Razão Social: Mineração Morro do Ipê S.A.

CNPJ: 22.902.554/0001-17

Processo Administrativo  
COPAM nº: 37478/2016

Endereço: Rodovia BR 381, Parte, KM 520, S/Nº –  
Brumadinho – MG – 35460-000

Telefone: (31) 3614-1800 / (31) 3181-1315

E-mail: [casaipe@ipemineração.com](mailto:casaipe@ipemineração.com)

### **4.3 Endereço para Envio de Correspondência**

Destinatário: Wellington Pereira Maximiano

Vínculo: Coordenador de Geotecnia

Endereço: Rodovia BR 381, KM 520, S/Nº  
Brumadinho – MG – 35460-000

### **4.4 Identificação do Representante Legal do Empreendimento**

Nome: Cristiano Monteiro Parreiras

CPF: 030.102.416-23

Formação: Advogado

Cargo/Função: Diretor de Assuntos Corporativos

Telefone: (31) 99194-8589

E-mail: [cristiano.parreiras@ipeminerao.com](mailto:cristiano.parreiras@ipeminerao.com)

### **4.5 Responsável Técnico pela Segurança da Barragem**

Nome: Wellington Pereira Maximiano

Formação: Engenheiro Civil

Registro Nacional Profissional: 1411469151 (CREA-MG)

Cargo: Coordenador de Geotecnia

Telefone: (31) 3614-1840

E-mail: [welington.maximiano@ipeminerao.com](mailto:welington.maximiano@ipeminerao.com)

#### 4.6 Responsável Técnico pela Elaboração do Projeto para Descaracterização

Nome: Elias Josafá Cota  
Formação: Engenheiro Civil / Geotécnico  
Registro Nacional Profissional: 1403750408 (71537/D CREA-MG)  
Telefone: (31) 3786-4226  
E-mail: [elias@terracota.pro](mailto:elias@terracota.pro)

#### 4.7 Equipe Técnica Responsável pela Elaboração do Projeto para Descaracterização

##### Empresa responsável pela elaboração do projeto de descaracterização

<b>Razão social:</b>	Terracota Consultoria e Projetos Ltda.	Tel.: +(55) 31 3786-4226
<b>CNPJ:</b>	29.794.420/0001-79	

<https://terracota.pro>  
Rua Júlio Ferreira Pinto, 350 – 3º andar, Santa Amélia, 31560-330.  
Belo Horizonte/MG, Brasil.

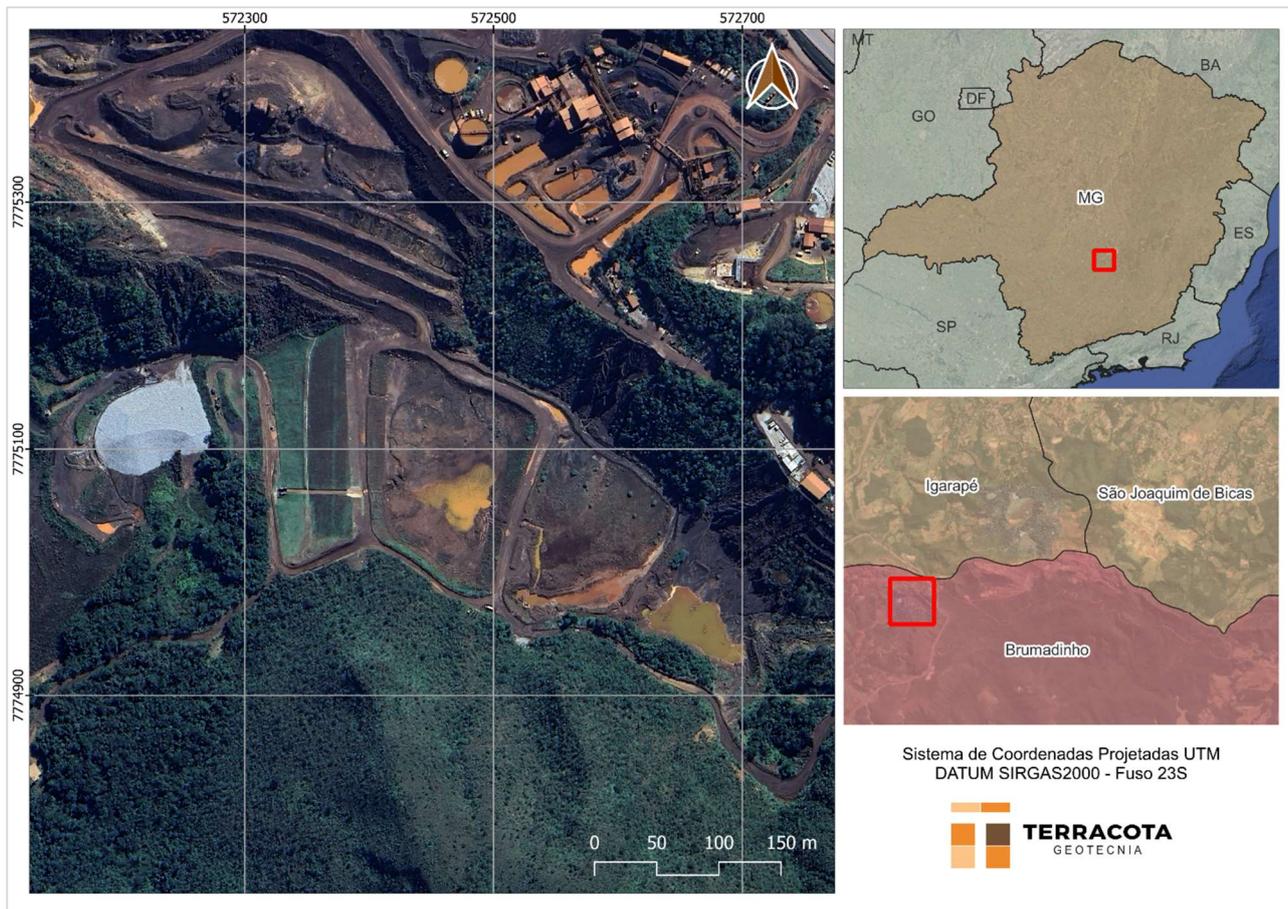
##### Equipe que participou da elaboração do projeto de descaracterização

Profissional	Formação	Nº Registro	Responsabilidade
Elias Josafá Cota	Eng. Civil Geotécnico	1403750408	Coordenador e Revisor do Projeto
Guilherme Pereira Pinto	Eng. Civil Geotécnico	2014352674	Estudos geotécnicos
Mauro Sérgio Verassani	Eng. Ambiental Hidrólogo	1406671720	Elaboração e Coordenação dos Estudos Hidrológicos e Hidráulicos
Roberto Rangel Silva	Eng. Civil Hidrólogo	1416269886	Estudos hidráulicos
José Carlos Possas	Geólogo	1406272221	Mapeamento de superfície e estudos geológicos
Guilherme de Freitas Roriz Lima	Eng. Civil Geotécnico	1015708625	Estudos geotécnicos e Edição do Relatório

#### 4.8 Localização da Barragem

A Barragem B1 – Mina Ipê localiza-se no vale do córrego Quéias, no município de Brumadinho-MG, em torno das coordenadas UTM (DATUM SIRGAS2000 – Fuso 23S) 572.390 E e 7.775.120 N, próximo do alto da Serra das Farofas. O acesso é realizado pelo trevo imediatamente após o km 520 da rodovia Fernão Dias (BR-381), à margem direita no sentido sul (BH-SP).

Na Figura 4.1 é apresentada a localização da barragem.



**Figura 4.1** – Localização da Barragem B1 – Mina Ipê.

#### 4.9 Função atual

As funções da barragem englobaram a disposição de rejeitos do beneficiamento de minério de ferro da Mina Ipê, classificados de acordo com a norma NBR 10.004 como de Classe II B – Resíduo Não Perigoso Inerte.

Em virtude da exaustão da capacidade de acumulação da bacia da barragem e da necessidade operacional de se criar espaços para a disposição de rejeitos, a partir do último trimestre de 2010 até dezembro de 2017, foram realizadas operações de retomada (“lavra”) do rejeito disposto hidraulicamente e transportados e empilhados mecanicamente. Para tanto, o reservatório foi subdividido em baias de forma a não paralisar as operações sendo que enquanto o lançamento era realizado em uma porção, o rejeito era retomado na outra. O lançamento de rejeitos foi paralisado em dezembro de 2017, operando, desde então, basicamente na retenção de sedimentos exógenos e no amortecimento de cheias provenientes de sua bacia de contribuição. Atualmente a estrutura vem sendo preparada para entrar em processo de descaracterização.

#### 4.10 Características Gerais

A Barragem B1 – Mina Ipê foi construída em 3 (três) etapas, sendo o maciço inicial na El. 1.031,00 m, o primeiro alteamento a montante na El. 1.051,00 m, e o segundo alteamento na El. 1.057,00 m construído em direção a jusante, porém sobre o maciço do primeiro alteamento. Em todas as etapas, foi utilizado rejeito compactado para construção dos respectivos maciços.

Até meados de 2021 a estrutura era considerada como alteada pelo método de jusante, até serem apreciadas as informações contidas no relatório técnico do segundo alteamento, documento R\_033\_92 elaborado pelo Engenheiro Consultor José Jaime Rodrigues Branco. No referido documento, o autor descreve a execução de um maciço drenante lançado a jusante, a partir do qual a barragem apresentaria condição de estabilidade adequada para realização de sucessivos alteamentos para direção de montante, conforme trecho a seguir retirado do relatório mencionado:

*"Inicialmente será restaurada a barragem existente com a construção de um maciço drenante lançado para jusante formando um pé para estabilização do maciço atual... [...]  
Esta estabilização permitirá a elevação sucessiva de crista da barragem para montante com condições de drenagens e taludes adequadamente dimensionados, de maneira a se manter um fator de segurança para a completa estabilidade do novo maciço... [...] Esta barragem está praticamente toda assoreada com rejeito. Sobre o assoreamento foi projetada a elevação da crista para montante até a cota 556,0 com uma banqueteta de 10,0 m de altura na cota 536,0, com altura de 23,0 metros..."*

Entre 2020 e 2022 foi realizada uma extensa campanha de sondagens para subsidiar a elaboração do projeto de descaracterização da Barragem B1 – Mina Ipê, na qual foi validada a hipótese de o alteamento ter sido construído pelo método de montante.

Entre fevereiro e março de 2023 foi executado um aterro de reforço a jusante da estrutura de forma a atender o fator de segurança requerido para a condição de carregamento não drenado de pico ( $FS \geq 1,30$ ).

As principais características da barragem são apresentadas na Tabela 4.1, sendo as informações existentes atualizadas considerando um levantamento topográfico de setembro de 2020 (BARRAGEM B1 IPÊ\_15\_10\_ATUAL), levantamento topográfico de novembro de 2021 (B1\_IPE\_16NOV21), o levantamento topográfico do projeto "As Built" do segundo alteamento (TOPOGERAL\_11082014.dxf), o levantamento topográfico "As Built" do aterro de reforço (CAD\_REFORÇO\_B1IPE\_14MAR23.dwg) e o levantamento topográfico cadastral (CADASTRO\_PLANIALTIMETRICO\_BARRAGEM\_B1\_IPE\_21JUN23.dwg).

Na Figura 4.2 é apresentada uma imagem de satélite da estrutura. A Figura 4.3 e Figura 4.4 apresentam o arranjo geral e a seção B-B' de maior altura da barragem.

**Tabela 4.1 – Principais características da Barragem B1 – Mina Ipê.**

<b>DADOS GERAIS</b>	
Nome da Estrutura	Barragem B1 – Mina Ipê
Código FEAM	132
Coordenada geográfica do ponto central da crista do barramento	Latitude: - 20° 7'11.60" Longitude: - 44°18'26.89"
Coordenada projetada (UTM) do ponto central da crista do barramento (DATUM SIRGAS2000 – Fuso 23S)	572.390m E / 7.775.120m N
Finalidade do Barramento	Armazenamento de Rejeito Fino de Minério de Ferro
Ano de Início de Implementação	~1991
Ano de Início de Operação	~1991
Ano de Término de Operação	2017
Ano de Término de Descaracterização	2025 (previsão)
Situação (status) de operação atual da barragem	Em descaracterização (projeto)
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
Volume Total (m <sup>3</sup> )	1.236.370 (*)
Volume do reservatório (m <sup>3</sup> )	943.579 (*)
Volume do reservatório ocupado com rejeitos (m <sup>3</sup> )	786.359
Área do reservatório (m <sup>2</sup> )	51.226
Elevação mínima do coroamento (m)	1.057,83
Elevação do terreno natural no pé do barramento (m)	1.002,10
Altura atual da barragem (m)	55,0
Extensão do coroamento (m)	176,0
Largura do coroamento (m)	6,0
Largura das bermas (m)	Variável, no mínimo 3,0
Inclinação geral do talude jusante	2,55H:1V (21,4°)
Alteamentos realizados e seus métodos empregados	2 alteamentos a montante (**)
Nível d'água máximo maximorum (TR 1.000 anos) (m)	1.057,18 / 1.056,95 (***)
Nível d'água máximo maximorum (TR 10.000 anos) (m)	1.057,56 / 1.057,03 (***)
Nível d'água máximo maximorum (PMP) (m)	1.057,80 / 1.057,52 (***)
Borda livre mínima (TR 1.000 anos) (m)	0,65 / 0,88 (***)
Borda livre mínima (TR 10.000 anos) (m)	0,27 / 0,80 (***)
Borda livre mínima (PMP) (m)	0,03 / 0,31 (***)
Descarga do vertedouro (TR 10.000 anos) (m <sup>3</sup> /s)	8,09 (N.A. El. 1057,56 m)
Capacidade de Descarga do vertedouro (m <sup>3</sup> /s)	11,25 (N.A. El. 1057,83 m)
Área da bacia de contribuição (km <sup>2</sup> )	0,51

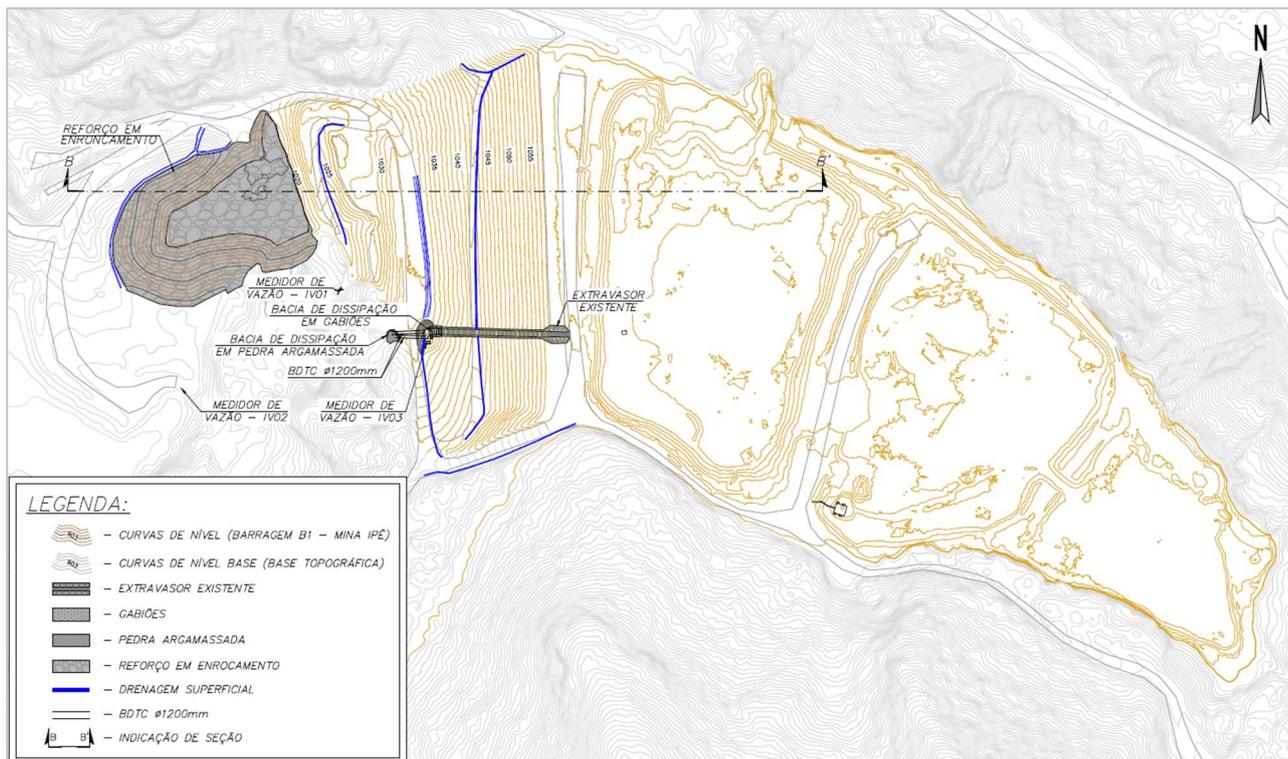
(\*) Volumes atualizados a partir das superfícies resultantes da nova interpretação geológica elaborada pela DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos hídricos e levantamento topográfico de novembro de 2021 acrescido de 31.705 m<sup>3</sup> referente ao aterro de reforço;

(\*\*) O maciço do segundo alteamento foi construído no sentido para jusante, porém é uma ampliação do maciço do 1º alteamento, executado pelo método de montante.

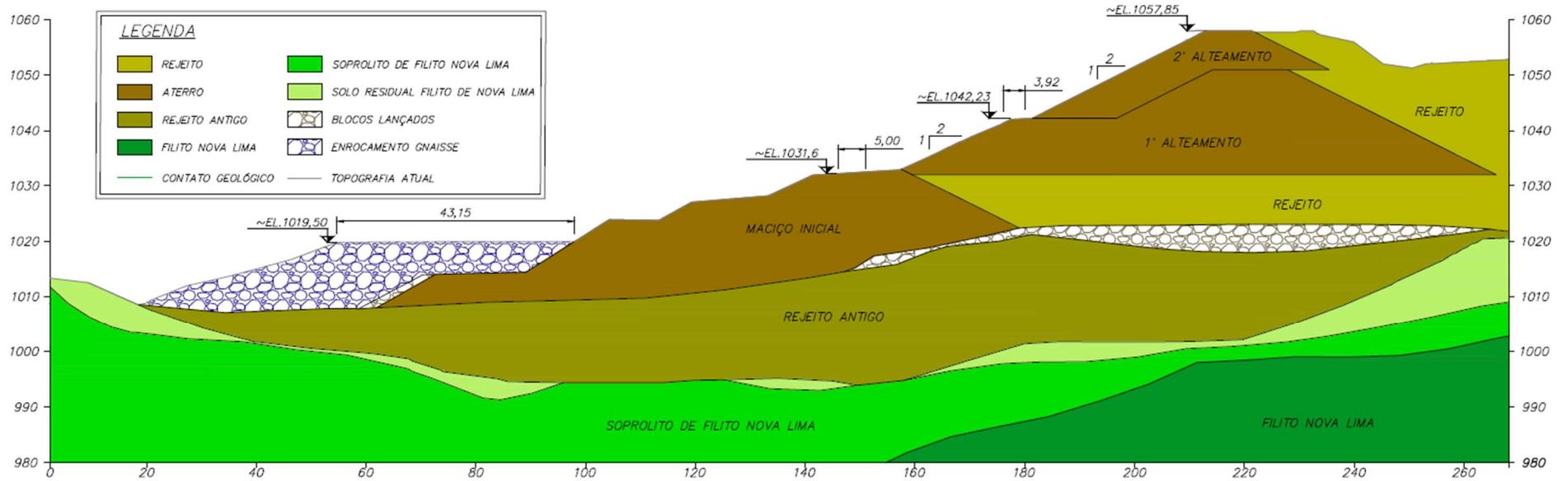
(\*\*\*) Valores obtidos considerando que todo o volume livre estaria disponível para a passagem do trânsito de cheias.



**Figura 4.2** – Imagem da Barragem B1 – Mina Ipê. (Fonte: GoogleEarth® - Maio/2023).



**Figura 4.3** – Arranjo Geral atual da Barragem B1 – Mina Ipê.



**Figura 4.4** – Seção de maior altura B-B' da Barragem B1 – Mina Ipê.

#### 4.11 Classificação da Barragem

De acordo com a Matriz para Classificação de barragens para disposição de resíduos ou rejeitos da mineração segundo Anexo II do Decreto 48.140/2021 que regulamenta a Lei Estadual 23.291/2019, a **Barragem B1 – Mina Ipê** foi classificada, conforme RTESB referente ao 2º semestre/2023 (IPE.OP.RL.8000.GT.20.719), com Potencial de Dano Ambiental Alto e Categoria de Risco Baixo, resultando em **Classe B**, conforme tabelas a seguir.

**Tabela 4.2 – Categoria de Risco (resíduos e rejeitos de mineração).**

CATEGORIA DE RISCO		
1	Características Técnicas (CT)	15
2	Estado de Conservação (EC)	0
3	Plano de Segurança da Barragem (PSB)	0
<b>PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT + EC + PSB</b>		<b>15</b>
<b>CLASSIFICAÇÃO DE RISCO</b>		<b>BAIXO</b>

FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	CATEGORIA DE RISCO		CRI
	ALTO		$\geq 65$ ou $EC^*=10$ (*)
	MÉDIO		$37 < CRI < 65$
	BAIXO		$\leq 37$

(\*) Pontuação (10) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTO e necessidade de providências imediatas pelo responsável da barragem.

**Tabela 4.3 – Potencial de Dano Ambiental.**

POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL (PDA)		Pontos
1	Volume total do reservatório	2
2	Existência de População a Jusante	10
3	Impacto Ambiental	6
4	Impacto Socioeconômico	1
<b>PONTUAÇÃO TOTAL (PDA)</b>		<b>19</b>
<b>CLASSIFICAÇÃO DE DANO</b>		<b>ALTO</b>

FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL		PDA
	ALTO		$\geq 13$
	MÉDIO		$7 < PDA < 13$
	BAIXO		$\leq 7$

**Tabela 4.4** – Classificação de Categoria de Risco e Potencial de Dano Ambiental.

CATEGORIA DE RISCO	POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	B	C	D
BAIXO	B	C	E

**Tabela 4.5** – Matriz de Classificação quanto à Categoria de Risco (barragens para disposição de resíduos ou rejeitos da mineração) – **Características Técnicas.**

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CT				
Altura (a)	Comprimento (b)	Vazão de Projeto (c)	Método Construtivo (d)	Auscultação (e)
Altura ≤10m (0)	Comprimento ≤50m (0)	<b>CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilnar (0)</b>	Etapa única (0)	<b>Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)</b>
10m < Altura < 30m (1)	<b>50m &lt; Comprimento &lt; 200m (1)</b>	Milénar (2)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)
<b>30m ≤ Altura ≤ 60m (4)</b>	200m ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)
Altura > 60m (7)	Comprimento > 600m (3)	TR inferior a 500 anos ou Desconhecida / Estudo não confiável (10)	<b>Alteamento a montante ou desconhecido ou que já tenha sido alteado a montante ao longo do ciclo de vida da estrutura (10)</b>	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)
<b>CT = Σ (a até e) = 15</b>				

**Tabela 4.6 – Matriz de Classificação quanto à Categoria de Risco (barragens para disposição de resíduos ou rejeitos da mineração) – Estado de Conservação.**

<b>ESTADO DE CONSERVAÇÃO - EC</b>			
<b>Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (f)</b>	<b>Percolação (g)</b>	<b>Deformações e Recalques (h)</b>	<b>Deterioração dos taludes/Paramentos (i)</b>
<b>Estruturas civis bem mantidas e em operação normal / barragem sem necessidade de estruturas extravasoras (0)</b>	<b>Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)</b>	<b>Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (0)</b>	<b>Não existe deterioração de taludes e paramentos (0)</b>
Estruturas com problemas identificados e medidas corretivas em implantação (3)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes e ombreiras estáveis e monitorados (3)	Existência de trincas e abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de vegetação arbustiva (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes e ombreiras sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Existência de trincas e abatimentos, sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Erosões superficiais, ferragem exposta, presença de vegetação arbórea, sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)
Estruturas com problemas identificados, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas (10)	Surgência nas áreas de jusante com carreamento de material ou com vazão crescente ou infiltração do material contido, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)
<b>EC = Σ (f até i) = 0</b>			

**Tabela 4.7 – Matriz de Classificação quanto à Categoria de Risco (barragens para disposição de resíduos ou rejeitos da mineração) – Plano de Segurança da Barragem.**

<b>PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM - PS</b>				
<b>Documentação de projeto (j)</b>	<b>Estrutura organizacional e qualificação dos profissionais na equipe de segurança da barragem (k)</b>	<b>Manuais de procedimentos para inspeções de segurança e monitoramento (l)</b>	<b>Plano de Ação Emergencial – PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (m)</b>	<b>Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de análise de segurança (n)</b>
<b>Projeto Executivo e “como construído” (0)</b>	<b>Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (0)</b>	<b>Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação (0)</b>	<b>Possui PAE (0)</b>	<b>Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança (0)</b>
Projeto Executivo ou “como construído” (2)	Possui profissional técnico qualificado (próprio ou contratado) responsável pela segurança da barragem (1)	Possui apenas manual de procedimentos de monitoramento (2)	Não possui PAE (não é exigido pelo órgão fiscalizador) (2)	Emite regularmente apenas relatórios de Análise de Segurança (2)
Projeto “como está” (3)	Possui unidade administrativa sem profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (3)	Possui apenas manual de procedimentos de inspeção (4)	PAE em elaboração (4)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção e monitoramento (4)
Projeto básico (5)	Não possui unidade administrativa e responsável técnico qualificado pela segurança da barragem (6)	Não possui manuais ou procedimentos formais para monitoramento e inspeções (8)	Não possui PAE (quando for exigido pelo órgão fiscalizador) (8)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção visual (6)
Projeto Conceitual (8)	-	-	-	Não emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento e de Análise de Segurança (8)
Não há documentação de projeto (10)	-	-	-	-
<b>PS = Σ (j até n) = 0</b>				

**Tabela 4.8** – Classificação quanto ao **Potencial de Dano Ambiental** (barragens para disposição de resíduos ou rejeitos da mineração).

<b>Quadro de Classificação quanto ao Potencial de Dano Ambiental</b>			
<b>Volume Total do Reservatório (a)</b>	<b>Existência de População a Jusante (b)</b>	<b>Impacto Ambiental (c)</b>	<b>Impacto Socioeconômico (d)</b>
MUITO PEQUENO ≤ 1 milhão m <sup>3</sup> (1)	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes / residentes ou temporárias / transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	INSIGNIFICANTE (Área afetada a jusante da barragem encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais e a estrutura armazena apenas resíduos classe IIB - Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
<b>PEQUENO</b> 1 milhão a 5 milhões m <sup>3</sup> (2)	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (3)	POUCO SIGNIFICATIVO (Área afetada a jusante da barragem não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, e armazena apenas resíduos classe IIB - Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (2)	<b>BAIXO</b> <b>(Existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem)</b> (1)
MÉDIO 5 milhões a 25 milhões m <sup>3</sup> (3)	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (5)	<b>SIGNIFICATIVO</b> <b>(Área afetada a jusante da barragem apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos classe IIB - Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT)</b> (6)	MÉDIO (Existe moderada concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
GRANDE 25 milhões a 50 milhões m <sup>3</sup> (4)	<b>EXISTENTE</b> <b>(Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas)</b> (10)	MUITO SIGNIFICATIVO (Barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na classe IIA, Não Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (8)	ALTO (Existe alta concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
MUITO GRANDE ≥ 50 milhões m <sup>3</sup> (5)	-	MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (Barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na classe I - perigosos, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	-
<b>PDA = Σ (a até d) = 19</b>			

## 5. Projeto de Descaracterização

- O conceito do projeto de descaracterização é o de remoção completa dos rejeitos dispostos no reservatório, além dos maciços, tanto o maciço inicial quanto os alteamentos realizados e do aterro de reforço, de forma a retornar o vale à uma condição próxima a original;
- O projeto considera a utilização de poço de rebaixamento instalado a jusante da barragem para o rebaixamento da superfície freática da fundação, a um limite abaixo dos materiais classificados como contráteis na fundação antes do início das obras e que esta condição será mantida e monitorada durante os trabalhos de forma a atender os fatores de segurança exigidos para a condição de carregamento não drenado liquefeito ( $FS \geq 1,1$ ) em todas as seções de controle da barragem antes mesmo de se iniciar as obras de descaracterização;
- O atendimento à premissa anterior considera que a barragem trabalhará em condições drenadas, dessa forma não haverá necessidade de se adotar uma Estrutura de Contenção a Jusante (ECJ);
- O projeto de descaracterização foi concebido para ser executado em duas etapas macro de remoção (dois anos/ciclos), sendo a primeira com remoção dos rejeitos do reservatório até a elevação 1.043,0 m e rebaixamento do maciço da barragem para a elevação 1.046,50 m e a segunda concluindo a remoção completa na elevação 1.001,0 m;
- As etapas estão previstas para serem executadas durante os períodos secos. Mesmo assim, o projeto contempla a escavação no rejeito de *sumps* provisórios no interior do próprio reservatório, para direcionamento dos fluxos de água de chuvas eventuais a serem bombeados para a planta de processo. Essas estruturas serão realocadas a medida do avanço do rebaixamento do rejeito;
- O projeto considera que a escavação e remoção dos rejeitos e maciços será realizada com a utilização de equipamentos convencionais de terraplenagem (escavadeiras hidráulicas e caminhões basculantes). Em hipótese alguma poderá ser utilizado métodos de detonação para fragmentação e remoção de blocos rochosos eventualmente encontrados durante as escavações;
- O projeto considera que a escavação e remoção dos rejeitos e maciços será realizada em camadas de espessura média de 2,0 m, que poderá ser ajustada em campo, condicionada à capacidade de suporte do material. Caso necessário, serão executadas valas drenantes para deságue do rejeito saturado com o objetivo de garantir condições de segurança e operação para trafegabilidade dos equipamentos durante a atividade de lavra. Nos casos em que o material permanecer saturado também poderá ser realizada a construção de um lastro com rejeito seco (aterro de conquista) de forma a viabilizar a trafegabilidade dos equipamentos e remoção do material;
- O volume total geométrico de remoção previsto, desconsiderando-se o fator de empolamento, é de aproximadamente 1.100.789 m<sup>3</sup>;

- Deverá ser realizada a recomposição vegetal da área do terreno natural exposta pelas escavações após remoção dos rejeitos e maciços, com utilização de materiais apropriados. Conforme item 3.6 da TR de Descaracterização da FEAM, a técnica será determinada com embasamento no diagnóstico da área pós-descaracterização à medida que avançam as obras e se tenha as reais condições da superfície exposta com objetivo final de reintrodução da área ao contexto da paisagem local;
- Será proposta uma proteção na calha do fundo do vale com blocos de enrocamento onde se espera que haja fluxo de água, de forma a proteger o local contra erosão.

### **5.1 Descrição do Projeto**

O projeto de descaracterização da Barragem B1 - Mina Ipê é composto por 02 (duas) etapas macro, conforme descrito no relatório do projeto (IPE.OP.RL.8000.GT.20.560), contemplando as escavações dos rejeitos dispostos no reservatório até a elevação 1.043,0 m e o rebaixamento dos maciços dos alteamentos até a elevação 1.046,50 m, apresentada como Etapa 1, e a remoção do restante dos rejeitos dispostos no reservatório, dos maciços de alteamentos e maciço inicial, dos rejeitos existentes na fundação (rejeito antigo), além da remoção do reforço em enrocamento a jusante e utilização do material como revestimento do canal e *sump*, compreendidos na Etapa 2.

A execução da obra está prevista para ser realizada em duas etapas macro, sendo que a adequação do sistema extravasor faz a divisão entre essas etapas. Para cada etapa será realizada a remoção dos seguintes volumes de materiais:

#### Etapa 1

- Volume de rejeitos a serem removidos do reservatório: 447.562.m<sup>3</sup>;
- Volume de maciço a ser removido da estrutura: 57.650.m<sup>3</sup>.

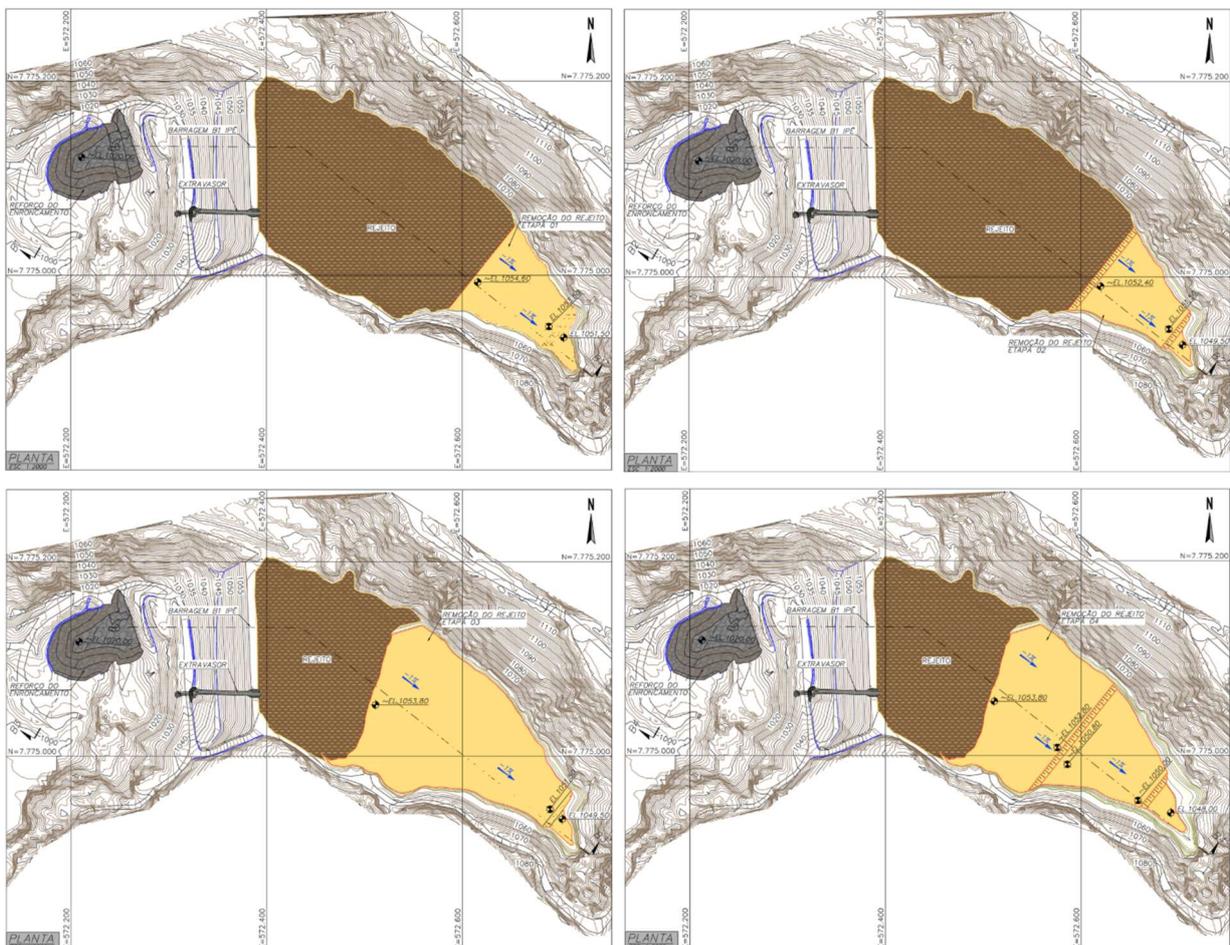
#### Etapa 2

- Volume de rejeitos a serem removidos do reservatório: 226.600.m<sup>3</sup>;
- Volume de blocos a serem removidos da fundação: 14.210.m<sup>3</sup>;
- Volume de blocos a serem removidos do aterro de reforço a jusante: 31.705 m<sup>3</sup>;
- Volume de "rejeitos antigos" a serem removidos da fundação: 99.000.m<sup>3</sup>;<sup>1</sup>
- Volume de maciço a ser removido da estrutura: 224.062.m<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Neste volume estão considerados os volumes de escavação do *sump* e do canal de drenagem a ser implantado após as escavações de remoção do rejeito.

Com base na taxa de escavação média aproximada entre 2.800 e 3.100 m<sup>3</sup> por dia, fornecida pela MMI, cada etapa está prevista para ser executada em um período seco (6 meses, de maio a outubro), podendo ser estendido em função do regime de chuvas.

Os taludes de escavação terão inclinação de 1V:3H, quando for executado em rejeito disposto no reservatório, e 1V:2H, quando resultantes das escavações em rejeito dos maciços compactados. A Figura 5.1 apresenta o resumo da sequência construtiva de remoção do rejeito em camadas.



**Figura 5.1** – Sequência construtiva de remoção das camadas de rejeito, referente às quatro primeiras etapas.

Ao término das obras, com a remoção completa dos rejeitos, a área do espaldar da barragem e do reservatório se encontrará conformada em uma condição próxima à original e com o vale protegido com blocos de enrocamento como forma de controle de erosões.

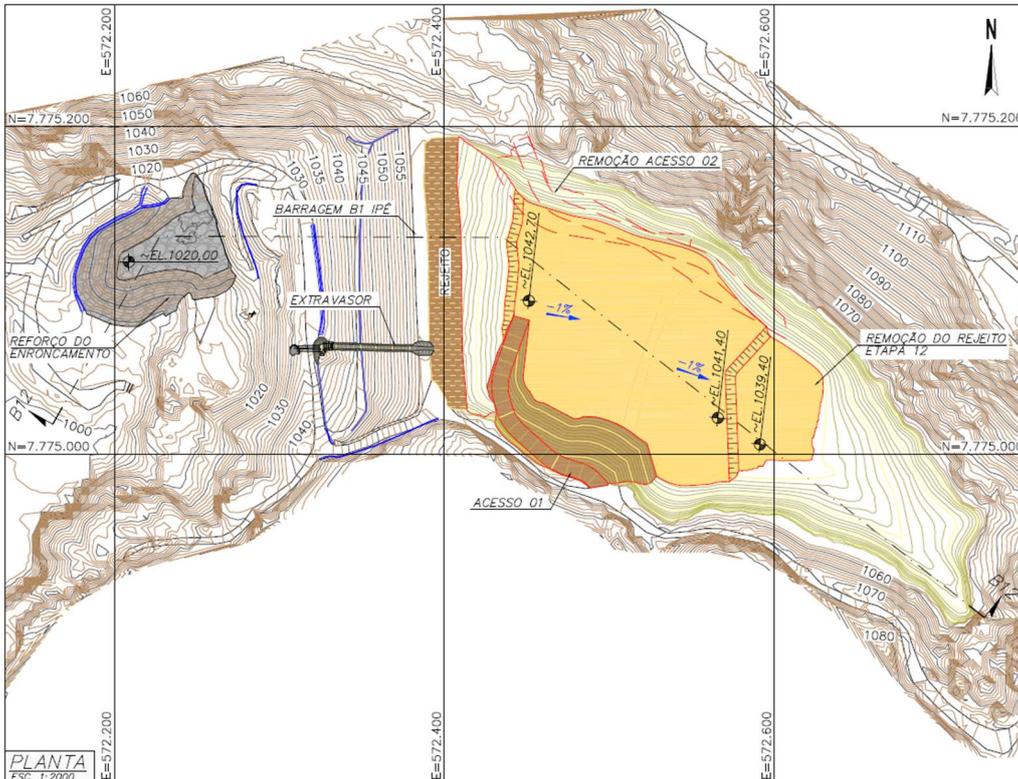
Também faz parte das obras a adequação do sistema extravasor, na etapa de remoção intermediária da barragem, com coroamento do maciço na elevação 1.046,50 m e soleira do extravasor na elevação 1.043,50 m.

A execução das obras deverá cumprir com as diretrizes apresentadas na especificação técnica, nos desenhos de projeto e no relatório técnico do projeto executivo. Ressalta-se que as especificações detalhadas neste documento poderão ser ajustadas conforme experiência adquirida em campo durante a execução das obras, desde que aprovadas pela FISCALIZAÇÃO.

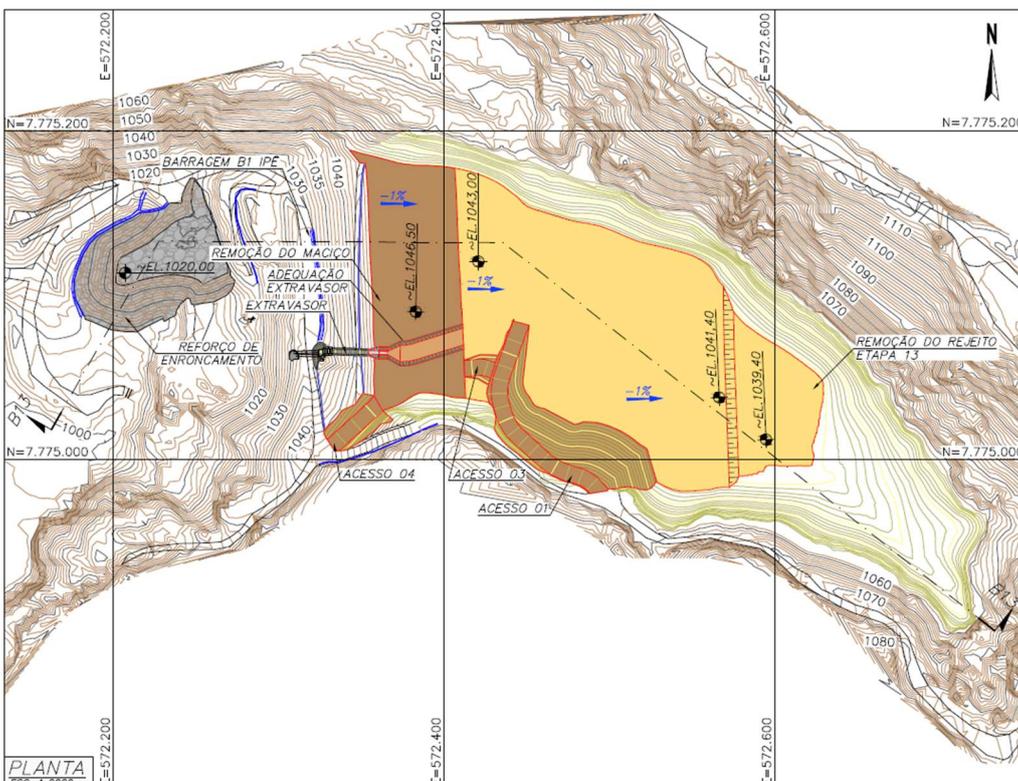
Durante a execução de todas as fases deverá ser realizada a remoção e limpeza dos rejeitos do reservatório e alteamentos / maciços até o terreno natural nos encontros com as ombreiras. As áreas expostas do terreno natural deverão receber recomposição vegetal como forma de proteção contra erosões/ravinamento, sendo que o talvegue remanescente no meio do vale deverá receber proteção com enrocamentos.

O volume a ser escavado de rejeitos no reservatório será de aproximadamente 674.000 m<sup>3</sup>. O volume a ser escavado de aterros compactados dos alteamentos e do maciço inicial da barragem, também executados com rejeitos, será de aproximadamente 282.000 m<sup>3</sup>. As obras também envolvem a escavação de blocos lançados e os rejeitos antigos da fundação com volumes em torno de 14.000 m<sup>3</sup> e 99.000 m<sup>3</sup>, respectivamente. Também serão removidos 31.705 m<sup>3</sup> de blocos do aterro de reforço a jusante da estrutura que será utilizado no revestimento do *sump* e canal de drenagem a serem implantados após a remoção da estrutura. A soma de todos os materiais a serem removidos durante as obras de descaracterização totalizam aproximadamente 1.101.000 m<sup>3</sup>.

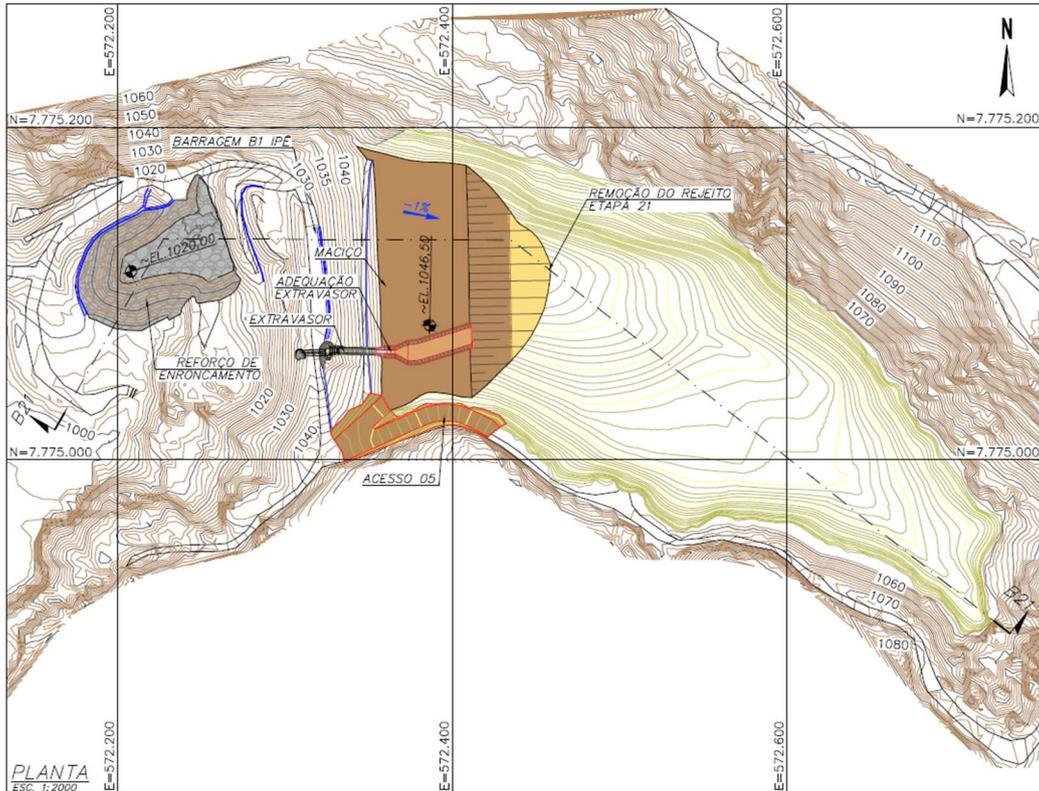
A seguir são apresentadas figuras representativas das etapas de execução do projeto de descaracterização.



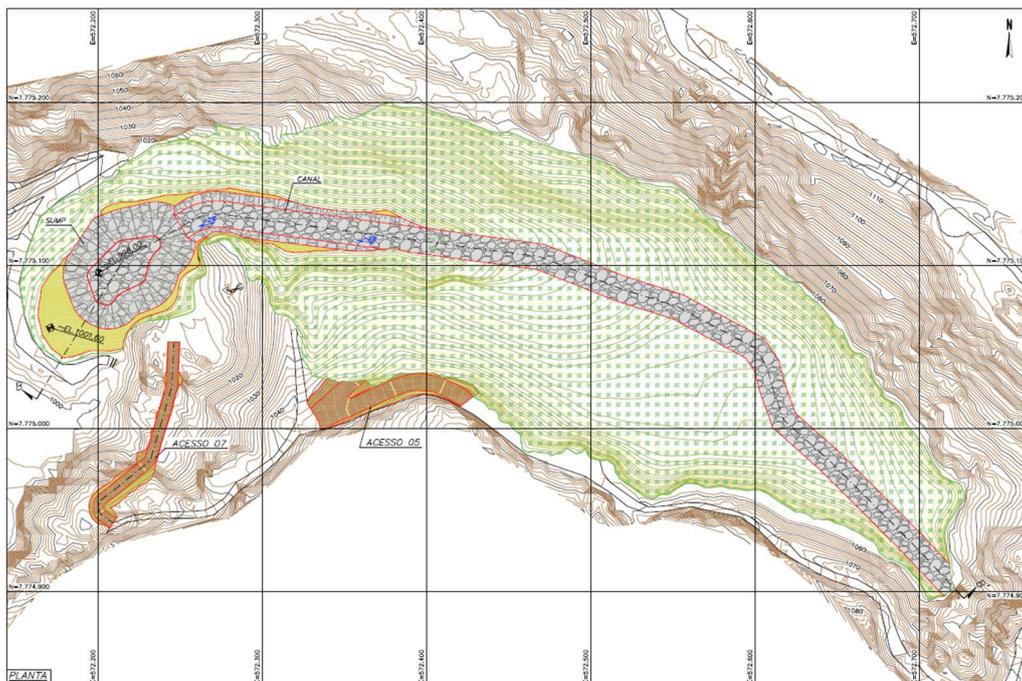
**Figura 5.2** – Etapa 12 – Remoção do rejeito do reservatório sem escavação do maciço.



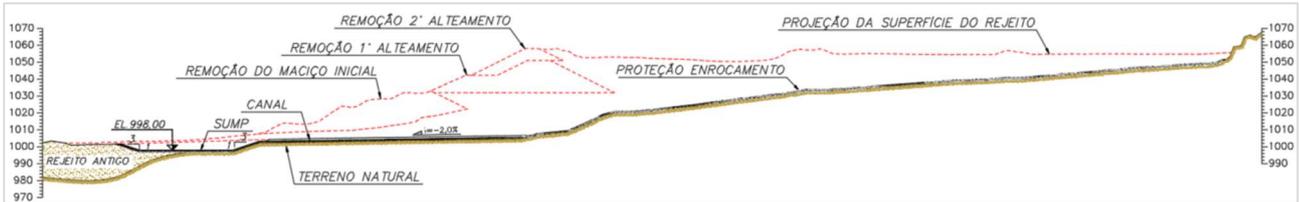
**Figura 5.3** – Etapa 13 – Escavação do maciço e implantação de novo sistema extravasor.



**Figura 5.4** – Etapa 21 – Início da escavação do restante dos maciços e do rejeito antigo e a conformação do fundo do vale.



**Figura 5.5** – Arranjo geral após a finalização das obras.



**Figura 5.6** – Seção transversal passando pelo vale após a finalização das obras.

## 5.2 Alterações de Projeto

Durante o período avaliado, não houve alterações nos conceitos do projeto de descaracterização, porém os documentos passaram por revisão de modo a contemplar o reforço de enrocamento executado a jusante, os quais foram emitidos em novembro/2023.

## 5.3 Atividades Preparatórias

A seguir são apresentadas as atividades preparatórias para início da obra de descaracterização executadas durante o período avaliado.

### 5.3.1 Poço de Rebaixamento

Como premissa do projeto de descaracterização da Barragem B1- Mina Ipê, o nível freático deve estar abaixo da camada de rejeito contrátil presente na fundação da barragem. Para atingir este objetivo, foi executado pela empresa Master Poços, na 1ª quinzena de abril de 2023, um poço de bombeamento com aproximadamente 176 m de profundidade, para rebaixamento do lençol freático local. Foi realizada a instalação da bomba (Motobomba Leão S65-10 600 – 35 CV - 440 Trifásica) e o teste de bombeamento foi executado entre os dias 29/09/2023 e 24/10/2023 enviando a água para dois tanques metálicos.

No período avaliado (novembro/2023 a janeiro/2024) a bomba esteve em operação com pequenos períodos de paralisação para manutenção da tubulação. Esta água está sendo direcionada para a usina através de uma bomba BA13 operando 24 h/dia com vazão de 60 m<sup>3</sup>/h.

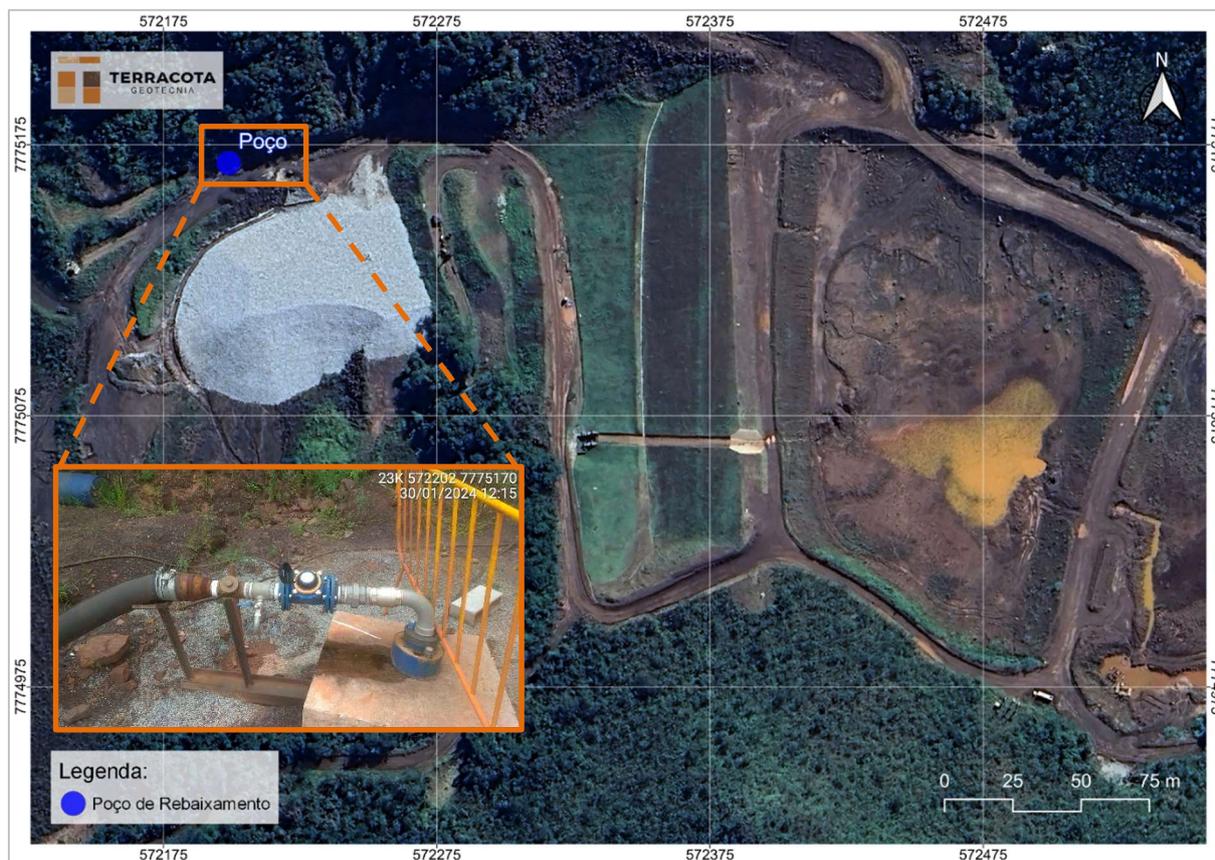


**Foto 5.1** – Vista do poço de bombeamento.



**Foto 5.2** – Vista dos tanques e bomba BA13.

A localização do poço é apresentada na Figura 5.7.



**Figura 5.7** – Localização do poço de rebaixamento.

### 5.3.2 Sistema de Bombeamento no Reservatório

Como parte da preparação para o período chuvoso, foram instaladas bombas nas bacias do reservatório. Uma na baía de jusante (Foto 5.3) e outra bomba, modelo *flygt* com sensor automático de ativação na baía de montante (Foto 5.4), de modo a reduzir a infiltração e o tempo de formação de lago dentro do reservatório.



**Foto 5.3** – Sistema de bombeamento localizado na baía de jusante.



**Foto 5.4** – Sistema de bombeamento localizado na baía de montante.

Durante as obras de descaracterização, um sistema de bombeamento similar ao localizado na baía de montante (Foto 5.4) será mantido no *sump* operacional de cada fase de escavação.

### 5.3.3 Adequação da Caixa de Dissipação do Sistema Extravasor

A partir da verificação do sistema extravasor para vazões PMP, de forma a atender às determinações do Art. 24 da Resolução 95/2022 da ANM, verificou-se a necessidade de realizar a adequação das paredes da caixa de dissipação de modo a evitar possível transbordamento para o acesso. A seguir são apresentadas imagens da execução do alteamento das paredes (Foto 5.5) e implantação de proteção em revestimento vegetal (Foto 5.6).



**Foto 5.5** – Alteamento das paredes da caixa de dissipação.



**Foto 5.6** – Implantação de revestimento vegetal nas paredes da caixa de dissipação.

## 5.4 Cronograma

Na Figura 5.8 é apresentado um cronograma das obras de descaracterização da Barragem B1 – Mina Ipê considerando desde os serviços preliminares e as obras de descaracterização propriamente dito.

Ressalta-se que foi considerada a operação do poço de rebaixamento durante todas as etapas de descaracterização (remoção da barragem). O sistema somente poderá ser desligado se o fator de segurança para o carregamento não drenado liquefeito tenha atingido o valor de 1,1 exigido pela TR FEAM e se mantenha nesta condição mesmo sem a operação desse poço. Este cronograma deverá ser atualizado de acordo com o andamento dos serviços.



Figura 5.8 – Cronograma preliminar das obras de descaracterização.

## **5.5 Riscos Geológicos-Geotécnicos**

Conforme diagnóstico realizado para a estrutura, na condição da freática atual, para a seção B-B' não se atinge os fatores de segurança exigidos para a condição liquefeita. Desta forma, a fim de garantir os fatores de segurança requeridos no Termo de Referência, é premissa do projeto de descaracterização o rebaixamento da superfície freática da fundação, a um limite abaixo dos materiais classificados como contráteis, de modo que estes não trabalhem em condição saturada. Esta medida elimina a possibilidade de ocorrência de carregamentos não drenados, pois uma das condições para tal, é que os materiais classificados como contráteis estejam saturados.

Com relação à encosta natural exposta, poderá haver necessidade de obras estabilizantes pontuais, recuperação de focos erosivos, reaplicação de proteção vegetal etc. Já os taludes de empilhamentos antigos devem receber obras/serviços de estabilização à medida do necessário.

Para monitoramento de deslocamentos, tanto da barragem quanto da encosta existente na ombreira direita, será utilizada instrumentação de controle, existente e a ser instalada, como prismas, estação robótica, radar de superfície etc.

## **5.6 Condição da Estrutura no Período Avaliado**

As obras de descaracterização da estrutura não foram iniciadas até o momento, aguardando avaliação e aprovação do projeto pela FEAM e empresas parceiras além de o fator de segurança não-drenado liquefeito na seção B-B' estar abaixo do valor mínimo recomendado (1,1) pela TR FEAM de descaracterização. Dessa forma, a seguir é apresentada uma avaliação da estrutura no período avaliado em relação: às anomalias verificadas durante as inspeções quinzenais, aos níveis da instrumentação e à estabilidade geotécnica.

### **5.6.1 Inspeções de Campo**

Quinzenalmente, são realizadas inspeções na estrutura pela equipe interna da MMI e do EoR e são emitidos relatórios de avaliação quinzenal de performance geotécnica com avaliação das leituras dos instrumentos, relatório fotográfico, indicação das anomalias verificadas e análises de estabilidade da estrutura.

### **5.6.2 Anomalias Detectadas Durante as Inspeções**

A seguir é apresentado um histórico das anomalias verificadas no período de avaliação (novembro/2023 a janeiro/2024).

**Tabela 5.1** – Resumo das anomalias encontradas na Barragem B1 – Mina Ipê – 1ª quinzena de nov./2023 a 2ª quinzena de jan./2024.

ID	ANOMALIA	Novembro/2023		Dezembro/2023		Janeiro/2024	
		1Q	2Q	1Q	2Q	1Q	2Q
01	PRESENÇA DE FORMIGUEIROS NO TALUDE DE JUSANTE						
02	ACÚMULO DE SEDIMENTOS NAS CANALETAS LOCALIZADAS NAS BERMAS			-	-		
03	VEGETAÇÃO ALTA NO TALUDE DE JUSANTE	-	-	-			
04	PRESENÇA DE ANIMAIS NO MACIÇO		-	-	-	-	-
05	ASSOREAMENTO DA CAIXA DA PLACA INDICADORA DE VAZÃO VERTENTE	-	-	-	-		
06	EROSÃO NO ACESSO A BERMA ELEV. 1.032 M		-				
07	RAVINAMENTO E FALHA NA PROTEÇÃO VEGETAL DO TALUDE DE MONTANTE				-	-	-
08	ACÚMULO DE SEDIMENTOS NAS CAIXAS DE PASSAGEM						
09	CANALETAS DANIFICADAS						-
10	PRESENÇA DE MATERIAL REMANESCENTE DO PLANTIO DE GRAMÍNEA NO COROAMENTO.						
11	PONTOS COM ACÚMULO DE ÁGUA NO ACESSO AO PÉ DA BARRAGEM						

LEGENDA:

	ANOMALIA VERIFICADA		ANOMALIA COM CORREÇÃO EM ANDAMENTO		ANOMALIA RECORRENTE COM MANUTENÇÃO DE ROTINA
	ANOMALIA AGRAVADA		ANOMALIA SANADA / NÃO VERIFICADA		

### 5.6.3 Instrumentação Instalada na Barragem

A instrumentação de controle da barragem é composta por 15 (quinze) indicadores de nível d'água, 20 (vinte) piezômetros, dos quais 10 (dez) tem leituras automatizadas, 04 (quatro) marcos superficiais, 03 (três) indicadores de vazão, 02 (dois) sismógrafos e 30 (trinta) prismas com leitura automatizada a partir de estação robótica para controle de deformação, distribuídos em 03 (três) seções transversais de monitoramento.

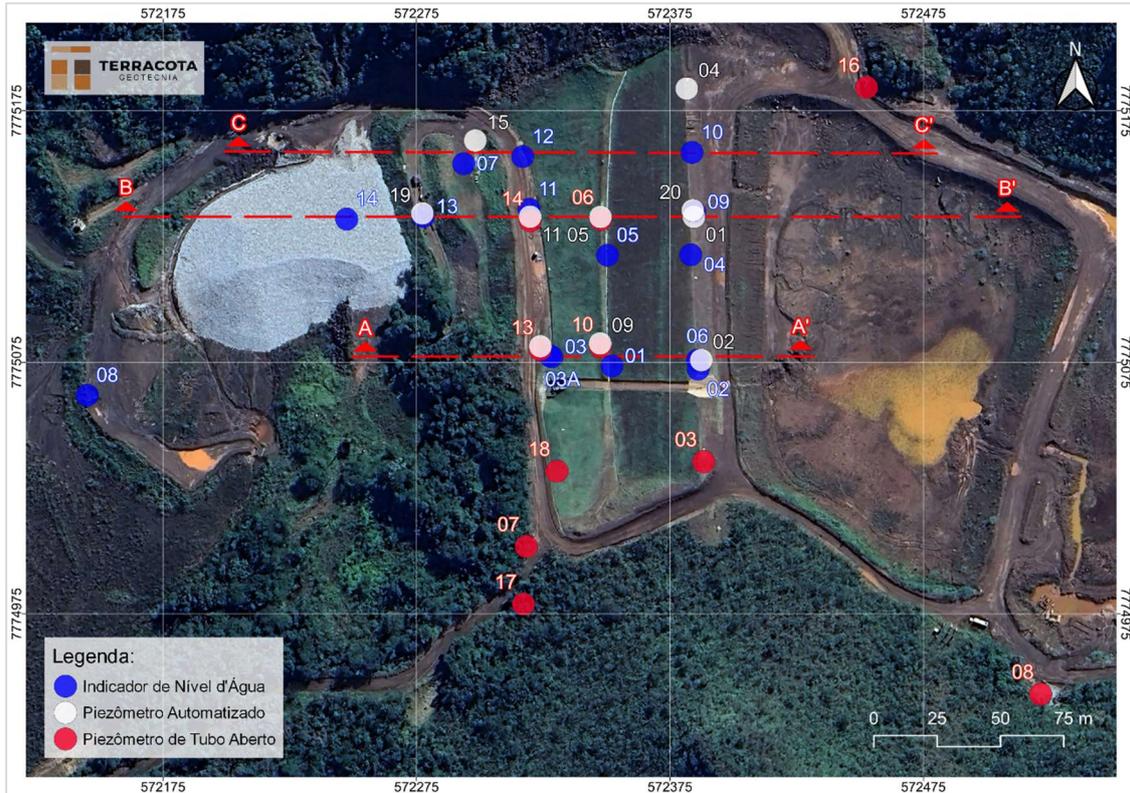
Os níveis de controle dos indicadores de nível d'água e piezômetros instalados na barragem foram definidos a partir de análises de estabilidade considerando a resistência não drenada de pico para o rejeito do reservatório e rejeito antigo da fundação localizados abaixo da superfície freática definida pela instrumentação.

Os níveis dos instrumentos foram gradativamente aumentados até que se atingissem os fatores de segurança correspondentes ao **nível normal**, **nível de alerta** e **nível de emergência**, conforme definição a seguir pautada na Resolução 95/2022:

- 1- **Nível normal:** leituras da instrumentação cuja superfície freática resulta em fator de segurança igual a 1,30 (limite para classificação da barragem em Nível de Emergência 1);
- 2- **Nível de alerta:** leituras da instrumentação cuja superfície freática resulta em fator de segurança igual a 1,20 (limite para classificação da barragem em Nível de Emergência 2);
- 3- **Nível de Emergência:** leituras da instrumentação cuja superfície freática resulta em fator de segurança igual a 1,00 (limite para classificação da barragem em Nível de Emergência 3).

A carta de risco da estrutura é apresentada no documento IPE.OP.RL.8000.GT.20.652, elaborado pela TERRACOTA com atualização emitida em agosto/2023.

A Figura 5.9, Figura 5.10 e Figura 5.11 apresentam a locação em planta dos instrumentos e da Figura 5.12 a Figura 5.14 são apresentadas as seções transversais de controle. Na Tabela 5.2 é apresentado um resumo da locação, características e níveis de controle dos instrumentos.



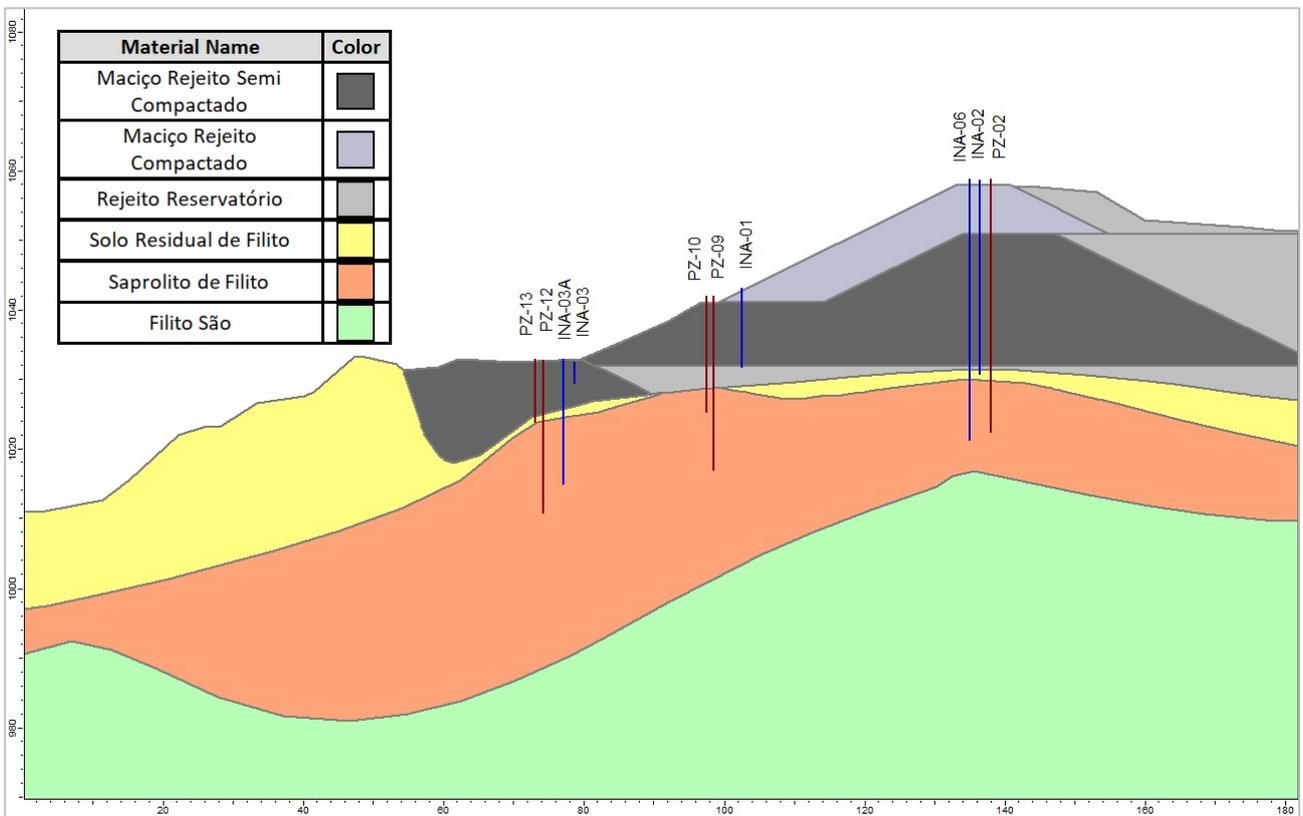
**Figura 5.9 – Localização dos INA's e PZ's – Barragem B1 – Mina Ipê.**



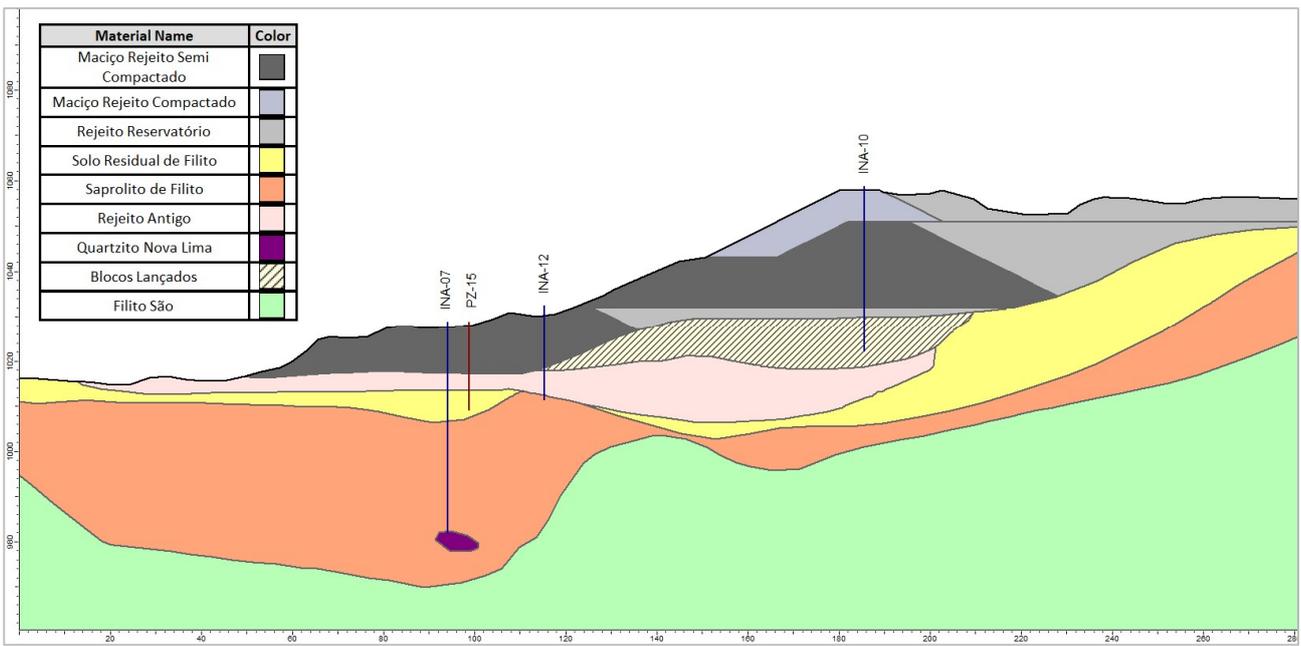
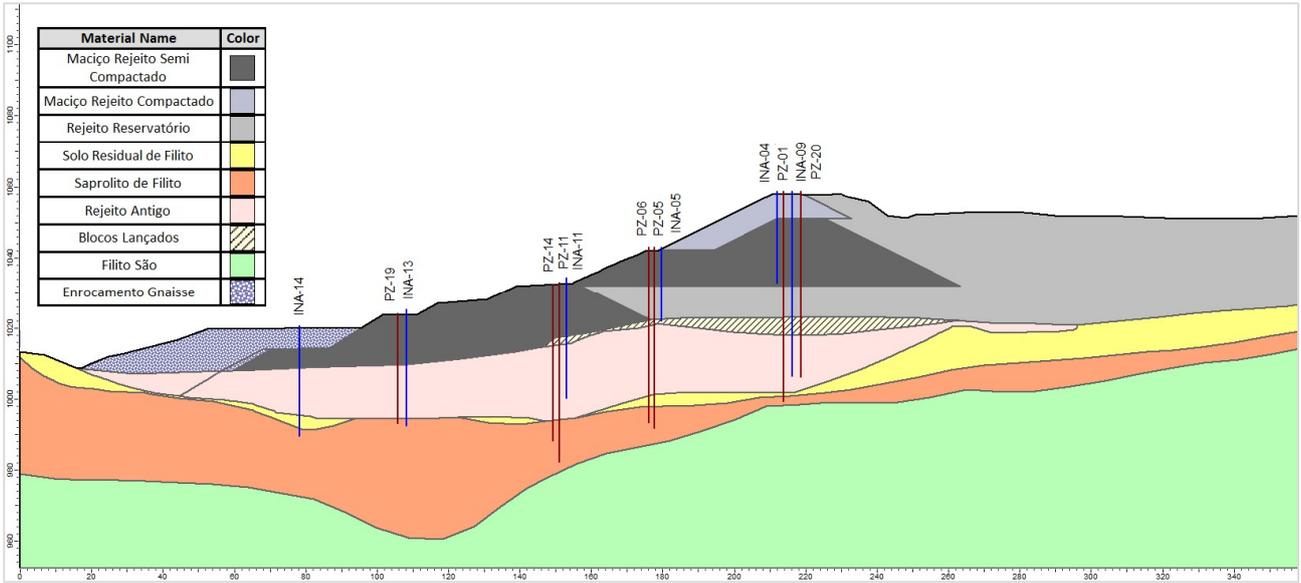
**Figura 5.10 – Localização Marcos Superficiais, Sismógrafos e Placas Indicadoras de Vazão – Barragem B1 – Mina Ipê.**



**Figura 5.11** – Localização dos prismas instalados no maciço da Barragem B1 – Mina Ipê.



**Figura 5.12** – Seção transversal de controle A-A'.



**Tabela 5.2** – Locação, características, leitura (29/01/2024) e níveis de controle da instrumentação instalada na Barragem B1 – Mina Ipê.

Seção	Instrumento	Coordenadas (UTM) DATUM SIRGAS2000		Cota de Topo (m)	Cota de Fundo (m)	Prof. (m)	Elevação Leitura (m) (29/01/2024)	Níveis de Controle (m) (Condição Não Drenada)		
		E (m)	N (m)					Freática Normal	Freática Alerta	Freática Emergência
A-A'	PZ-02 <sup>(1)</sup>	572.387,357	7.775.075,880	1.058,79	1.022,43	36,36	1.023,15	1.044,50	1.048,00	1.050,75
	INA-02	572.386,124	7.775.072,282	1.058,73	1.030,77	27,96	Seco	1.044,00	1.047,50	1.050,50
	INA-06	572.385,825	7.775.075,896	1.058,91	1.021,41	37,50	1.023,28	1.044,00	1.047,50	1.050,50
	INA-01	572.352,124	7.775.073,548	1.043,18	1.031,86	11,32	Seco	1.034,25	1.038,50	1.041,50
	PZ-09 <sup>(1)</sup>	572.347,436	7.775.082,495	1.042,08	1.017,52	24,56	1.017,67	1.032,75	1.037,00	1.040,50
	PZ-10	572.347,445	7.775.081,231	1.042,09	1.025,33	16,76	Seco	1.032,75	1.037,00	1.040,50
	INA-03	572.328,377	7.775.077,173	1.032,53	1.029,53	3,00	Seco	1.029,63	1.030,00	1.032,00 <sup>(4)</sup>
	INA-03A	572.327,458	7.775.077,687	1.032,93	1.015,02	17,91	1.015,68	1.029,63	1.030,00	1.032,00 <sup>(4)</sup>
	PZ-12 <sup>(1)</sup>	572.323,871	7.775.081,376	1.032,90	1.011,37	21,53	1.014,01	1.024,00	1.028,25	1.031,25
PZ-13	572.323,785	7.775.080,033	1.032,95	1.023,95	9,00	Seco	1.024,25	1.028,25	1.031,25	
B-B'	INA-09	572.384,760	7.775.134,730	1.058,76	1.006,45	52,31	1.017,33	1.026,00	1.028,00	1.039,75
	PZ-20 <sup>(1)</sup>	572.384,013	7.775.135,403	1.058,84	1.006,15	52,69	1.015,37	1.026,00 <sup>(5)</sup>	1.028,00 <sup>(5)</sup>	1.039,75 <sup>(5)</sup>
	PZ-01 <sup>(1)</sup>	572.384,428	7.775.132,832	1.058,76	999,45	58,31	1.014,60	1.026,00	1.028,00	1.039,75
	INA-04	572.383,201	7.775.117,738	1.058,68	1.032,92	25,76	Seco	1.033,50	1.033,80	1.039,50
	INA-05	572.350,371	7.775.117,560	1.043,04	1.022,04	21,00	Seco	1.022,50	1.025,00	1.033,00
	PZ-05 <sup>(1)</sup>	572.347,582	7.775.132,777	1.043,02	991,89	51,13	1.010,11	1.022,25	1.024,50	1.032,75
	PZ-06	572.347,644	7.775.131,804	1.042,98	998,22	44,76	1.011,73	1.022,00	1.024,75	1.032,50
	PZ-11 <sup>(1)</sup>	572.319,815	7.775.132,876	1.032,42	982,32	50,10	1.008,86	1.016,00	1.023,00	1.028,50
PZ-14	572.319,863	7.775.131,265	1.032,37	988,35	44,02	1.007,92	1.015,75	1.022,75	1.028,25	

Seção	Instrumento	Coordenadas (UTM) DATUM SIRGAS2000		Cota de Topo (m)	Cota de Fundo (m)	Prof. (m)	Elevação Leitura (m) (29/01/2024)	Níveis de Controle (m) (Condição Não Drenada)		
		E (m)	N (m)					Freática Normal	Freática Alerta	Freática Emergência
	INA-11	572.319,341	7.775.135,878	1.032,11	1.000,26	31,85	1.007,31	1.015,75	1.022,75	1.028,25
	PZ-19 <sup>(1)</sup>	572.277,304	7.775.134,203	1.024,15	993,23	30,92	1.005,99	1.011,85 <sup>(5)</sup>	1.017,00 <sup>(5)</sup>	1.021,00 <sup>(5)</sup>
	INA-13	572.277,614	7.775.132,962	1.023,99	992,45	31,54	1.006,64	1.011,85	1.017,00	1.021,00
	INA-14	572.247,450	7.775.131,940	1.020,59	989,66	30,93	1.005,61	1.010,50	1.013,00	1.016,00
C-C'	INA-10	572.383,702	7.775.158,426	1.058,81	1.022,31	36,50	Seco	1.031,00	1.033,00	1.039,00
	INA-12	572.316,904	7.775.156,769	1.030,92	1.011,61	19,31	Seco	1.019,80	1.021,60	1.027,80
	PZ-15 <sup>(1)</sup>	572.298,192	7.775.163,172	1.028,59	1.009,29	19,30	1.009,22	1.017,00	1.018,75	1.025,00
	INA-07	572.293,620	7.775.153,940	1.028,24	982,17	46,07	1.008,66	1.016,75	1.018,50	1.025,00
Instrumentos fora de seção de controle	PZ-03 <sup>(2)</sup>	572.388,311	7.775.035,497	1.058,11	1.021,13	36,98	1.023,90	1.044,00	1.047,50	1.050,50
	PZ-04 <sup>(2)</sup>	572.381,613	7.775.183,815	1.058,95	1.021,34	37,61	1.023,19	1.031,00	1.033,00	1.039,00
	PZ-18 <sup>(1) (2)</sup>	572.330,441	7.775.031,720	1.038,21	1.007,85	30,36	1.014,11	1.024,00	1.028,25	1.031,25
	INA-08 <sup>(3)</sup>	572.145,050	7.775.061,910	1.005,00	959,13	45,87	993,14	Instrumento localizado muito a jusante		
	PZ-07 <sup>(3)</sup>	572.318,282	7.775.001,790	1.042,31	992,28	50,03	1.014,42	Instrumento de hidrogeologia		
	PZ-08 <sup>(3)</sup>	572.521,244	7.774.943,098	1.060,37	974,82	85,55	1.033,51	Instrumento de hidrogeologia		
	PZ-16 <sup>(3)</sup>	572.452,571	7.775.184,306	1.059,85	1.010,23	49,62	1.030,08	Instrumento de hidrogeologia		
	PZ-17 <sup>(3)</sup>	572.317,208	7.774.978,906	1.043,88	997,28	46,60	1.017,75	Instrumento de hidrogeologia		
A-A'	MS-01	572.382,448	7.775.072,921	1.058,025	-	-	-	Não aplicável		
B-B'	MS-02	572.380,643	7.775.118,888	1.057,981	-	-	-	Não aplicável		
B-B'	MS-03	572.344,339	7.775.116,922	1.041,446	-	-	-	Não aplicável		
B-B'	MS-04	572.276,729	7.775.116,195	1.021,585	-	-	-	Não aplicável		

Seção	Instrumento	Coordenadas (UTM) DATUM SIRGAS2000		Cota de Topo (m)	Cota de Fundo (m)	Prof. (m)	Elevação Leitura (m) (29/01/2024)	Níveis de Controle (m) (Condição Não Drenada)		
		E (m)	N (m)					Freática Normal	Freática Alerta	Freática Emergência
Não aplicável	IB1S1	572.384,203	7.775.076,675	1.058,145	-	-	-	Não aplicável		
	IB1S2	572.346,300	7.775.143,778	1.043,736	-	-	-	Não aplicável		
	IV-1	572.283,918	7.775.085,539	1.017,097	-	-	-	Não aplicável		
	IV-2	572.209,323	7.775.040,352	1.001,070	-	-	-	Não aplicável		
	IV-3	572.325,630	7.775.060,595	1.030,071	-	-	-	Não aplicável		

- 1- Instrumentos automatizados;
- 2- Níveis de controle definidos tomando-se como referência os instrumentos INA-02, INA-10 e PZ-12;
- 3- Níveis de controle não aplicáveis, pois os instrumentos encontram-se fora do maciço da barragem;
- 4- Níveis de controle correspondentes à condição de afloramento do nível d'água;
- 5- Níveis de controle correspondentes aos instrumentos adjacentes.

### 5.6.3.1 Leituras Instrumentação

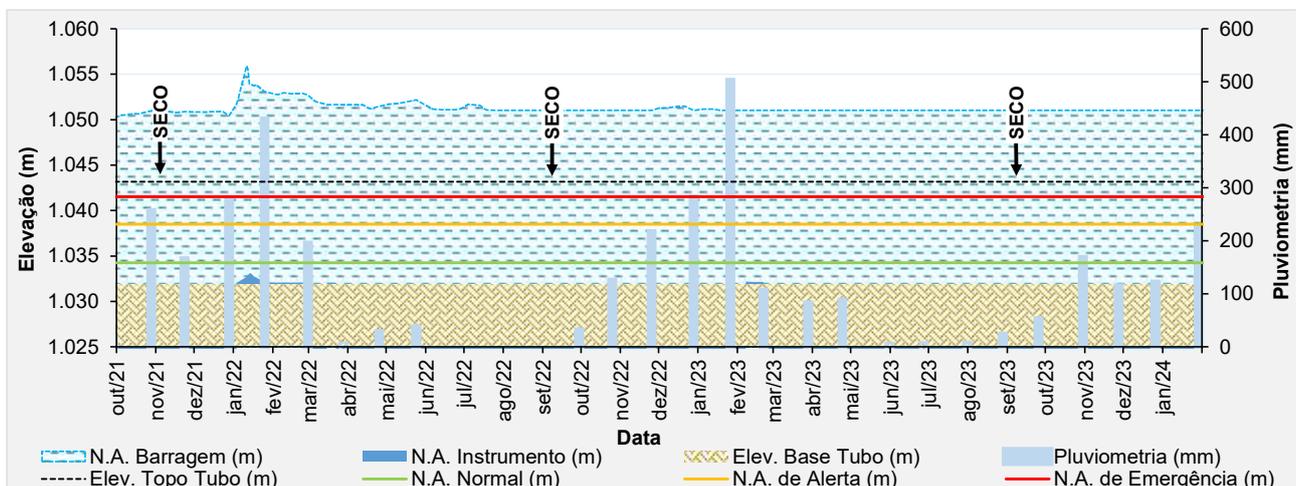
A MMI realiza leituras semanais dos níveis nos INA's e PZ's e quinzenais dos deslocamentos nos Marcos Superficiais. Já os piezômetros automatizados realizam um monitoramento constante com registro a cada 2 horas. Na estrutura também estão instalados prismas para monitoramento de deslocamento nos quais são realizadas leituras contínuas através de estação total robótica. As leituras nas placas indicadoras de vazão são realizadas diariamente.

- **Indicadores de Nível d'Água e Piezômetros**

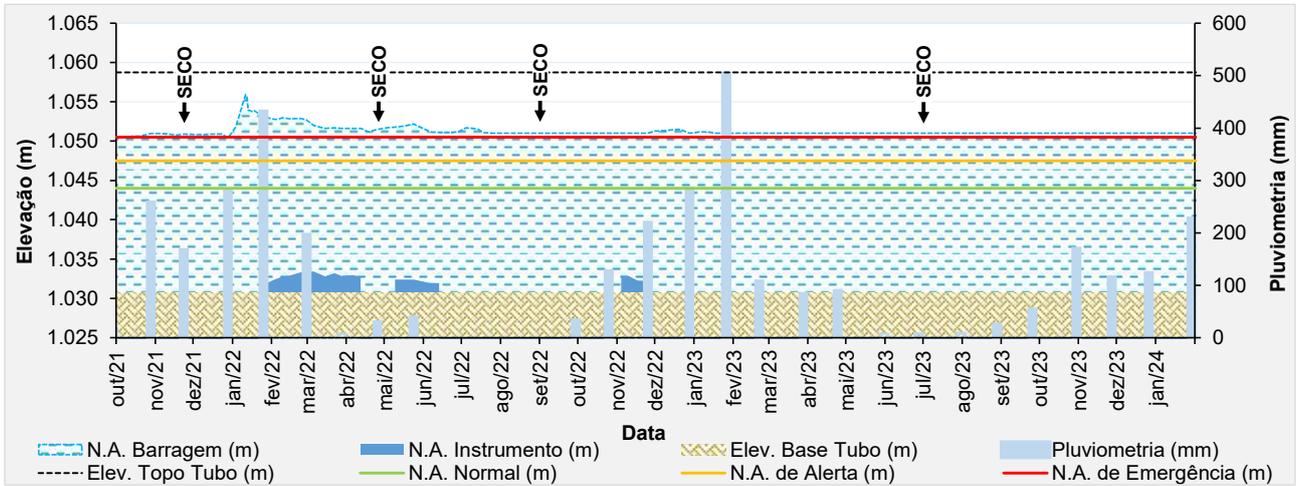
A seguir é apresentado um resumo dos dados de monitoramento para cada instrumento abrangendo dois anos hidrológicos, no período entre 10/2021 e 01/2024, conforme planilha fornecida pela Mineração Morro do Ipê (MMI). Nos gráficos são apresentadas as seguintes informações:

- Nível de água do reservatório – seco (Elev. 1.051 m) no período avaliado;
- Referências do topo e base de cada instrumento;
- Leituras do nível de água do instrumento;
- Pluviometria mensal na região da barragem;
- Níveis de monitoramento para os instrumentos correspondendo às condições normal, alerta e emergência.

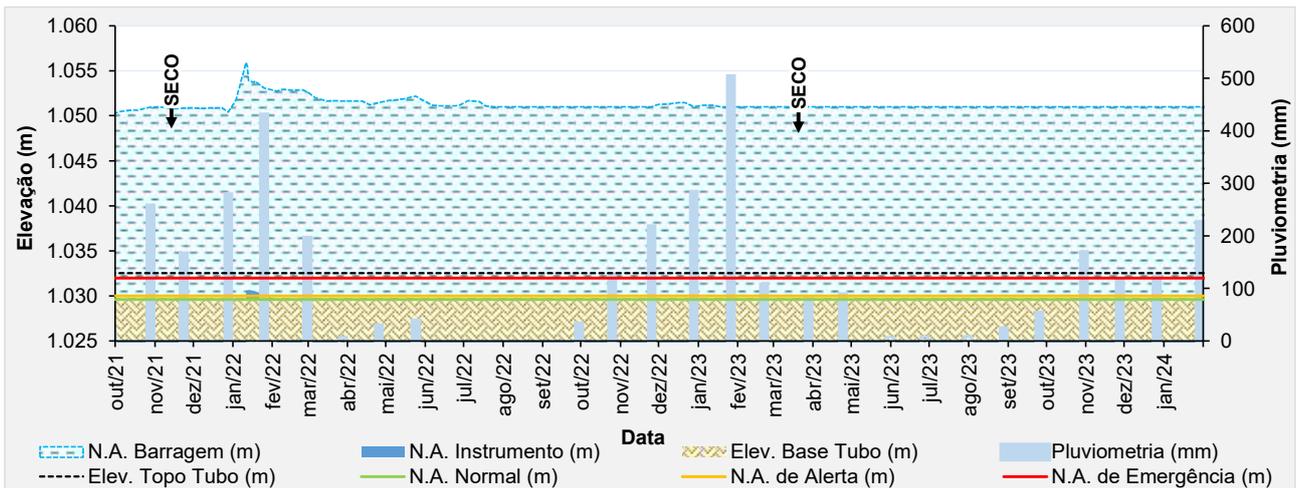
De acordo com os registros quinzenais de monitoramento dos INA's e PZ's, a superfície freática da Barragem B1 – Mina Ipê se encontra em elevação abaixo do contato do maciço da barragem com o rejeito antigo presente na fundação. De uma maneira geral, os instrumentos variam suas leituras de acordo com a pluviometria, tendo em vista que o reservatório da barragem é mantido sempre seco. Com o início da operação da bomba de rebaixamento, os instrumentos apresentaram um abatimento nos níveis de leitura.



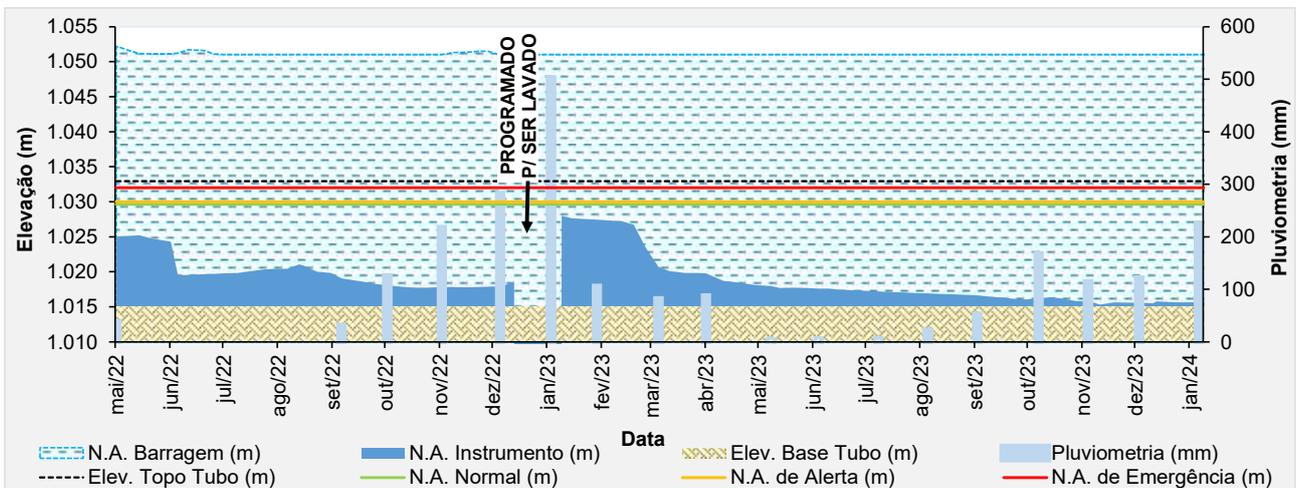
**Figura 5.15 – Desempenho do indicador de nível d'água – INA-01.**



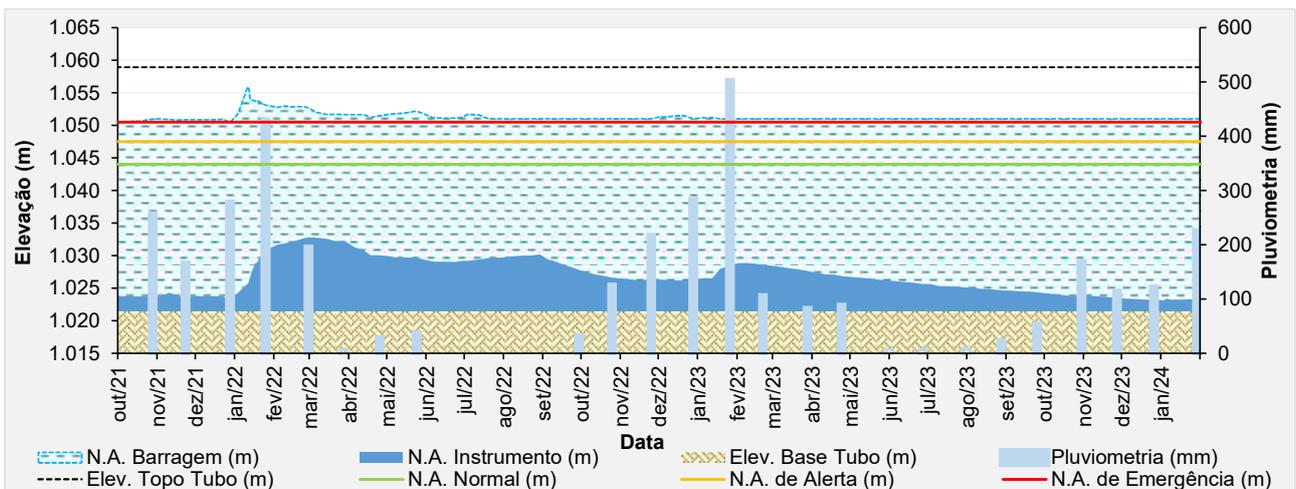
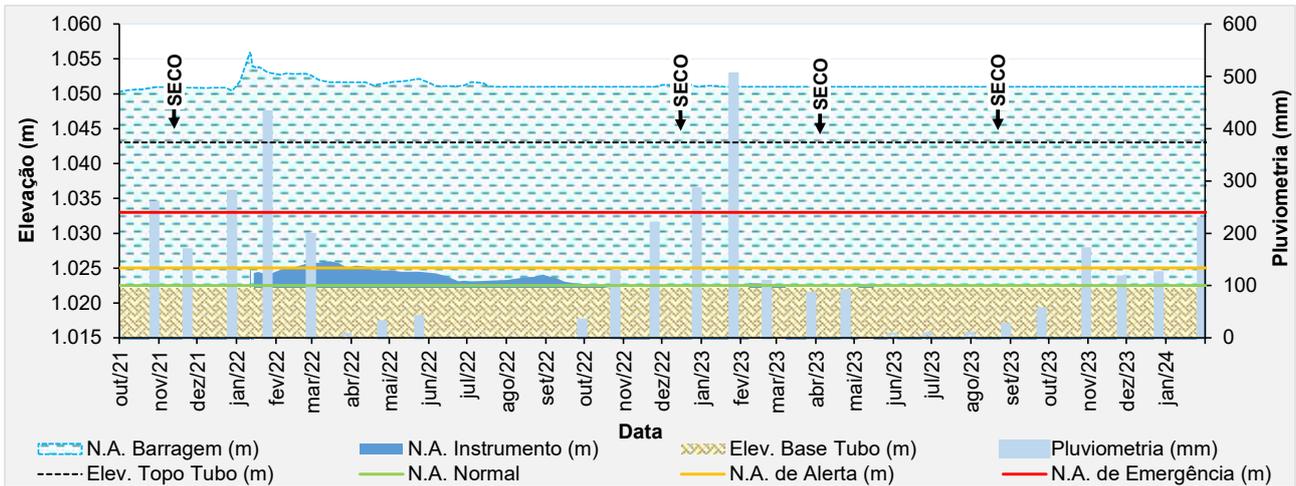
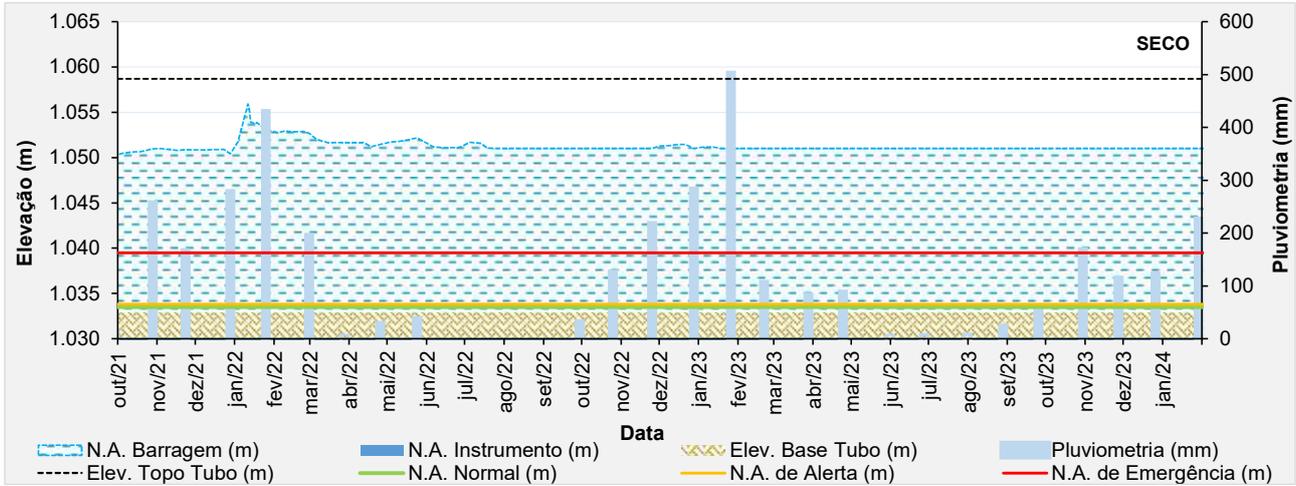
**Figura 5.16** – Desempenho do indicador de nível d’água – INA-02.

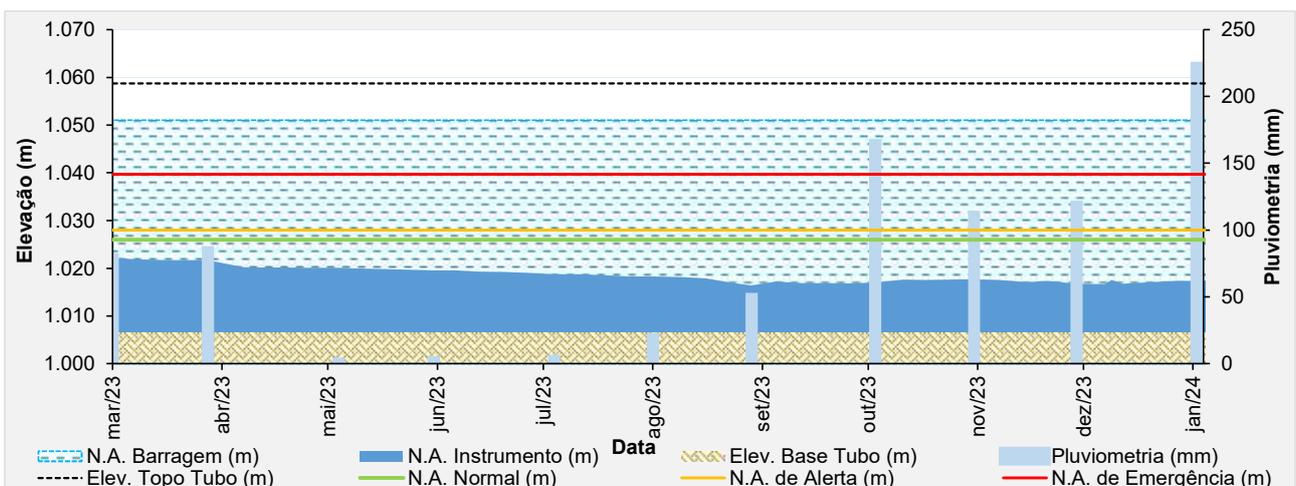
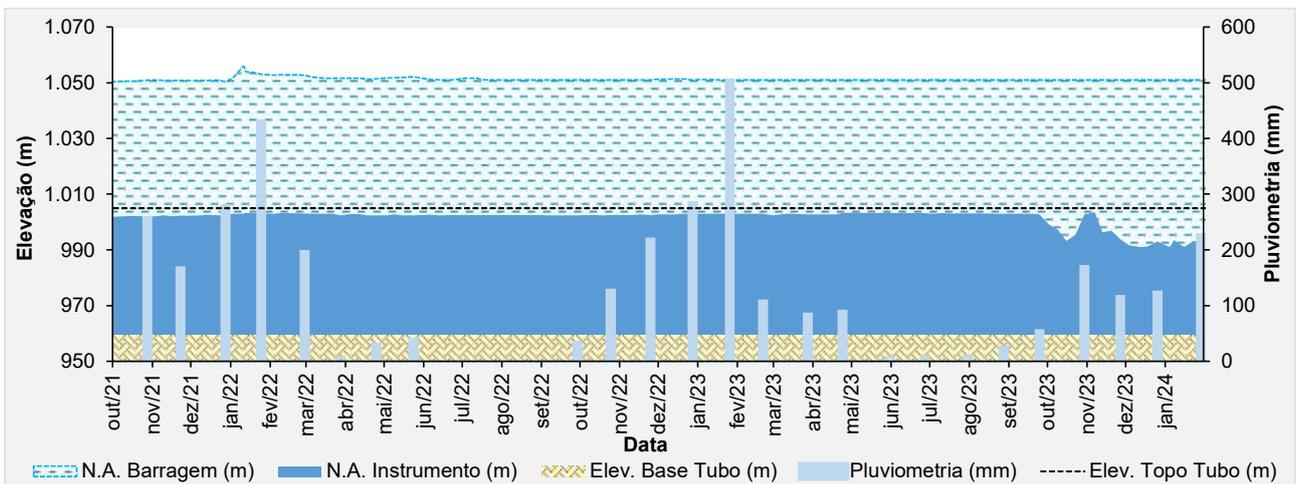
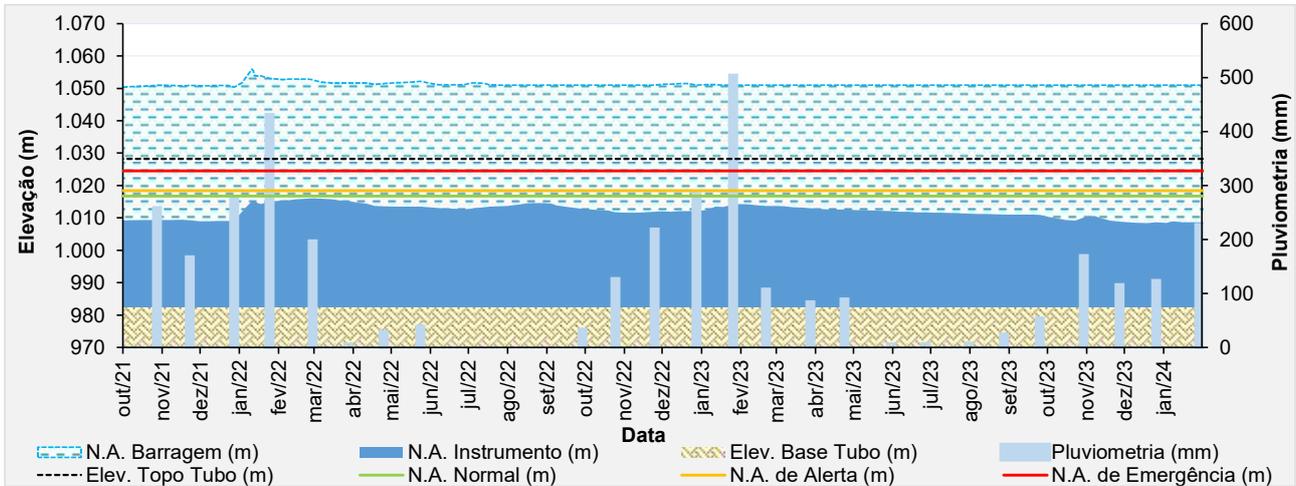


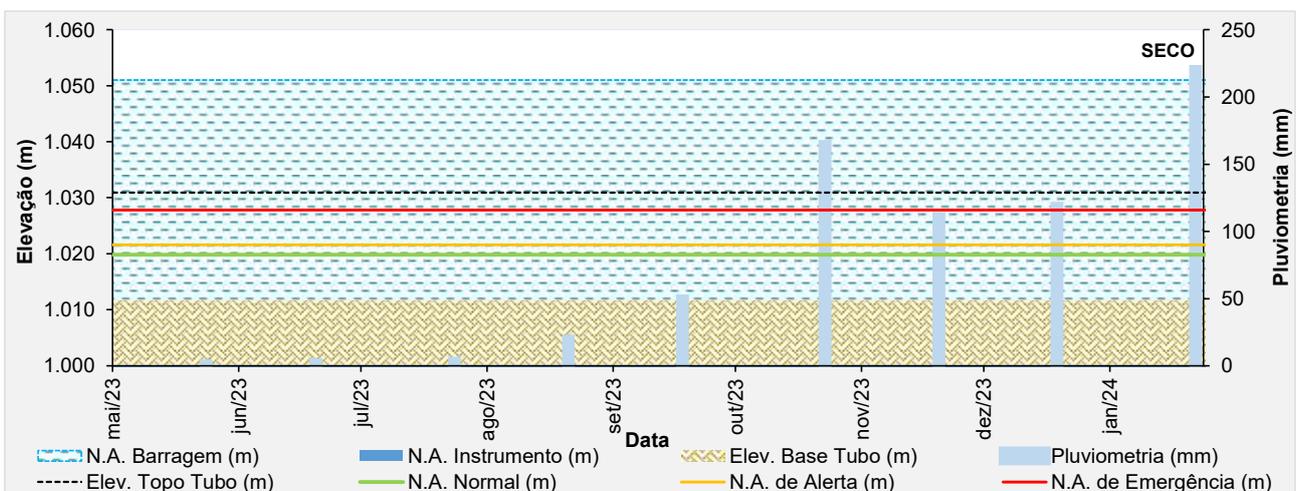
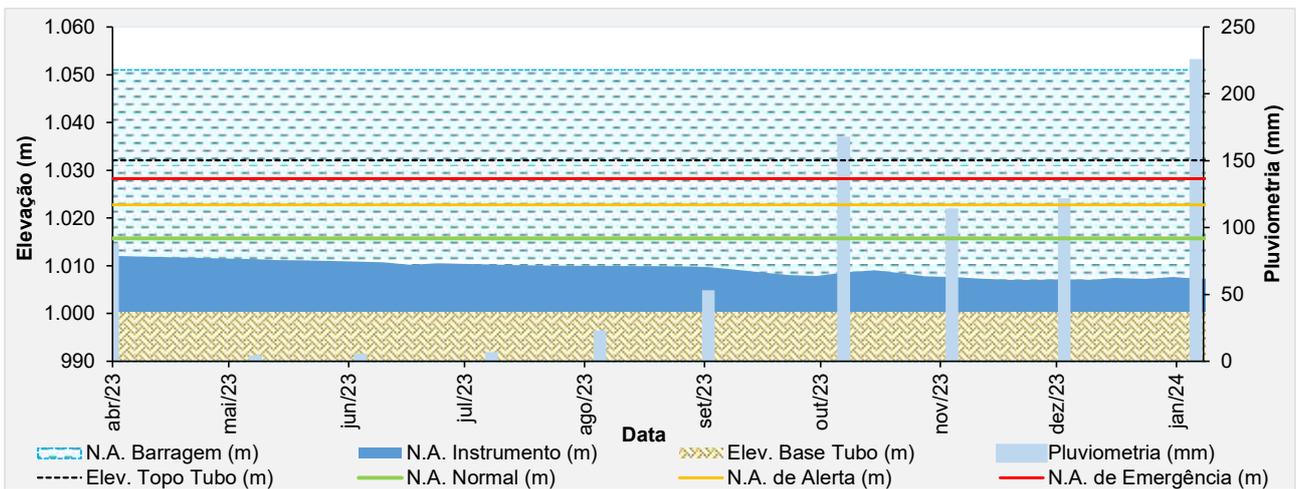
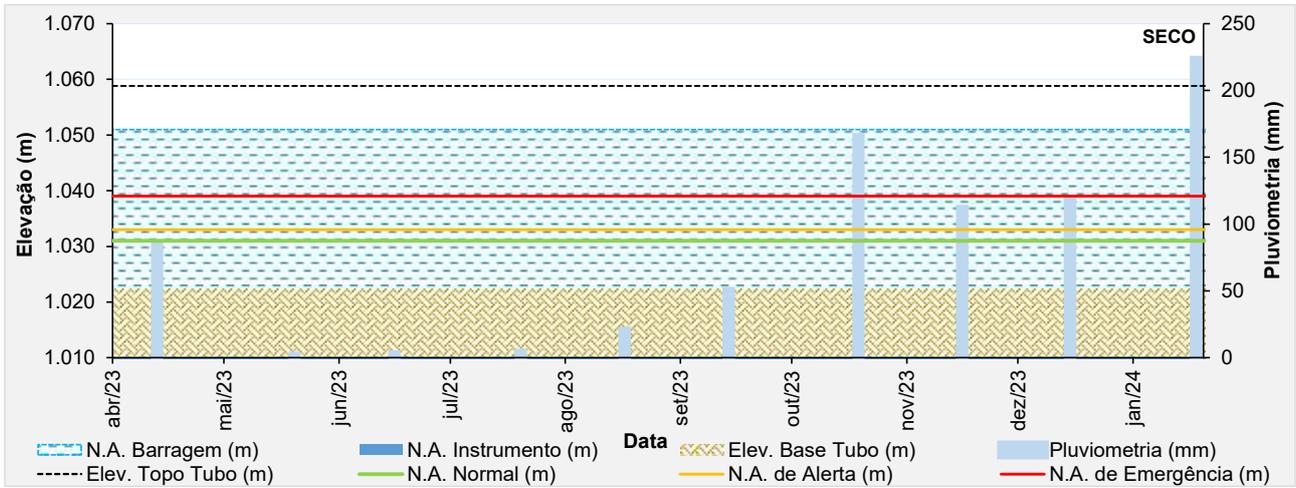
**Figura 5.17** – Desempenho do indicador de nível d’água – INA-03.

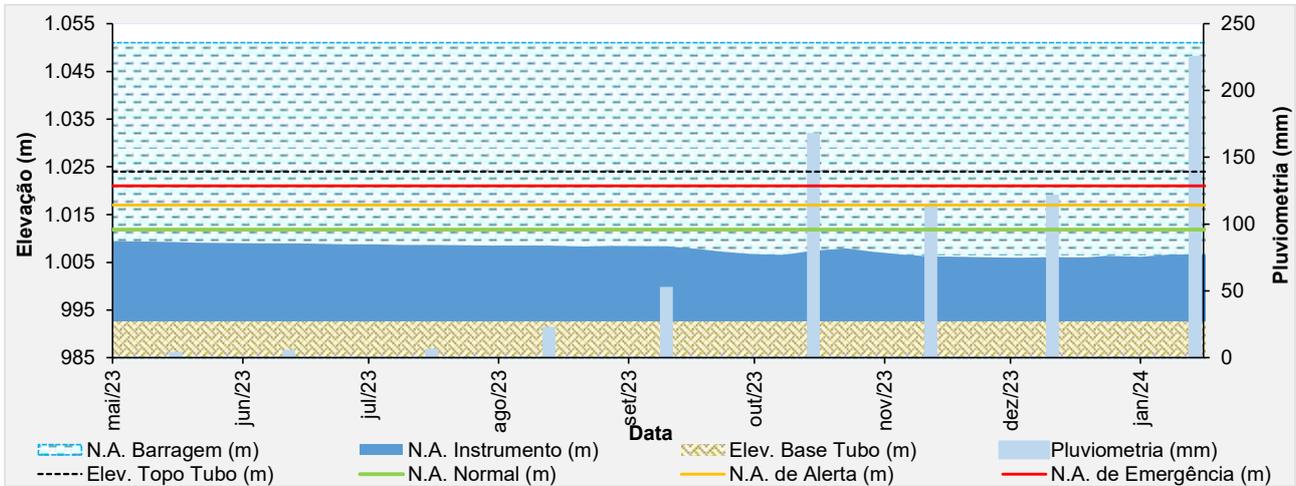


**Figura 5.18** – Desempenho do indicador de nível d’água – INA-03A.

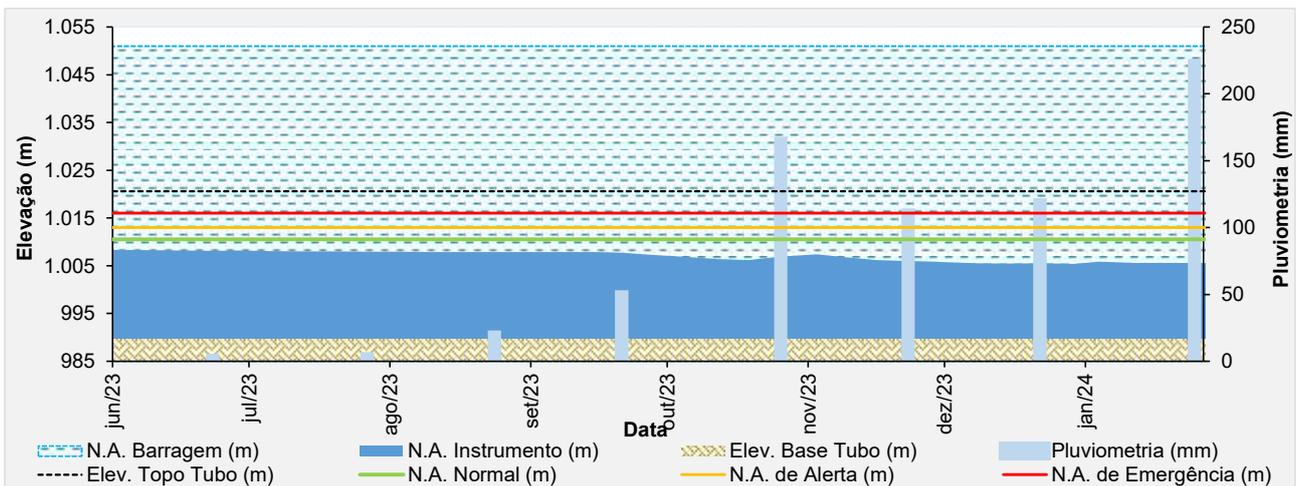




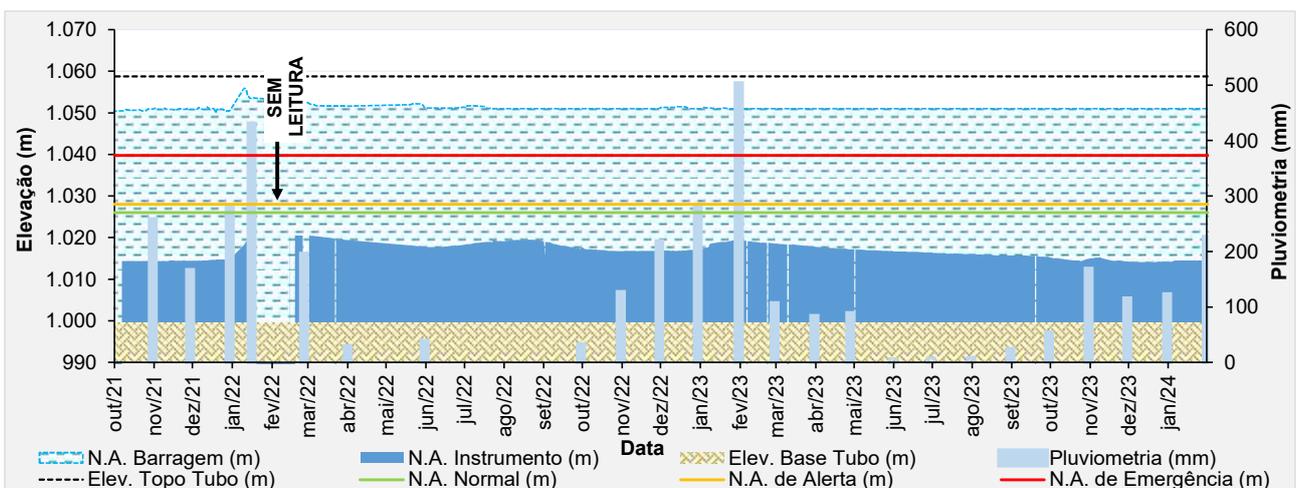




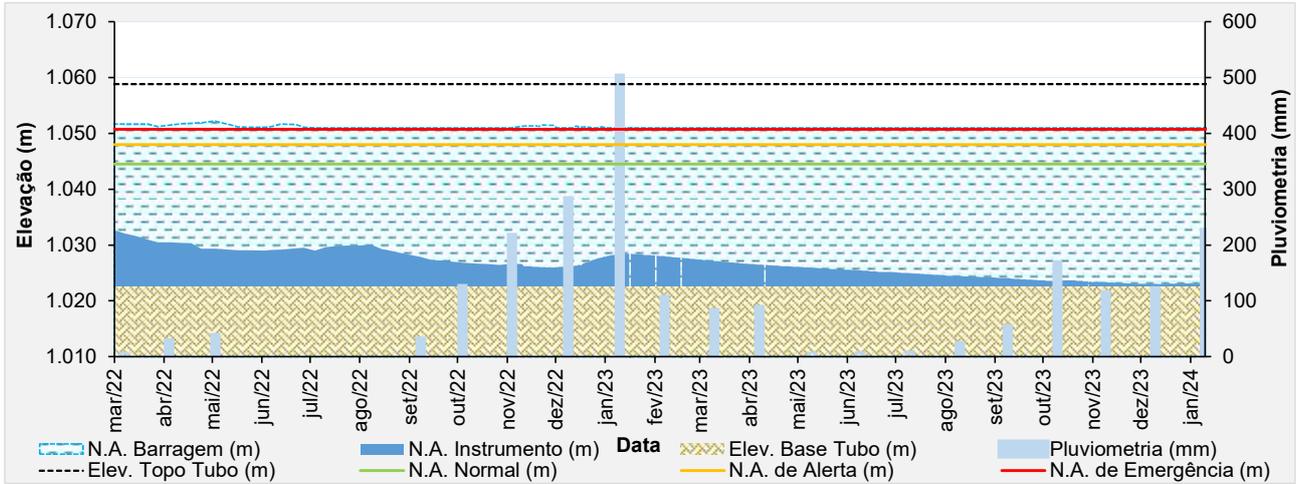
**Figura 5.28** – Desempenho do indicador de nível d’água – INA-13.



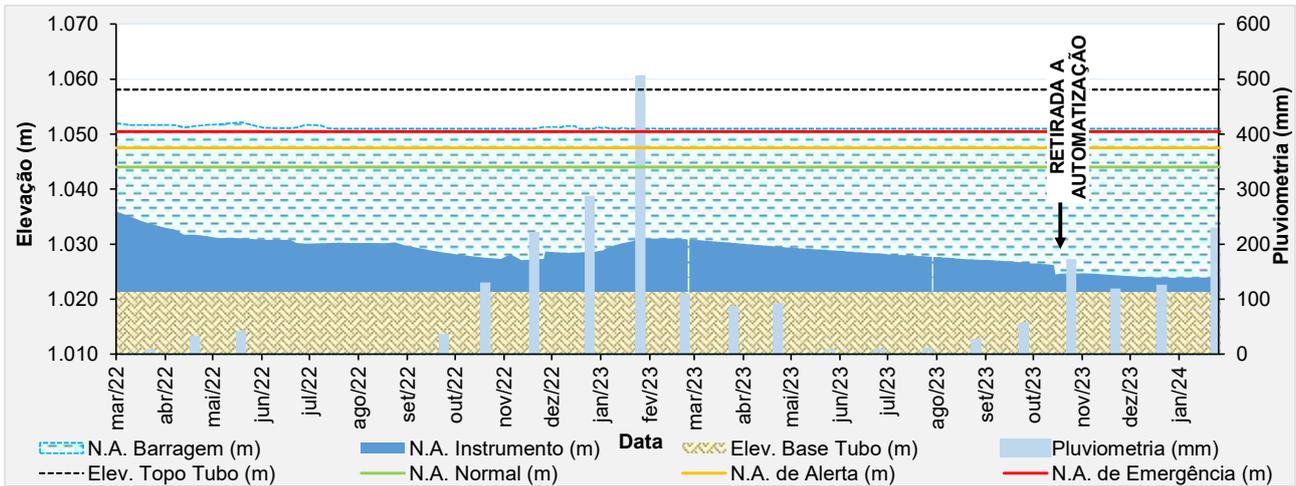
**Figura 5.29** – Desempenho do indicador de nível d’água – INA-14.



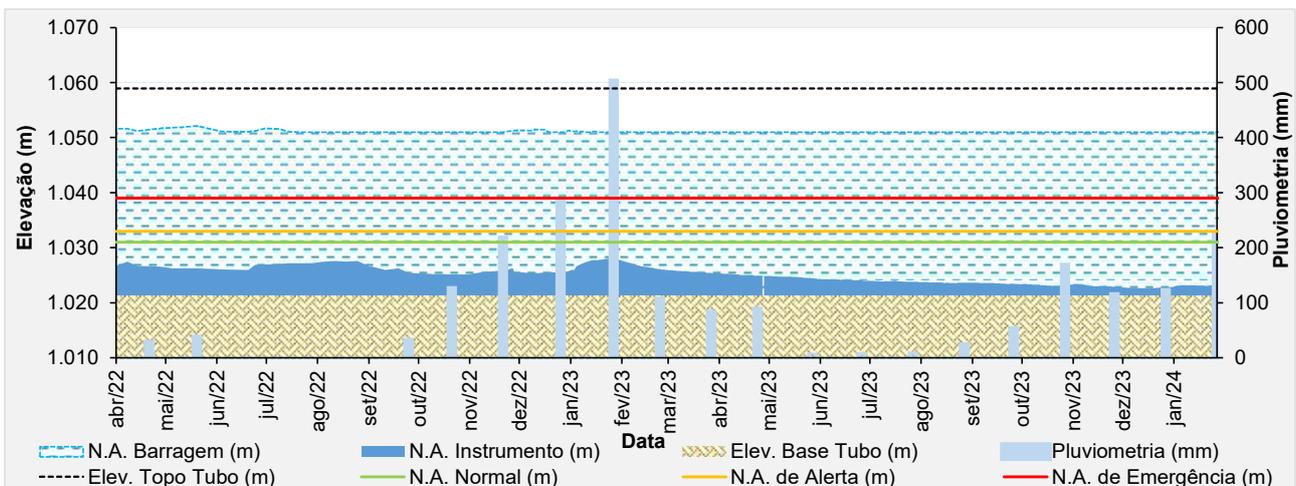
**Figura 5.30** – Desempenho do piezômetro automatizado – PZ-01.



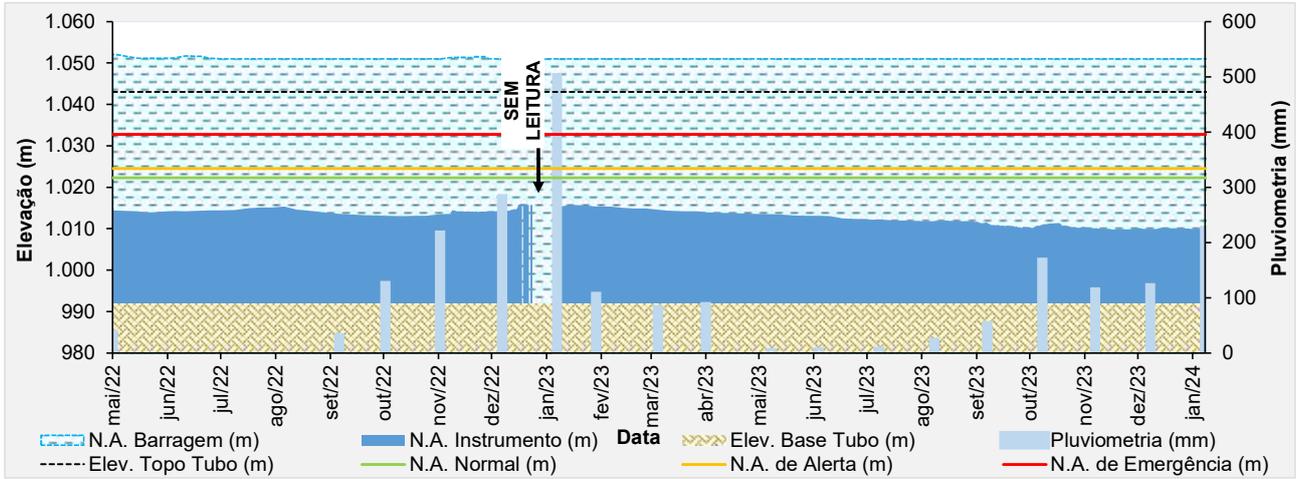
**Figura 5.31** – Desempenho do piezômetro automatizado – PZ-02.



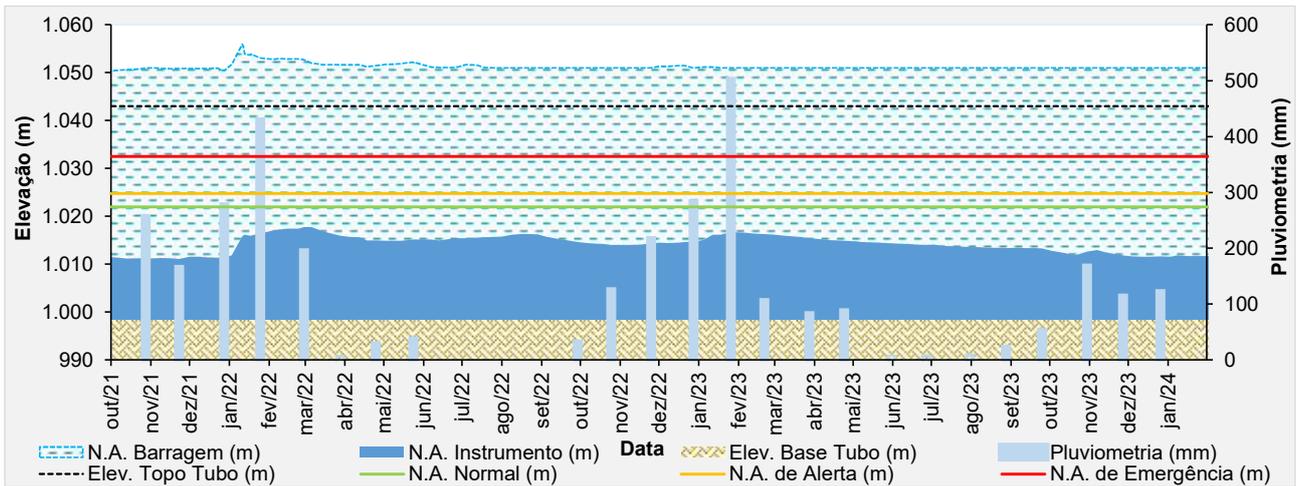
**Figura 5.32** – Desempenho do piezômetro de tubo aberto – PZ-03.



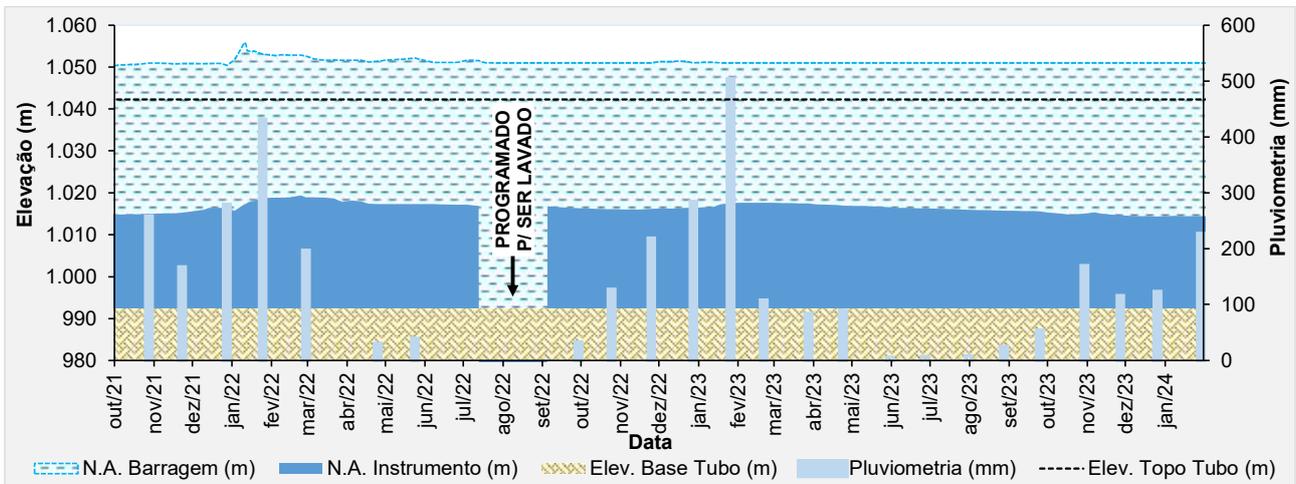
**Figura 5.33** – Desempenho do piezômetro automatizado – PZ-04.



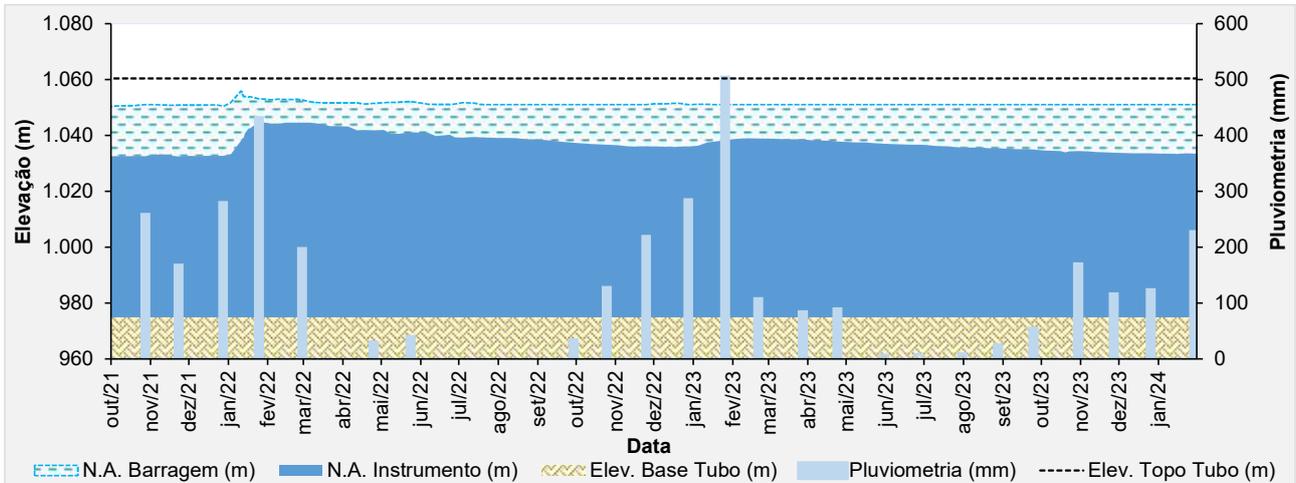
**Figura 5.34** – Desempenho do piezômetro automatizado – PZ-05.



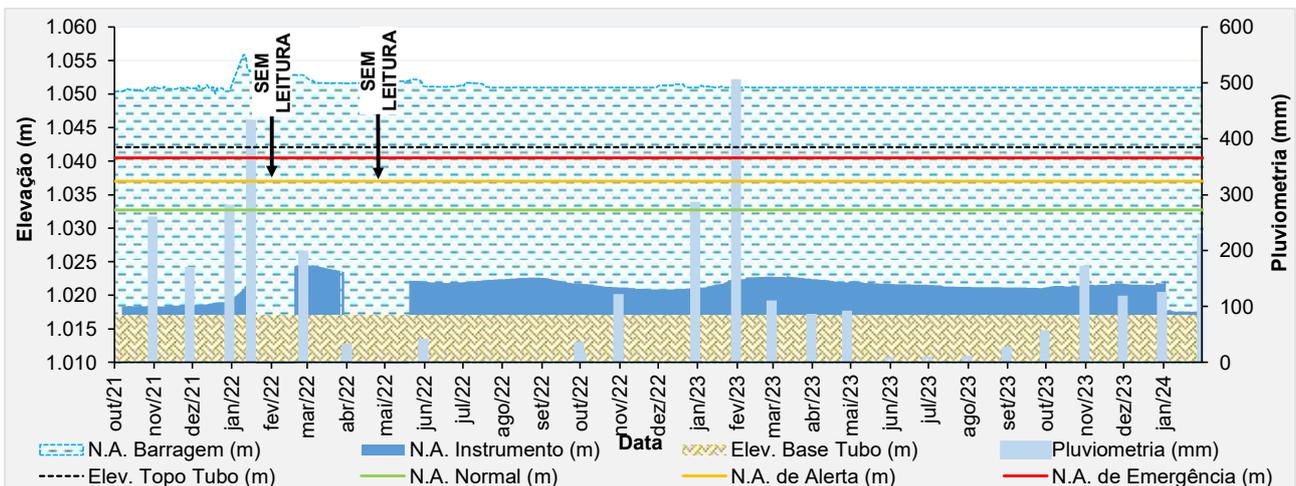
**Figura 5.35** – Desempenho do piezômetro de tubo aberto – PZ-06.



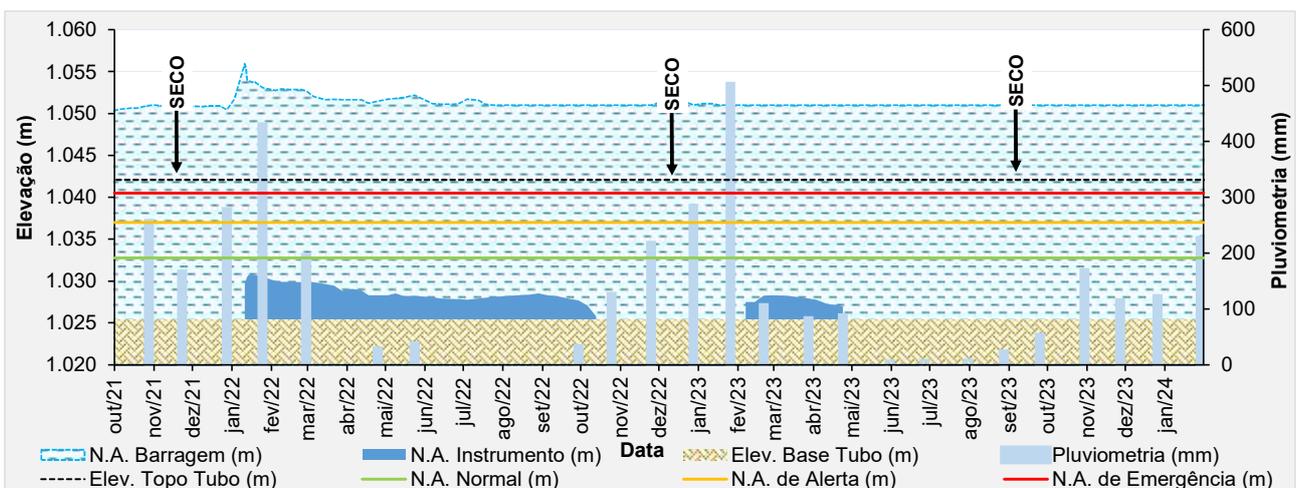
**Figura 5.36** – Desempenho do piezômetro de tubo aberto – PZ-07.



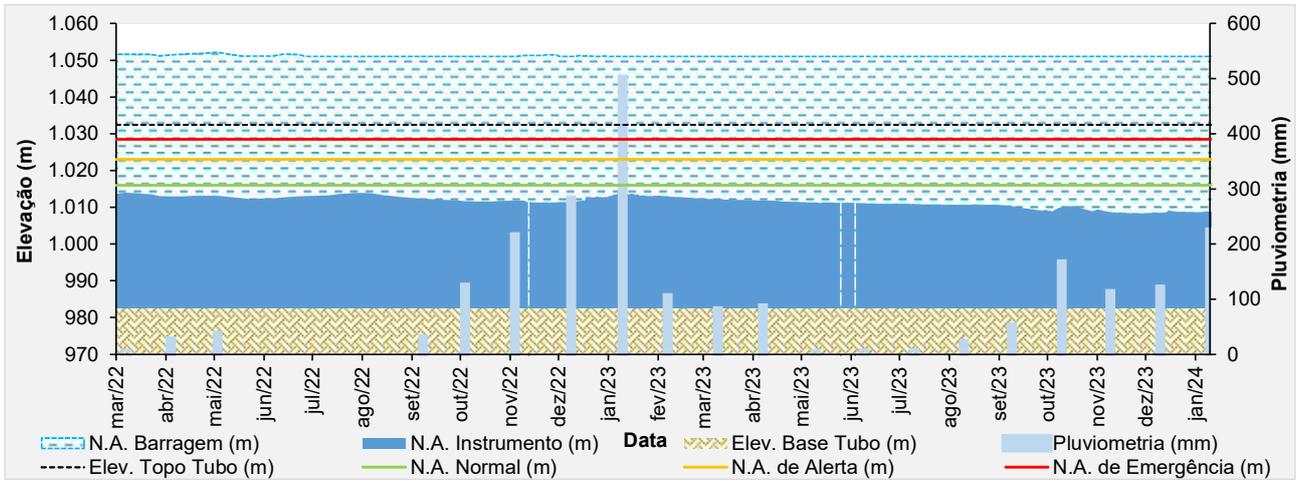
**Figura 5.37** – Desempenho do piezômetro de tubo aberto – PZ-08.



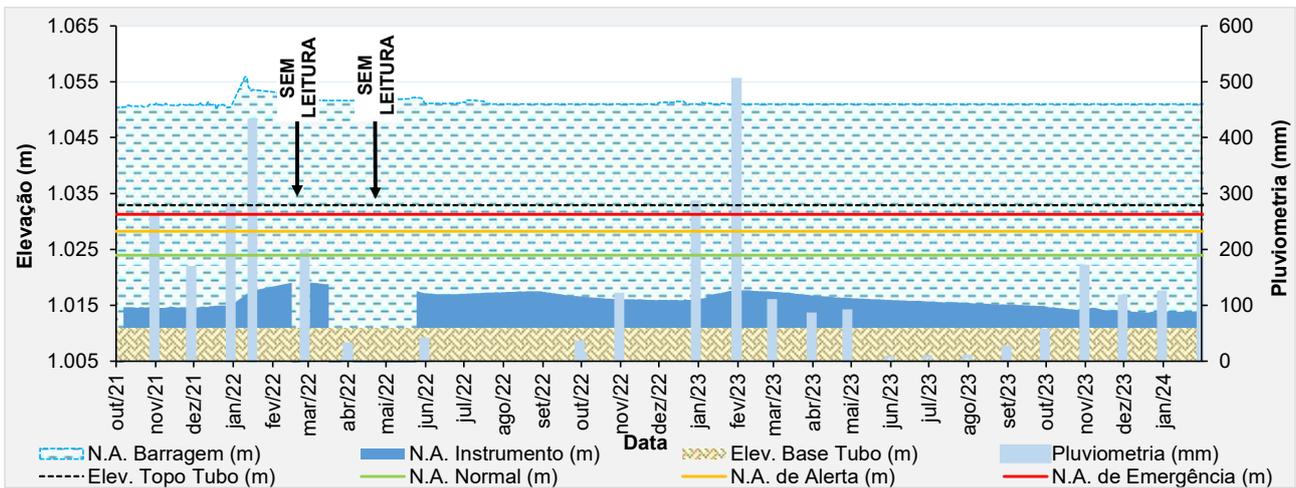
**Figura 5.38** – Desempenho do piezômetro automatizado – PZ-09.



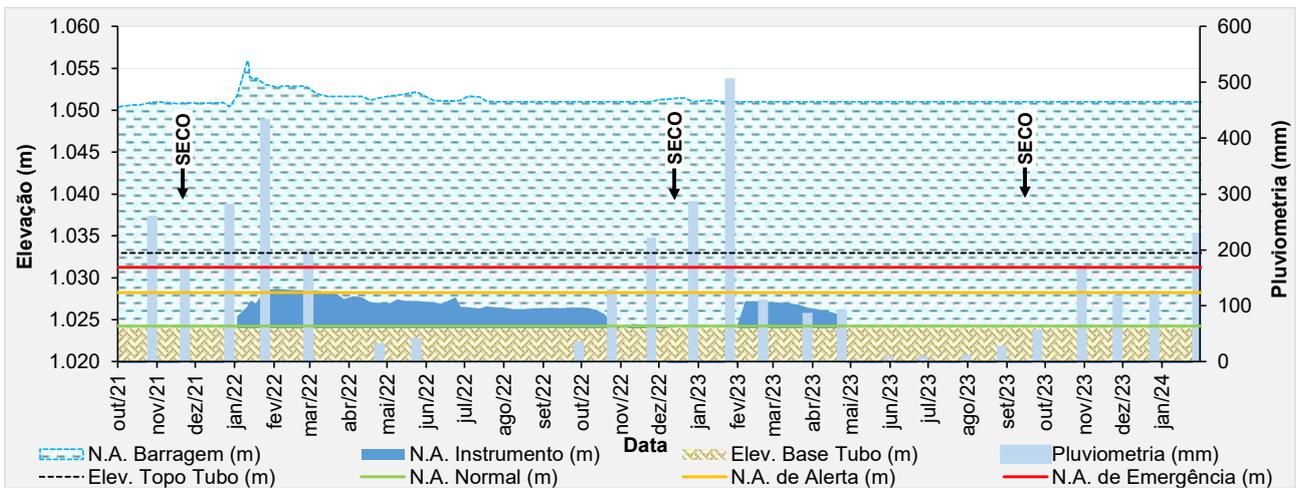
**Figura 5.39** – Desempenho do piezômetro de tubo aberto – PZ-10.



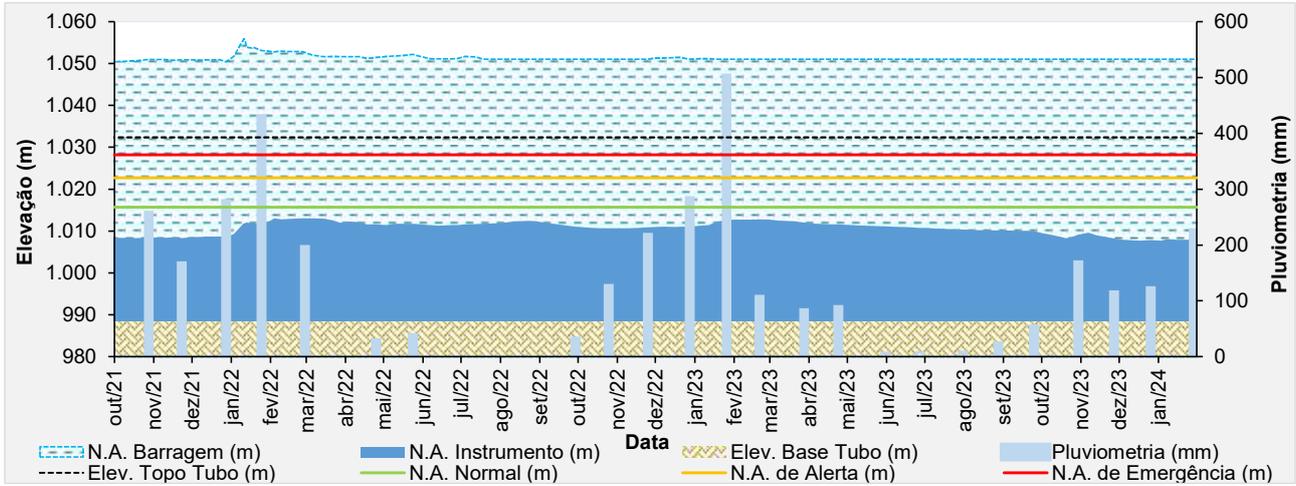
**Figura 5.40** – Desempenho do piezômetro automatizado – PZ-11.



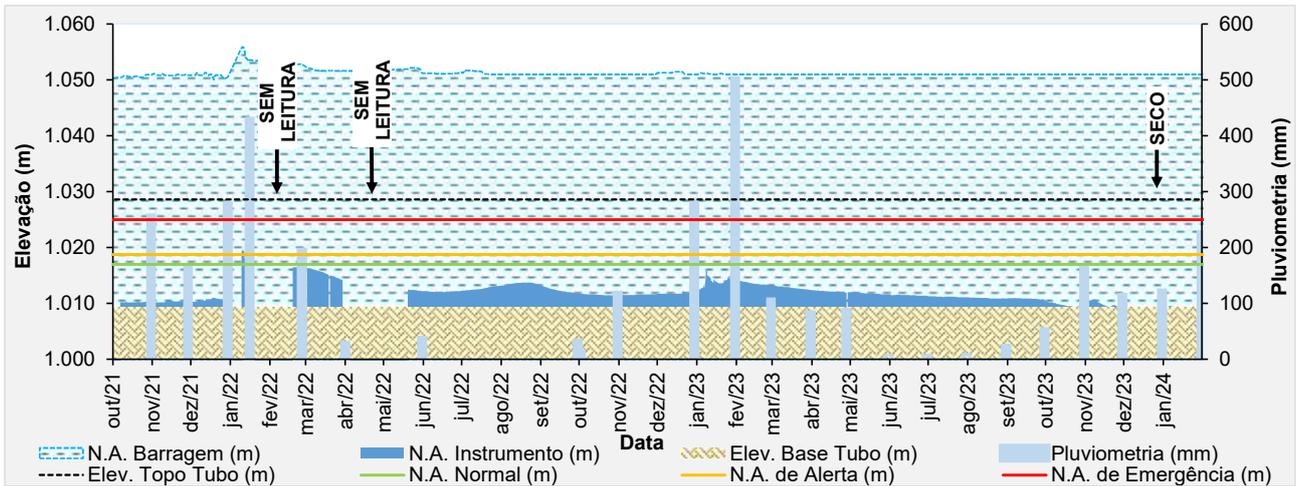
**Figura 5.41** – Desempenho do piezômetro automatizado – PZ-12.



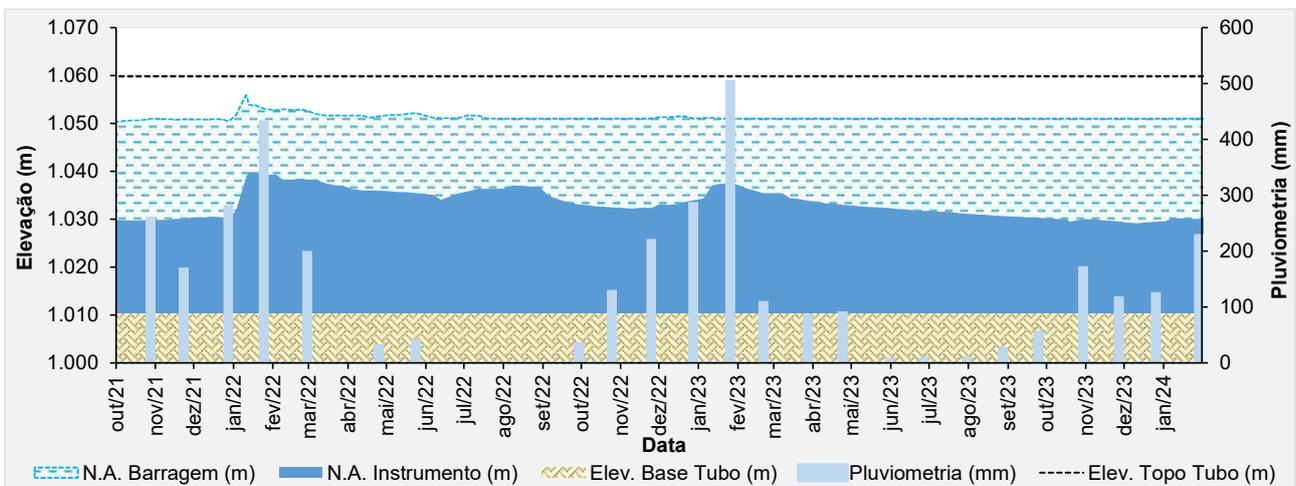
**Figura 5.42** – Desempenho do piezômetro de tubo aberto – PZ-13.



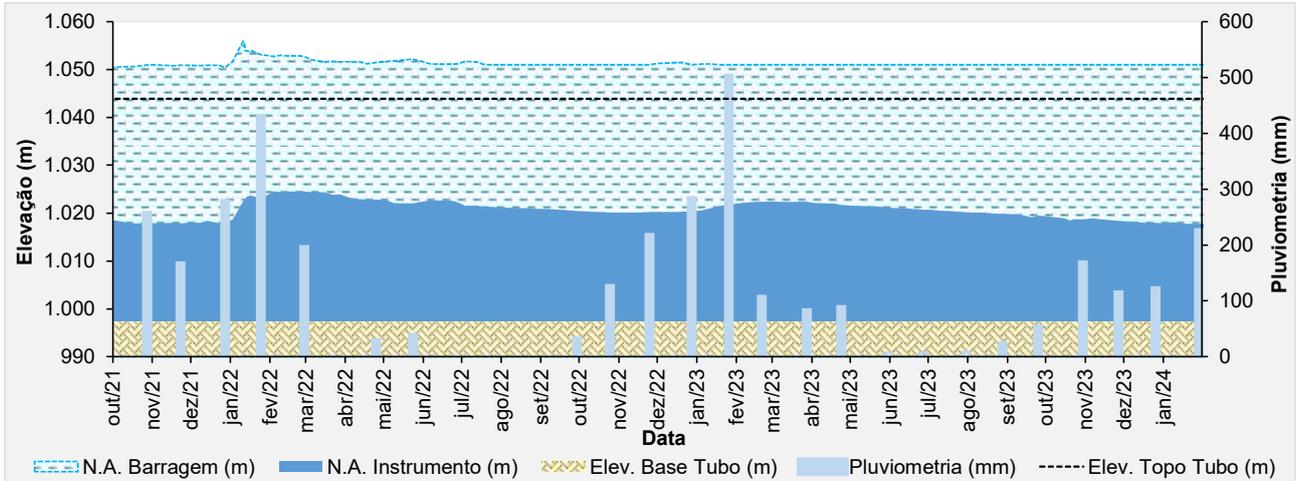
**Figura 5.43** – Desempenho do piezômetro de tubo aberto – PZ-14.



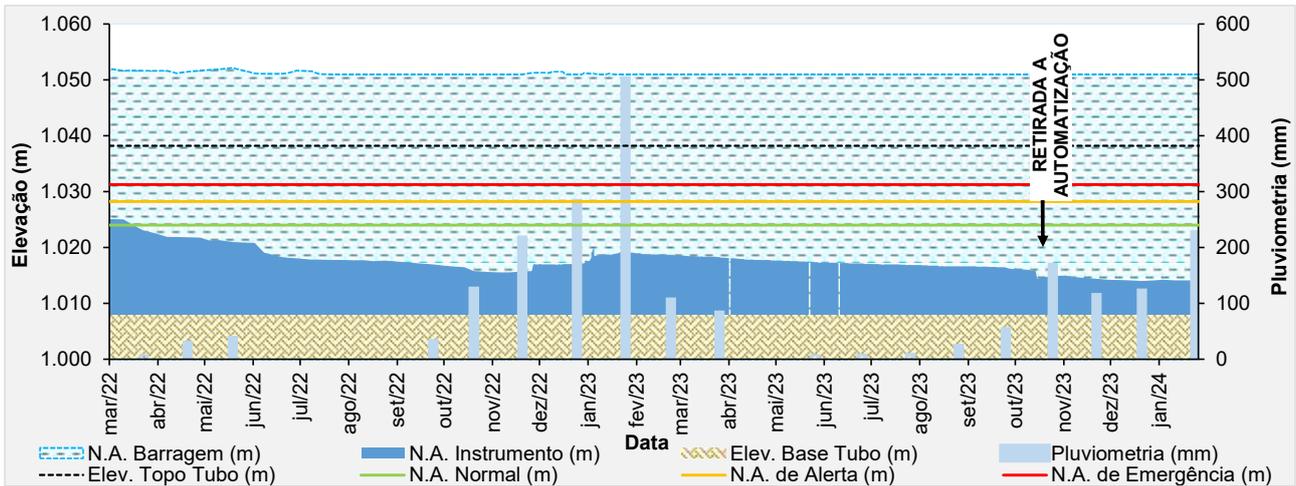
**Figura 5.44** – Desempenho do piezômetro automatizado – PZ-15.



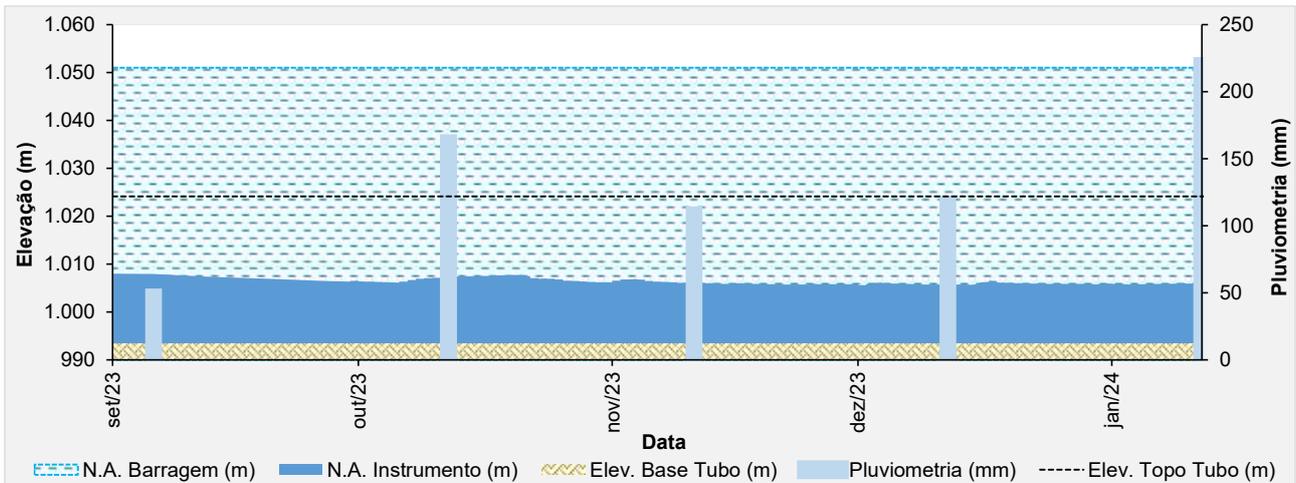
**Figura 5.45** – Desempenho do piezômetro de tubo aberto – PZ-16.



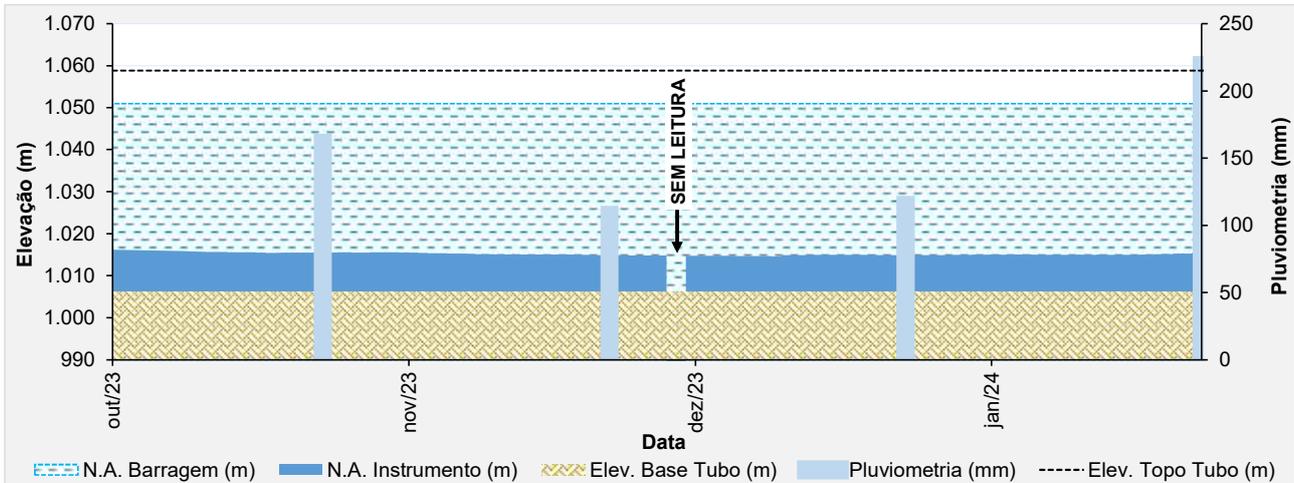
**Figura 5.46** – Desempenho do piezômetro de tubo aberto – PZ-17.



**Figura 5.47** – Desempenho do piezômetro de tubo aberto – PZ-18.



**Figura 5.48** – Desempenho do piezômetro automatizado – PZ-19.

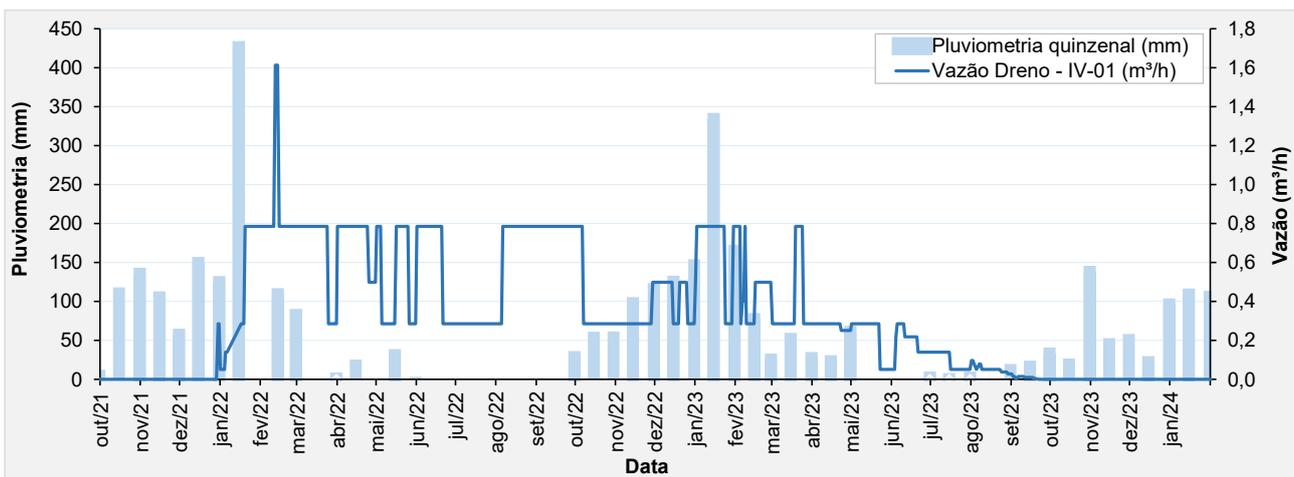


**Figura 5.49** – Desempenho do piezômetro automatizado – PZ-20.

• **Placas Indicadoras de Vazão**

O monitoramento de vazão percolada da barragem é realizado por 3 (três) indicadores de vazão da drenagem interna. O indicador de vazão IV-03 permanece seco desde sua construção.

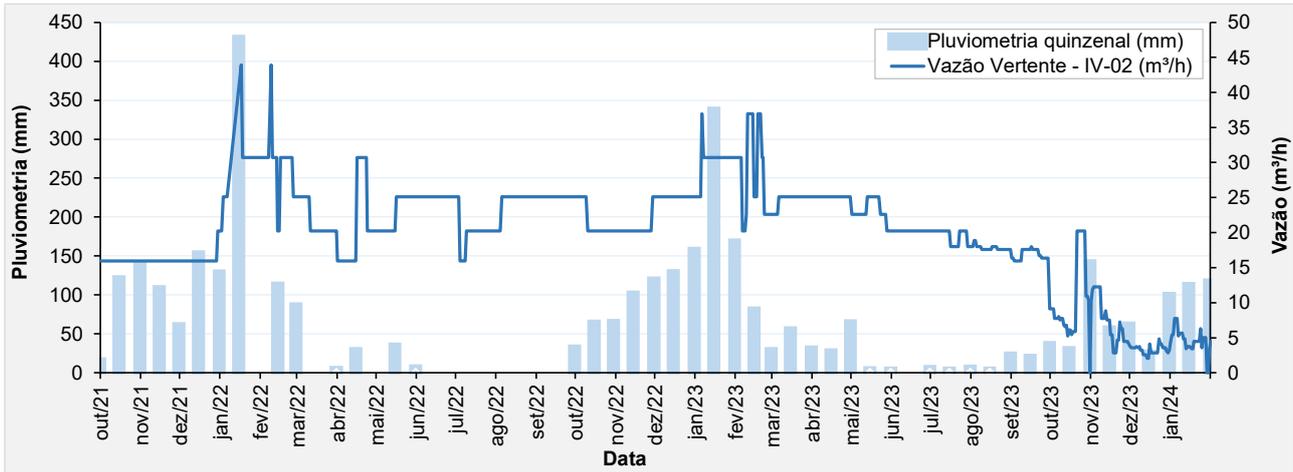
A análise das leituras de vazões na placa IV-01, que mede os efluentes percolados pelo maciço da barragem à jusante do dreno invertido na elevação 1.018,0 m. Considerando o período avaliado (novembro/2023 a janeiro/2024), o dreno se encontra seco. Percebe-se que a partir do início da operação da bomba de rebaixamento, não foi verificada vazão na saída do dreno.



**Figura 5.50** – Análise das vazões do IV-01 (Dreno).

Quanto a análise das leituras de vazões na placa IV-02, que mede também as vazões de nascentes na região do pé da barragem, são muito influenciadas pela pluviosimetria e a grande área de contribuição para esse ponto. No período avaliado (novembro/2023 a janeiro de 2024), as leituras indicam uma vazão média de 5,16 m³/h, tendo vazões variando de 2,05 m³/h até

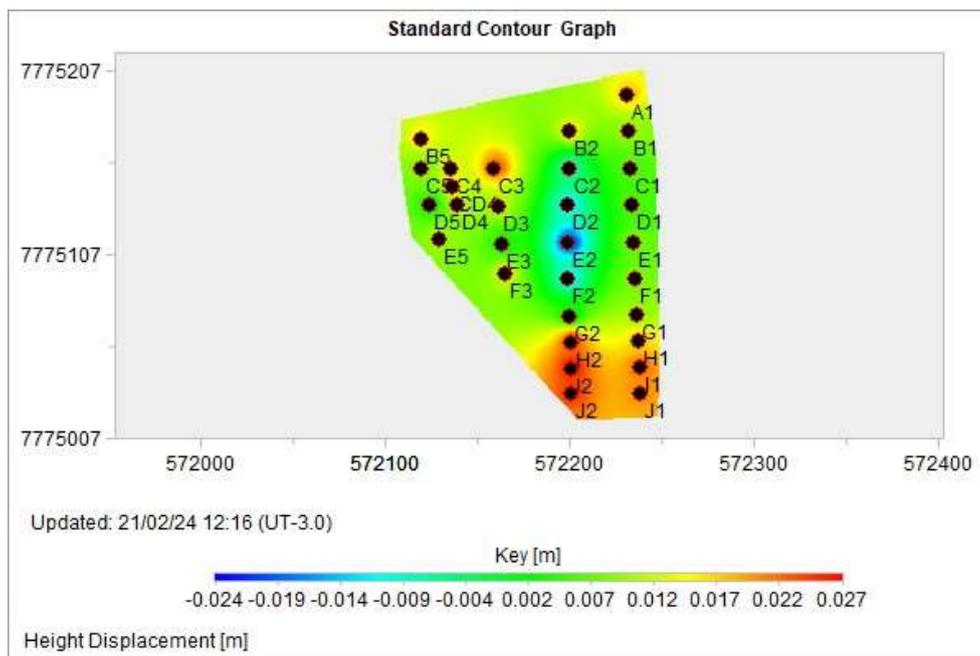
12,25 m<sup>3</sup>/h. Percebe-se que a partir de novembro/2023 houve uma redução significativa nas vazões verificadas no IV-02, período este em que a bomba de rebaixamento estava em operação.



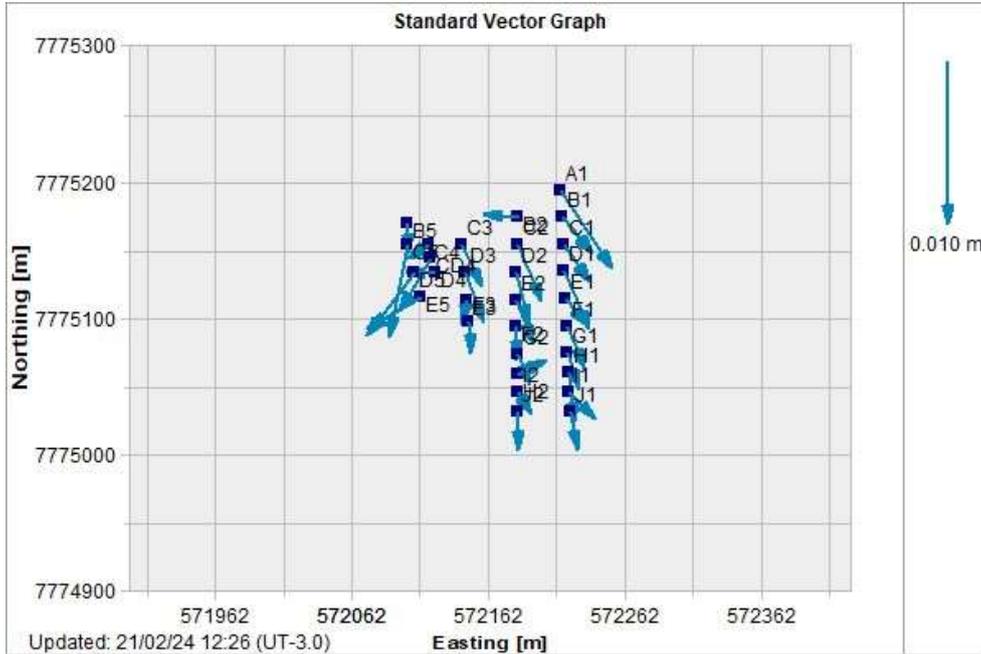
**Figura 5.51** – Análise das vazões do IV-02 (Vertente).

• **Prismas de Monitoramento**

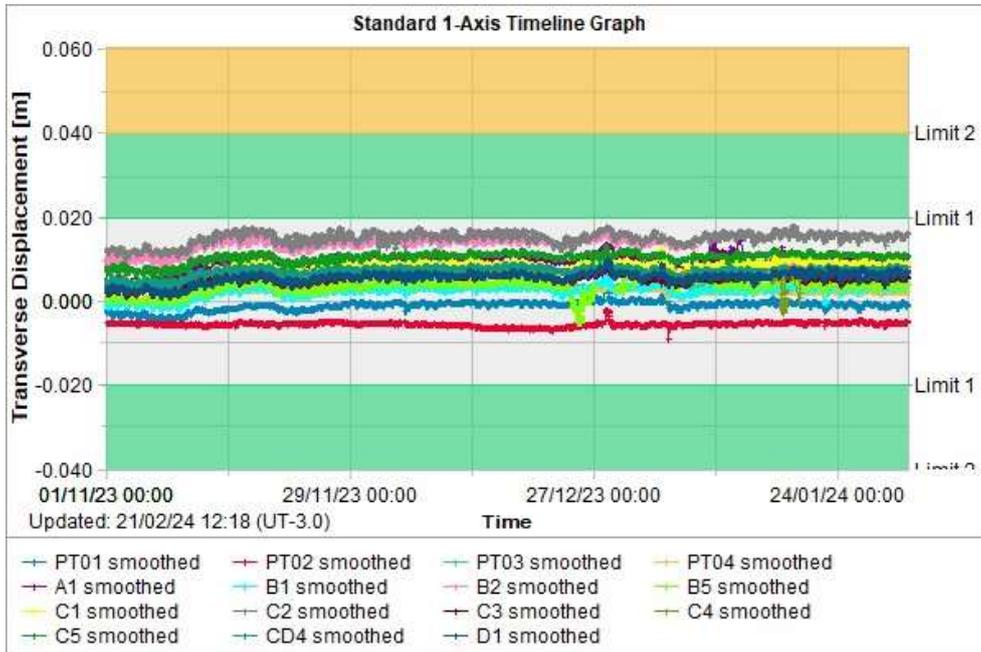
Para controle de deslocamento em superfície, atualmente, existem 30 prismas fixos instalados no maciço da barragem e monitorados por uma estação robótica fixa instalada no terreno natural à jusante da barragem conforme Figura 5.11.



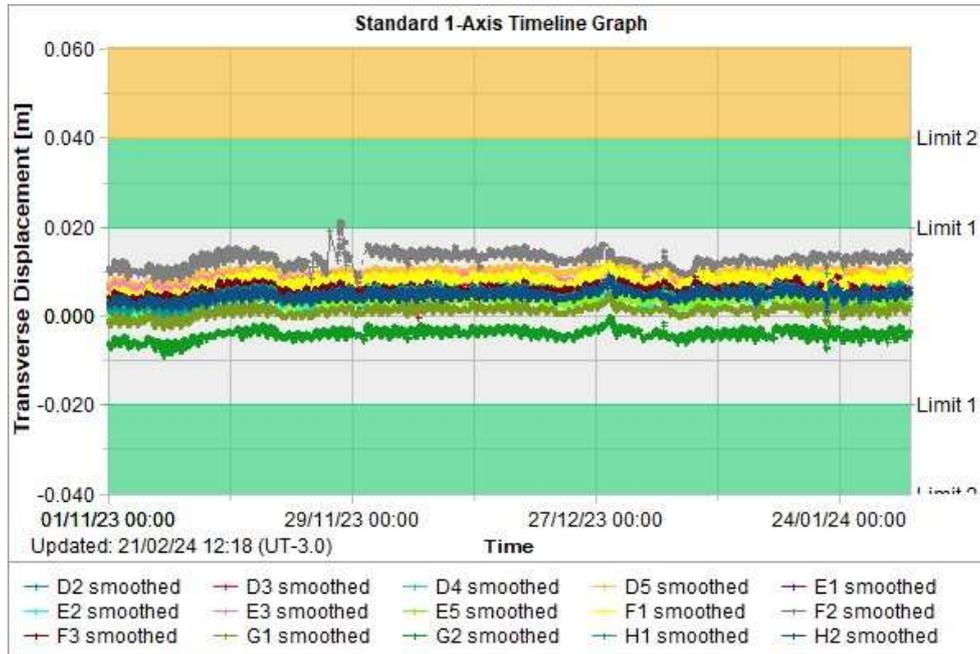
**Figura 5.52** – Registros deslocamentos verticais dos prismas.



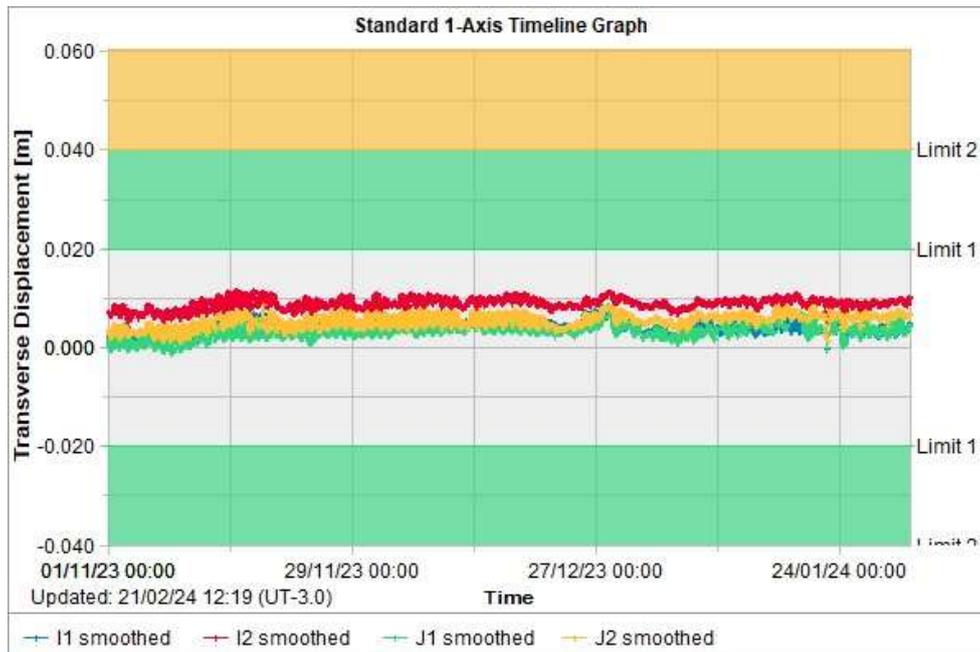
**Figura 5.53** – Registros vetores deslocamento dos prismas.



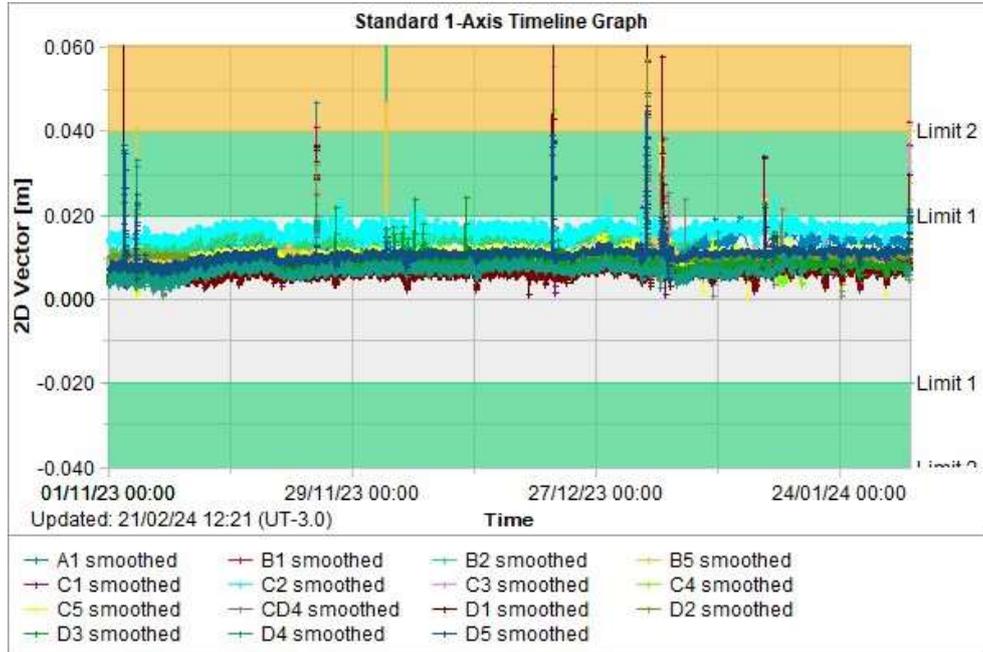
**Figura 5.54** – Registros parciais das leituras dos prismas – Transverse Displacement.



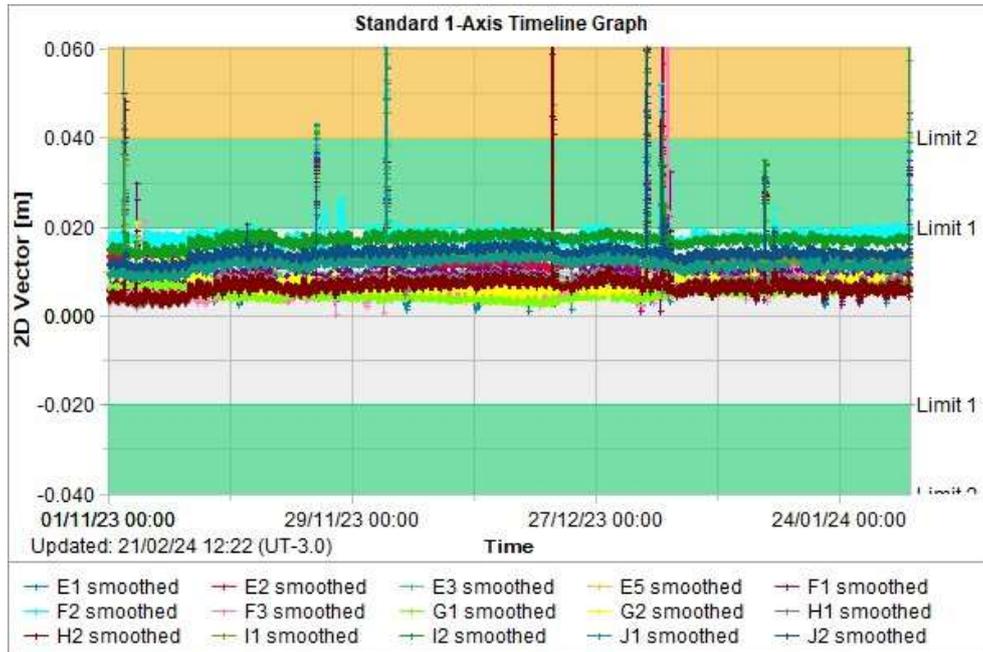
**Figura 5.55** – Registros parciais das leituras dos prismas – Transverse Displacement.



**Figura 5.56** – Registros parciais das leituras dos prismas – Transverse Displacement.



**Figura 5.57** – Registros parciais das leituras dos prismas – 2D Vector.



**Figura 5.58** – Registros parciais das leituras dos prismas – 2D Vector.

As leituras de deslocamento vertical (Figura 5.52) apontam que a barragem tem um deslocamento acumulado menor que 2,0 cm, que pode ser considerado como uma movimentação baixa. Conforme esperado, tem-se uma maior concentração de recalques na porção central do maciço.

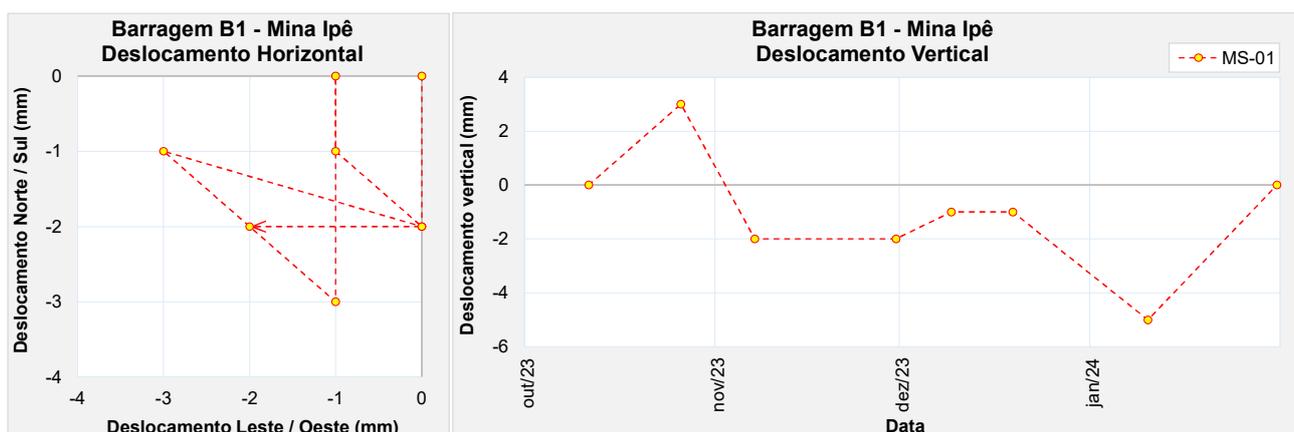
Em relação às leituras dos deslocamentos horizontais, estas indicam em geral, no período avaliado (novembro/2023 a janeiro/2024), pequenos deslocamentos transversais, dentro dos parâmetros de normalidade dos instrumentos determinados pela equipe da MMI com a equipe da Leica Geosystems (fornecedora dos equipamentos de medição). Já no caso dos gráficos “2D Vector”, foram verificadas algumas leituras com picos acima do limite 1 definido para os instrumentos, mas retornando em seguida a valores dentro dos limites normais. Sendo, desta forma, considerados como erros de leitura.

- **Marcos de Controle de Deslocamento**

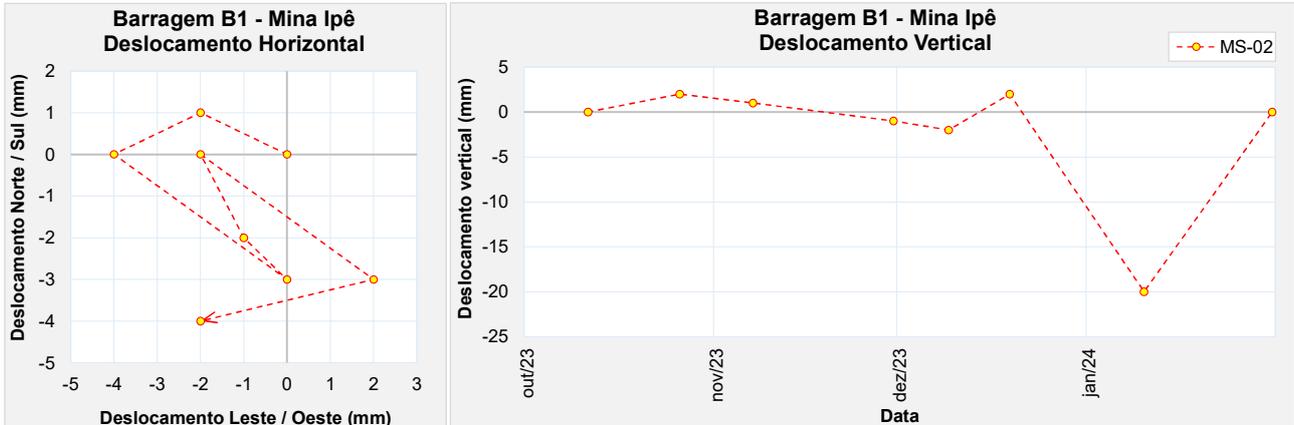
Atualmente na barragem existem 4 marcos de controle de deslocamento instalados na estrutura, como pode ser visto na Tabela 5.2.

Na 1ª quinzena de outubro de 2023, a equipe de topografia da MMI informou que foi realizada a calibração das estações totais e dessa forma foi necessário o recadastramento das hastes com as leituras do dia 11/10/2023.

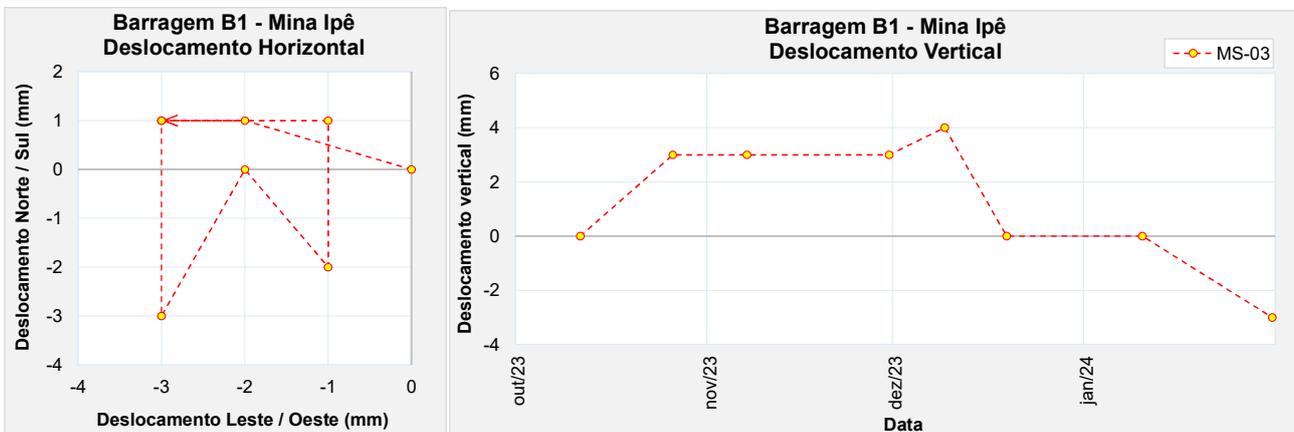
A partir da análise das leituras dos marcos de controle pode-se considerar que as movimentações verticais e horizontais no maciço são muito pequenas. Os valores acumulados observados, horizontais menores que 5 mm e verticais menores que 3 mm, são em parte devidos provavelmente aos erros normais de leitura (“serrilhado”), em função da referência de nível e do equipamento utilizado e sua precisão.



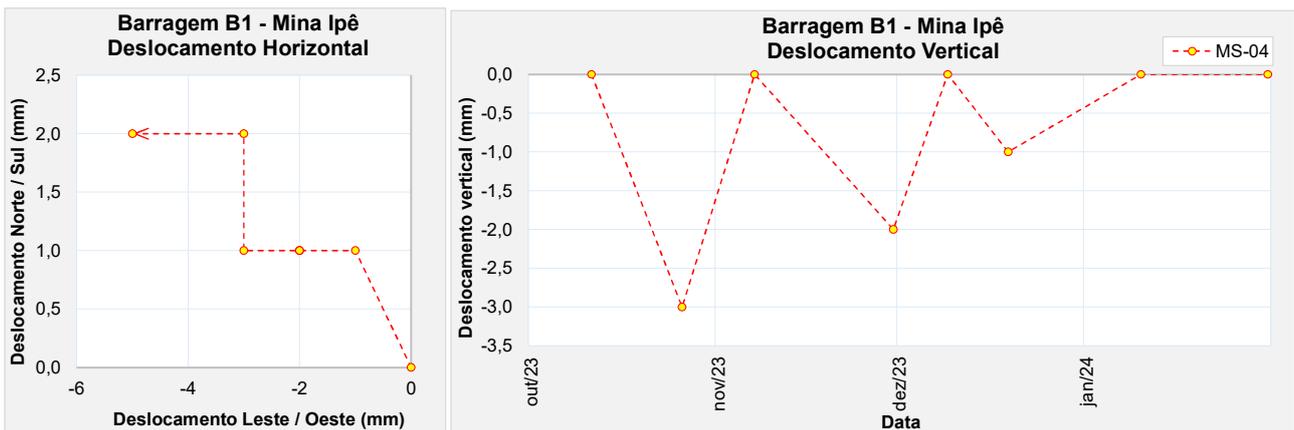
**Figura 5.59** – Marco de controle de deformação – MS-01.



**Figura 5.60** – Marco de controle de deformação – MS-02.



**Figura 5.61** – Marco de controle de deformação – MS-03.



**Figura 5.62** – Marco de controle de deformação – MS-04.

#### 5.6.4 Análise de Estabilidade

Este item apresenta o resultado das análises de estabilidade realizadas para a barragem no período avaliado (novembro/2023 a janeiro/2024).

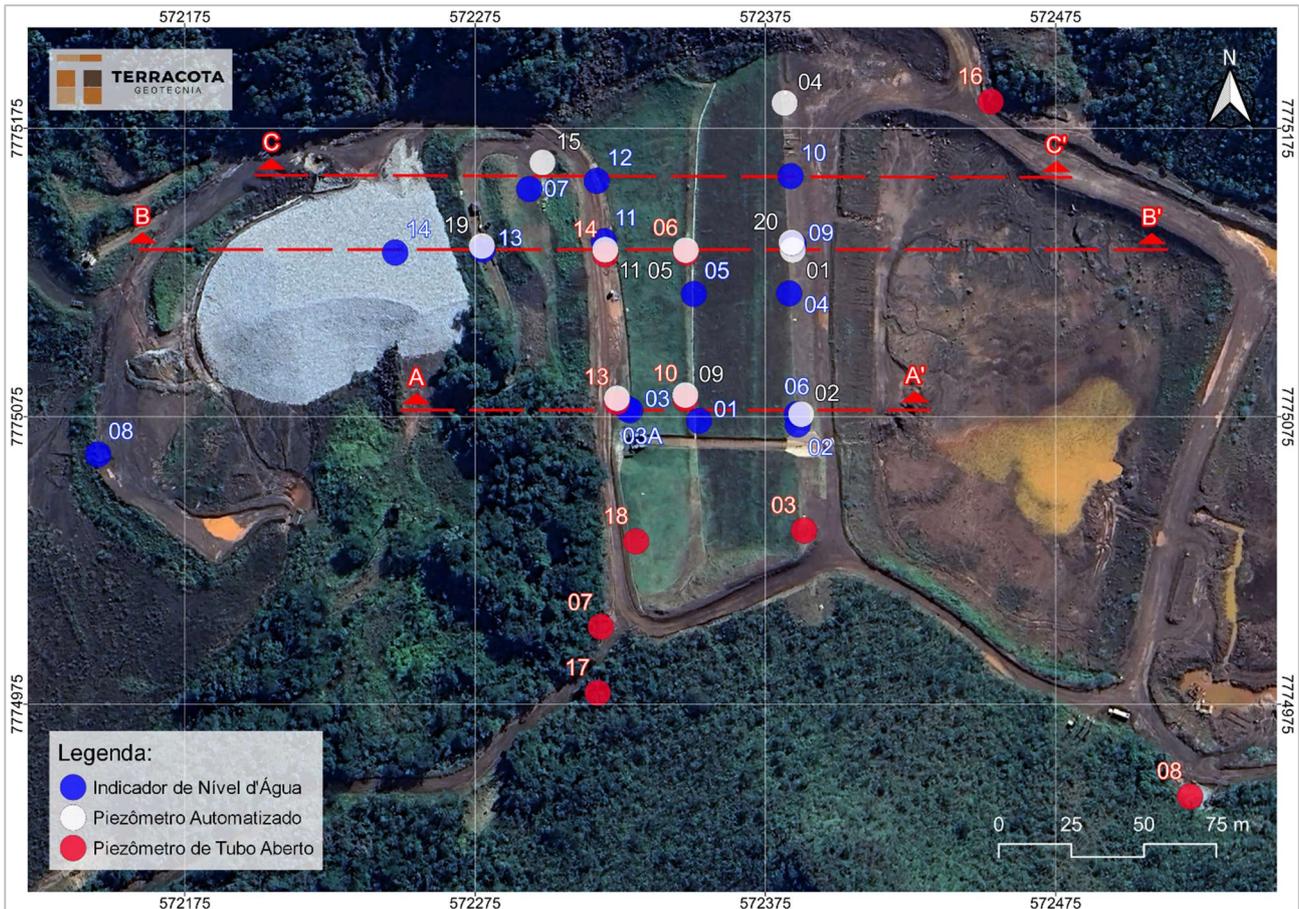
A análise de estabilidade foi realizada conforme norma NBR 13.028/2017, a partir do software Slide da empresa Rocscience. Foi utilizada a teoria de equilíbrio limite, através do método de Morgenstern-Price (M-P), adotando-se o critério de ruptura de Mohr-Coulomb em condições de carregamento drenado e não drenado.

Foram analisadas as superfícies de rupturas do tipo plano-circulares otimizadas, considerando buscas locais e globais, sendo sempre apresentado o menor valor de fator de segurança obtido.

#### **5.6.4.1 Premissas adotadas nas Simulações**

As análises aqui apresentadas foram elaboradas considerando a geometria da estrutura obtida a partir do levantamento topográfico mais atual, realizado em novembro/2021 (documento B1\_IPE\_16NOV21.dwg), acrescido do levantamento As Built da berma de reforço construída a jusante da estrutura (CAD\_REFORÇO\_B1IPE\_14MAR23.dwg). A estratigrafia das seções transversais de análise foi definida pela DF+ Consultoria Geotécnica e Recursos Hídricos no âmbito do projeto conceitual de descaracterização, a partir da interpretação de uma extensa campanha de sondagens SPT e ensaios CPTu executada na barragem.

Na Figura 5.63 é apresentada a locação em planta das seções e instrumentação de controle utilizadas nas análises de estabilidade.



**Figura 5.63** – Seções Instrumentadas Barragem B1 – Mina Ipê – Planta.

As condições consideradas nas análises de estabilidade foram os carregamentos drenado e não drenados de pico e liquefeito. Os estudos realizados para definir o comportamento dos rejeitos presentes nas seções de análise indicaram que o rejeito do reservatório e o rejeito antigo presente na fundação da barragem têm comportamento contrátil, ou seja, geram excesso de poropressão positiva na ruptura. Para este tipo de material, a análise não drenada representa a condição crítica de carregamento.

Os fatores de segurança obtidos nas análises de estabilidade foram comparados aos valores de referência sugeridos por normas e legislações vigentes, a depender do tipo de carregamento, conforme abaixo:

- Análises drenadas: NBR 13.028/2017 (**FS ≥ 1,5**);
- Análises não drenadas com parâmetro de pico: Resolução ANM 95/2022 (**FS ≥ 1,3**);
- Análises com carregamento pseudo-estático: CDA/2014 (**FS ≥ 1,0**) e NBR 13.028/2017 (**FS ≥ 1,1**);
- Análises não drenadas com parâmetro liquefeito: Termo de Referência para Descaracterização de Barragens (**FS ≥ 1,1**) e ANCOLD 2012 (**FS ≥ 1,0**);

A Tabela 5.3 apresenta as premissas adotadas para a realização da análise de estabilidade da barragem atendendo às normas e legislação vigentes e boas práticas de engenharia.

**Tabela 5.3** – Premissas adotadas nas análises de estabilidade.

Caso Estudado		Critério para FS	Parâmetros de Resistência do Modelo				
Nível de Água	Análises		Rejeitos				Solo / Rocha
			Contrátil		Dilatante		
			Saturado	Não Saturado			
Regime Permanente (Freática Atual)	Drenada	1,5	Parâmetro Efetivo	Parâmetro Efetivo	Parâmetro Efetivo	Parâmetro Efetivo	
	Não drenada (Pico)	1,3	Resistência Não Drenada de Pico	Parâmetro Efetivo	Parâmetro Efetivo	Parâmetro Efetivo	
	Residual (Liquefeito)	1,1	Resistência Não Drenada Residual	Parâmetro Efetivo	Parâmetro Efetivo	Parâmetro Efetivo	
	Sismo (Pseudo-estática)	1,0 a 1,1	Resistência Não Drenada de Pico	Parâmetro Efetivo	Parâmetro Efetivo	Parâmetro Efetivo	

Os critérios adotados nas análises para condição drenada e condições com sismo (pseudo-estática) atendem a requisitos definidos pela norma técnica brasileira NBR 13.028/2017 da ABNT (Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água) e Canadian Dam Association (CDA, 2014). Os critérios adotados na análise para condição não drenada (parâmetro de pico) seguem recomendação da Resolução 95/2022 da ANM.

Os critérios adotados na análise na condição residual ou liquefeito (situação pós-liquefação) buscam seguir as melhores práticas de engenharia apresentadas pelo Canadian Dam Association (CDA, 2014) e pelo Comitê Nacional Australiano de Grandes Barragens (ANCOLD, 2012). Atualmente também está definido como critério para início das obras de descaracterização incluído no Termo de Referência para Descaracterização de Barragens Alteadas pelo Método de Montante (SEMAD/FEAM).

#### 5.6.4.2 Sismicidade do Local da Barragem

Em maio de 2022 foi elaborado pela empresa CREAR Engenharia uma análise de estudo sísmico específico para determinação do peak ground acceleration (PGA) a ser adotado nas análises de estabilidade que consideram carregamento pseudo-estático (sísmico). O estudo se constitui em um tratamento probabilístico elaborado a partir dos dados de eventos sísmicos registrados na região, levando em consideração as características geológicas e geométricas do entorno. O procedimento adotado foi o desenvolvido por Cornell (1968).

O estudo da CREAR utilizou como base de dados as informações compiladas pelo Centro de Sismologia da USP, que conta com a colaboração da Universidade de Brasília (UNB), da Universidade do Rio Grande do Norte e Rede Sismográfica Brasileira. A Figura 5.64 apresenta a distribuição dos sismógrafos existentes no território nacional.



**Figura 5.64** – Rede sismológica brasileira (<http://www.rsbr.gov.br>).

No estudo foram consideradas também curvas de atenuação, tendo em vista que as condições do material por onde se propagam as ondas sísmicas afetam significativamente a propagação das ondas superficiais. A CREAR adotou as curvas elaboradas nos estudos de Yenier e Atkinson (2015) que foram desenvolvidas para a região leste dos Estados Unidos, que constitui uma região continental estável, similar as características sísmicas do território brasileiro e da região estudada.

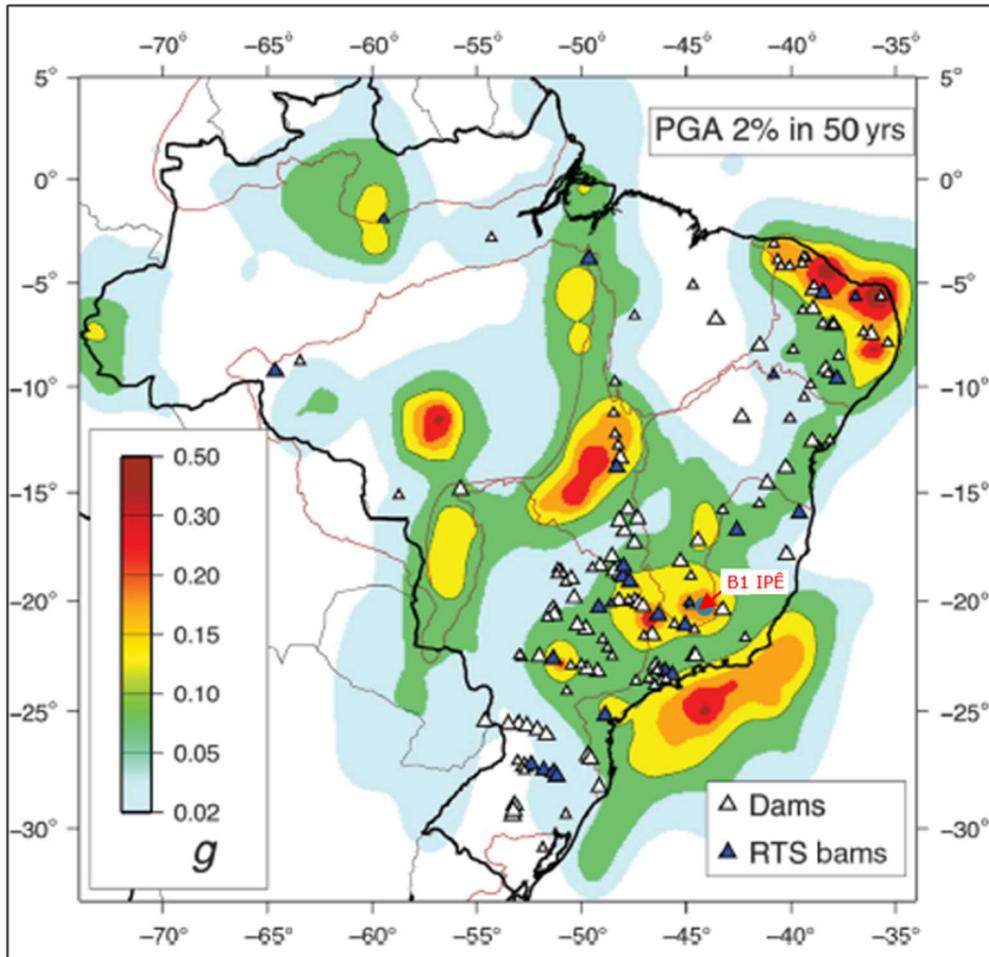
Ao todo foram analisados 06 (seis) modelos que variaram as fontes de propagação, a referência para estimativa da magnitude do sismo e três diferentes curvas de atenuação. A Tabela 5.4 apresenta um resumo dos resultados obtidos, onde se observa que o Modelo 3 [CSF + QF (1)] foi o que resultou no maior valor de aceleração dinâmica.

**Tabela 5.4** – Resumo das acelerações de pico em função dos períodos de retorno  
(Fonte: IPE.OP.RL.8000.GT.20.257).

Modelo	Valores máximos por período de retorno (anos)					Máximo absoluto
	500	1.000	2.500	5.000	10.000	
	PGA	PGA	PGA	PGA	PGA	PGA
CSF	2.2%	2.8%	5.0%	7.4%	10.5%	10.5%
R320	2.2%	2.7%	4.6%	6.7%	9.5%	9.5%
<b>CSF+QF(1)</b>	<b>9.7%</b>	<b>9.5%</b>	<b>13.4%</b>	<b>16.0%</b>	<b>18.3%</b>	<b>18.3%</b>
CSF+QF(2)	6.7%	6.6%	9.4%	11.3%	13.1%	13.1%
CSF+QF(3)	2.2%	5.2%	7.4%	9.0%	10.6%	10.6%
CSF+QF(4)	2.2%	4.4%	6.2%	7.7%	9.0%	9.0%

Outra referência para avaliação do comportamento sísmico do local é o artigo “*Reservoir-Triggered Seismicity in Brazil: Statistical Characteristics in a Midplate Environment*” publicado por (Assumpção et al., 2018) no qual é apresentado o Mapa de Ameaça Sísmica Brasileiro que contém a distribuição das acelerações de pico em rocha com probabilidade de excedência de 2% durante 50 anos, correspondendo a um período de recorrência de 2.475 anos (Figura 5.65).

A localização da barragem no mapa de Assumpção et al. fornece valor de PGA em torno de 0,15g, compatível com o valor máximo de 0,134g definido pelo estudo da CREAR.



**Figura 5.65** – Mapa de Ameaça Sísmica Brasileiro com probabilidade de excedência de 2% durante 50 anos (Assumpção Et al., 2018).

Para definição do período de retorno adequado para embasar as análises de estabilidade da Barragem B1 – Mina Ipê, considerando a contribuição do efeito sísmico, utilizou-se como premissa a norma técnica elaborada pela Canadian Dam Association (CDA) – “*Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams*” (2014), em conformidade ao recomendado pela NBR 13.028/2017 no seu tópico 5.3.6, o qual faz referência aos estudos sísmicos.

A CDA classifica as barragens em função da população que pode ser afetada pela ruptura da estrutura, dos danos aos valores socioambientais, bem como aos danos causados à infraestrutura e a economia local, conforme Tabela 5.5.

**Tabela 5.5** – Classificação da barragem de acordo com CDA (2014).

Classificação da Barragem	População em Risco (Nota 1)	Perdas Incrementais		
		Perdas de Vidas (Nota 2)	Valores Ambientais e Culturais	Infraestrutura e Economia
Baixo	Nenhum	0	Perda mínima a curto prazo. Nenhuma perda a longo prazo.	Baixas perdas econômicas; área contém infraestrutura ou serviços limitados
Significativo	Apenas temporária	Não especificado	Sem perdas significativas, ou deterioração do habitat e peixes ou da vida selvagem.	Perdas de instalações recreativas, locais de trabalho sazonais e estradas pouco utilizadas.
			Apenas perdas marginais do habitat.  Restauração ou compensação da condição é altamente possível.	
Alto	Permanente	10 ou menos	Perdas significativas ou deterioração de habitat importante de peixes ou de vida selvagem.	Perdas econômicas altas, afetando infraestruturas, transportes públicos e estabelecimentos comerciais.
			Restauração ou compensação da condição é altamente possível.	
<b>Muito Alta</b>	<b>Permanente</b>	<b>100 ou menos</b>	Perda significativa ou deterioração de habitat crítico de peixes ou de vida selvagem.	Perdas econômicas muito altas, afetando importantes infraestruturas ou serviços (ex. Rodovias, estabelecimentos industriais, depósitos de substâncias perigosas).
			Restauração ou compensação da condição é possível, mas impraticável.	
Extrema	Permanente	Mais de 100	Grandes perdas de habitat crítico de peixes ou de vida selvagem.	Perdas econômicas extremas, afetando infraestruturas críticas ou serviços (ex. hospitais, grandes complexos industriais, grandes depósitos de substâncias perigosas).
			Restauração ou compensação da condição impossível.	

**Nota 1.** Definições para população em risco:

**Nenhum** – Não há população identificável em risco, portanto não há possibilidade de perda de vida a não ser devido ao acaso imprevisível.

**Temporário** – As pessoas estão apenas temporariamente na zona de inundação do rompimento da barragem (por exemplo, uso sazonal de casas de campo, passagem em rotas de transporte, participação em atividades recreativas).

**Permanente** – A população em risco normalmente está localizada na zona de inundação da ruptura da barragem (como residentes permanentes); são propostas três classes de consequências (alta, muito alta, extrema) para permitir estimativas mais detalhadas da potencial perda de vidas (para auxiliar na tomada de decisões se for realizada a análise apropriada).

**Nota 2.** Definições para população em risco:

**Não especificado** – O nível apropriado de segurança exigido em uma barragem onde as pessoas estão temporariamente em risco depende do número de pessoas, do tempo de exposição, da natureza de sua atividade e de outras condições.

De acordo com os critérios da Tabela 5.5, em função das análises dos dados provenientes da Tabela 4.8 de classificação quanto ao Potencial de Dano Ambiental (PDA) vinculada à população à jusante, a barragem foi classificada em **Muito Alta**. A partir desta classificação, seguindo as

premissas determinadas pela CDA (2014), as quais estão apresentadas na Tabela 5.6, o PGA de 0,1585g foi obtido considerando a média entre os valores de PGA encontrados utilizando o modelo [CSF + QF (1)] com períodos de retorno de 2.500 e 10.000 anos.

**Tabela 5.6** – Período de Retorno de sismo em função da classe da barragem - CDA (2014).

Classe da Barragem	Probabilidade Anual de Excedência (PAE) – Terremotos (Nota 1)
Baixa	1/1000
Significativo	Entre 1/100 e 1/1.000
Alta	1/2.475 (Nota 2)
Muito Alta	1/2 Entre 1/2.475 (nota 2) e 1/10.000 ou SMP (Nota 3)
Extrema	1/10.000 ou SMP (Nota 3)

Siglas: SMP (Sismo Máximo Provável); PAE (Probabilidade Anual de Excedência).

**Nota 1.** 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).

**Nota 2.** 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).

**Nota 3.** SMP (Sismo Máximo Provável) está associado ao PAE (Probabilidade Anual de Excedência).

Assim, adotando-se um valor de 0,5 PGA, conforme indicado na publicação “*Rationalizing the Seismic Coefficient Method*” (Hynes-Griffin, M.E. & Franklin, A.G., 1984), tem-se uma aceleração horizontal igual a 0,079g. Os referidos autores também concluíram que enquanto o fator de segurança fosse igual ou superior a 1,0 com um coeficiente sísmico de 0,5 PGA, as eventuais deformações ocorreriam em níveis aceitáveis. Para a componente vertical adota-se um valor correspondente a 60% da componente horizontal, seguindo proporção indicada na publicação Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas (Eletrobrás, 2003), resultando num valor igual a 0,047g que deve ser simulada nos dois sentidos, ou seja, de baixo para cima e de cima para baixo.

Conforme projeto de descaracterização da estrutura, a Barragem B1 - Mina Ipê deverá ser completamente removida nos próximos dois anos. Mantendo-se a probabilidade de excedência do sismo em 2%, referência ao mapa de Assumpção Et al., (2018), a TERRACOTA calculou o período de retorno do sismo relacionado à referida probabilidade, considerando a vida útil da estrutura igual a 2 anos, utilizando a Equação 5.1. Foi encontrado período de retorno equivalente a um TR de 100 anos.

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{t}\right)^n$$

Equação 5.1

Em que:

- P é a probabilidade de excedência do sismo;
- t é o período de retorno;
- n é o tempo de vida útil da estrutura.

Além do critério da CDA e fazendo-se uma análise quanto ao aspecto de vida útil restante da estrutura, a TERRACOTA utilizará também nas análises de estabilidade o sismo correspondente ao TR de 1.000 anos (mais conservador que o calculado), que resulta numa probabilidade de excedência de apenas 0,2%. Desta forma, adotando-se um valor de 0,5 PGA sobre o valor obtido da Tabela 5.4, tem-se uma aceleração horizontal igual a 0,048g e uma componente vertical igual a 0,029g.

#### 5.6.4.3 Definição da Condição da Superfície Freática

Para definição da condição da superfície freática utilizada na análise de estabilidade foram considerados os instrumentos instalados no maciço e na fundação da Barragem B1 - Mina Ipê, ao longo das três seções de controle existentes na estrutura.

A Tabela 5.7 apresenta as leituras da instrumentação na data de referência deste relatório, e os valores adotados nas análises de estabilidade para cálculo do fator de segurança.

**Tabela 5.7** – Instrumentação – Valores lidos (29/01/2024) e valores adotados.

Seção	Instrumento	Cota de fundo (m)	Elevação lida (m)	Elevação adotada (m)
A-A'	PZ-02 <sup>(2)</sup>	1.022,43	1.023,15	1.023,50 <sup>(4)</sup>
	INA-02	1.030,77	Seco	-
	INA-06	1.021,41	1.023,28	1.023,28
	INA-01	1.031,86	Seco	-
	PZ-09 <sup>(1)</sup>	1.017,02	1.017,67	1.017,67
	PZ-10	1.025,33	Seco	-
	INA-03	1.029,53	Seco	-
	INA-03A	1.015,02	1.015,68	1.015,68
	PZ-12 <sup>(1)</sup>	1.010,87	1.014,01	1.014,01
B-B'	PZ-13	1.023,95	Seco	-
	INA-09	1.006,45	1.017,33	1.017,33
	PZ-20 <sup>(3)</sup>	1.006,15	1.015,37	1.017,33 <sup>(4)</sup>
	PZ-01 <sup>(1)</sup>	999,45	1.014,60	1.016,80 <sup>(4)</sup>

Seção	Instrumento	Cota de fundo (m)	Elevação lida (m)	Elevação adotada (m)
	INA-04	1.032,92	Seco	-
	INA-05	1.022,04	Seco	-
	PZ-05 <sup>(2)</sup>	993,47	1.010,11	1.012,00 <sup>(4)</sup>
	PZ-06	998,22	1.011,73	1.011,73
	INA-11	1.000,26	1.007,31	1.009,20 <sup>(4)</sup>
	PZ-11 <sup>(2)</sup>	982,32	1.008,86	1.008,86
	PZ-14	988,35	1.007,92	1.007,92
	INA-13	992,45	1.006,64	1.006,64
	PZ-19 <sup>(3)</sup>	993,23	1.005,99	1.005,99
	INA-14	989,66	1.005,61	1.005,61
C-C'	INA-10	1.022,31	Seco	1.022,31
	INA-12	1.011,61	Seco	1.011,61
	PZ-15 <sup>(1)</sup>	1.009,29	1.009,22	1.009,22
	INA-07	982,17	1.008,66	1.008,66

1- Instrumento automatizado em 2021;

2- Instrumento automatizado em 02/12/2022;

3- Instrumento automatizado em 19/10/2023;

4- Valores adotados através de interpolação visual das leituras dos instrumentos adjacentes para a posição de instalação do referido instrumento.

#### 5.6.4.4 Parâmetros de Resistência

Os parâmetros geotécnicos adotados nas análises de estabilidade para definição dos níveis de controle foram aqueles consolidados e apresentados no documento IPE.OP.RL.8000.GT.20.537, relativo ao relatório de consolidação de dados da Barragem B1 – Mina Ipê, elaborado pela Terracota Geotecnia. No referido documento foram utilizados dados de ensaios de laboratório, ensaios CPTu e sondagens SPT para determinação da resistência drenada e não drenada dos materiais presentes nas seções de análise.

A exceção à regra é o parâmetro de resistência dos blocos de gnaiss utilizados na berma de reforço, que foram modelados a partir da envoltória inferior de LEPS (1973), que se trata de uma referência bibliográfica específica para modelagem do comportamento de blocos.

Os parâmetros de resistência não drenada de pico e liquefeita do rejeito do reservatório e do rejeito antigo da fundação foram definidos a partir dos ensaios CPTu executados nos materiais. Os rejeitos foram modelados com resistência não drenada quando abaixo da linha freática adotada nas análises de estabilidade.

Na Tabela 5.8 apresentam-se os parâmetros geotécnicos utilizados nas análises de estabilidade.

**Tabela 5.8 – Parâmetros geotécnicos dos materiais da barragem e fundação.**

Material	Cor	γ (kN/m <sup>3</sup> )	Parâmetros de Resistência			Referência
			Parâmetros Efetivos		Su/σ' <sub>v</sub> (kPa)	
			c' (kPa)	φ' (°)		
Rejeito Reservatório	Acima do N.A.	25,0	0,0	30,0	-	Correlação com N <sub>SPT</sub>
	Abaixo do N.A. - Pico		-	-	0,23	Interpretação de ensaios de Piezocone
	Abaixo do N.A. - Liquefeito		-	-	0,10	
Rejeito Antigo	Acima do N.A.	26,5	0,0	35,0	-	Correlação com N <sub>SPT</sub>
	Abaixo do N.A. - Pico		-	-	0,27	Interpretação de ensaios de Piezocone
	Abaixo do N.A. - Liquefeito		-	-	0,06	
Maciço	Rejeito Compactado	27,5	7,0	40,0	-	Ensaio de compressão triaxial de laboratório
	Rejeito Semi Compactado	26,5	0,0	40,0	-	
Solo Residual de Filito <sup>(1)</sup>		19	18,0	36,0	-	
Saprolito de Filito		20	20,0	45,0	-	Correlação com N <sub>SPT</sub>
Quartzito Nova Lima		20	400,0	35,0	-	Estimativa bibliografia/projetistas
Filito São		20	Resistência Infinita			
Blocos Lançados		20	Envoltória Leps Inferior			
Enrocamento		22	Envoltória Leps Inferior			

(1) Para as análises não drenadas com carregamento pseudo-estático serão utilizados os parâmetros totais reduzidos de 20% conforme recomenda Hynes-Griffin & Franklin (1984), resultando em c=27,5 kPa e φ=31,6°.

### 5.6.4.5 Resultados

Os resultados das análises de estabilidade realizadas são apresentados na Figura 5.66 a Figura 5.82, destacando-se as superfícies de ruptura global e local que apresentaram os menores fatores de segurança. A Tabela 5.9 apresenta um resumo dos estudos de estabilidade geotécnica.

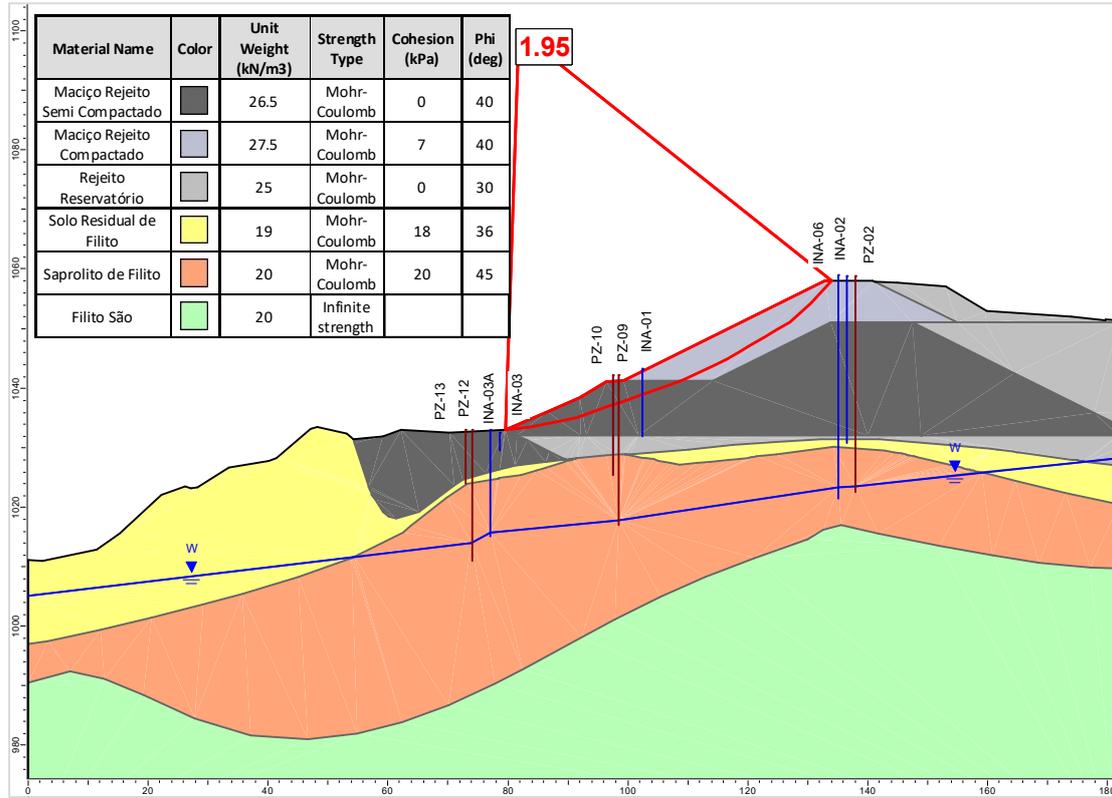
**Tabela 5.9 – Resultado das análises de estabilidade.**

Seção	Data de Referência da Freática	Condição de Carregamento	Parâmetro de Resistência dos Rejeitos	F.S. Recomendado	F.S. Obtido
A-A'	29/01/2024	Drenado	Parâmetro Efetivo	1,50	1,95
		Não Drenado	Resistência não drenada de pico	1,30	1,95
		Não Drenado	Resistência não drenada liquefeito	1,10	1,95
		Não drenado pseudo-estático <sup>(1)</sup> a <sub>h</sub> = 0,079g a <sub>v</sub> = 0,047g	Resistência não drenada de pico	1,00	1,61 (sismo ↑) 1,63 (sismo ↓)

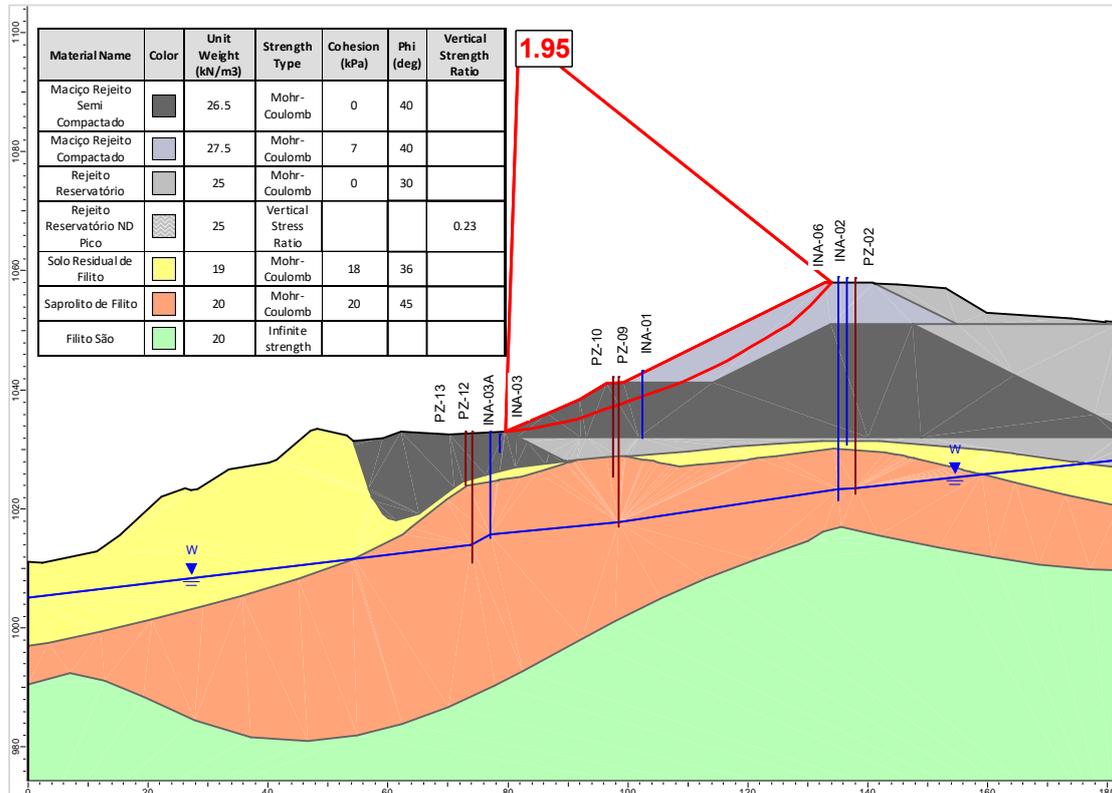
Seção	Data de Referência da Freática	Condição de Carregamento	Parâmetro de Resistência dos Rejeitos	F.S. Recomendado	F.S. Obtido
		Não drenado pseudo-estático <sup>(2)</sup> $a_h = 0,048g$ $a_v = 0,029g$	Resistência não drenada de pico	1,10	1,74 (sismo ↑) 1,74 (sismo ↓)
B-B'	29/01/2024	Drenado	Parâmetro Efetivo	1,50	1,97
		Não Drenado	Resistência não drenada de pico	1,30	1,47
		Não Drenado	Resistência não drenada liquefeito	1,10	0,47
		Não drenado pseudo-estático <sup>(1)</sup> $a_h = 0,079g$ $a_v = 0,047g$	Resistência não drenada de pico	1,00	1,15 (sismo ↑) 1,05 (sismo ↓)
		Não drenado pseudo-estático <sup>(2)</sup> $a_h = 0,048g$ $a_v = 0,029g$	Resistência não drenada de pico	1,10	1,22 (sismo ↑) 1,18 (sismo ↓)
C-C'	29/01/2024	Drenado	Parâmetro Efetivo	1,50	2,01
		Não Drenado	Resistência não drenada de pico	1,30	2,01
		Não Drenado	Resistência não drenada liquefeito	1,10	1,22
		Não drenado pseudo-estático <sup>(1)</sup> $a_h = 0,079g$ $a_v = 0,047g$	Resistência não drenada de pico	1,00	1,63 (sismo ↑) 1,62 (sismo ↓)
		Não drenado pseudo-estático <sup>(2)</sup> $a_h = 0,048g$ $a_v = 0,029g$	Resistência não drenada de pico	1,10	1,77 (sismo ↑) 1,78 (sismo ↓)

(1) - Carregamento pseudo-estático considerando critérios do Canadian Dam Association (CDA, 2014);

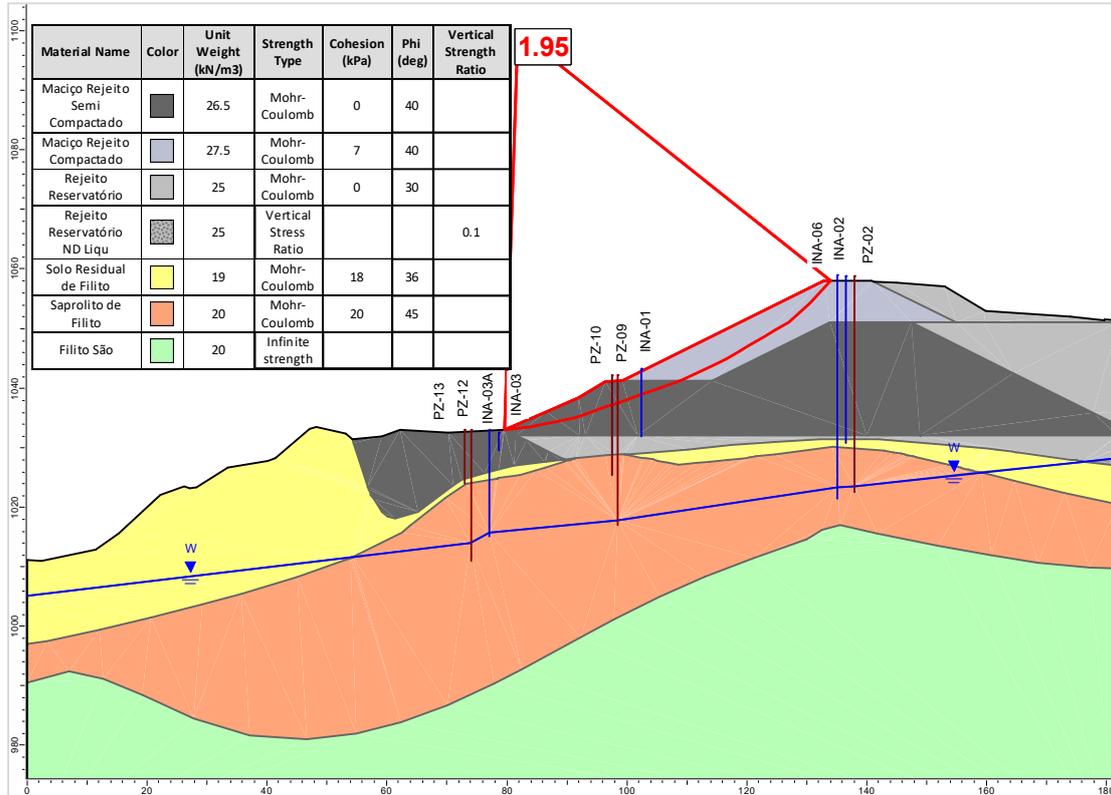
(2) - Carregamento pseudo-estático considerando Probabilidade de Excedência de 0,2% relativo à vida útil remanescente da estrutura de 2 anos até sua completa remoção e Período de Retorno de 1.000 anos.



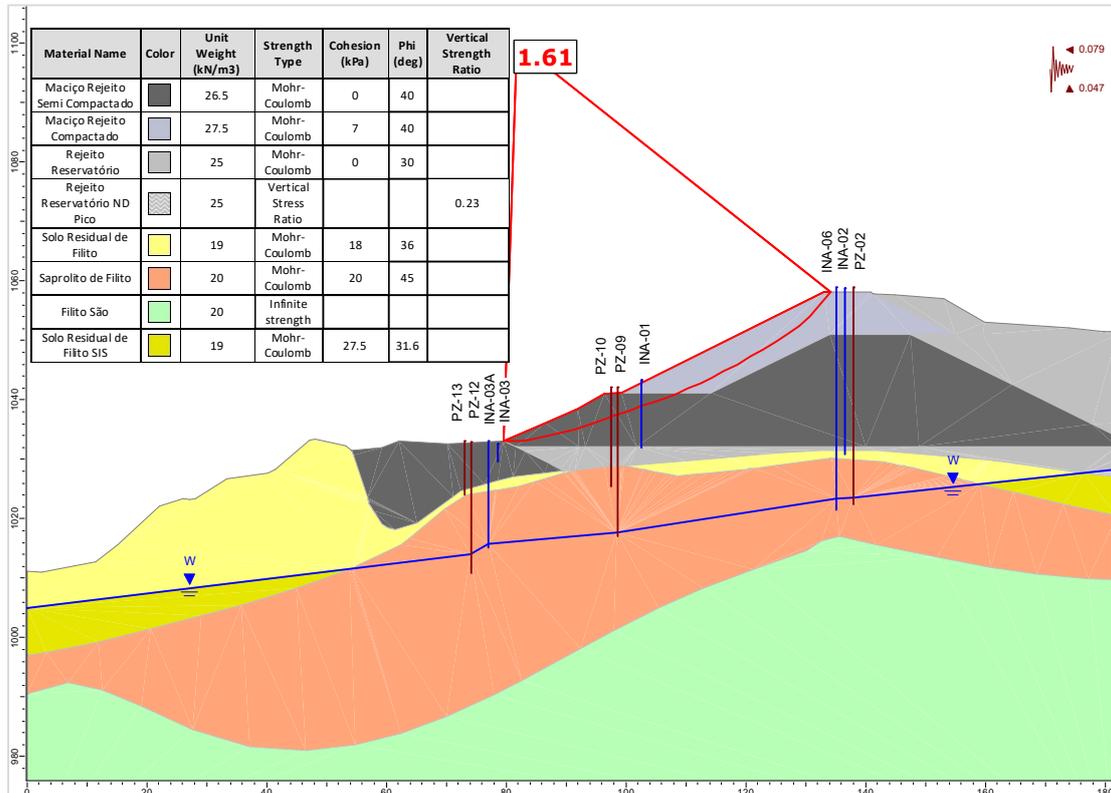
**Figura 5.66** – Seção A-A' – Análise Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024.



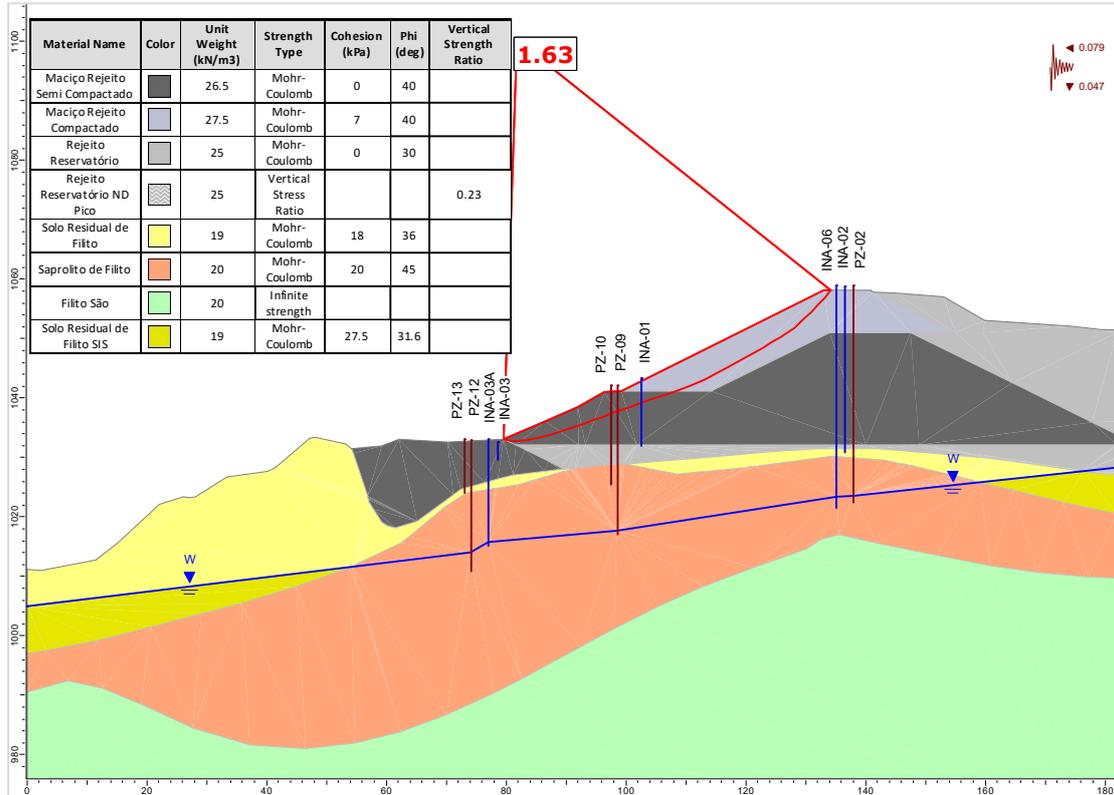
**Figura 5.67** – Seção A-A' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada de pico.



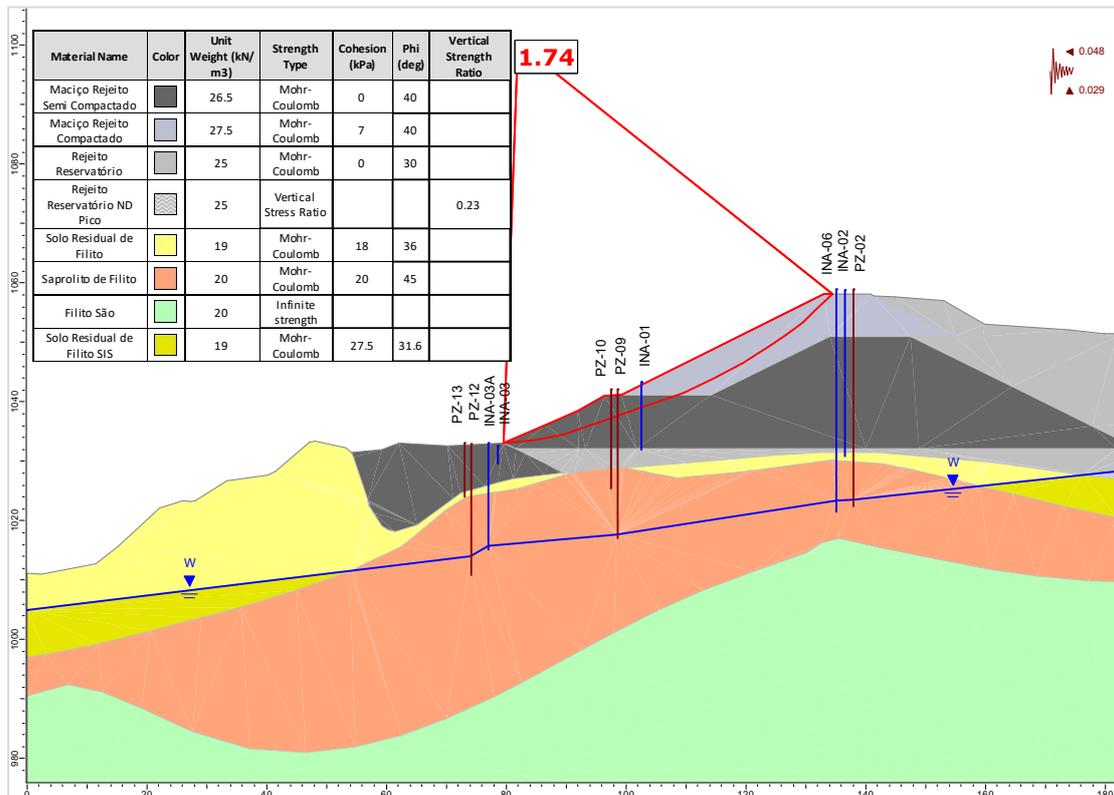
**Figura 5.68** – Seção A-A' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada liquefeito.



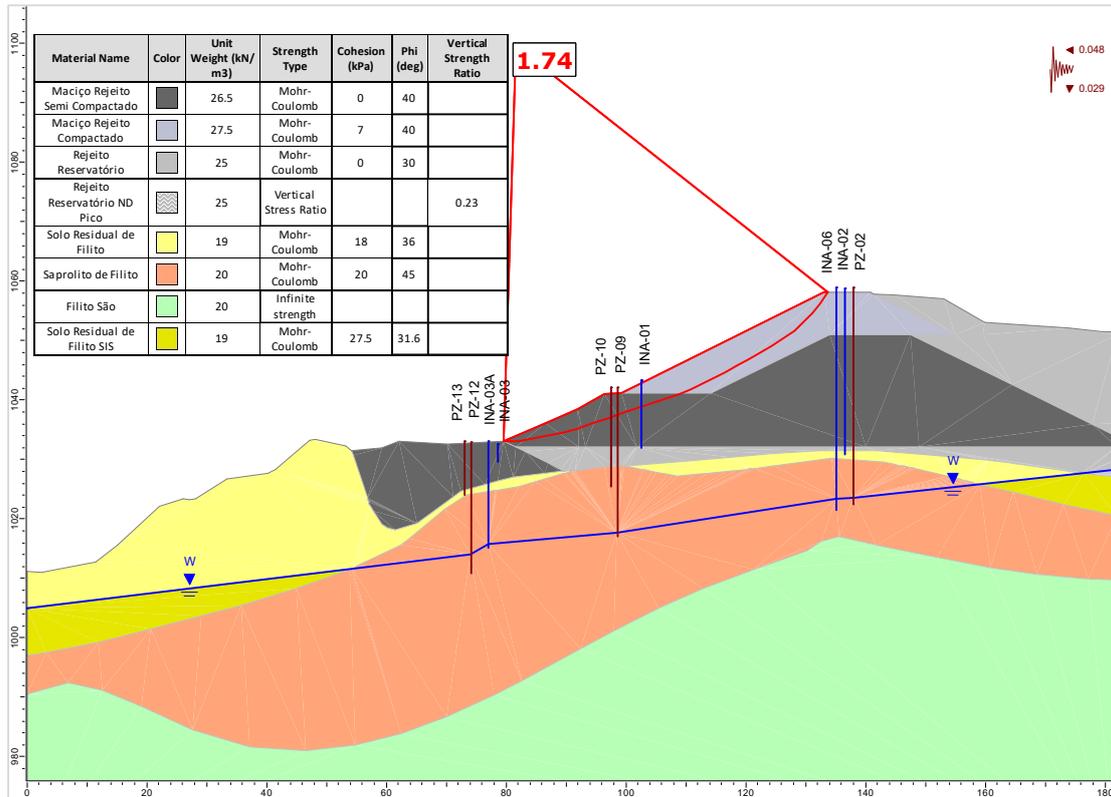
**Figura 5.69** – Seção A-A' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada de pico + sismo ↑ (critério CDA).



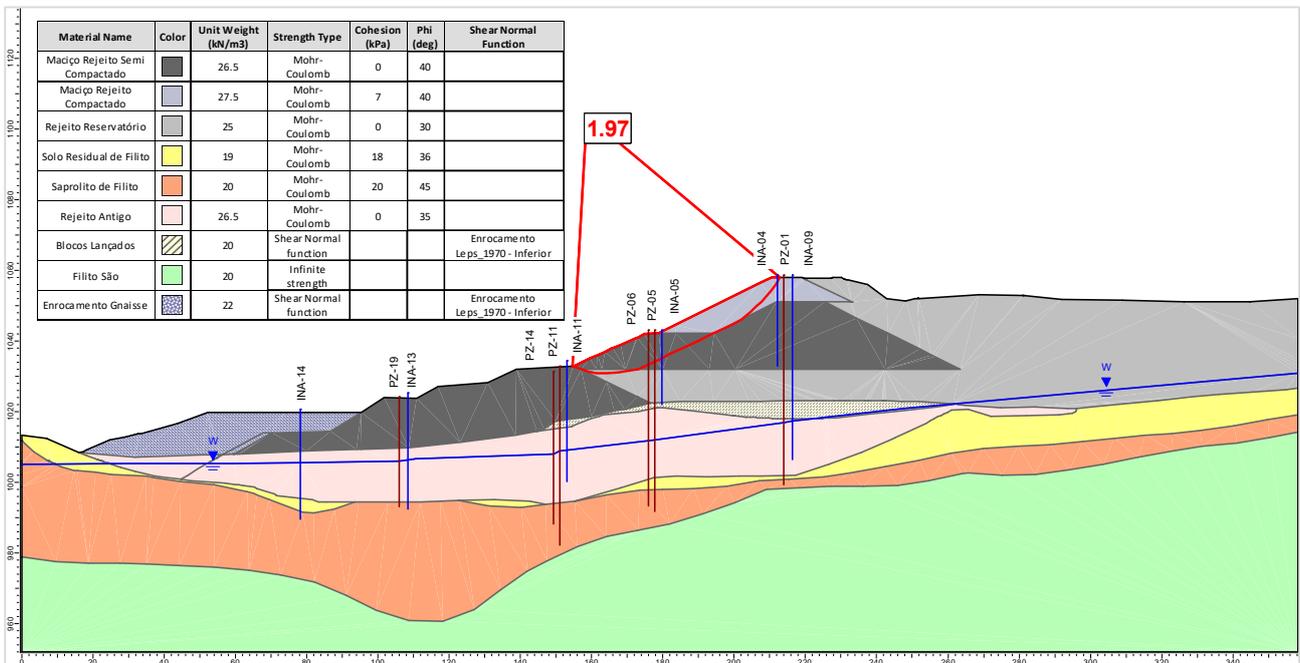
**Figura 5.70** – Seção A-A' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada de pico + sismo ↓ (critério CDA).



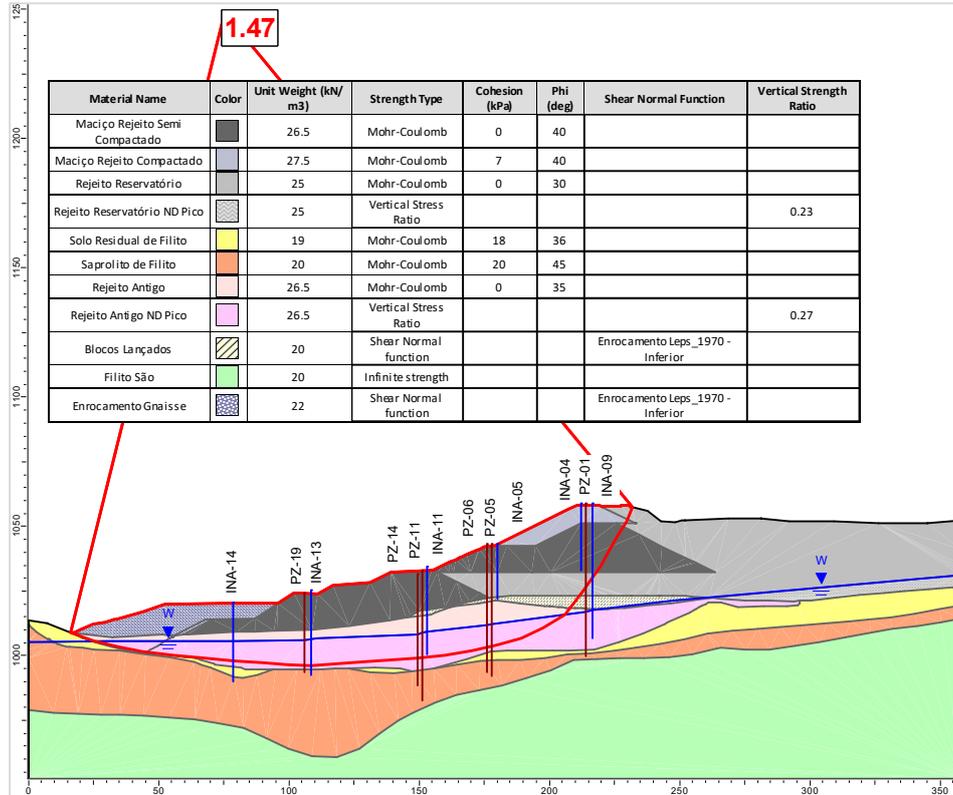
**Figura 5.71** – Seção A-A' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada de pico + sismo ↑ (critério vida útil).



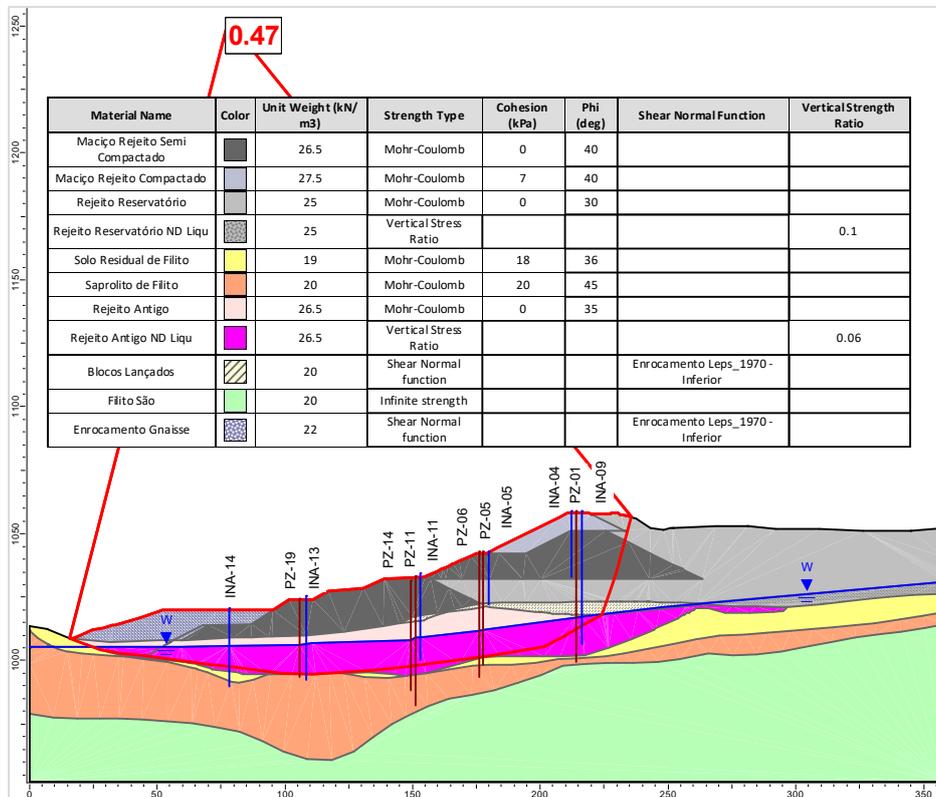
**Figura 5.72 – Seção A-A' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada de pico + sismo ↓ (critério vida útil).**



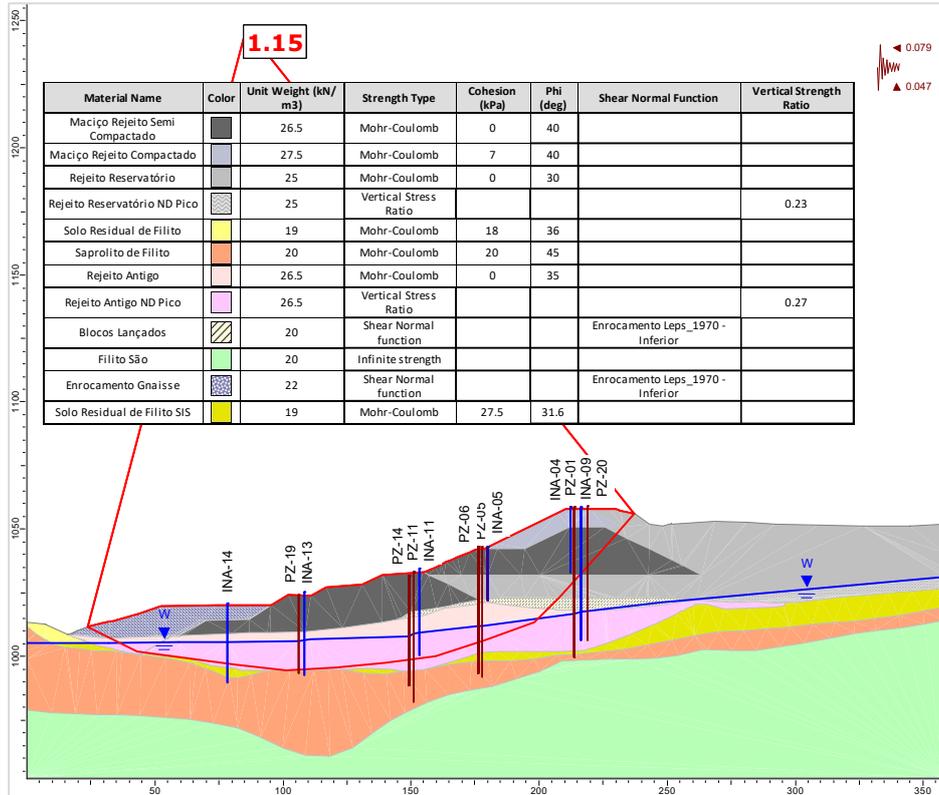
**Figura 5.73 – Seção B-B' – Análise Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024.**



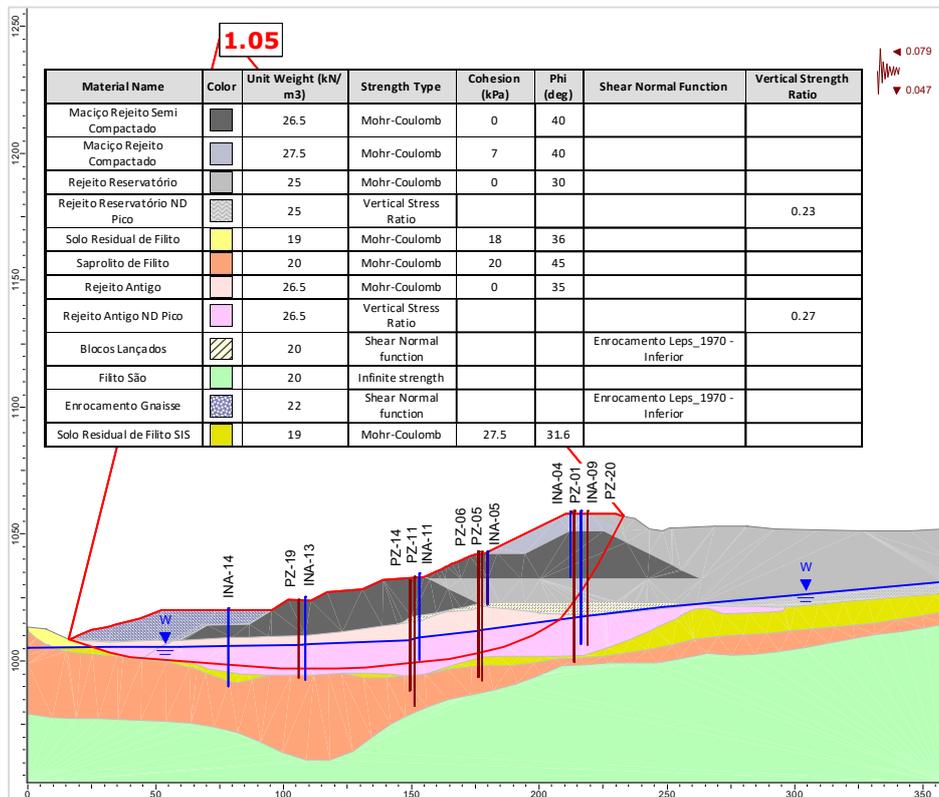
**Figura 5.74** – Seção B-B' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática atual 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada de pico.



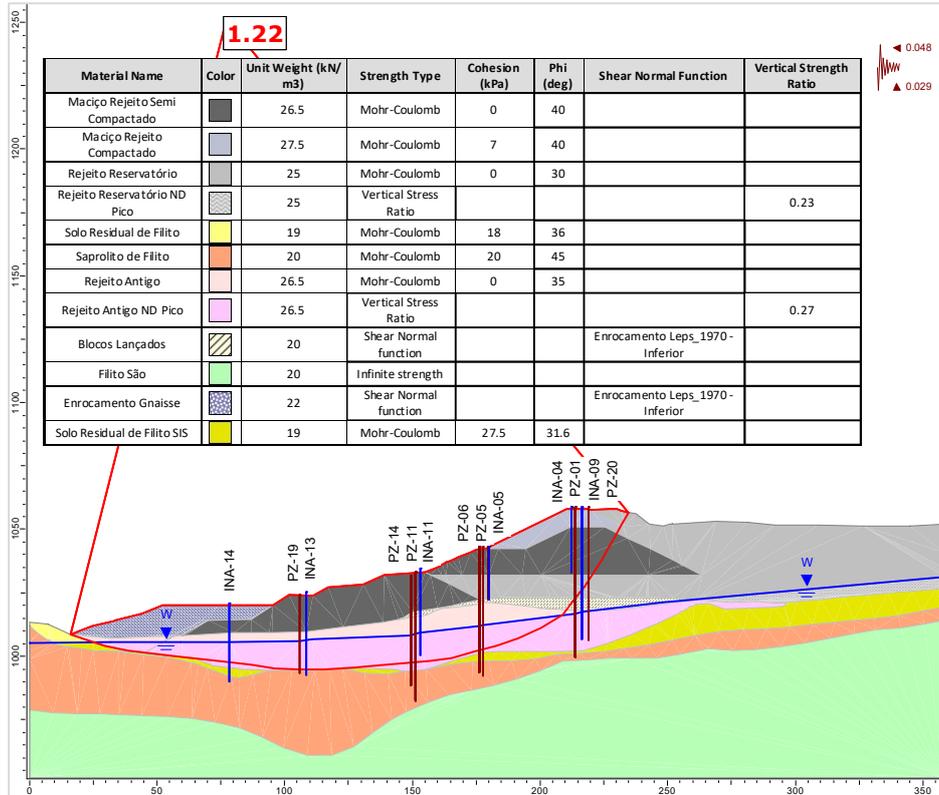
**Figura 5.75** – Seção B-B' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática atual 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada liquefeito.



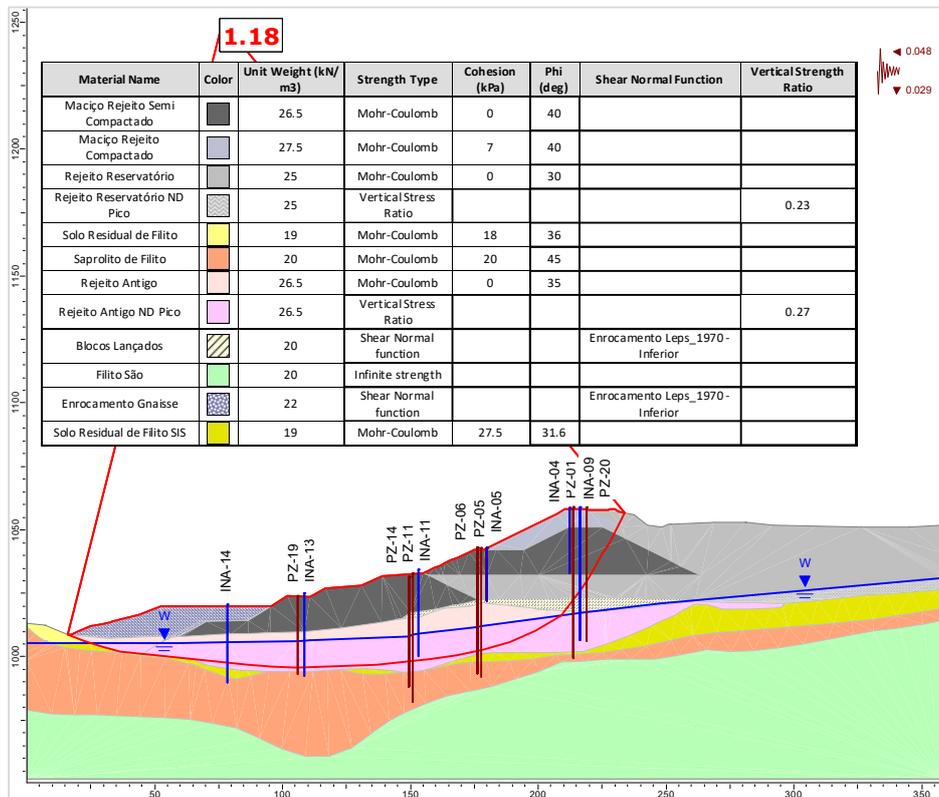
**Figura 5.76** – Seção B-B' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada de pico + sismo ↑ (critério CDA).



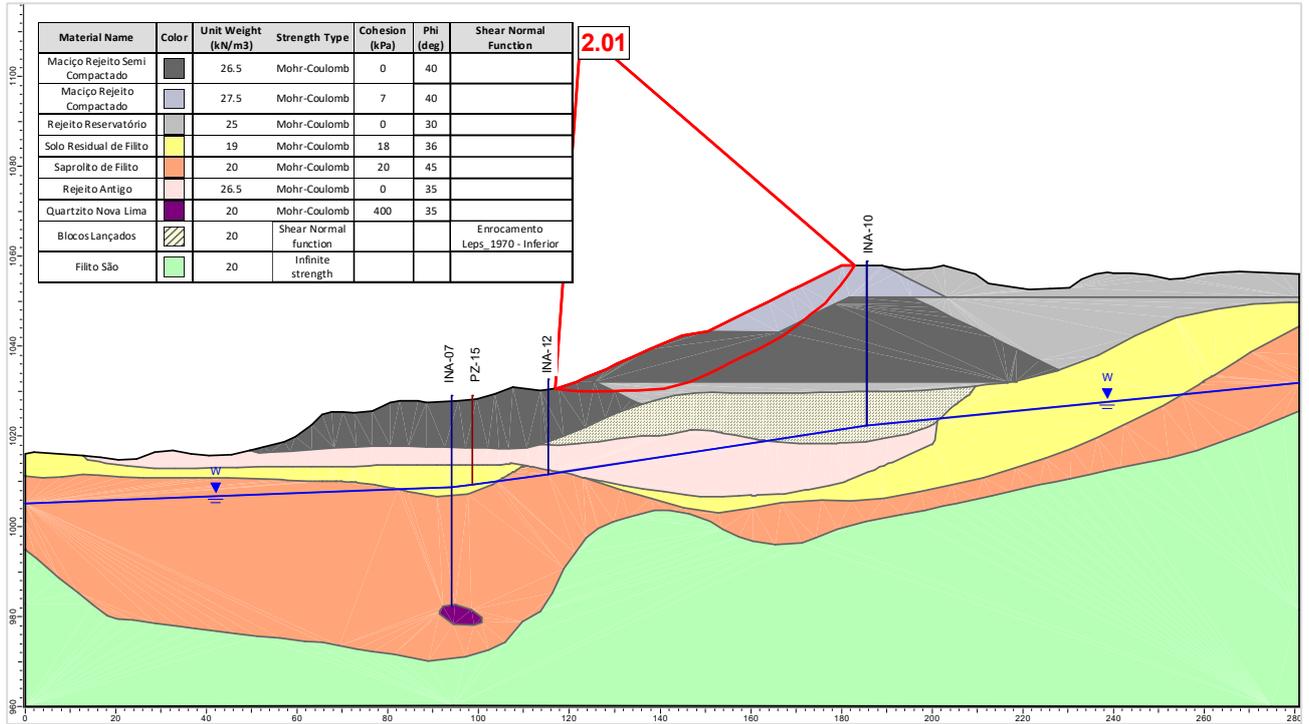
**Figura 5.77** – Seção B-B' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada de pico + sismo ↓ (critério CDA).



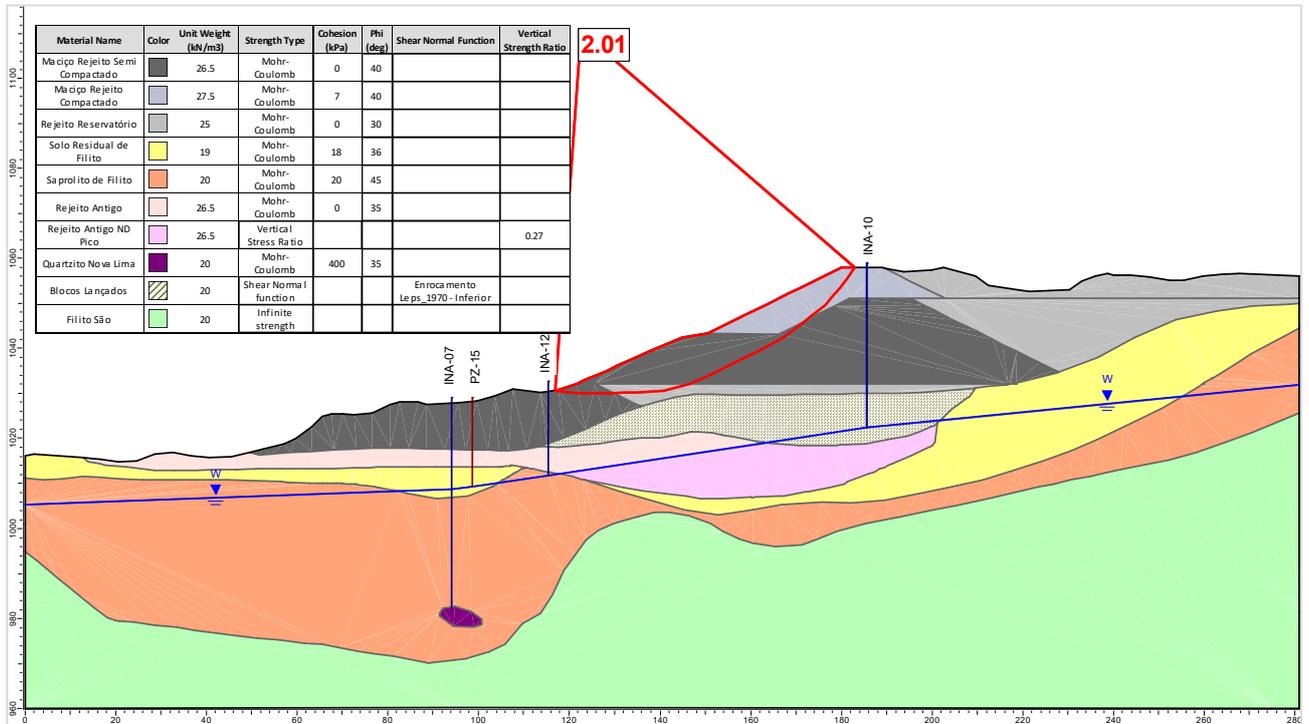
**Figura 5.78** – Seção B-B' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada de pico + sismo ↑ (critério vida útil).



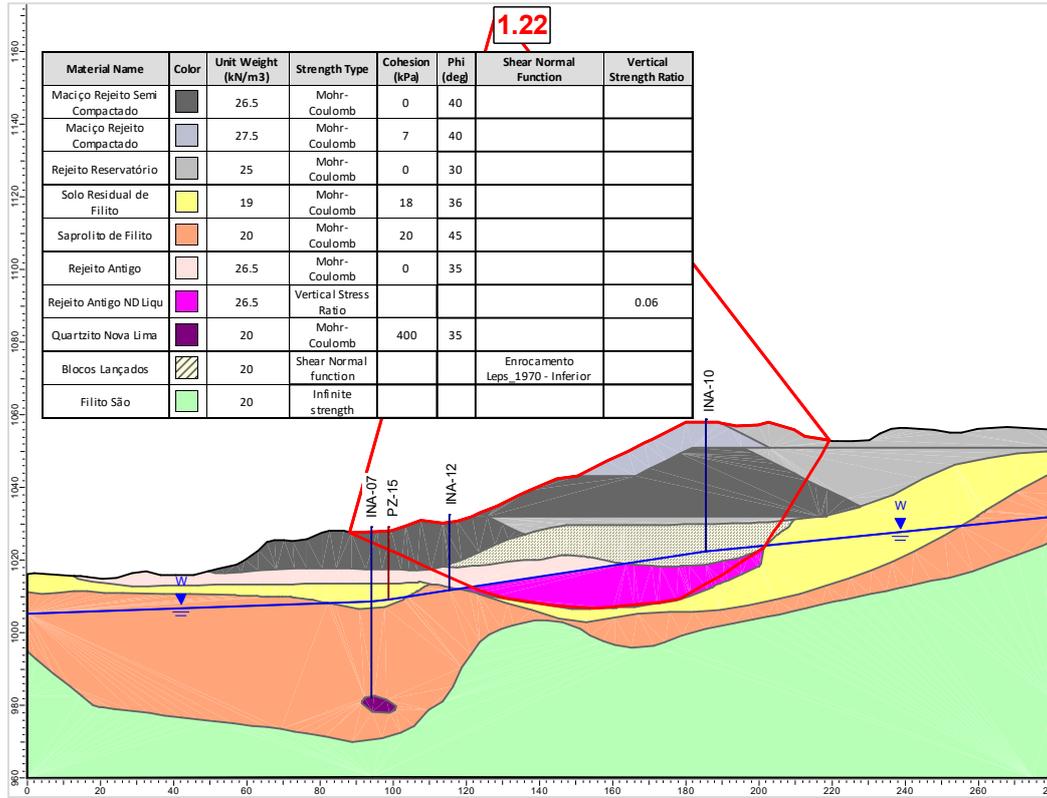
**Figura 5.79** – Seção B-B' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada de pico + sismo ↓ (critério vida útil).



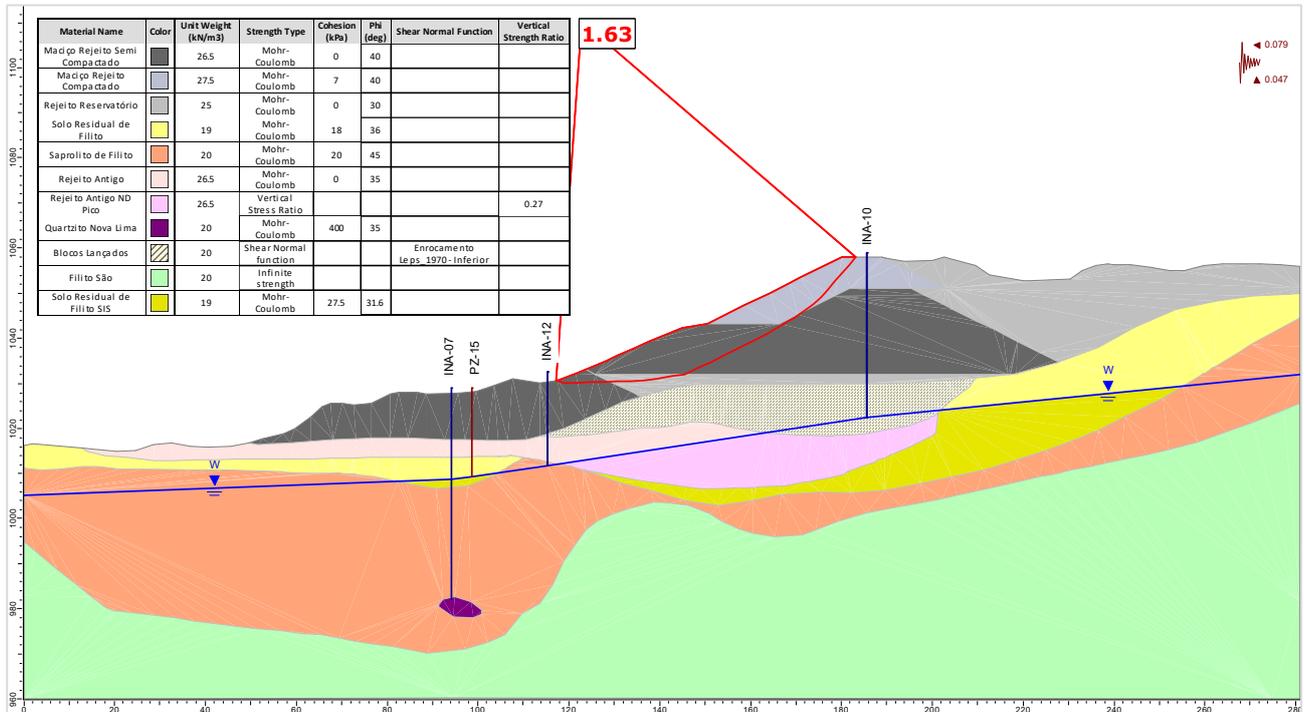
**Figura 5.80** – Seção C-C' – Análise Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024.



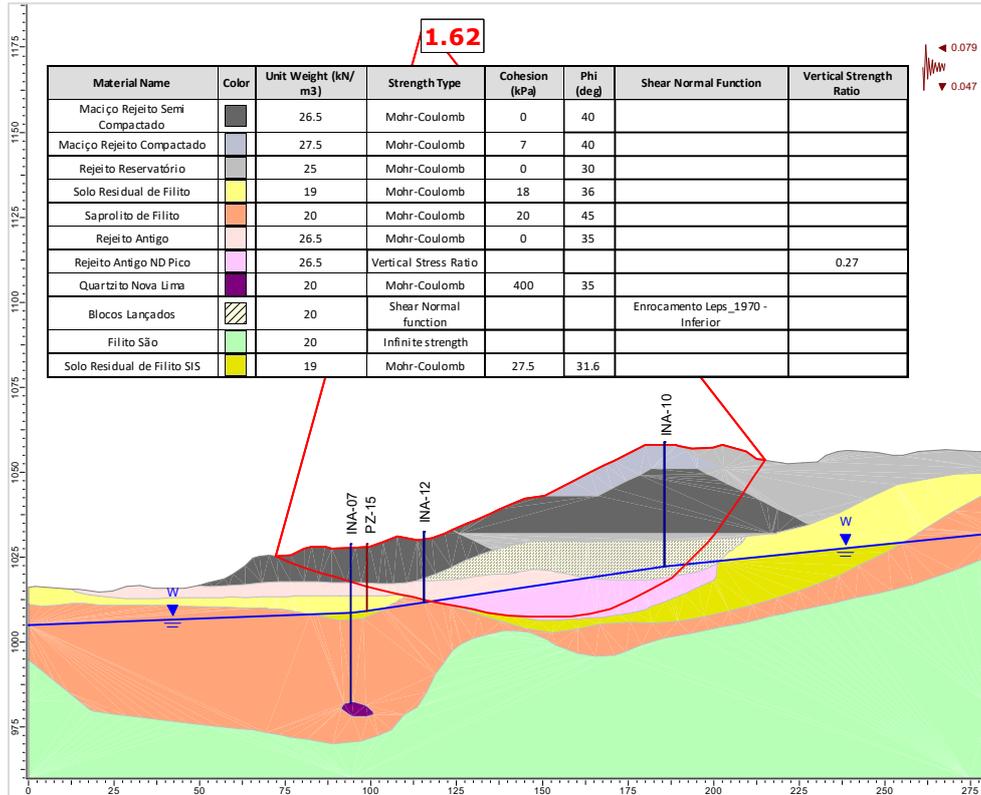
**Figura 5.81** – Seção C-C' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada de pico.



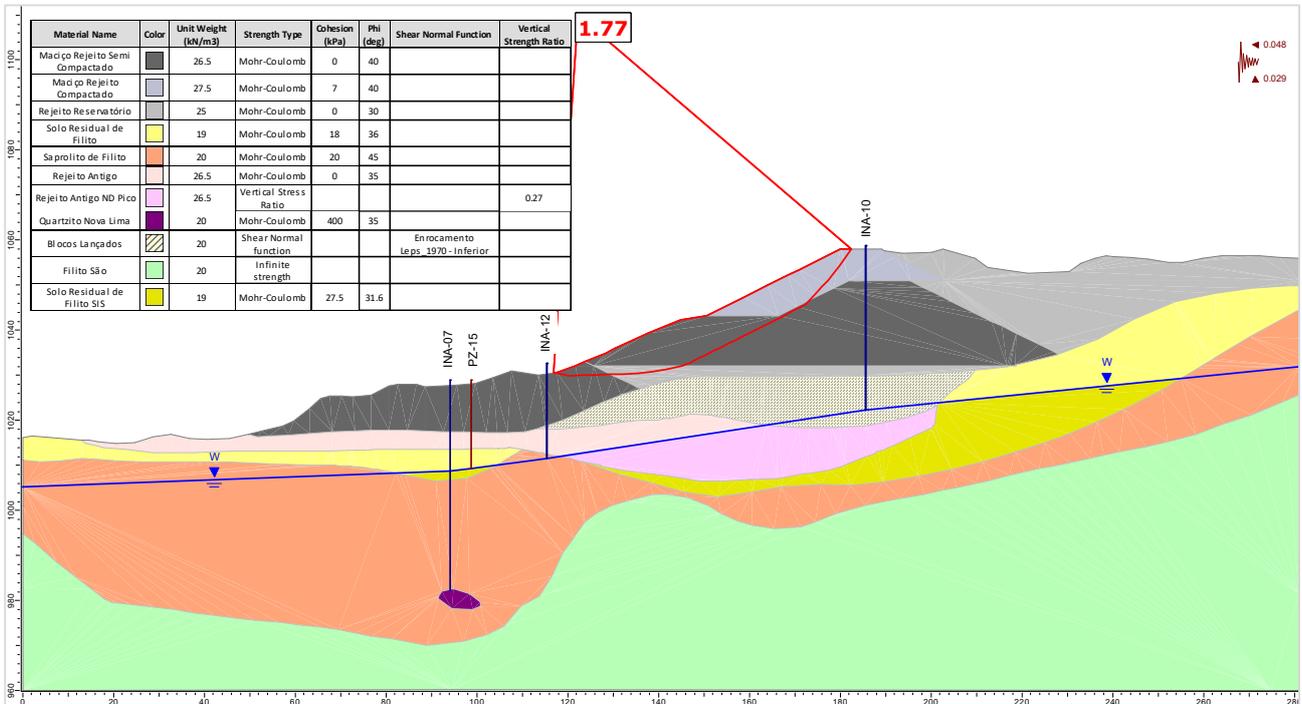
**Figura 5.82** – Seção C-C' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada liquefeito.



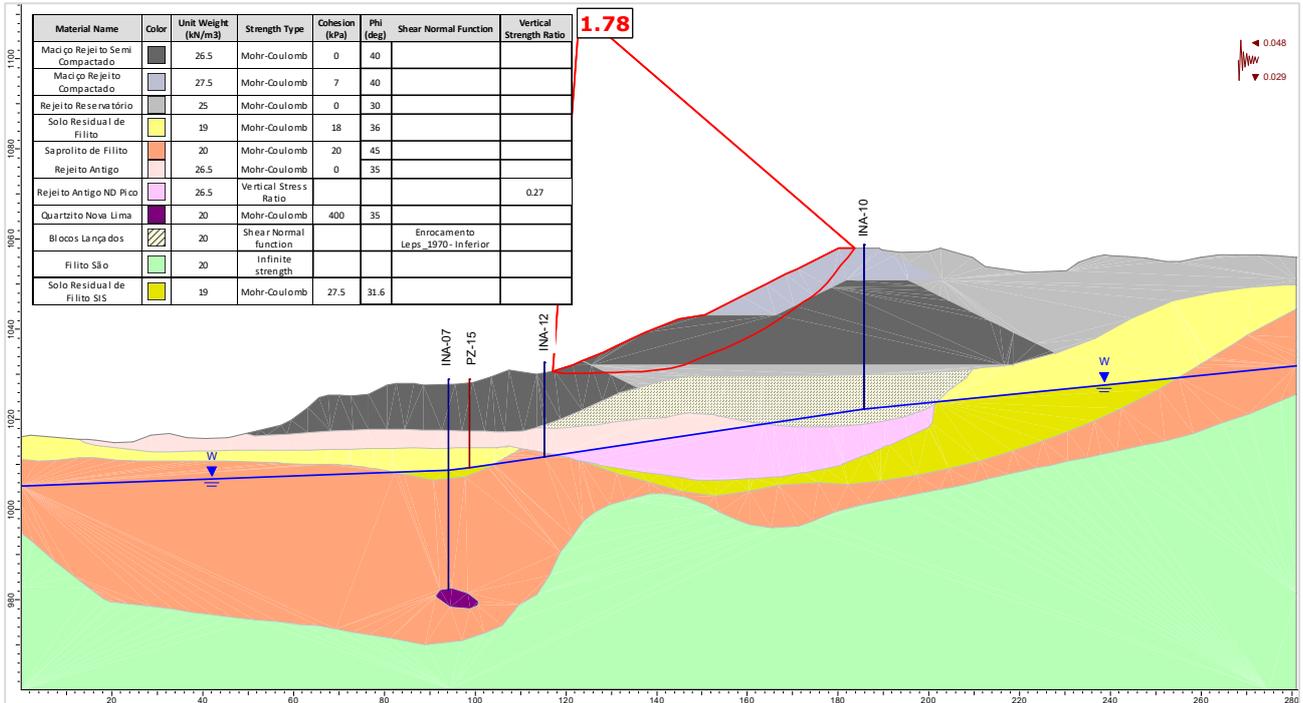
**Figura 5.83** – Seção C-C' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada de pico + sismo ↑ (critério CDA).



**Figura 5.84** – Seção C-C' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada de pico + sismo ↓ (critério CDA).

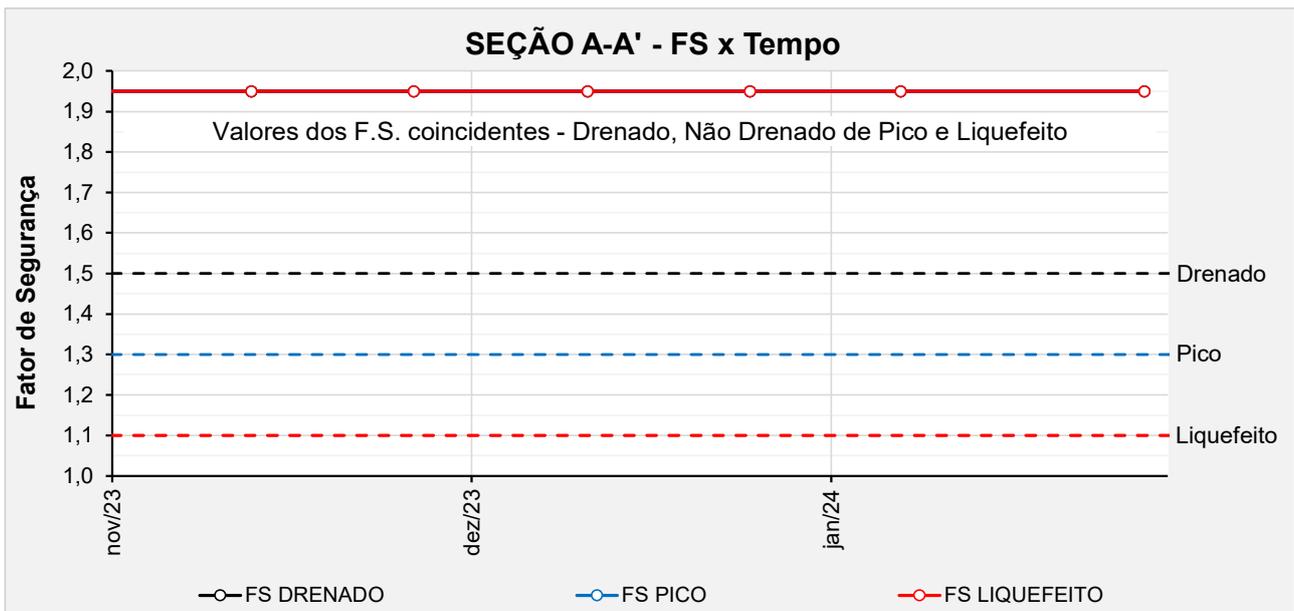


**Figura 5.85** – Seção C-C' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada de pico + sismo ↑ (critério vida útil).

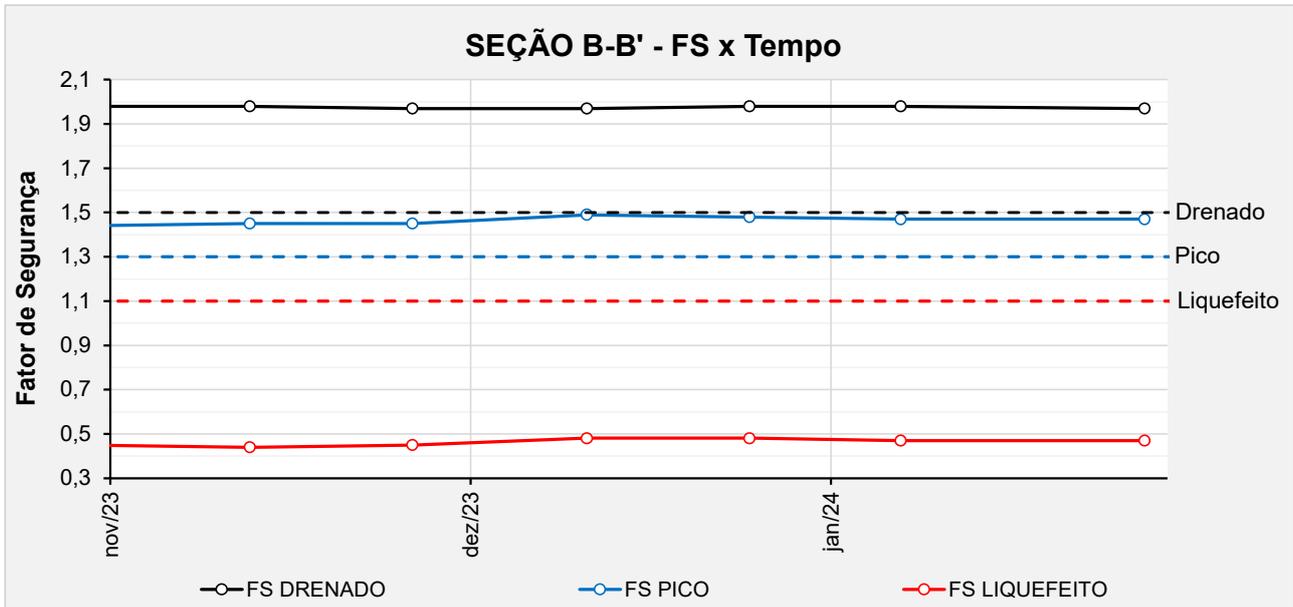


**Figura 5.86** – Seção C-C' – Análise Não Drenada – Superfície de ruptura plano-circular otimizada – Freática 29/01/2024 – Razão de resistência não drenada de pico + sismo ↓ (critério vida útil).

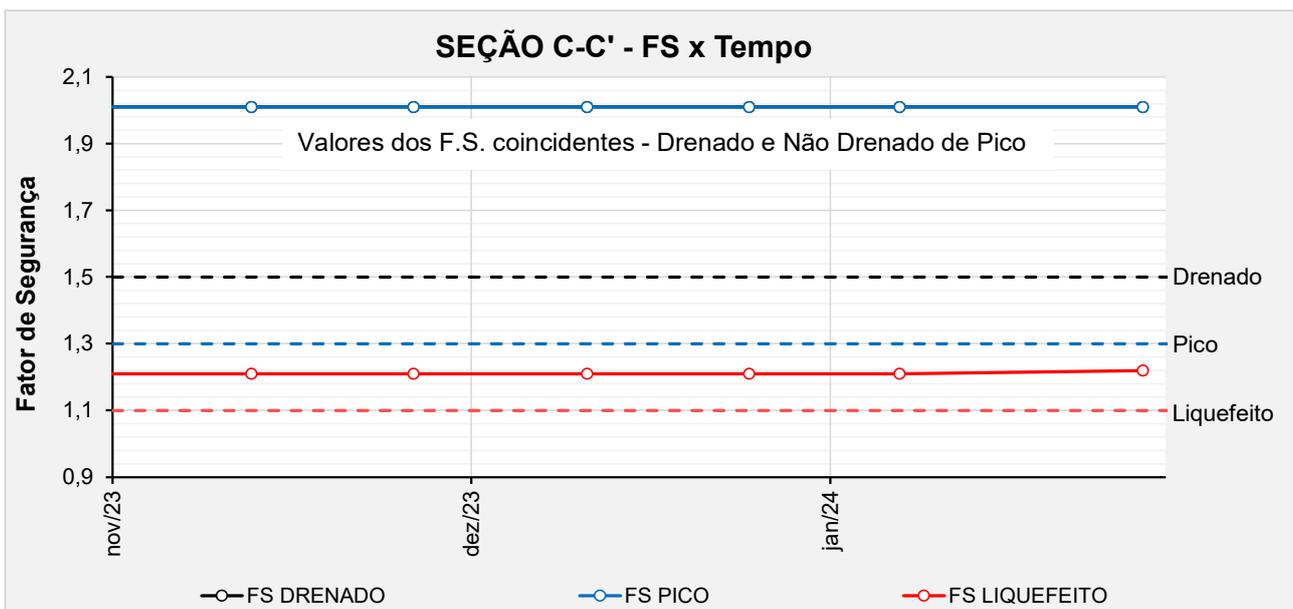
A seguir são apresentados os históricos dos fatores de segurança obtidos nas análises de estabilidade realizadas com as seções de controle da Barragem B1 – Mina Ipê, no período avaliado (novembro/2023 a janeiro/2024).



**Figura 5.87** – Seção A-A' - Histórico dos F.S. obtidos nas análises de estabilidade no período avaliado.



**Figura 5.88** – Seção B-B' - Histórico dos F.S. obtidos nas análises de estabilidade no período avaliado.



**Figura 5.89** – Seção C-C' - Histórico dos F.S. obtidos nas análises de estabilidade no período avaliado.

## 5.7 Controle Ambiental durante as Obras de Descaracterização

O layout dos sistemas de controle ambiental dos efluentes líquidos, emissões atmosféricas e resíduos sólidos gerados no canteiro de obras e infraestrutura de apoio será definido pela empresa contratada, utilizando áreas indicadas pela MMI.

Todos os procedimentos a serem cumpridos pela contratada, para o controle ambiental durante as obras, estão descritos nos seguintes documentos:

- PRO.BRA.SSO.002 – MANUAL DE SSO PARA CONTRATADAS;
- PRO.IPE.SSO.015 – PLANO DE ATENDIMENTO A EMERGÊNCIA AMBIENTAL;
- POL.DPM.SGI.001 – POLÍTICA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL;
- MANUAL AMBIENTAL DE OBRAS – Manual de meio ambiente para contratação de fornecedores e serviços.

### **5.8 Programa de Monitoramento para as Obras de Descaracterização**

O monitoramento do comportamento da Barragem B1 – Mina Ipê será fundamental para o início e para continuidade das obras de descaracterização da estrutura. A barragem, sua fundação e entorno das estruturas envolvidas no projeto serão monitorados a partir de instrumentos para aferição da variação da profundidade e pressão da água no solo e por instrumentos para medição das vibrações e dos deslocamentos dos taludes.

Parte da fundação da Barragem B1 – Mina Ipê é composta por rejeito antigo que foi caracterizado como material contrátil a partir da análise de ensaios CPTu realizados pela Pattrol na campanha 2020 – 2022. Os materiais contráteis estão suscetíveis a carregamentos não drenados e devem ser avaliados admitindo-se parâmetro de resistência não drenada de pico e liquefeita.

Tendo em vista que, principalmente na seção de controle B-B', o rejeito na fundação da barragem apresenta espessura e extensão consideráveis, os fatores de segurança obtidos nas análises de estabilidade para carregamento não drenado liquefeito são baixos e não atendem aos critérios constantes no Termo de Referência para Descaracterização de Barragens Alteadas pelo Método de Montante, emitido pela SEMAD/FEAM em 2020. Por essa razão, o rebaixamento da superfície freática atuante na estrutura se constitui na principal premissa deste projeto para início das obras de descaracterização.

Também será realizado uma inspeção visual diária de rotina dos taludes escavados e naturais de forma a monitorar eventuais anomalias de deformação.

Caso o poço de rebaixamento implantado à jusante da barragem consiga influenciar na camada saturada do rejeito, é provável que o fator de segurança atinja o valor mínimo exigido pelo TR da FEAM antes do início das obras.

Com base nos resultados das análises de estabilidade, considera-se que é possível dar início às obras de descaracterização da Barragem B1 – Mina Ipê desde que sejam atendidas as seguintes condicionantes:

- a) Análise de estabilidade atualizada que demonstre fatores de segurança iguais ou superiores àqueles exigidos pela legislação vigente;
- b) Monitoramento contínuo da instrumentação de controle (indicadores de nível d'água, piezômetros, marcos de deformação e radar), cujas leituras manuais devem ter periodicidade mínima diária;
- c) Realização de análises de estabilidade semanal;
- d) Paralisação imediata da obra no caso de verificação de leituras anômalas não justificadas em qualquer um dos 02 (dois) sismógrafos instalados na barragem;
- e) Paralisação imediata da obra no caso de alerta de movimentação do maciço da barragem emitido pelo radar de superfície;
- f) Paralisação imediata da obra no caso de verificação de redução no fator de segurança para a condição de carregamento não drenado liquefeito;
- g) A retomada das obras após qualquer paralisação deve ser precedida de: análise de estabilidade que demonstrem o retorno dos fatores de segurança para a condição anterior, inspeção visual de campo e parecer favorável por parte da projetista que permita autorizar o retorno das atividades.

## **5.9 Rotina de Monitoramento**

Devido às condições atuais de estabilidade da estrutura verificadas nas análises de estabilidade com carregamento não drenado e devido à complexidade de execução de um projeto de descaracterização, a equipe técnica da MMI e da empresa responsável pela realização das obras deverá seguir rigorosamente uma rotina de monitoramento, que terá como objetivo a avaliação da posição do nível d'água no rejeito do reservatório e fundações para avaliação da estabilidade da estrutura.

O nível d'água dos instrumentos existentes na estrutura deverá ser verificado diariamente durante o período de execução das obras. Já os instrumentos instalados especificamente para o monitoramento do lençol freático no rejeito antigo (INA-09 a INA-14, PZ-19 e PZ-20) deverão ser lidos em intervalos máximos de 04 (quatro) horas. Caso os instrumentos indiquem que a superfície freática se encontra abaixo do nível do rejeito antigo em todos os instrumentos, a obra poderá prosseguir normalmente. Caso contrário, a equipe da MMI ou outra equipe com profissionais qualificados deverá realizar uma análise de estabilidade para verificação do fator de segurança referente à freática medida.

A MMI deverá dispor de um profissional qualificado para atuação no centro de monitoramento com dedicação exclusiva aos instrumentos instalados na Barragem B1 – Mina Ipê. O encarregado

deverá alertar a equipe de campo no caso de alterações abruptas nas leituras dos instrumentos automatizados instalados.

Com relação à rotina de monitoramento, a obra deverá ser **paralisada** sempre que:

- O fator de segurança avaliado com os dados atualizados da instrumentação não atender aos critérios mínimos descritos nesse projeto;
- O profissional do centro de monitoramento verifique alterações abruptas / anômalas na resposta dos instrumentos automatizados existentes;
- O profissional de campo verificar leituras anômalas nos instrumentos manuais;
- O profissional do centro de monitoramento verifique leituras anômalas não justificadas em qualquer um dos 02 (dois) sismógrafos instalados na barragem;
- A bomba de rebaixamento do lençol freático parar de operar por qualquer motivo;
- O profissional de campo identificar sinais/evidências de deformação nos taludes das ombreiras e áreas adjacentes;
- O fiscal da obra ou qualquer outro funcionário envolvido verificar sinais de deslocamento em campo, como o surgimento de fissuras nos elementos de concreto abertura de trincas nos maciços, entumescimento do solo etc.

Sempre que ocorrer a paralisação da obra, a retomada dos serviços deverá ser feita com a autorização da projetista.

## 6. Obras de Descaracterização

Este item não é aplicável, já que o projeto executivo de descaracterização da Barragem B1 – Mina Ipê ainda não foi aprovado pela FEAM e empresas parceiras.

## 7. Situação atual dos demais itens do Termo de Referência

A seguir é apresentado um resumo dos demais itens presentes no Termo de Referência e as respectivas justificativas.

**Tabela 7.1** – Itens presentes no termo de referência e suas justificativas.

ITEM DO TERMO DE REFERÊNCIA	JUSTIFICATIVA
<b>1.1 IDENTIFICAÇÃO</b>	
VIII. Identificação da equipe técnica responsável pela execução e/ou acompanhamento da obra de descaracterização (nome completo, formação acadêmica, áreas sob sua responsabilidade no estudo, nº do registro em conselho de classe válido). A anotação de responsabilidade técnica deverá ser apresentada no anexo I.	Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.

ITEM DO TERMO DE REFERÊNCIA	JUSTIFICATIVA
<b>1.3 OBRAS DE DESCARACTERIZAÇÃO</b>	
<p>I. Memorial descritivo das obras de descaracterização da barragem, contendo os seguintes dados e informações e representações gráficas em escala adequada: a) Memorial descritivo e desenhos das estruturas implantadas, removidas ou modificadas, ou informações equivalentes, bem como dispositivos de proteção ambiental;</p>	<p>Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.</p>
<p>I. Memorial descritivo das obras de descaracterização da barragem, contendo os seguintes dados e informações e representações gráficas em escala adequada: b) Memorial descritivo e layout das soluções geotécnicas empregadas durante as obras, incluindo a necessidade de esgotamento da água acumulada no interior da barragem e, caso haja, da infraestrutura de apoio das frentes de obras;</p>	<p>Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.</p>
<p>I. Memorial descritivo das obras de descaracterização da barragem, contendo os seguintes dados e informações e representações gráficas em escala adequada: c) Descrição das estruturas e layout dos sistemas de controle ambiental dos efluentes líquidos, emissões atmosféricas e resíduos sólidos gerados no canteiro de obras e infraestrutura de apoio;</p>	<p>Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.</p>
<p>I. Memorial descritivo das obras de descaracterização da barragem, contendo os seguintes dados e informações e representações gráficas em escala adequada: d) Descrição das ações de movimentação de terra, incluindo localização e caracterização das áreas de empréstimo e bota-fora utilizadas.</p>	<p>Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.</p>
<p>II. Apresentar levantamentos topográficos e batimétricos, quando couber, da barragem no estado atual das obras de descaracterização.</p>	<p>Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.</p>
<p>III. No caso de remoção do maciço e do reservatório, apresentar as medidas adotadas para a execução deste procedimento e um quantitativo dos materiais retirados;</p>	<p>Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.</p>
<p>IV. Apresentar as medidas adotadas para a redução do nível do lençol freático no reservatório, quando couber, bem como informar o seu nível no estágio atual das obras de descaracterização;</p>	<p>Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.</p>
<p>V. Apresentar análises de estabilidade nas condições drenada e não drenada, e levando em consideração as solicitações sísmicas que possam atuar sobre a estrutura, avaliando as resistências de pico e residual para a geometria da barragem na atual etapa da obra;</p>	<p>Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.</p>
<p>VI. Apresentar o andamento das medidas de estabilização e/ou reforço para atingir no mínimo os fatores de segurança estabelecidos no item V, bem como das medidas de contingência adotadas caso a estabilidade da estrutura durante as obras não possa ser garantida;</p>	<p>Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.</p>
<p>VII. Apresentar o andamento das obras para: a) Remoção das infraestruturas associadas à barragem, exceto aquelas destinadas à garantia da segurança da estrutura;</p>	<p>Não aplicável. As infraestruturas associadas à barragem já foram removidas.</p>

ITEM DO TERMO DE REFERÊNCIA	JUSTIFICATIVA
VII. Apresentar o andamento das obras para: b) Reduzir ou eliminar o aporte de águas superficiais e subterrâneas para o reservatório;	Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.
VII. Apresentar o andamento das obras para: c) Garantir a estabilidade física e química de longo prazo das estruturas que permanecerem no local.	Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.
VIII. Apresentar a análise dos resultados das inspeções visuais realizadas na estrutura no período avaliado em relação às obras de descaracterização, informando a periodicidade das inspeções; • Deverão ser apresentadas as medidas adotadas para corrigir as anomalias registradas durante as inspeções visuais, inclusive daquelas iniciadas em períodos anteriores ao do relatório apresentado até sua finalização.	Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.
IX. Apresentar as leituras da instrumentação instalada na barragem, informando a periodicidade adotada para as leituras e a relação dos níveis registrados pelos instrumentos com os Níveis de Controle de Segurança estabelecidos para a estrutura	Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.
X. Apresentar as leituras e a avaliação de desempenho da instrumentação empregada especificamente, caso houver, para o período das obras de descaracterização;	Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.
XI. Informar os períodos de interrupção dos trabalhos, devidamente justificados (ex: período chuvoso), se pertinente;	Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.
XII. Apresentar os protocolos adotados para garantir a segurança dos trabalhadores durante as obras;	Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.
XIII. Descrição e registros fotográficos de cada atividade já concluída ou em andamento para a descaracterização da barragem;	Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.
<b>1.4 ASPECTOS AMBIENTAIS DAS OBRAS DE DESCARACTERIZAÇÃO</b>	
I. Apresentar o estado das estruturas de drenagem periférica, canais de desvio da bacia de drenagem ou restabelecimento da calha do rio formado por elementos naturais, durante o atual estágio das obras de descaracterização, quando couber;	Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.
II. Informar as ações e programas adotados para controlar, mitigar, recuperar e, quando couber, compensar impactos ambientais causados pelas obras de descaracterização: a) Informar ações executadas do programa de manejo do patrimônio espeleológico na área afetada pelas obras de descaracterização, quando couber;	Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.
II. Informar as ações e programas adotados para controlar, mitigar, recuperar e, quando couber, compensar impactos ambientais causados pelas obras de descaracterização:	Não aplicável.

ITEM DO TERMO DE REFERÊNCIA	JUSTIFICATIVA
b) Informar as ações executadas ações de resgate da fauna e da flora na área afetadas, se couber;	Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.
II. Informar as ações e programas adotados para controlar, mitigar, recuperar e, quando couber, compensar impactos ambientais causados pelas obras de descaracterização: c) Deverão ser apresentadas as ações para controle de supressão vegetal e de processos erosivos na área afetada pelas obras de descaracterização, bem como os comprovantes de regularização ambiental da atividade;	Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.
II. Informar as ações e programas adotados para controlar, mitigar, recuperar e, quando couber, compensar impactos ambientais causados pelas obras de descaracterização: d) Deverão ser apresentadas as medidas adotadas para acompanhamento e controle dos índices de qualidade do ar na área afetada pelas obras de descaracterização;	Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.
II. Informar as ações e programas adotados para controlar, mitigar, recuperar e, quando couber, compensar impactos ambientais causados pelas obras de descaracterização: e) Deverão ser apresentadas as medidas adotadas para gestão de efluentes líquidos e resíduos sólidos na área afetada pelas obras de descaracterização.	Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.
III. Apresentar os resultados de avaliação da qualidade da água no atual estágio das obras de descaracterização;	Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.
IV. Para obras em estágio de finalização, apresentar as medidas adotadas para o manejo e a proteção do solo, dos recursos hídricos, para garantir a estabilidade geotécnica da área descaracterizada e a metodologia aplicada para recomposição da cobertura vegetal;	Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.
V. Apresentar as medidas mitigadoras e emergenciais adotadas visando a continuidade do abastecimento público a jusante da barragem até a Zona de Autossalvamento - ZAS e Zona de Segurança Secundárias - ZSS, caso exista captação de água à jusante da estrutura.	Não aplicável. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para que sejam iniciadas as obras.
<b>1.5 ASSINATURAS</b>	
Assinaturas de todos os responsáveis técnicos pelo projeto, pelo acompanhamento das obras e de quem elaborou o relatório técnico no período avaliado.	Não aplicável, considerando o acompanhamento das obras. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para dar início às obras.
<b>1.6 ANEXO</b>	
Apresentar as anotações de responsabilidade técnica – ART do projeto, do acompanhamento das obras e do relatório técnico de acompanhamento da descaracterização das barragens no período avaliado.	Não aplicável, considerando o acompanhamento das obras. Aguardando aprovação do projeto executivo de descaracterização para dar início às obras.

## 8. Assinaturas

- Responsável técnico pelo projeto de descaracterização e pela elaboração deste relatório:



Elias Josafá Cota

Engenheiro Civil / Geotécnico – RNP 1403750408 (CREA-MG)

- Responsável técnico pela barragem:



Wellington Pereira Maximiano

Engenheiro Civil – RNP 1411469151 (CREA-MG)

## 9. Anexos

	<p><b>ANEXO A – ART - PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO</b> Formato: Adobe PDF <b>(2 PÁGINAS)</b></p>
	<p><b>ANEXO B – ART - RELATÓRIO TÉCNICO DE ACOMPANHAMENTO</b> Formato: Adobe PDF <b>(2 PÁGINAS)</b></p>



Rua Júlio Ferreira Pinto, 350 – 3º andar – Santa Amélia  
Belo Horizonte – MG | CEP: 31560-330  
Fone: (31) 3786-4226 / (31) 98303-5747

<https://terracota.pro>