

Barragem Marçu

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens



NG-132-RTSB-MR-RL-R0

Nacional de Grafite Ltda.

Pedra Azul/MG

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Marta Sawaya
CREA-MG 77.973/D

27/08/2026

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. BASE LEGAL E NORMATIVA.....	1
2. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E DOS RESPONSÁVEIS	2
3. EQUIPE INTERNA DO EMPREENDIMENTO	5
3.1. PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO, MONITORAMENTO E GESTÃO DE DADOS	5
3.2. DIAGNÓSTICO E TRATAMENTO DE ANOMALIAS	6
3.3. AVALIAÇÃO	6
4. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA	7
4.1. LOCALIZAÇÃO	7
4.2. CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM.....	7
4.3. CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM	8
5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GERAIS	17
5.1. HISTÓRICO	17
5.2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS	17
5.2.1. Resumo das campanhas de investigação.....	17
5.2.2. Ensaio de laboratório	18
5.2.3. Mapeamento de detalhe	20
5.2.3.1. Unidades geológicas.....	20
5.2.3.2. Geologia estrutural.....	20
5.2.3.3. Fundação, ombreiras e entorno.....	21
5.2.4. Classificação e Caracterização geotécnica	21
5.2.4.1. Solo Residual de Gnaiss	21
5.2.4.2. Colúvio	22
5.2.4.3. Maciço.....	22
5.2.4.4. Drenos vertical e horizontal	26
5.2.5. Seções geológico-geotécnicas	26
5.3. ESTUDOS SÍSMICOS	27
5.4. ADERÊNCIA DO PROJETO AS IS	30
6. SISTEMAS DE DRENAGEM	31
6.1. DRENAGEM INTERNA	31
6.2. DRENAGEM SUPERFICIAL	33
6.3. EXTRAVASOR	36

7.	AVALIAÇÃO DOCUMENTAL DAS INSPEÇÕES DE SEGURANÇA DE ROTINA	38
7.1.	AVALIAÇÃO DAS INSPEÇÕES DE ROTINA.....	38
7.2.	CONSIDERAÇÕES DA AVALIAÇÃO DOCUMENTAL DAS INSPEÇÕES DE SEGURANÇA DE ROTINA 41	
7.3.	RIS – RELATÓRIO DE INSPEÇÃO SEMESTRAL	42
8.	INSPEÇÃO DE CAMPO	43
9.	RECOMENDAÇÕES DAS AUDITORIAS DE BARRAGEM.....	44
10.	AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA.....	45
10.1.	ESTUDOS HIDROLÓGICOS	45
10.2.	TRÂNSITO DE CHEIAS E BORDA LIVRE	51
10.3.	VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA DO SISTEMA EXTRAVASOR.....	53
10.4.	VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA DO SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL	57
10.4.1.	Canaletas.....	57
10.4.2.	Descidas d'água	58
10.4.3.	Manilhas	58
10.4.4.	Conclusão Sobre a Verificação Hidráulica	63
11.	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS RESÍDUOS/REJEITOS.....	64
11.1.	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS REJEITOS.....	64
11.2.	CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS REJEITOS	64
12.	MODOS DE FALHA.....	66
13.	ANÁLISES DE ESTABILIDADE	68
13.1.	METODOLOGIA APLICADA.....	68
13.2.	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA ADOTADOS	68
13.3.	SEÇÕES REPRESENTATIVAS	68
13.4.	LINHA FREÁTICA	69
13.5.	CENÁRIOS E FATORES DE SEGURANÇA ADMISSÍVEIS	69
13.6.	RESULTADOS	70
13.7.	AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE ESTRUTURAL	75
14.	AUSCULTAÇÃO.....	76
14.1.	MEDIDORES DE NÍVEL D'ÁGUA.....	78
14.2.	PIEZÔMETROS.....	78
14.3.	MARCOS SUPERFICIAIS.....	78
15.	CARTA DE RISCO	82

16.	SEGURANÇA OPERACIONAL	85
17.	CONCLUSÃO	86
18.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
19.	LISTA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	88
20.	ANEXO I - DECLARAÇÃO DE CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE	89
21.	ANEXO II – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA – ART.....	90
22.	ANEXO III – RELATÓRIO TÉCNICO FOTOGRÁFICO	92
22.1.	ACESSOS.....	92
22.2.	CRISTA	92
22.3.	RESERVATÓRIO.....	93
22.4.	TALUDES.....	93
22.5.	OMBREIRAS.....	94
22.6.	EXTRAVASOR	94
22.7.	INSTRUMENTAÇÃO	95
22.8.	TUBULAÇÕES, CERCA, SINALIZAÇÃO E ESTAQUEAMENTO	96
22.9.	DRENO DE FUNDO	97
22.10.	DRENAGEM SUPERFICIAL.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 4.1 – LOCALIZAÇÃO DA BARRAGEM MARÇU	7
FIGURA 5.1 – CAMPANHAS DE SONDAGEM	18
FIGURA 5.2 – VISTA DE JUSANTE DA OMBREIRA DIREITA, ANTES DO INÍCIO DA IMPLANTAÇÃO DO ÚLTIMO ALTEAMENTO, EXIBINDO O PERFIL DE SOLO CARACTERÍSTICO DO LOCAL.....	21
FIGURA 5.3 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TENSÕES TOTAIS DA AMOSTRA PI-01.....	24
FIGURA 5.4 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TENSÕES EFETIVAS DA AMOSTRA PI-02	24
FIGURA 5.5 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TENSÕES TOTAIS DA AMOSTRA PI-02.....	24
FIGURA 5.6 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TENSÕES EFETIVAS DA AMOSTRA PI-02	25
FIGURA 5.7 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TENSÕES TOTAIS DA AMOSTRA PI-03.....	25
FIGURA 5.8 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TENSÕES EFETIVAS DA AMOSTRA PI-03	25
FIGURA 5.9 – LOCALIZAÇÃO DAS SEÇÕES PARA ANÁLISE DE ESTABILIDADE	26
FIGURA 5.10 – SEÇÕES TÍPICAS DA BARRAGEM MARÇU REINTERPRETADAS.....	27
FIGURA 5.11 - SISMOS E GEOLOGIA EM MINAS GERAIS	29
FIGURA 5.12 - MAPAS DE AMEAÇA SÍSMICA (“SEISMIC HAZARD MAPS”) PARA ACELERAÇÃO DE PICO (PEAK GROUND ACCELERATION - PGA) EM ROCHA, PARA PROBABILIDADES DE 10% DE EXCEDÊNCIA EM 50 ANOS, CORRESPONDENDO A PERÍODO DE 475 ANOS.	30
FIGURA 6.1 – ARRANJO GEOMÉTRICO DA BARRAGEM (SEÇÃO DE ALTURA MÁXIMA DA BARRAGEM).....	32

FIGURA 6.2 – FOTO DA CONSTRUÇÃO DA DRENAGEM INTERNA DA BARRAGEM MARÇU (15/12/1985).....	33
FIGURA 6.3 – DISTRIBUIÇÃO DAS CANALETAS DO TALUDE DE JUSANTE DA BARRAGEM MARÇU	34
FIGURA 6.4 – IDENTIFICAÇÃO DAS SUBDIVISÕES EM TRECHOS DAS ESCADAS DE DRENAGEM.....	35
FIGURA 6.5 - LOCALIZAÇÃO DAS MANILHAS.....	36
FIGURA 7.1 – MODELO DE FICHA DE INSPEÇÃO REGULAR (FIR).....	39
FIGURA 7.2 – MODELO DE FICHA DE INSPEÇÃO REGULAR (FIR).....	40
FIGURA 10.1 – ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICA UTILIZADAS NO ESTUDO HIDROLÓGICO DA BARRAGEM MARÇU	46
FIGURA 10.2 – BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DA BARRAGEM MARÇU	48
FIGURA 10.3 – HIDROGRAMA DE VAZÃO AFLUENTE DO RESERVATÓRIO	51
FIGURA 10.4 – HIDROGRAMA DE VAZÃO AFLUENTE E DEFLUENTE AO RESERVATÓRIO	52
FIGURA 10.5 - DESCRIÇÃO DOS TRECHOS DO EXTRAVASOR.	54
FIGURA 10.6 - DIMENSÕES DO "TUBO FINAL"	54
FIGURA 10.7 – DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO DE CADA TRECHO.....	57
FIGURA 13.1 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO A-A' EM CONDIÇÃO NORMAL DE OPERAÇÃO, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA CIRCULAR	71
FIGURA 13.2 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO A-A' EM CONDIÇÃO NORMAL DE OPERAÇÃO, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA NÃO CIRCULAR	72
FIGURA 13.3 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO A-A' EM CONDIÇÃO EXTREMA DE OPERAÇÃO, COM NÍVEL MÁXIMO DO NA, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA CIRCULAR.....	72
FIGURA 13.4 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO A-A' EM CONDIÇÃO EXTREMA DE OPERAÇÃO, COM NÍVEL MÁXIMO DO NA, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA NÃO CIRCULAR	72
FIGURA 13.5 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO A-A' SOB CONDIÇÃO SÍSMICA, NA CONDIÇÃO EXTREMA DE OPERAÇÃO, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA CIRCULAR	73
FIGURA 13.6 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO A-A' SOB CONDIÇÃO SÍSMICA, NA CONDIÇÃO EXTREMA DE OPERAÇÃO, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA NÃO CIRCULAR.....	73
FIGURA 13.7 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO B-B' EM CONDIÇÃO NORMAL DE OPERAÇÃO, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA CIRCULAR	73
FIGURA 13.8 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO B-B' EM CONDIÇÃO NORMAL DE OPERAÇÃO, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA NÃO CIRCULAR	74
FIGURA 13.9 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO B-B' EM CONDIÇÃO EXTREMA DE OPERAÇÃO, COM NÍVEL MÁXIMO DO NA, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA CIRCULAR.....	74
FIGURA 13.10 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO B-B' EM CONDIÇÃO EXTREMA DE OPERAÇÃO, COM NÍVEL MÁXIMO DO NA, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA NÃO CIRCULAR	74
FIGURA 13.11 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO B-B' SOB CONDIÇÃO SÍSMICA, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA CIRCULAR.....	75
FIGURA 13.12 –ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA SEÇÃO B-B' SOB CONDIÇÃO SÍSMICA, CONSIDERANDO SUPERFÍCIE DE RUPTURA NÃO CIRCULAR	75
FIGURA 14.1 – PLANTA COM A LOCALIZAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MONITORAMENTO DA BARRAGEM MARÇU	77
FIGURA 14.2 – LEITURA DOS MNA'S.....	79
FIGURA 14.3 – MONITORAMENTO DOS PIEZÔMETROS	80
FIGURA 14.4 – DADOS DO MONITORAMENTO DOS MARCOS SUPERFICIAIS	81
FIGURA 21.1 – CRISTA DA BARRAGEM MARÇU	92
FIGURA 21.2 – VISTA DO RESERVATÓRIO DA BARRAGEM	93
FIGURA 21.3 – VISTA DO TALUDE DE JUSANTE	94

FIGURA 21.4 – CANAL EXTRAVASOR	95
FIGURA 21.5 – INSTRUMENTAÇÃO DA BARRAGEM MARÇU	96
FIGURA 21.6 – SINALIZAÇÃO E CERCAMENTO NA BARRAGEM MARÇU	96
FIGURA 21.7 – SINALIZAÇÃO E CERCAMENTO NA BARRAGEM MARÇU	97
FIGURA 21.8 – VISTA DO DRENO DE FUNDO DA BARRAGEM MARÇU	97
FIGURA 21.9 – SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL OBSERVADO DURANTE VISITA TÉCNICA	98

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 – IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR.....	2
TABELA 2.2 – IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	2
TABELA 2.3 – ENDEREÇO PARA ENVIO DE CORRESPONDÊNCIA	3
TABELA 2.4 – IDENTIFICAÇÃO DO REPRESENTANTE LEGAL DO EMPREENDIMENTO	3
TABELA 2.5 - IDENTIFICAÇÃO DO AUDITOR	3
TABELA 2.6 - IDENTIFICAÇÃO DA EQUIPE DE AUDITORIA EXTERNA AO EMPREENDIMENTO	3
TABELA 2.7 – IDENTIFICAÇÃO DO RESPONSÁVEL TÉCNICO PELA BARRAGEM MARÇU	4
TABELA 4.1 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GERAIS DA BARRAGEM MARÇU	8
TABELA 4.2 - IDENTIFICAÇÃO DA BARRAGEM.....	9
TABELA 4.3 - CATEGORIA DE RISCO	9
TABELA 4.4 - POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL.....	9
TABELA 4.5 – RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO	10
TABELA 4.6 – MATRIZ 2 – CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE REJEITOS OU RESÍDUOS DA MINERAÇÃO	10
TABELA 4.7 – SÍNTESE DA CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM MARÇU	10
TABELA 4.8 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS – CT ..	11
TABELA 4.9 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO - ESTADO DE CONSERVAÇÃO – EC	12
TABELA 4.10 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO - PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM – PSB	13
TABELA 4.11 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL – PDA	15
TABELA 5.1 - DENOMINAÇÃO ADOPTADA PARA AS AMOSTRAS ENSAIADAS.....	19
TABELA 5.2 - ENSAIOS REALIZADOS	19
TABELA 5.3 - LITOLOGIAS IDENTIFICADAS NAS CAMPANHAS DE INVESTIGAÇÃO	20
TABELA 5.4 - RESULTADO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DA FUNDAÇÃO	22
TABELA 5.5 - RESULTADOS DOS ENSAIOS TRIAXIAIS DA FUNDAÇÃO.	22
TABELA 5.6 - RESULTADO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO MACIÇO	23
TABELA 5.7 - RESULTADO DOS ENSAIOS TRIAXIAIS DO MACIÇO	23
TABELA 7.1 – SÍNTESE DAS ANOMALIAS E OBSERVAÇÕES REGISTRADAS NAS INSPEÇÕES DE ROTINA	41
TABELA 9.1 – AVALIAÇÃO DAS RECOMENDAÇÕES DA ÚLTIMA AUDITORIA DE SEGURANÇA	44
TABELA 10.1 – DADOS DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS PARA ESTUDO HIDROLÓGICO	47
TABELA 10.2 – DESAGREGAÇÃO DA CHUVA DE ACORDO COM O TEMPO DE RETORNO	49
TABELA 10.3 – DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS (TR=10.000 ANOS).....	50
TABELA 10.4 – SIMULAÇÃO DA CHUVA DECA-MILENAR DE 6H NO RESERVATÓRIO	52
TABELA 10.5 – CÁLCULO DE AMPLITUDE DA ONDA EÓLICA EXCEPCIONAL.....	53
TABELA 10.6 – CÁLCULO DE AMPLITUDE DA ONDA EÓLICA HABITUAL.....	53
TABELA 10.7 – TABELA COTA X DESCARGA (EL. 625,0M).....	55

TABELA 10.8 – SÍNTESE DA VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA DO SISTEMA EXTRAVASOR	56
TABELA 10.9 – VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA DAS ESTRUTURAS DE DRENAGEM SUPERFICIAL.....	59
TABELA 10.10 – DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DAS ESCADAS HIDRÁULICAS	61
TABELA 10.11 - DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DAS MANILHAS.....	62
TABELA 11.1 – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DO MACIÇO.....	64
TABELA 11.2 – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TRIAXIAIS DAS AMOSTRAS DO REJEITO	65
TABELA 11.3 - CARACTERÍSTICAS DOS REJEITOS.....	65
TABELA 12.1 – IDENTIFICAÇÃO DOS MODOS DE FALHA, COMPONENTES E CAUSAS.....	66
TABELA 13.1 – PARÂMETROS GEOTÉCNICOS UTILIZADOS NAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE.....	68
TABELA 13.2 - CENÁRIOS E FATORES DE SEGURANÇA MÍNIMOS ADMISSÍVEIS	70
TABELA 13.3 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE	71
TABELA 14.1 – INFORMAÇÕES DA INSTRUMENTAÇÃO	76
TABELA 15.1 – NÍVEIS DE SEGURANÇA PARA PIEZÔMETROS E MEDIDORES DE NÍVEL DE ÁGUA DA BARRAGEM MARÇU	82
TABELA 15.2 – FAIXA DE VALORES DE REFERÊNCIA PARA MARCOS SUPERFICIAIS	84
TABELA 19.1 – DADOS FORNECIDOS PELA NGL PARA AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA	88

1. INTRODUÇÃO

O presente documento corresponde ao Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragem – RTSB da Barragem Marçu, localizada no município de Pedra Azul/MG e de propriedade da Nacional de Grafite Ltda.

O relatório tem por objetivo avaliar as condições atuais de segurança da estrutura, considerando os aspectos geotécnicos, hidrológicos, hidráulicos, operacionais e de monitoramento, bem como verificar a aderência aos critérios técnicos aplicáveis e às exigências estabelecidas no âmbito da Política Estadual de Segurança de Barragens, instituída pela Lei Estadual nº 23.291, de 25 de fevereiro de 2019.

Para subsidiar a auditoria, foram analisados os documentos, projetos, registros e demais informações técnicas disponibilizados pelo empreendedor, complementados por inspeção de campo e pela avaliação das condições físicas e operacionais da barragem e de seus sistemas associados. Os resultados dessas análises fundamentam as conclusões apresentadas neste RTSB, inclusive quanto à condição de estabilidade da estrutura, bem como as recomendações eventualmente necessárias à manutenção ou melhoria de sua segurança e à emissão da respectiva Declaração de Condição de Estabilidade – DCE.

1.1. BASE LEGAL E NORMATIVA

A elaboração do Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragem – RTSB fundamenta-se nos instrumentos legais, regulamentares e técnicos aplicáveis à segurança de barragens no Estado de Minas Gerais, com destaque para:

- Lei Estadual nº 23.291, de 25 de fevereiro de 2019, que institui a Política Estadual de Segurança de Barragens – PESB;
- Decreto Estadual nº 48.140, de 25 de fevereiro de 2021, que regulamenta dispositivos da Lei Estadual nº 23.291/2019 e estabelece critérios relacionados à classificação e à gestão da segurança das barragens;
- Portaria FEAM nº 699, de 7 de junho de 2023, que formaliza os procedimentos do Programa de Gestão de Barragens da Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM;
- Termo de Referência para Elaboração do Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – FEAM, Versão 02/2023, que estabelece o conteúdo mínimo e as diretrizes para elaboração do RTSB

2. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E DOS RESPONSÁVEIS

Neste capítulo são apresentadas as informações de identificação dos agentes envolvidos no empreendimento e no processo de auditoria de segurança da Barragem Marçu, contemplando o empreendedor, o empreendimento, seu representante legal, o auditor responsável, a equipe técnica externa responsável pela elaboração do RTSB e a equipe técnica interna responsável pela gestão e acompanhamento da segurança da estrutura.

As informações apresentadas a seguir foram organizadas de forma a atender aos requisitos de identificação estabelecidos no Termo de Referência para Elaboração do Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens da FEAM.

Os dados de identificação do empreendedor responsável pela Barragem Marçu são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Identificação do empreendedor

Empreendedor									
Nome / Razão social:	Nacional de Grafite Ltda.								
Nome fantasia:	Nacional de Grafite								
CNPJ:	21.228.861/0001-00								
Endereço:	Rodovia MG 164	Nº/Km	Km 04						
Complemento:	Zona Rural								
Bairro/Localidade	Água Limpa								
Município/UF:	Itapeçerica - MG	UF	MG	CEP	35.550-000	Caixa Postal	12		
Telefone:	(37) 3341 8008	E-mail:	m.ambiente@grafite.com						

Os dados de identificação do empreendimento no qual está inserida a Barragem Marçu são apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Identificação do empreendimento

Empreendimento									
Nome / Razão social:	Nacional de Grafite Ltda.								
Nome fantasia:	Nacional de Grafite								
CNPJ/CPF:	21.228.861/0003-63								
Processo administrativo COPAM:	128/1987/015/2017								
Endereço:	Fazenda Baixa Funda				Nº/Km	S/N			
Complemento:	Zona Rural								
Bairro/Localidade	Fazenda Baixa Funda								
Município/UF:	Pedra Azul	UF	MG	CEP	39.970-000	Caixa Postal			
Telefone:	(33) 3751 4001	E-mail:	m.ambiente@grafite.com						

As informações referentes ao destinatário e ao endereço para envio de correspondências relacionadas ao empreendimento são apresentadas na Tabela 2.3.

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

Tabela 2.3 – Endereço para envio de correspondência

Destinatário	Alexandre Alves da Silva - Coordenador de Meio Ambiente		
Endereço:	Rodovia MG 164	Nº/Km	4
Complemento:	Zona Rural		
Bairro/Localidade	Água Limpa		
Município/UF:	Itapecerica – MG CEP: 35 550 000		

Os dados de identificação do representante legal do empreendimento são apresentados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Identificação do representante legal do empreendimento

Requerente			
Nome:	Clovis Cordeiro Rudge Ramos		
CPF:	214.046.678-06	Função:	Diretor Presidente
Telefone:	(37) 3341 8068	E-mail:	juridico@grafite.com

Os dados de identificação do auditor credenciado responsável pela elaboração do RTSB e pela emissão da Declaração de Condição de Estabilidade da Barragem Marçu são apresentados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Identificação do auditor

Auditor	
Nome:	Marta Aparecida Sawaya Miranda
Formação:	Geóloga / Geotécnica / MSc. em Engenharia de Barragens
CPF:	309.092.106-59
CREA:	77.973/D
Telefone:	(31) 99997-2049
E-mail:	marta@3emmg.com.br

A identificação dos profissionais que compõem a equipe técnica externa responsável pelo desenvolvimento da auditoria e elaboração do RTSB é apresentada na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Identificação da equipe de auditoria externa ao empreendimento

Equipe responsável pela elaboração do documento			
Nome:	Formação:	CREA:	CPF:
Marta Aparecida Sawaya Miranda	Geóloga / Geotécnica / MSc. em Engenharia de Barragens	77.973/D	309.092.106-59
Nathan Marçal	Engenheiro Civil / Esp. em Engenharia Geotécnica	244.619/D	118.952.726-02

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

Equipe responsável pela elaboração do documento			
Nome:	Formação:	CREA:	CPF:
Luisa de Moura Leão	Engenheira Civil Geotécnica / DSc. em Geotecnia / MSc. em Geotecnia Ambiental / MBA em Gestão de Projetos / Esp. em Engenharia Geotécnica / Esp. em Engenharia de Barragens e Pilhas	251.323/D	114.408.456-38
Isabela Borges Jales	Geóloga / Esp. em Engenharia Geotécnica	197.638D	074.244.546-17
Felipe Soares Viggiano	Estagiário	-	163.059.046-00

A identificação do Responsável Técnico pela Barragem Marçu é apresentada na Tabela 2.7

Tabela 2.7 – Identificação do responsável técnico pela Barragem Marçu

Requerente	
Nome:	Maurício Couto das Neves Peixoto
Formação:	Engenheiro de Minas / Geotécnico
CPF:	076.985.246-71
CREA	MG 165651/D
Função	Responsável Técnico
Telefone:	(37) 3341 8033
E-mail:	mauricio.peixoto@grafite.com

3. EQUIPE INTERNA DO EMPREENDIMENTO

Em atendimento ao Termo de Referência para Elaboração do Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens da FEAM, este item contempla também a avaliação dos procedimentos, da estrutura e da organização adotados pelo empreendimento para a gestão da segurança da barragem, abrangendo o monitoramento, o diagnóstico e a interpretação de anomalias, o tratamento dos dados de auscultação e os procedimentos de registro e armazenamento das informações relacionadas à segurança da estrutura.

A identificação do Responsável Técnico pela segurança da Barragem Marçu, integrante da equipe técnica interna do empreendimento, foi apresentada na Tabela 2.7.

Para fins de organização da avaliação, o item 3.1 apresenta as rotinas estabelecidas para inspeção e monitoramento da estrutura, incluindo a obtenção e o acompanhamento dos dados de auscultação, bem como os procedimentos associados ao registro e armazenamento das informações. Por sua vez, o item 3.2 aborda os procedimentos estabelecidos para análise das informações obtidas, identificação e diagnóstico de condições anômalas, interpretação do comportamento da estrutura e definição das ações de resposta aplicáveis.

A avaliação apresentada nos itens subsequentes foi realizada principalmente com base no Manual de Operações da Barragem Marçu, Revisão 06, de junho de 2021, documento que estabelece procedimentos relacionados à operação, instrumentação, monitoramento, inspeções e atuação diante de anormalidades que possam comprometer a integridade da estrutura. O mesmo manual, juntamente com o Programa de Gestão de Risco (PGRBM) e demais informações do empreendedor, subsidiou a avaliação da estrutura e da organização da equipe.

3.1. PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO, MONITORAMENTO E GESTÃO DE DADOS

Embora a Barragem Marçu se encontre inativa desde 1988, sem atividades de disposição de rejeitos e atualmente em processo de descaracterização, permanece implantado um conjunto de procedimentos destinados ao acompanhamento sistemático de sua condição de segurança, conforme estabelecido no Manual de Operações da estrutura.

O Manual de Operações prevê a realização de atividades periódicas de inspeção e monitoramento, com o objetivo de verificar o comportamento do maciço, acompanhar o desempenho dos sistemas de drenagem e identificar, de forma preventiva, quaisquer alterações que possam comprometer a estabilidade da estrutura. Para isso, são estabelecidas rotinas de acompanhamento diário dos índices pluviométricos, inspeções visuais de campo e leituras periódicas da instrumentação instalada na barragem.

O programa de monitoramento contempla a leitura quinzenal dos marcos superficiais, piezômetros, indicadores de nível d'água e dispositivos de medição das vazões dos drenos, além

do acompanhamento contínuo da precipitação por meio de pluviômetro instalado na região da barragem. A frequência de monitoramento pode ser ampliada sempre que forem identificadas condições que justifiquem acompanhamento mais rigoroso.

Os dados obtidos durante as inspeções e as leituras da instrumentação são registrados em formulários específicos, consolidados em relatórios de inspeção e utilizados para subsidiar a avaliação das condições de estabilidade da barragem. O Manual prevê, ainda, a utilização dessas informações para elaboração dos documentos periódicos de segurança da estrutura, mantendo a rastreabilidade do histórico de monitoramento e das inspeções realizadas.

3.2. DIAGNÓSTICO E TRATAMENTO DE ANOMALIAS

O Manual de Operações estabelece procedimentos específicos para identificação, comunicação e tratamento de anomalias eventualmente observadas durante as atividades de inspeção e monitoramento da Barragem Marçu. Essas rotinas têm caráter preventivo e visam assegurar resposta técnica adequada diante de qualquer alteração no comportamento da estrutura.

Sempre que uma anomalia é identificada, o responsável pela segurança da barragem deve ser imediatamente comunicado, cabendo a este avaliar a ocorrência e promover o acionamento dos profissionais envolvidos no sistema de gestão da estrutura, incluindo o responsável técnico, o projetista e o representante legal do empreendedor, quando aplicável. Todas as ocorrências devem ser registradas e acompanhadas até sua avaliação e tratamento.

Como ferramenta de apoio à tomada de decisão, o Manual adota quatro níveis de segurança — Normal, Atenção, Alerta e Emergência — definidos a partir do comportamento observado na instrumentação e das condições gerais da barragem. Para cada nível são estabelecidas ações proporcionais à criticidade da situação, que podem incluir o aumento da frequência das inspeções e leituras, a realização de avaliações técnicas complementares, a adoção de medidas corretivas e, nos casos críticos, o acionamento dos procedimentos previstos para situações de emergência.

Considerando que a Barragem Marçu não recebe rejeitos desde 1988 e não possui operação de disposição em andamento, o diagnóstico de anomalias está atualmente direcionado ao acompanhamento da integridade estrutural do barramento, ao desempenho dos sistemas de drenagem e ao comportamento geotécnico da estrutura, em consonância com sua condição de barragem inativa e em processo de descaracterização.

3.3. AVALIAÇÃO

Sob o ponto de vista documental, verifica-se que o Manual de Operações contempla procedimentos para identificação de anomalias, comunicação aos responsáveis, interpretação técnica dos dados de auscultação e adoção de ações proporcionais à condição de segurança identificada.

4. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

4.1. LOCALIZAÇÃO

A estrutura está localizada no município de Pedra Azul, em Minas Gerais, na Unidade Industrial de Pedra Azul, conforme Figura 4.1. A unidade situa-se a cerca de 50 quilômetros (Km) da região central do município. O acesso ao barramento se dá por meio da rodovia LMG-610, na qual são percorridos aproximadamente 40 Km a partir do centro do município de Pedra Azul e mais 10 Km por estrada municipal que passa pelo distrito de Araçaji de Minas-MG.

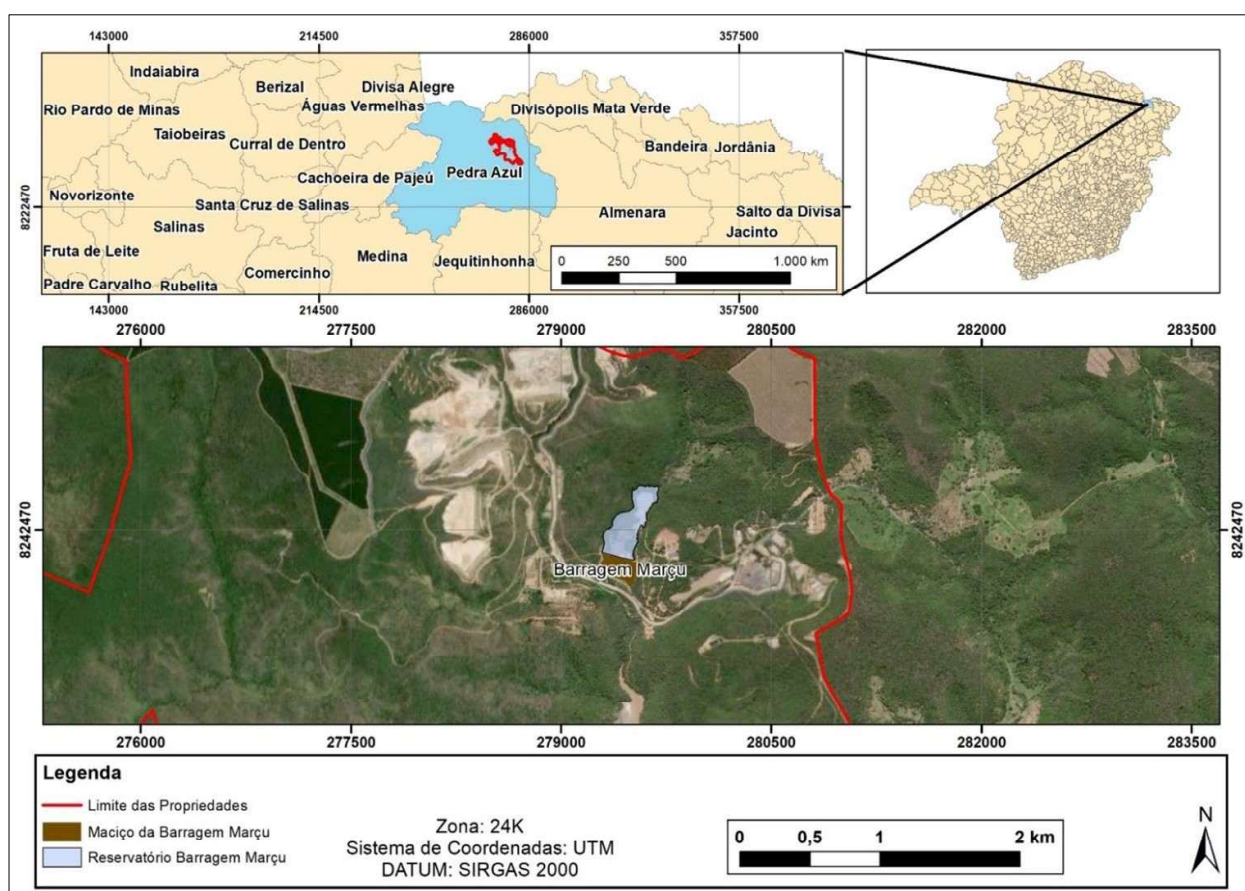


Figura 4.1 – Localização da Barragem Marçu

4.2. CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM

A Tabela 4.1 apresenta as características gerais da Barragem Marçu, refletindo sua condição atual.

Tabela 4.1 – Características Técnicas Gerais da Barragem Marçu

DADOS GERAIS DA BARRAGEM	
ID da barragem	142
Nome da barragem	Barragem Marçu
Nome da mina	Unidade Industrial de Pedra Azul
Coordenada geográfica do ponto central da crista do barramento	Latitude: 15°53'18,55 S Longitude: 41°3'34,99 O
Finalidade do barramento	Contenção de água e rejeitos
Ano de início de implantação	1981
Ano de operação	1981
Ano de término da operação	1988
Ano de descaracterização da barragem	-
Situação (status) de operação atual da barragem	Inativa
Volume atual do reservatório (m³)	1.267.824
Capacidade total do reservatório (m³)	1.548.200
Área do reservatório (m²)	94.000, na cota da crista 65.897,00, na cota da soleira do extravasor
Elevação (m) do terreno natural no ponto baixo do barramento (m)	588
Altura atual da barragem (m)	37
Altura final prevista no projeto para a barragem (m)	37
Alteamentos realizados e seus respectivos métodos empregados	1 alteamento por jusante
Alteamentos previstos	nenhum
Curso d'água interceptado	não

Os dados informados nesta tabela foram obtidos do Projeto As Is da Barragem (NG-71-AI-MR-RL-R1) e da RPSB (NG-46-RPSB-PA-RL-R2) elaborados pela 3EM-Mineração e Geologia

4.3. CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM

A classificação da Barragem Marçu quanto à Categoria de Risco (CRI), ao Potencial de Dano Ambiental (PDA) e à sua classificação final foi realizada conforme os critérios estabelecidos nos Anexos II e IV do Decreto Estadual nº 48.140, de 25 de fevereiro de 2021.

A partir da aplicação dos critérios estabelecidos no referido Decreto, a Barragem Marçu foi enquadrada na Categoria de Risco Baixo, com Potencial de Dano Ambiental baixo, resultando em sua classificação final como Classe E, conforme apresentado na Tabela 4.7. O detalhamento dos critérios, respectivas pontuações e resultados que fundamentam essa classificação é apresentado a seguir.

Tabela 4.2 - Identificação da Barragem

Nome da Barragem	Barragem Marçu
Nome do Empreendedor	Nacional de Grafite Ltda.
Data	26/08/2026

Tabela 4.3 - Categoria de Risco

CATEGORIA DE RISCO		
Pontos		
1	Características Técnicas (CT)	8
2	Estado de Conservação (EC)	0
3	Plano de Segurança de Barragens (PSB)	3
Pontuação Total (CRI) = CT+EC+PSB		11
Faixas de Classificação	Categoria de Risco	CRI
	Alto	≥ 65 ou $EC^* \geq 10$
	Médio	$37 < CRI < 65$
	Baixo	≤ 37

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

Tabela 4.4 - Potencial de Dano Ambiental

POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL (PDA)		
Faixas de Classificação	Potencial de Dano Ambiental (PDA)	Pontos
		6
	Potencial de Dano Ambiental	PDA
	Alto	≥ 13
	Médio	$7 < DPA < 13$
	Baixo	≤ 7

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

Tabela 4.5 – Resultado da classificação

RESULTADO FINAL DA AVALIAÇÃO			
Categoria de Risco	() Alto	() Médio	(X) Baixo
Potencial de Dano Ambiental	() Alto	() Médio	(X) Baixo

Tabela 4.6 – Matriz 2 – Classificação das Barragens de Rejeitos ou Resíduos da Mineração

	Potencial de Dano Ambiental Barragens da Mineração		
Categoria de Risco	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	B	C	D
Baixo	B	C	E

Tabela 4.7 – Síntese da classificação da Barragem Marçu

Classificação da Barragem Marçu	
Categoria de Risco	Baixo
Potencial de Dano Ambiental	Baixo
Classificação da barragem	E

Tabela 4.8 - Quadro de classificação quanto à categoria de risco - Características Técnicas – CT

Altura (a)	Comprimento (b)	Vazão de Projeto (c)	Método Construtivo (d)	Auscultação (e)
Altura $\leq$ 10m (0)	Comprimento $\leq$ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)
10m < Altura < 30m (1)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)
30m $\leq$ Altura $\leq$ 60m (4)	200 $\leq$ Comprimento $\leq$ 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)	Alteamento a montante ou desconhecido ou que já tenha sido alteada a montante ao longo do ciclo de vida da estrutura (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)

(CT = Σ (a até e))

Pontuação atribuída à Barragem Marçu:

4	2	0	2	0
---	---	---	---	---

Tabela 4.9 - Quadro de classificação quanto à categoria de risco - Estado de Conservação – EC

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (f)	Percolação(g)	Deformações e Recalques (h)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (i)
Estruturas civis bem mantidas e em operação normal / barragem sem necessidade de estruturas extravasoras (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (0)	Não existe deterioração de taludes e paramentos (0)
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 ou ombreiras sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Existência de trincas e abatimentos sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Erosões superficiais, ferrugem exposta, presença de vegetação arbórea, se 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)

(EC = $\sum$ (f até i))

Pontuação atribuída à Barragem Marçu:

0	0	0	0
---	---	---	---

Tabela 4.10 - Quadro de classificação quanto à categoria de risco - Plano de Segurança da Barragem – PSB

Documentação de Projeto (j)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (k)	Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento (l)	"Plano de Ação Emergencial – PAE (Quando exigido pelo órgão fiscalizador) (m)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (n)
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Auditoria de Segurança (0)
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 Auditoria 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 Auditoria de Segurança (8)

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

Documentação de Projeto (j)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (k)	Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento (l)	"Plano de Ação Emergencial – PAE (Quando exigido pelo órgão fiscalizador) (m)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (n)
Não há documentação de projeto (10)				

(PSB = $\sum$ (j até n))

Pontuação atribuída à Barragem Marçu:

3	0	0	0	0
---	---	---	---	---

Tabela 4.11 - Quadro de classificação quanto ao potencial de dano ambiental – PDA

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
MUITO PEQUENO < = 1 milhão m ³ (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 II B – Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (Não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
PEQUENO 1 milhão a 5 milhões m ³ (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, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (2)	BAIXO (Existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico- cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
MÉDIO 5 milhões a 25 milhões m ³ (3)	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (5)	SIGNIFICATIVO (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 II B – Inertes segundo a NBR 10.004 da ABNT) (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)

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
GRANDE 25 milhões a 50 milhões m ³ (4)	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (10)	MUITO SIGNIFICATIVO (Barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe II A – Não Inertes, segundo a NBR 10004 da ABNT) (8)	ALTO (Existe alta concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
MUITO GRANDE > = 50 milhões m ³ (5)	-	MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (Barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I- Perigosos segundo a NBR 10004 da ABNT) (10)	-

(PDA= Σ (a até d))

Pontuação atribuída à Barragem Marçu:

2	3	0	1
---	---	---	---

5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GERAIS

5.1. HISTÓRICO

A Barragem Marçu foi construída em 1981, com a finalidade de receber os rejeitos provenientes das operações de beneficiamento mineral da Unidade Industrial de Pedra Azul. Em 1986, a estrutura passou por um alteamento executado pelo método de jusante, visando à ampliação de sua capacidade de armazenamento.

A disposição de rejeitos na Barragem Marçu foi encerrada em 1988, após aproximadamente sete anos de operação. No mesmo ano, entrou em operação a Barragem Rancho Casca, que passou a receber os rejeitos gerados no processo de beneficiamento, substituindo a Barragem Marçu nessa função.

Desde então, a Barragem Rancho Casca permanece integrada ao sistema de disposição de rejeitos do empreendimento, recebendo, até o presente, os materiais provenientes das operações de beneficiamento mineral, enquanto a Barragem Marçu permanece inativa.

5.2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

Este item tem como objetivo descrever e avaliar as características geológico-geotécnicas da fundação, ombreira, maciço e entorno da barragem, a sismicidade regional e local, assim como os aspectos hidrogeológicos.

5.2.1. Resumo das campanhas de investigação

Com o objetivo de subsidiar a caracterização geológico-geotécnica da Barragem Marçu e de seus materiais constituintes, foram realizadas campanhas de investigação ao longo do histórico de avaliação da estrutura. Essas investigações forneceram informações relevantes para o conhecimento das condições do maciço, fundação e materiais associados à barragem.

De forma geral, são consideradas neste relatório duas campanhas de investigação geotécnica: a primeira, realizada em 2018 pela GEOTHRA, e uma campanha em 2024 conduzida pela Nacional de Grafite.

A campanha executada pela empresa GEOTHRA - Geologia e Geotecnia Ltda, entre julho e agosto de 2018 teve o objetivo de subsidiar o projeto executivo de descaracterização da barragem e a elaboração do projeto executivo da futura pilha de estéril sobre o seu reservatório.

Devido as dúvidas remanescentes em relação ao alteamento da barragem, a equipe da NGL realizou, em 2024, uma nova campanha, com 8 sondagens à trado, focadas na região a montante da crista da barragem. (Figura 5.1)

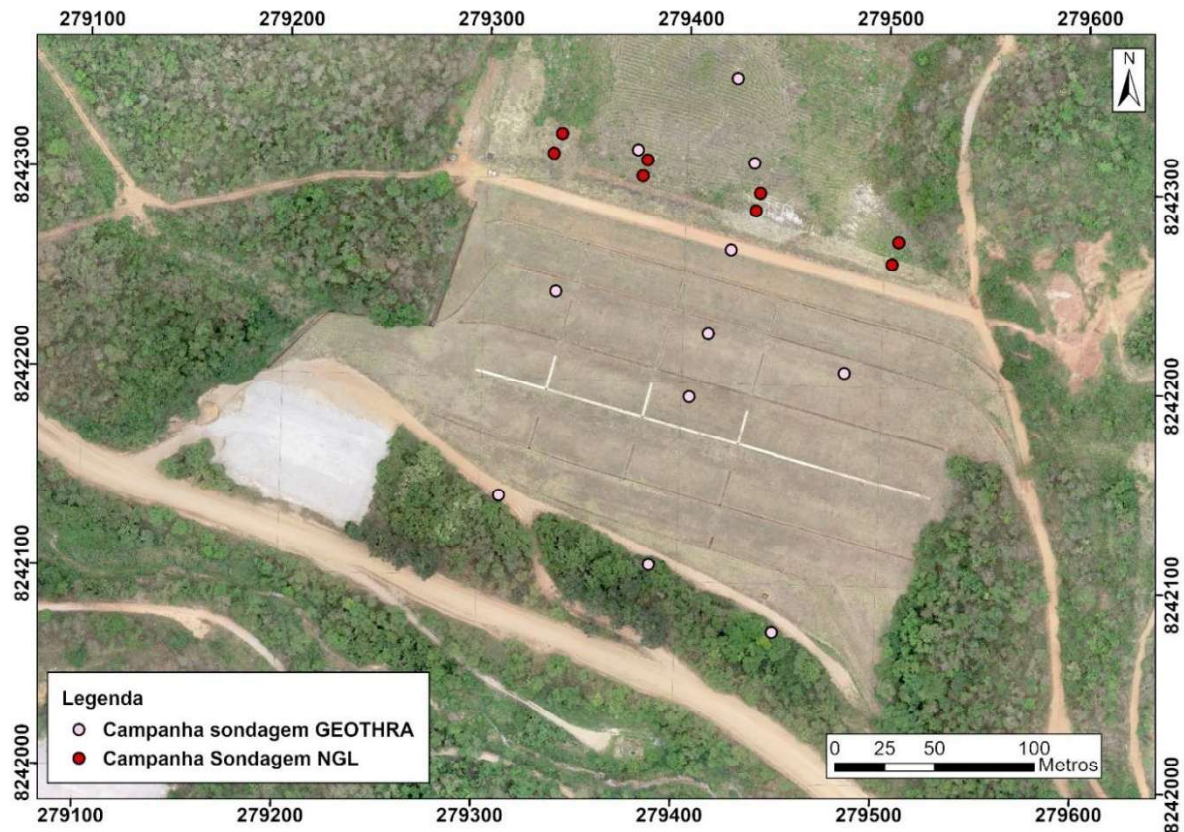


Figura 5.1 – Campanhas de sondagem

5.2.2. Ensaios de laboratório

Foram realizados em 2018 no laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (LMS/DEC/UFV) ensaios de caracterização granulométrica de amostras, bem como ensaios de compressão triaxial, adensamento e umidade da fundação, rejeito e aterro. A Tabela 5.1 a seguir mostra a denominação adotada para as amostras, bem como sua localização, material amostrado e sua profundidade. Esses dados estão disponíveis no *Relatório_Ensaios_Barragem_Marçu.pdf*, de autoria da UFV.

Tabela 5.1 - Denominação adotada para as amostras ensaiadas.

Ponto	Material	Amostra	Coordenadas N	Coordenadas E	Profundidade (m)
PI-01	Aterro	Aterro PI-01	8.242.314,46	279.467,93	1,10 a 1,50
PI-02	Aterro	Aterro PI-02	8.242.272,11	279.458,49	1,10 a 1,50
PI-03	Aterro	Aterro PI-03	8.242.214,96	279.444,37	1,10 a 1,50
F-01	Fundação	Fundação F-01	8.242.155,32	279.434,34	2,70 a 4,30
F-02	Fundação	Fundação F-02	8.242.363,44	279.421,99	2,70 a 3,30
F-03	Fundação	Fundação F-03	8.242.408,20	279.470,17	2,70 a 3,30
AD-01	Rejeito	Rejeito AD-01	8.242.363,44	279.409,97	0,50 a 1,00
AD-02	Rejeito	Rejeito AD-02	8.242.399,92	279.457,77	0,50 a 1,00
AD-03	Rejeito	Rejeito AD-03	8.242.434,40	279.482,79	0,50 a 1,00
AD-04	Rejeito	Rejeito AD-04	8.242.472,30	279.495,71	0,50 a 1,00
AD-05	Rejeito	Rejeito AD-05	8.242.538,27	279.494,32	0,50 a 1,00

Ressalta-se que os valores de profundidade apresentados na Tabela 5.1 se referem aos constantes nos recipientes (caixas de madeira, tubos shelby e sacos plásticos) nos quais as amostras foram entregues ao laboratório.

Na Tabela 5.2 encontra-se a relação dos ensaios previstos para as amostras entregues ao laboratório.

Tabela 5.2 - Ensaios realizados

Ponto	Amostra	GRN	PES	PEN	Wnat	ADN	Triaxial	
							CUsat	UU
PI-01	Aterro PI-01	x	x				X	
PI-02	Aterro PI-02	x	x				X	
PI-03	Aterro PI-03	x	x				X	
F-01	Fundação F-01	x	x	x	x			x
F-02	Fundação F-02	x	x	x	x			

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

Ponto	Amostra	GRN	PES	PEN	Wnat	ADN	Triaxial	
							CUsat	UU
F-03	Fundação F-03	x	x	x	x			
AD-01	Rejeito AD-01		x				x	
AD-02	Rejeito AD-02		x					AD-02
AD-03	Rejeito AD-03		x					
AD-04	Rejeito AD-04		x					
AD-05	Rejeito AD-05	x	x					

Simbologia:

GRN - Granulometria completa; PES - Peso específico dos sólidos; wnat - Teor de umidade natural; ADN - Adensamento edométrico

CUsat - Adensado, rápido, saturado; UU - Não adensado, rápido

5.2.3. Mapeamento de detalhe

Segundo o Relatório Técnico "As Is" (NG-132-RTSB-MR-RL-R0) elaborado pela empresa 3EM – Mineração e Geologia LTDA em janeiro de 2025, as sondagens realizadas na área da barragem permitiram a reinterpretação das seções geológico-geotécnicas.

5.2.3.1. Unidades geológicas

Os litotipos identificados na área de interesse estão resumidos na Tabela 5.3, enquanto a descrição detalhada das características geológico-geotécnicas se encontra no item 5.2.4.

Tabela 5.3 - Litologias identificadas nas campanhas de Investigação

Litologias identificadas		Descrição
RESERVATÓRIO	Rejeito	Granulometria muito fina, siltosa, de coloração cinza amarelada
MACIÇO	Primeira Etapa	Argila e argila arenosa compactada
	Alteamento	Silte arenoso e silte argiloso
	Drenagem Interna	Materiais granulares, do filtro e dos drenos
FUNDAÇÃO	Colúvio Permeável	Argila muito arenosa medianamente laterizada, coloração marrom avermelhada, contendo pedregulhos e minúsculos cristais de quartzo.
	Solo Residual de Gnaiss	constituído de material areno-siltoso, micáceo, com textura média a grossa e com a presença de cristais de feldspatos,
	Rocha	Gnaiss migmatizado, apresentando diferentes graus de alteração ao longo do perfil

5.2.3.2. Geologia estrutural

Não foram identificadas falhas, fraturas ou dobras relevantes no local estudado, apenas as feições em escala regional. A foliação metamórfica apresenta direção preferencial NE-SW. Algumas

fraturas observadas são subverticais (com inclinação superior a 80°). Não foram observadas brechas ou fraturas com material de preenchimento.

5.2.3.3. Fundação, ombreiras e entorno

De acordo com o estudo de viabilidade, a barragem foi locada inicialmente em um vale natural, criando condições favoráveis à formação de uma bacia de sedimentação.

A fundação e as ombreiras da Barragem Marçu foram caracterizadas com base nos resultados das sondagens e ensaios de laboratório realizados pela empresa GEOTHRA - Geologia e Geotecnia Ltda, entre julho e agosto de 2018, contando também com o auxílio das informações e fotos que acompanham os documentos mais antigos (Estudo de Viabilidade Técnica e Planilha de Evolução de Custos por Item). Os materiais caracterizados na fundação da Barragem Marçu foram colúvio e saprólito.



Figura 5.2 – Vista de jusante da ombreira direita, antes do início da implantação do último alteamento, exibindo o perfil de solo característico do local
(Fonte: Planilha de Evolução de Custos por Item)

5.2.4. Classificação e Caracterização geotécnica

5.2.4.1. Solo Residual de Gnaiss

Inicialmente classificado como saprólito, mas reinterpretado como solo residual, este material é constituído de material areno-siltoso, micáceo, com textura média a grossa e com a presença de

cristais de feldspatos, guardando, via de regra, a foliação e as estruturas da rocha matriz. De coloração predominante cinza a amarelada, apresenta-se muito compacto, com valores de NSPT elevados.

Próximo ao furo de sondagem SP-11, foi coletada amostra indeformada tipo “Shelby” e encaminhada para o laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (LMS/DEC/UFV), obtendo-se os seguintes resultados:

- Granulometria – 35,0% de argila, 52,2% de silte e 12,8% de areia;
- Massa Específica dos Grãos – 2,67 g/cm³

As **Tabela 5.4** e **Tabela 5.5** abaixo apresentam os resultados dos ensaios realizados nas amostras de fundação.

Tabela 5.4 - resultado dos ensaios de caracterização da fundação

GRANULOMETRIA					DENSIDADE REAL DOS GRÃOS (g/cm ³)
Amostra	Argila %	Silte %	Areia %	Pedregulho %	
F-01	35.0	52.2	12.8	0.0	2.758
F-02	37.0	59.5	3.5	0.0	2.786
F-03	33.0	54.7	12.3	0.0	2.753

Tabela 5.5 - Resultados dos ensaios triaxiais da fundação.

ENSAIO TRIAXIAL – UU		
Amostra	C (kPa)	Φ (°)
F-02	41	0
F-03	28	0

5.2.4.2. Colúvio

Ocorre em grande parte na superfície do terreno, estando em muitos locais sotoposto ao aterro da barragem e aos rejeitos depositados na área do reservatório. Apresenta constituição argilo-arenosa, medianamente lateritizada, de coloração marrom avermelhada, contendo pedregulhos e minúsculos cristais de quartzo. O NSPT médio da camada foi em torno de 9 golpes.

5.2.4.3. Maciço

Trata-se de uma barragem de terra convencional construída em etapas, com 37 m de altura e 266 m de comprimento de crista. A inclinação média do talude de jusante é 1V:3,5H.

De acordo com o Estudo de Viabilidade Técnica, a barragem foi construída na primeira etapa com a crista na Elevação 616,00m, com estéril compactado, em alteamentos com eixo deslocando a jusante (downstream). Um último alteamento, que atingiu a Elevação 625,00m, teve seu projeto elaborado pela empresa GEOTOPO Engenharia de Solos, ocorrendo entre 1986 e 1987.

O maciço correspondente à primeira fase de construção da barragem é constituído de argila e argila arenosa compactada, com NSPT entre 7 a 10 golpes, na maior parte perfurada. O aterro do alteamento foi realizado com silte arenoso e silte argiloso, e seu NSPT médio é de 10 golpes.

Do último alteamento foram retirados três blocos indeformados, na campanha de 2018, que foram analisados pelo laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (LMS/DEC/UFV).

A Tabela 5.6 e a Tabela 5.7 apresentam os resultados dos ensaios realizados nas amostras de aterro, enquanto os resultados dos ensaios de tensões totais e efetivas estão demonstrados na sequência da Figura 5.3 até a Figura 5.8.

Tabela 5.6 - Resultado dos ensaios de caracterização do maciço

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO – AMOSTRAS DO MACIÇO						
GRANULOMETRIA					DENSIDADE REAL DOS GRÃOS (g/cm³)	PESO ESPECÍFICO Kn/m³
Amostra	Argila %	Silte %	Areia %	Pedregulho %		
PI-01	28.0	26.6	45.4	0.0	2.790	27.36
PI-02	49.0	17.1	32.9	1.0	2.771	27.17
PI-03	49.0	11.3	38.5	1.2	2.785	27.31

Tabela 5.7 - Resultado dos ensaios triaxiais do maciço

ENSAIO TRIAXIAL - CU_{sat}				
Amostra	C (kPa)	Φ (°)	C' (kPa)	Φ' (°)
PI-01	10	13	12	29
PI-02	0	18	7	34
PI-03	13	14	15	34

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

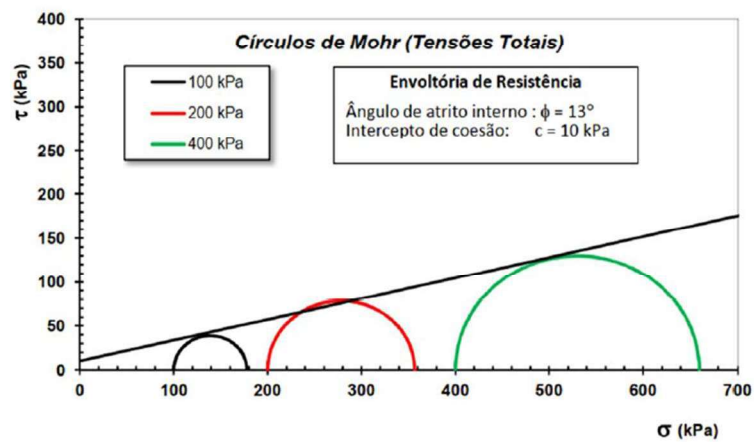


Figura 5.3 - Resultados dos ensaios de tensões totais da amostra PI-01

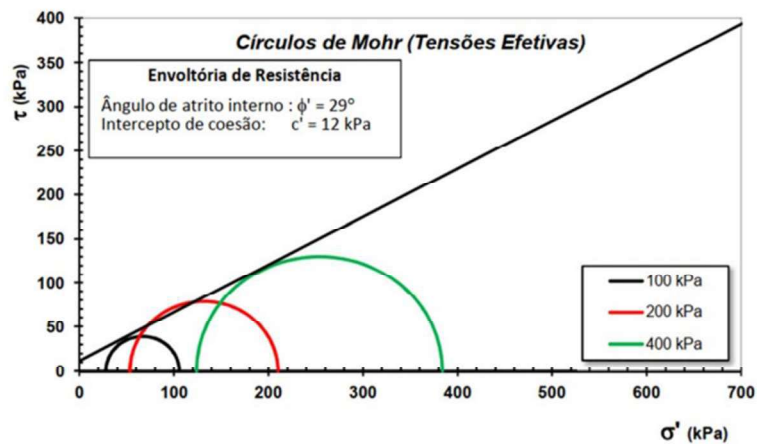


Figura 5.4 - Resultados dos ensaios de tensões efetivas da amostra PI-02

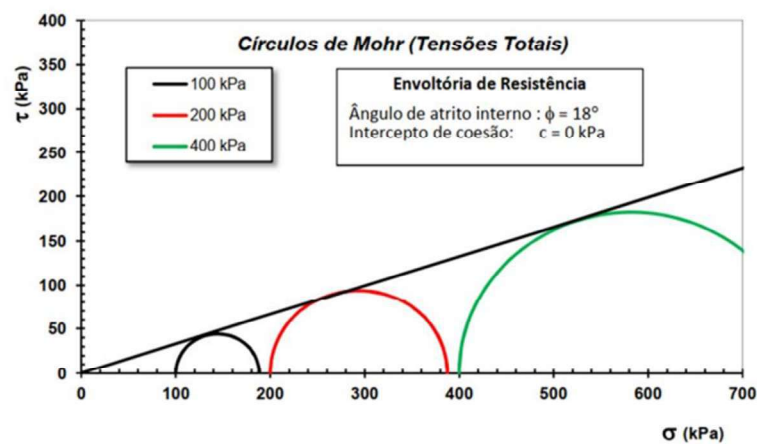


Figura 5.5 - Resultados dos ensaios de tensões totais da amostra PI-02

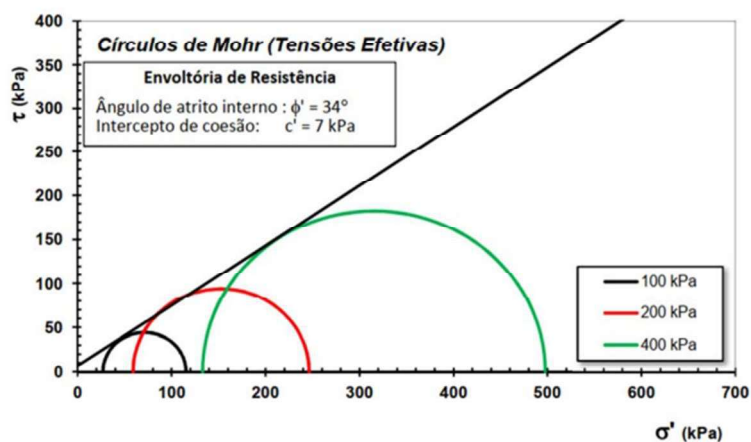


Figura 5.6 - Resultados dos ensaios de tensões efetivas da amostra PI-02

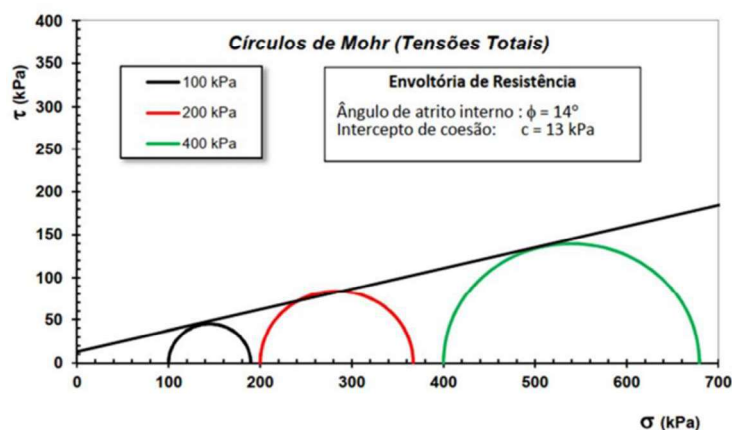


Figura 5.7 - Resultados dos ensaios de tensões totais da amostra PI-03

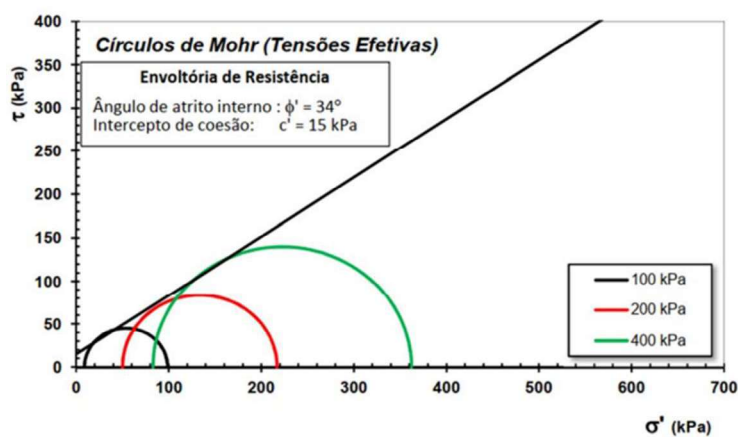


Figura 5.8 - Resultados dos ensaios de tensões efetivas da amostra PI-03

5.2.4.4. Drenos vertical e horizontal

Não foram executados ensaios de resistência para os materiais que constituem o sistema de drenagem interna da barragem, devido pouca influência que esses materiais exercem nas superfícies de ruptura da estrutura. Os parâmetros adotados foram definidos com base em referências bibliográficas.

5.2.5. Seções geológico-geotécnicas

Duas seções típicas da Barragem Marçu, na porção central do maciço, vêm sendo estudadas pelos auditores ao longo do tempo. Essas seções foram reinterpretadas, além de incluir uma terceira seção para as análises de estabilidade, cuja localização está representada na **Figura 5.9**.

Na **Figura 5.10**, encontram-se representadas as seções típicas da Barragem Marçu reinterpretada.

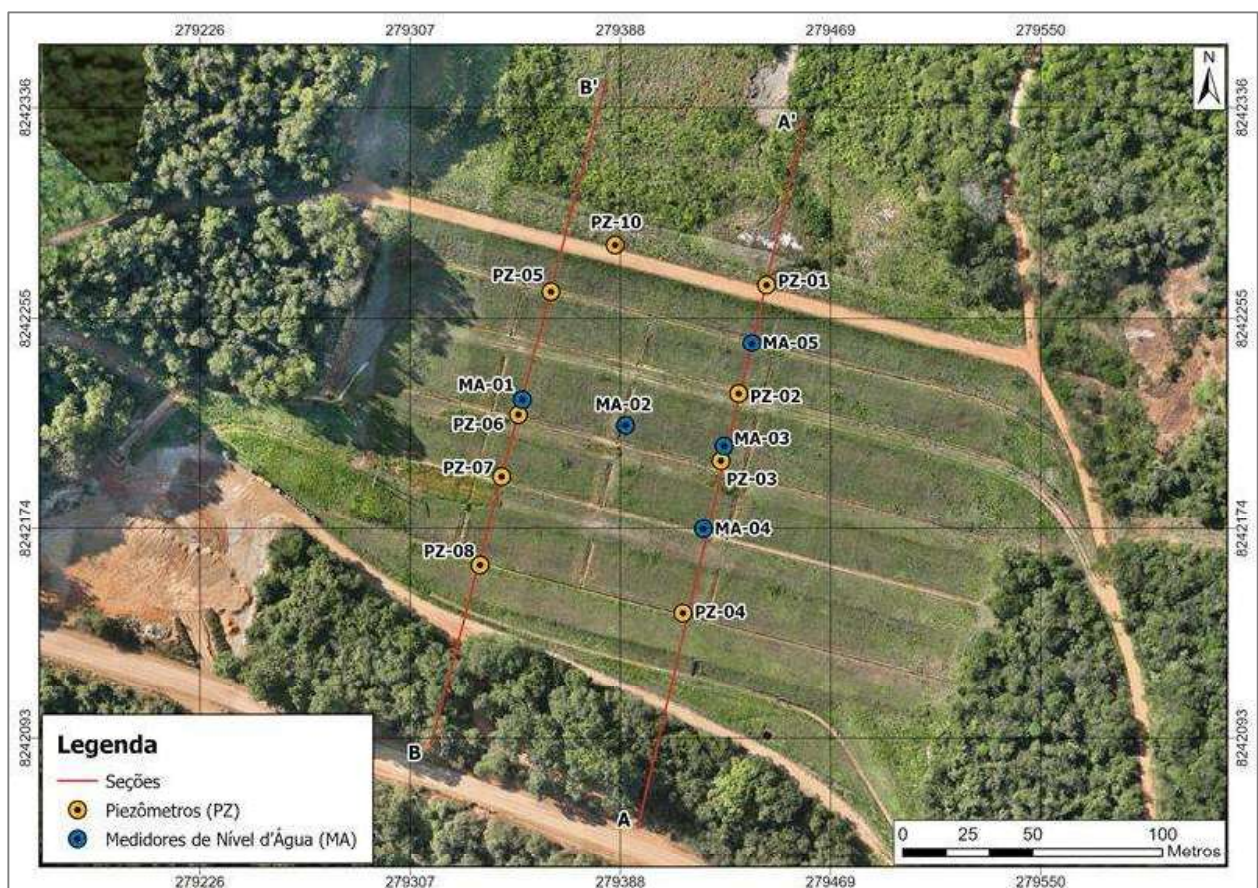


Figura 5.9 – Localização das seções para análise de estabilidade

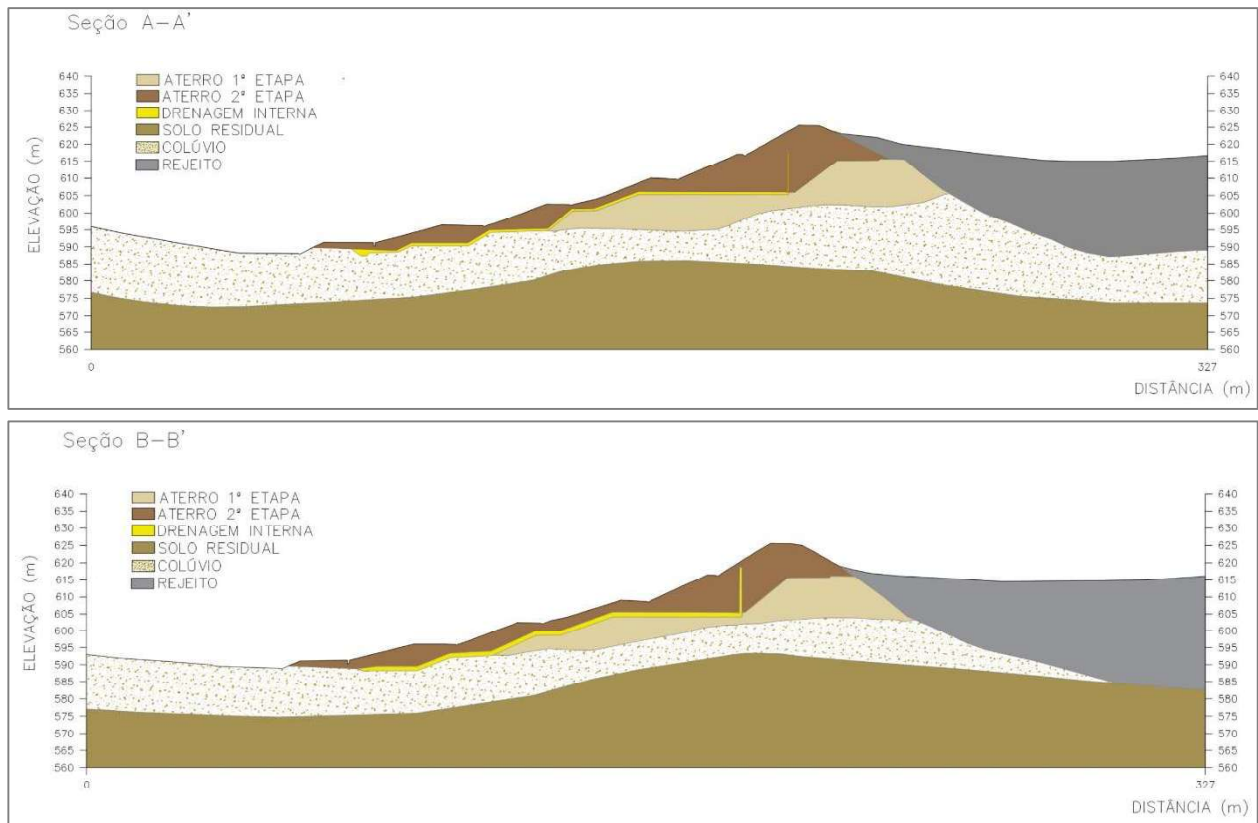


Figura 5.10 – Seções típicas da Barragem Marçu reinterpretadas

5.3. ESTUDOS SÍSMICOS

De acordo com o Centro de Sismologia da USP¹, pequenos tremores em Minas Gerais são mais frequentes do que a média brasileira. No passado, já ocorreram tremores de magnitude até 4,9 em Minas Gerais, principalmente na parte Norte do estado: São Francisco 1931 (m=4.9), Itacarambi 2007 (m=4.9), Montes Claros 2012 (m=4.0).

Em Minas Gerais o melhor exemplo de surtos de sismicidade ocorreu na cidade de Bom Sucesso: primeiro durante vários meses em 1901, depois em 1903, em 1919-1920, em 1935-1936, e em 1939-1940. Porém, os maiores ocorreram em 1920, atingindo magnitude 4.0 e intensidade VI MM, no norte do Estado. Não há relatos de danos apreciáveis nem vítimas.

¹ Centro de Sismologia da USP - Relatório Sismologia II. Tremores em Divinópolis – MG. 19 de janeiro de 2022. Universidade de São Paulo.

Tanto em Minas Gerais como em outras partes do Brasil, os tremores de terra naturais ocorrem, geralmente, por deslizamento repentino em falhas ou fraturas geológicas causado pelo acúmulo de tensões geológicas ("pressões internas") a que a crosta está submetida. Estas tensões devem-se às forças tectônicas que movem a placa Sul-Americana.

O estudo sísmico para a Barragem Marçu seguiu as recomendações da Norma ABNT 13.028/2024 e para o cálculo específico da aceleração, a ser utilizada nas análises de estabilidade. O estudo seguiu os critérios especificados pela *Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation - CSIRO*, no documento *Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design*, onde a aceleração máxima horizontal (PGA) pode ser definida a partir do tempo de retorno (TR) de 475 anos, sendo equivalente a 10% de probabilidade de exceder em 50 anos.

Entretanto, não se desconsiderou o que já existe de publicação sobre ameaça sísmica probabilística (PSHA), que estima expressamente a probabilidade de que vários níveis de movimento do solo causados por terremotos serão excedidos em um determinado local por um determinado período de tempo futuro, apesar de serem estudos ainda não definitivos no Brasil.

Quanto ao coeficiente sísmico horizontal (K_h) usado nas análises de estabilidade pseudoestáticas, foi adotado como sendo igual a 50% do PGA, conforme recomendações de diversos autores quando a estrutura não está diretamente apoiada no topo rochoso (Corpo de Engenheiros, 1982; Marcuson & Franklin, 1983; Hynes-Griffin & Franklin, 1983).

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

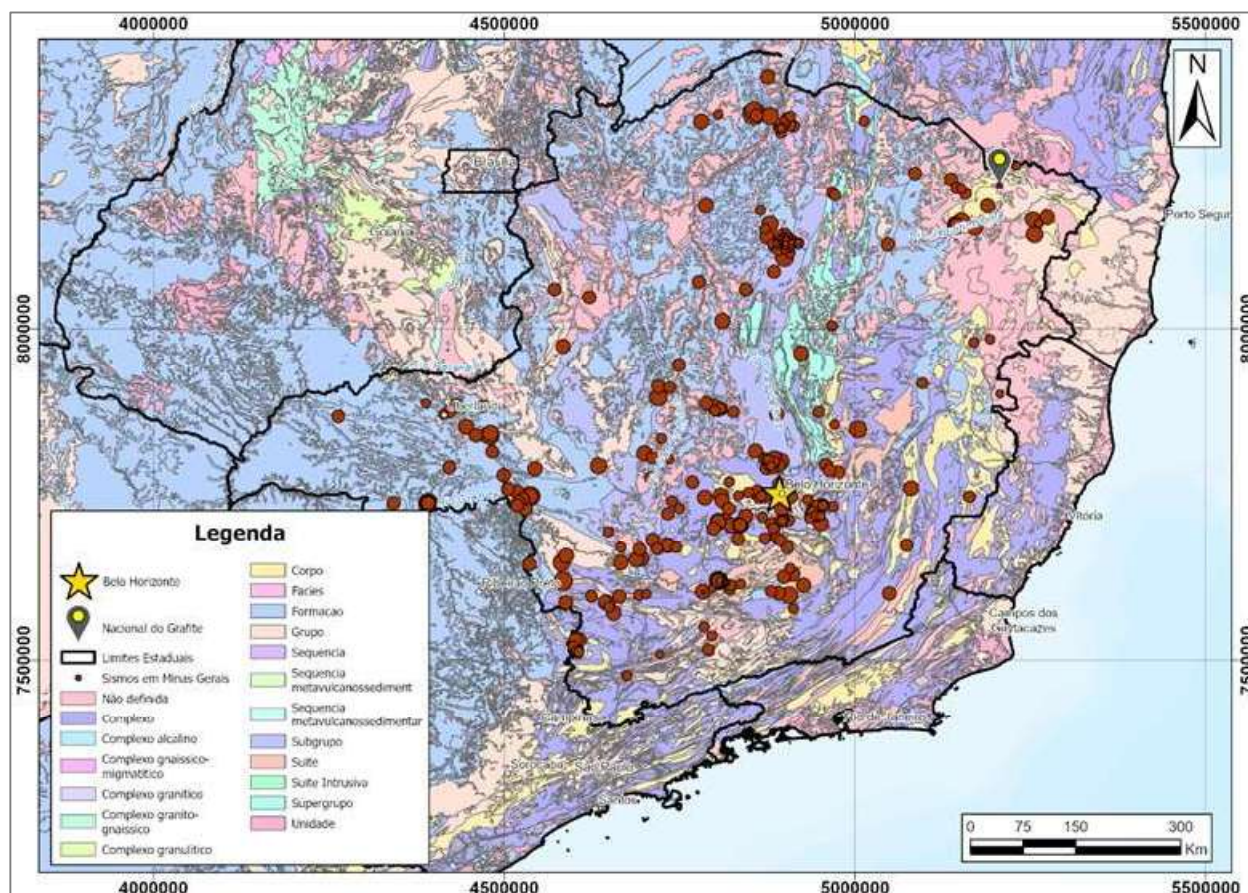


Figura 5.11 - Sismos e Geologia em Minas Gerais

(Serviço Geológico do Brasil (SGB) - Departamento de Geologia (DEGEO), providenciado pelo IDE-SISEMA)

Para o valor para o coeficiente sísmico vertical K_v , Seed & Martin (1966), e Duncan & Wright (2005) sugerem que o coeficiente sísmico vertical igual a 0 (zero), sob a hipótese de que o movimento das ondas sísmicas cisalhantes é vertical. Papadimitriou *et al.* (2014), reforça que os valores de acelerações verticais em regiões de baixa atividades sísmicas podem ser consideradas desprezíveis ou de baixa relevância.

Para determinar o PGA para a região da Barragem Marçu, foram utilizados como base os estudos realizados por Assumpção *et al.* (2016), que apresenta um estudo de ameaça sísmica para regiões do Brasil.

Neste estudo, são apresentadas acelerações de pico em rocha – PGA rocha e orienta que a aceleração de projeto deve levar em conta efeitos de amplificação / atenuação de ondas, distância focal do sismo e afins. Para obtenção do valor de aceleração sísmica, foi considerado o mapa com tempo de retorno (TR) de 475 anos, ou seja, a probabilidade de ocorrência de 10% em 50 anos.

Conforme indicado na **Figura 5.12** a barragem estará inserida na zona com aceleração variando entre 0,01g e 0,02g, adotando para este projeto o PGA de 0,02g.

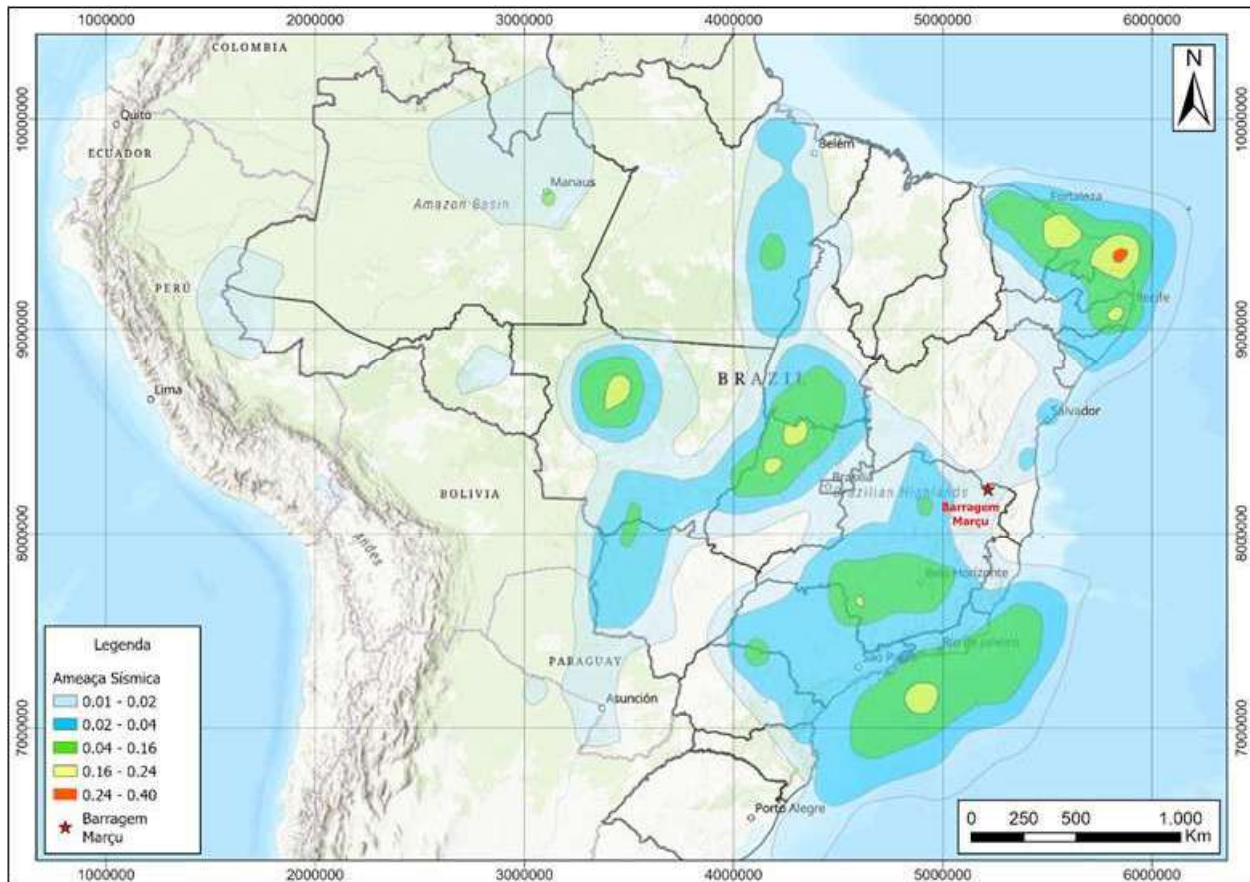


Figura 5.12 - Mapas de Ameaça Sísmica ("Seismic Hazard Maps") para aceleração de pico (Peak Ground Acceleration - PGA) em rocha, para probabilidades de 10% de excedência em 50 anos, correspondendo a período de 475 anos.

(Fonte: Assumpção *et al.*, (2016))

5.4. ADERÊNCIA DO PROJETO AS IS

As informações técnicas disponibilizadas através do projeto de "As Is" (como está) permitem avaliar que o mesmo retrata de forma efetiva a condição atual da barragem, inclusive sobre os aspectos que interferem diretamente na segurança da barragem.

Cabe ressaltar, que, na atual situação, a construção da barragem está em conformidade com as normas vigentes.

6. SISTEMAS DE DRENAGEM

A Barragem Marçu dispõe de sistemas destinados ao controle das águas superficiais e das percolações pelo maciço, compreendendo o sistema de drenagem interna, o sistema de drenagem superficial e o sistema extravasor. A configuração atualmente implantada encontra-se caracterizada no Projeto *As Is* da Barragem Marçu – NG-71-AI-MR-RL-R1, utilizado como principal referência para a descrição apresentada nos itens subsequentes.

6.1. DRENAGEM INTERNA

O sistema de drenagem interna da Barragem Marçu tem como função promover a coleta e condução controlada das águas de percolação pelo maciço, contribuindo para o controle das poropressões e das condições de fluxo no interior da estrutura.

De acordo com o Projeto *As Is*, a drenagem interna é constituída por filtro de areia disposto entre o aterro original da barragem e o aterro correspondente ao alteamento, configurado em forma de “L”, associado a drenos tubulares localizados próximos ao pé do talude de jusante.

O sistema conta ainda com dispositivos destinados à coleta e ao acompanhamento das vazões provenientes da drenagem interna. O monitoramento inclui medidores de vazão associados ao dreno de pé e aos drenos tubulares profundos, permitindo o acompanhamento do comportamento das descargas ao longo do tempo.

A Figura 6.1 apresenta o arranjo da drenagem interna da Barragem Marçu.

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

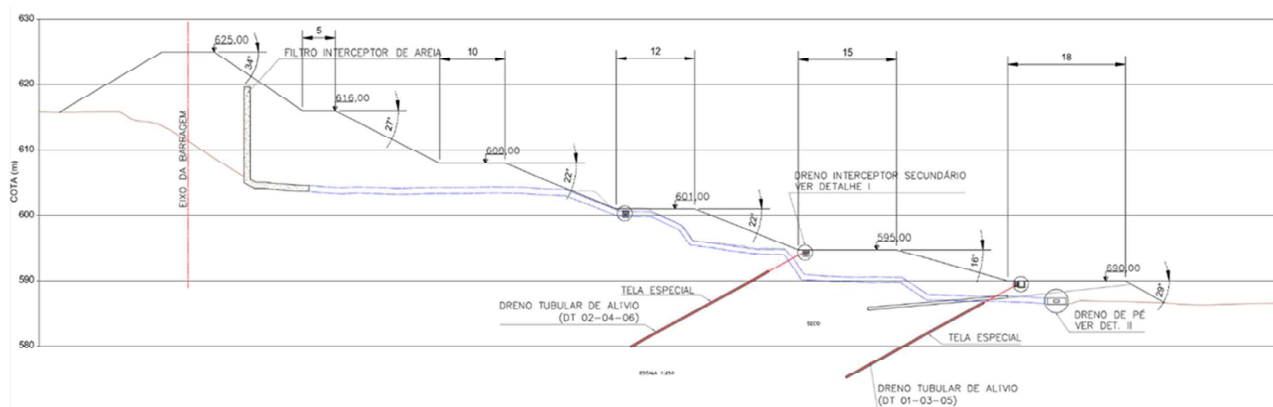


Figura 6.1 – Arranjo geométrico da barragem (seção de altura máxima da barragem)

O Projeto *As Is* apresenta ainda registros da implantação do sistema de drenagem interna, incluindo registro fotográfico, bem como plantas de localização dos drenos e seções representativas de sua configuração, conforme **Figura 6.2**.



Figura 6.2 – Foto da construção da drenagem interna da Barragem Marçu (15/12/1985)

Durante as avaliações registradas no Projeto *As Is*, o acompanhamento das vazões e o aspecto visual do dreno de pé indicaram condições adequadas de funcionamento da drenagem interna, sem registro de surgências ou sinais de carreamento de sólidos.

6.2. DRENAGEM SUPERFICIAL

O sistema de drenagem superficial da Barragem Marçu tem como finalidade coletar e conduzir de forma controlada as águas provenientes do escoamento superficial incidente sobre o maciço, reduzindo a ocorrência de processos erosivos e o escoamento desordenado sobre os taludes e bermas.

O sistema é constituído predominantemente por canaletas de concreto de seção triangular, implantadas ao longo das bermas e direcionadas às descidas d'água. As canaletas apresentam largura média de aproximadamente 0,90 m, altura média de 0,30 m e inclinações variáveis ao longo dos diferentes trechos.

As águas coletadas pelas canaletas são encaminhadas para um conjunto de escadas hidráulicas, responsáveis pela condução do escoamento entre as diferentes elevações do maciço. As escadas encontram-se divididas em quatro trechos, com largura útil dos degraus de aproximadamente 0,50 m e altura dos espelhos de 0,30 m, apresentando variações locais na geometria dos patamares e espelhos.

Entre determinados trechos das escadas encontram-se ainda manilhas destinadas à passagem das águas através das bermas, complementando o sistema de condução superficial. A Figura 6.3, Figura 6.4 e Figura 6.5 identificam os trechos de drenagem superficial existentes e sua verificação hidráulica se encontra no item 10.4.

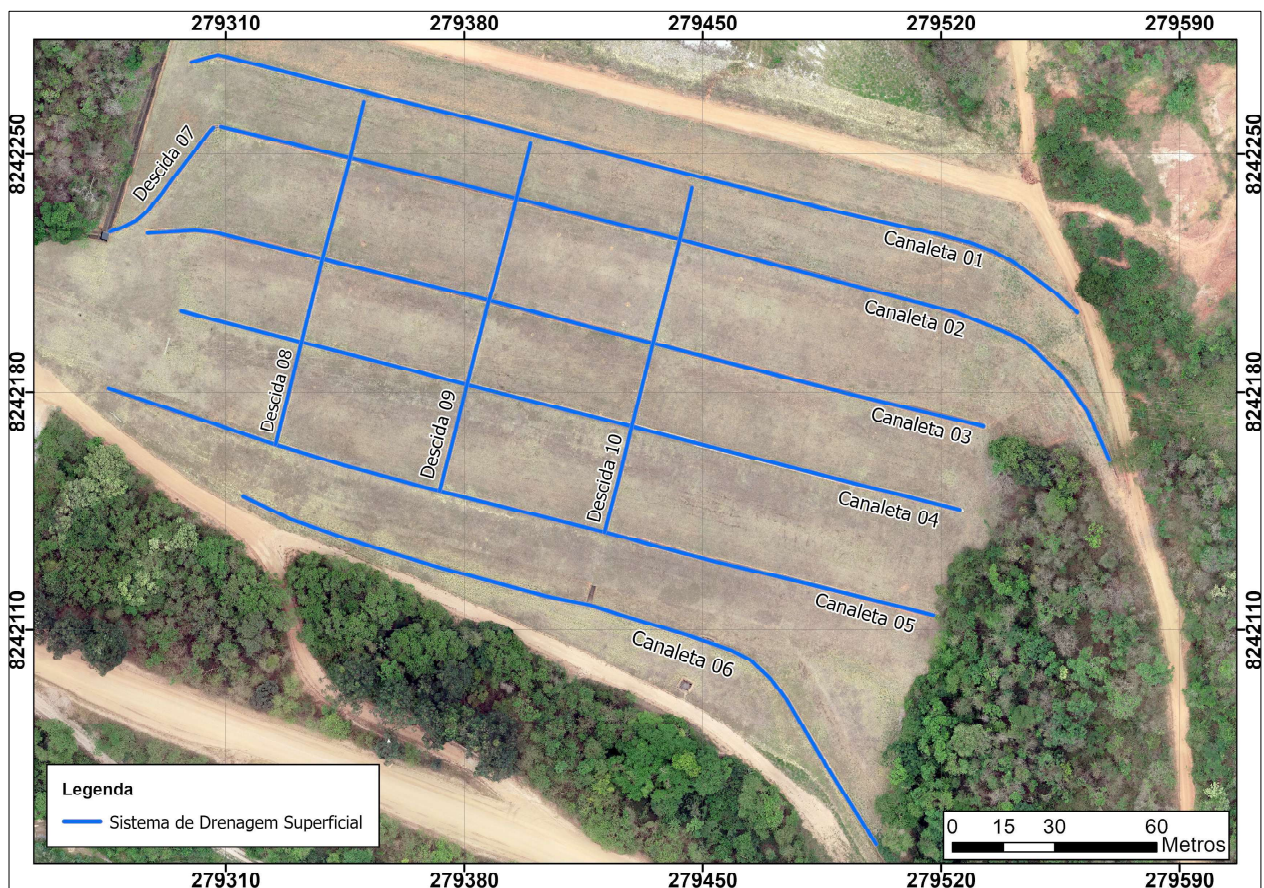


Figura 6.3 – Distribuição das canaletas do talude de jusante da Barragem Marçu

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

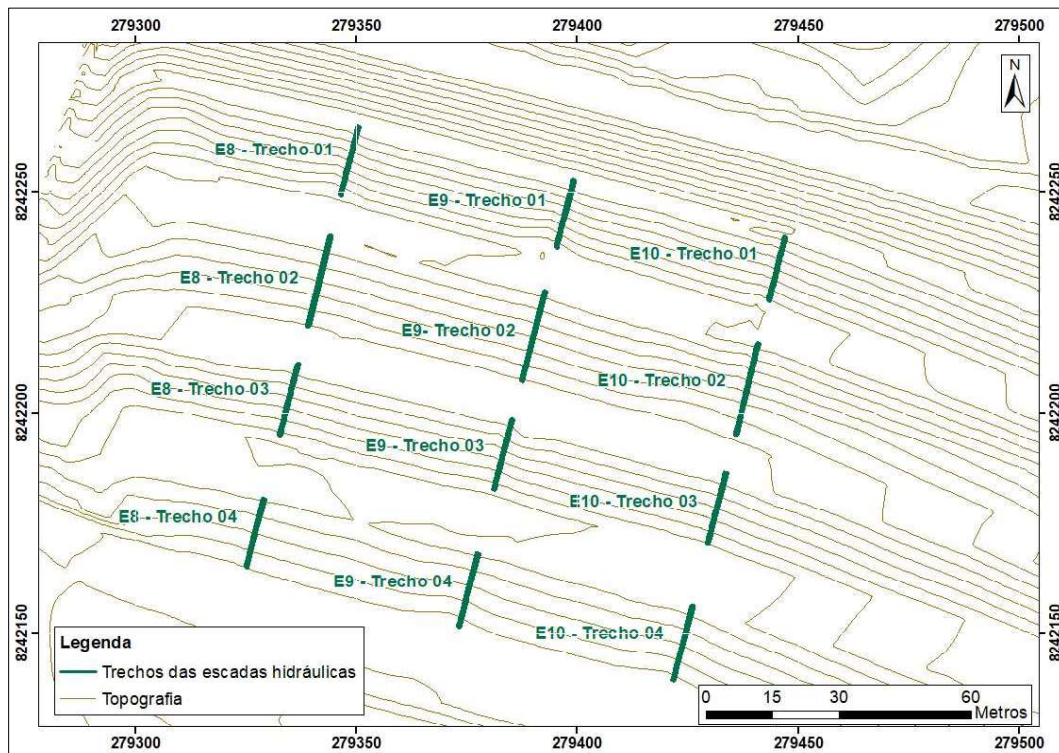


Figura 6.4 – Identificação das subdivisões em trechos das escadas de drenagem

Entre as escadas, são localizadas manilhas de passagem de água, que atravessam as bermas. A localização delas pode ser visto na **Figura 6.5**.

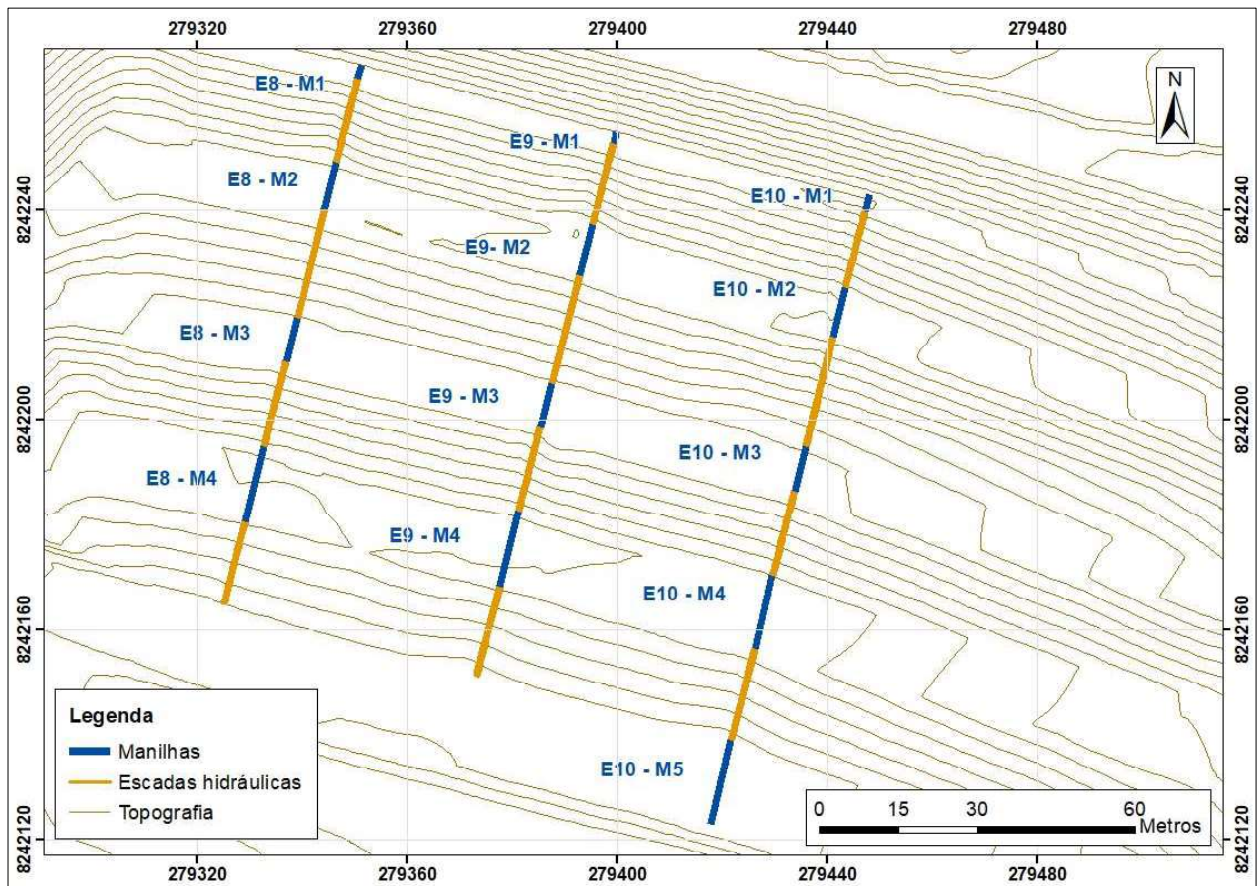


Figura 6.5 - Localização das manilhas

6.3. EXTRAVASOR

O sistema extravasor da Barragem Marçu é responsável pela condução controlada das vazões provenientes do reservatório para jusante da estrutura, constituindo o principal dispositivo de controle hidráulico para passagem dos eventos de cheia.

A configuração atualmente implantada resulta de adequações realizadas no sistema anteriormente existente. Após essas intervenções, o extravasor passou a ser constituído, em seu trecho inicial, por uma estrutura de entrada em concreto com três aberturas situadas aproximadamente na El. 623,25 m, conectadas a três tubos de concreto DN 1000.

As tubulações descarregam em uma escada hidráulica desenvolvida em três trechos sequenciais, com largura de aproximadamente 2,50 m e paredes laterais com altura de 0,80 m. Os degraus apresentam altura predominante de 0,50 m, sendo que, no primeiro trecho, foram executados com altura de 0,40 m em função das adequações realizadas durante a implantação.

No trecho final das escadas hidráulicas, o escoamento é direcionado para uma caixa de passagem localizada junto à via de acesso, que estabelece a conexão com as tubulações responsáveis pela travessia da estrada e restituição das vazões a jusante.

O denominado “Tubo Final” é constituído por uma tubulação central preexistente e duas tubulações laterais posteriormente implantadas, todas com diâmetro de 1,0 m. As tubulações conduzem o escoamento até o ponto de restituição à drenagem natural a jusante da barragem.

A verificação hidráulica da estrutura é apresentada no item 10.3 e o registro fotográfico se encontra no item 22.6.

7. AVALIAÇÃO DOCUMENTAL DAS INSPEÇÕES DE SEGURANÇA DE ROTINA

A avaliação documental das inspeções de segurança de rotina da Barragem Marçu foi realizada com base nos registros disponibilizados pela Nacional de Grafite, contemplando as fichas de inspeção e de monitoramento referentes aos seis meses anteriores ao período de realização deste RTSB.

A análise teve como objetivo verificar a realização e o registro das inspeções periódicas da estrutura, bem como avaliar as condições reportadas ao longo do período, com especial atenção à identificação de anomalias, alterações de comportamento ou situações que tenham demandado acompanhamento, manutenção ou adoção de medidas corretivas.

Foram considerados os registros relativos aos principais componentes da barragem e aos aspectos acompanhados nas rotinas de inspeção e monitoramento, permitindo avaliar não apenas a condição registrada em uma inspeção específica, mas também a evolução das ocorrências ao longo do período analisado.

Nos itens subsequentes são apresentados os resultados da avaliação documental realizada, incluindo, para fins de caracterização, um exemplar de ficha efetivamente utilizada nas inspeções da Barragem Marçu, bem como a consolidação das principais observações e eventuais anomalias identificadas nos registros avaliados.

7.1. AVALIAÇÃO DAS INSPEÇÕES DE ROTINA

Para avaliação das inspeções de segurança de rotina da Barragem Marçu, foram analisadas as fichas de inspeção e monitoramento disponibilizadas pela Nacional de Grafite, correspondentes ao período de janeiro de 2026 a agosto de 2026. A análise contemplou a verificação da regularidade dos registros, das condições reportadas para os diferentes componentes da estrutura e da ocorrência de eventuais anomalias ou situações que demandassem acompanhamento ou intervenção.

Inicialmente, verificou-se a periodicidade de realização das inspeções, considerando como referência a frequência mínima quinzenal estabelecida no Manual de Operações da Barragem Marçu para as inspeções de campo e atividades de monitoramento.

As fichas utilizadas contemplam a avaliação visual dos diferentes componentes da barragem e o registro das condições observadas durante cada campanha de inspeção. Para fins de caracterização do procedimento adotado pelo empreendedor, a Figura 7.1 e Figura 7.2 apresentam, a título exemplificativo, uma das fichas efetivamente preenchidas no período analisado.

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

NACIONAL DE GRAFITE

Forma 1018

FICHA DE INSPEÇÃO REGULAR (FIR)

Unidade: **Pedra Azul**

Estrutura: **Barragem Marçu**

Data: **18/08/2016**

Inspeção/Vistoria:

Responsável:

Aspecto observado	Ocorrência		Providência em caso de "sim"		Visto do responsável
	Sim	Não	Corrigir	Avisar responsável	
1. Crista					
a) Erosão?		☒	X		
b) Trinca?		☒		X	
c) Depressões e presença de água acumulada?		☒		X	
d) Presença de pragas (formigas, cupins, etc.)?		☒	X		
2. Reservatório					
a) Seccionamento por deposição de rejeitos?		☒	X		
b) Rupturas nas encostas?		☒		X	
3. Taludes e áreas de jusante da barragem e ombreiras					
a) Falha na vegetação?		☒	X		
b) Vegetação alta?		☒	X		
c) Surgência d'água?		☒		X	
d) Erosão?		☒	X		
e) Instabilidade (trincas ou estufamento)?		☒		X	
f) Presença de pragas (formigas, cupins, etc.)?		☒	X		
4. Talude de montante					
a) Erosão?		☒	X		
b) Instabilidade (trincas ou estufamento)?		☒		X	
5. Drenagem superficial					
a) Canaletas obstruídas ou assoreadas?		☒	X		
b) Canaletas danificadas (trincadas/deslocadas)?		☒		X	
c) Erosão externa?		☒	X		
6. Drenagem interna					
a) Saída do dreno obstruída?		☒	X		
b) Água suja (carreamento de sólidos)?		☒		X	
7. Extravasar					
a) Obstrução da tomada d'água?		☒	X		
b) Assoreamento do canal?		☒	X		
c) Instabilidades (erosão ou rupturas) nos taludes?		☒		X	
d) Trincas ou deterioração do concreto? (desalinhamentos, ferragens expostas, etc.)		☒		X	
e) Erosão externa ou na dissipação?		☒	X		
8. Instrumentação					
a) Instrumento sem proteção ou identificação?		☒	X		
b) Instrumento danificado?		☒		X	
c) Acesso precário a algum instrumento?		☒	X		
9. Estradas de acesso					
a) Erosão ou instabilidade (rupturas)?		☒		X	
b) Alagamento ou ponto de difícil passagem?		☒	X		
10. Cerca e Sinalização					
a) Danificada?		☒	X		
b) Deficiente?		☒	X		
11. Estaqueamento					
a) Danificado na crista e nas tubulações?		☒	X		
b) Ausente na crista e nas tubulações?		☒	X		

Figura 7.1 – Modelo de ficha de inspeção regular (FIR)

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marcu

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Percolação	Deformações e Recalques	Deterioração dos Taludes / Paramentos	Drenagem Superficial
Estruturas civis bem mantidas e em operação normal / barragem sem necessidade de estruturas extravasoras.	(10) Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem.	(10) Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura.	(10) Não existe deterioração de taludes e paramentos.	(10) Drenagem superficial existente e operante.
Estruturas com problemas identificados e medidas corretivas em implantação.	(3) Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras, estáveis e monitorados.	(3) Existência de trincas e abatimentos com medidas corretivas em implantação.	(3) Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de vegetação arbustiva.	(3) Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos com medidas corretivas em implantação.
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias.	(6) Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou 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) Existência de trincas e/ou assoreamento e/ou abatimentos sem medidas corretivas em implantação.
Estruturas com problemas identificados, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas.	(10) Surgência nas áreas de jusante com carregamento 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) Drenagem superficial inexistente.
Pontuação da inspeção:	0	0	0	0

Item	Observação
	- NA INSPEÇÃO REGULAR, REALIZADA NA BARRAGEM MARÇU, NO DIA: 18 DE AGOSTO DE 2026, NÃO FOI DETECTADO NENHUMA ANOMALIA.
	• DRENAGEM SUPERFICIAL OPERANDO NORMALMENTE;
	• EMBOQUE DO VERTEDOR LIMPO;
	• ESTRADAS E ACESSOS BEM CONSERVADOS;

Figura 7.2 – Modelo de ficha de inspeção regular (FIR)

A avaliação documental foi direcionada especialmente à identificação de registros de anomalias e à análise de sua evolução ao longo do período. Para as ocorrências identificadas, foram verificadas sua recorrência nas inspeções subsequentes, eventuais alterações de condição e, quando disponíveis nos registros analisados, as medidas de acompanhamento, manutenção ou correção adotadas.

Essa análise permite avaliar o histórico recente das condições da Barragem Marçu e verificar se as situações registradas nas inspeções de rotina apresentam caráter pontual ou recorrente, subsidiando as considerações da equipe de auditoria quanto às condições de acompanhamento e gestão da segurança da estrutura.

7.2. CONSIDERAÇÕES DA AVALIAÇÃO DOCUMENTAL DAS INSPEÇÕES DE SEGURANÇA DE ROTINA

A partir da avaliação das fichas de inspeção de segurança de rotina da Barragem Marçu referentes ao período analisado, foram consolidadas as anomalias e observações registradas pela equipe responsável pelo acompanhamento da estrutura.

A análise considerou não somente a ocorrência individual de cada registro, mas também sua recorrência nas inspeções subsequentes, sua evolução ao longo do período e, quando aplicável, as providências adotadas para acompanhamento ou correção. A Tabela 7.1 apresenta a síntese das ocorrências identificadas.

Tabela 7.1 – Síntese das anomalias e observações registradas nas inspeções de rotina

FIR	Anomalia ou observação
18/08/2026	-
06/08/2026	-
22/07/2026	-
06/07/2026	-
17/06/2026	-
03/06/2026	-
21/05/2026	-
05/05/2026	-
22/04/2026	-
08/04/2026	-
19/03/2026	Vegetação alta, com poda em andamento
04/03/2026	Vegetação alta, com poda programada
20/02/2026	Vegetação alta
04/02/2026	Vegetação alta
19/01/2026	-
08/01/2026	-

A avaliação do histórico das inspeções permite verificar a evolução das condições registradas e identificar eventuais ocorrências persistentes ou recorrentes que demandem acompanhamento específico. As anomalias identificadas são discutidas considerando sua relevância para as condições de segurança da estrutura, bem como as medidas de controle, manutenção ou correção adotadas pelo empreendedor.

De forma complementar, as condições registradas nas fichas de inspeção foram confrontadas com aquelas observadas pela equipe da 3EM durante a visita técnica realizada em 04/08/2026, permitindo verificar a permanência, evolução ou eventual correção das ocorrências anteriormente registradas.

7.3. RIS – RELATÓRIO DE INSPEÇÃO SEMESTRAL

No período compreendido desde a última Auditoria Técnica de Segurança de Barragem, foi analisado o Relatório de Inspeção Semestral – RIS referente ao primeiro semestre de 2026, documento GF34-RT-58 Rev. 0, emitido em março de 2026. Conforme registrado no documento, as inspeções de segurança foram realizadas com frequência quinzenal e, durante o período avaliado, não foram identificadas anomalias ou pontos de atenção que justificassem alteração da condição de segurança ou reclassificação da Categoria de Risco da Barragem Marçu.

Como única ocorrência destacada nas inspeções do período, foi registrada a presença de vegetação alta em pontos isolados, nos meses de dezembro de 2025 e janeiro de 2026. Essa condição possui caráter associado à manutenção rotineira da estrutura e não foi considerada como comprometimento de sua segurança. Na inspeção realizada em fevereiro de 2026, verificou-se que os taludes e bermas se encontravam roçados, possibilitando adequada inspeção visual, não sendo observados sinais indicativos de instabilidade, como trincas ou depressões. Os elementos de drenagem superficial e o sistema extravasor também se encontravam limpos e em condições adequadas.

Adicionalmente, os dados de monitoramento indicaram comportamento estável da instrumentação, incluindo níveis piezométricos, vazões dos drenos e marcos superficiais. Durante o período chuvoso, não foram registrados eventos que afetassem a segurança da estrutura, intervenções emergenciais ou anomalias nos dispositivos hidráulicos, sendo considerado normal o comportamento dos sistemas de drenagem interna, drenagem superficial e extravasor. Dessa forma, não foram identificadas, no RIS avaliado, anomalias que demandem tratamento específico no âmbito da presente Auditoria, permanecendo aplicáveis as ações rotineiras de manutenção, inspeção e monitoramento da Barragem Marçu.

8. INSPEÇÃO DE CAMPO

Para a elaboração deste RTSB, foram considerados os registros das inspeções realizadas pela equipe da 3EM em 04/08/2026. Durante essas atividades foram avaliados os principais componentes da barragem, buscando-se identificar eventuais anomalias, alterações ou condições de conservação que pudessem interferir no desempenho e na segurança da estrutura.

As inspeções contemplaram os acessos, crista, taludes de montante e jusante, ombreiras, reservatório, sistema extravasor, drenagem superficial, saída do dreno de fundo, instrumentação, tubulações, cercamento, sinalização e estaqueamento, além dos demais elementos acessíveis e passíveis de avaliação visual.

De maneira geral, a crista, os taludes e as ombreiras apresentaram condições satisfatórias de conservação, não sendo observadas depressões, afundamentos, surgências ou outras feições que indicassem comportamento anômalo da estrutura. Nos contatos entre o maciço e as ombreiras também não foram identificadas surgências ou evidências de processos erosivos relevantes.

O reservatório encontra-se assoreado, sem presença de lâmina d'água e com desenvolvimento de vegetação de pequeno porte. As condições observadas durante a inspeção não evidenciaram ocorrências que demandassem intervenção imediata no âmbito da segurança da estrutura.

Os dispositivos de drenagem superficial apresentavam-se desobstruídos e em condições satisfatórias de conservação, não sendo identificadas trincas ou rachaduras relevantes nos elementos inspecionados. O sistema extravasor também apresentou condições satisfatórias, sem anomalias aparentes nos elementos de concreto. Na saída do dreno de fundo, foi constatada vazão residual de pequena magnitude, com fluxo visualmente límpido e sem indícios de carreamento de sólidos.

Quanto à instrumentação, os dispositivos inspecionados encontravam-se devidamente identificados e não foram observados danos aparentes que comprometessem sua utilização. Da mesma forma, tubulações aparentes, cercamento, sinalização e estaqueamento apresentaram condições gerais satisfatórias no momento da visita.

A avaliação conjunta dos componentes inspecionados não evidenciou anomalias relevantes ou condições que indiquem comprometimento da segurança da Barragem Marçu. As condições observadas em campo mostraram-se ainda compatíveis, de forma geral, com os registros das inspeções de rotina avaliados no âmbito deste RTSB.

O registro fotográfico completo da inspeção, contendo a identificação dos componentes avaliados e a descrição das respectivas condições observadas, é apresentado no item ANEXO III – RELATÓRIO TÉCNICO FOTOGRÁFICO.

9. RECOMENDAÇÕES DAS AUDITORIAS DE BARRAGEM

A última Auditoria Técnica de Segurança da Barragem Marçu foi apresentada no documento GF34-RT-51 Rev. 0, de agosto de 2025, elaborado pela Geoconsultoria. No referido documento foi realizada a avaliação das recomendações provenientes da auditoria anterior, sendo mantidas recomendações relacionadas essencialmente às atividades rotineiras de manutenção, inspeção e monitoramento da estrutura.

As recomendações registradas na última auditoria são apresentadas na Tabela 9.1, juntamente com campo destinado à avaliação de seu atendimento na presente auditoria.

Tabela 9.1 – Avaliação das recomendações da última auditoria de segurança

Recomendação	Prazo	Situação atual
Manter o combate às pragas, especialmente formigueiros e cupinzeiros, como parte da rotina de manutenção da barragem.	Rotina	Atendido
Manter a crista e os taludes da barragem roçados e limpos, de forma a possibilitar adequada inspeção visual da estrutura.	Rotina	Atendido
Manter limpo o emboque do sistema extravasor.	Rotina	Atendido
Manter as ações de monitoramento da barragem, contemplando inspeções de campo quinzenais e a realização das leituras dos instrumentos.	Rotina	Atendido

A avaliação realizada no âmbito da presente auditoria indicou que todas as recomendações constantes na RTSB anterior foram atendidas. Ressalta-se que as ações recomendadas possuem caráter essencialmente rotineiro e preventivo, estando relacionadas à manutenção das condições adequadas de conservação, inspeção e monitoramento da Barragem Marçu, não decorrendo da identificação de anomalias ou de condições indicativas de comprometimento da segurança da estrutura.

Dessa forma, recomenda-se a continuidade dessas práticas no âmbito da rotina de gestão da segurança da barragem, de modo a preservar as condições satisfatórias observadas e possibilitar a identificação tempestiva de eventuais alterações no comportamento da estrutura.

10. AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA

10.1. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos utilizados como referência para avaliação da Barragem Marçu encontram-se detalhados no documento “Estudo Hidrológico e Hidráulico para Barragem Marçu” – NG-15-EH-MR-RL-R2, elaborado em 2023, cujos resultados foram posteriormente incorporados ao Projeto *As Is* da estrutura, documento NG-71-AI-MR-RL-R1.

A atualização dos estudos teve como objetivo a determinação da Precipitação Máxima Provável (PMP) e das precipitações associadas a diferentes Tempos de Retorno (TR), com destaque para os eventos de 100, 500 e 10.000 anos. Os resultados obtidos subsidiaram a definição da chuva de projeto utilizada nas verificações de trânsito de cheias, borda livre e capacidade hidráulica das estruturas da barragem.

Para caracterização do regime pluviométrico regional, foram avaliadas estações localizadas no entorno da Barragem Marçu. A seleção considerou, principalmente, a extensão e representatividade das séries históricas, buscando-se estações com pelo menos 20 anos completos de registros, a similaridade das características fisiográficas em relação à área da barragem e a ausência de interferências orográficas relevantes. A partir desses critérios, foram selecionadas as estações Bandeira, Fazenda Cajueiro, Inhobim, Itambé, Itaobim, Medina e Pedra Azul, totalizando sete estações utilizadas no estudo, conforme Figura 10.1.

Tabela 10.1 – Dados das Estações Pluviométricas utilizadas para Estudo Hidrológico

ESTAÇÕES		SÉRIE DE DADOS				CARACTERÍSTICAS GERAIS					
CÓDIGO	ESTAÇÕES	ANOS VÁLIDOS	PERÍODO		ANOS EXCLUÍDOS	DISTÂNCIA DA B. MARÇU (km)	ALTITUDE (m)	ESTADO	MUNICÍPIO	BACIA	SUB-BACIA
			De	Até							
1641001	Itaobim	63	1949	2018	9	88,62	241,00	MG	Itaobim	Atlântico, Trecho Leste	Rio Jequitinhonha
1640001	Fazenda Cajueiro	44	1976	2021	4	42,19	-	MG	Almenara	Atlântico, Trecho Leste	Rio Jequitinhonha
1641011	Medina	35	1977	2016	12	58,76	590,00	MG	Medina	Atlântico, Trecho Leste	Rio Jequitinhonha
1641008	Pedra Azul	32	1976	2018	13	26,62	649,00	MG	Pedra Azul	Atlântico, Trecho Leste	Rio Jequitinhonha
1540020	Bandeira	23	1996	2018	4	53,30	-	MG	Bandeira	Atlântico, Trecho Leste	Rio Jequitinhonha
1540003	Inhobim	49	1967	2021	9	62,86	520,00	BA	Vitória da Conquista	Atlântico, Trecho Leste	Rios Pardo, Cachoeira e outros
1540004	Itambé	42	1947	2021	36	85,15	342,00	BA	Itambé	Atlântico, Trecho Leste	Rios Pardo, Cachoeira e outros

Em relação às características fisiográficas, a bacia de contribuição da Barragem Marçu foi delimitada com auxílio do software HEC-HMS, versão 4.10, tendo como base topográfica Modelo Digital de Elevação ALOS PALSAR. A área de contribuição obtida foi de aproximadamente 1,22 km², com altitude média predominante da ordem de 800 m e relevo caracterizado como ondulado. A Figura 10.2 ilustra a delimitação da bacia de contribuição.

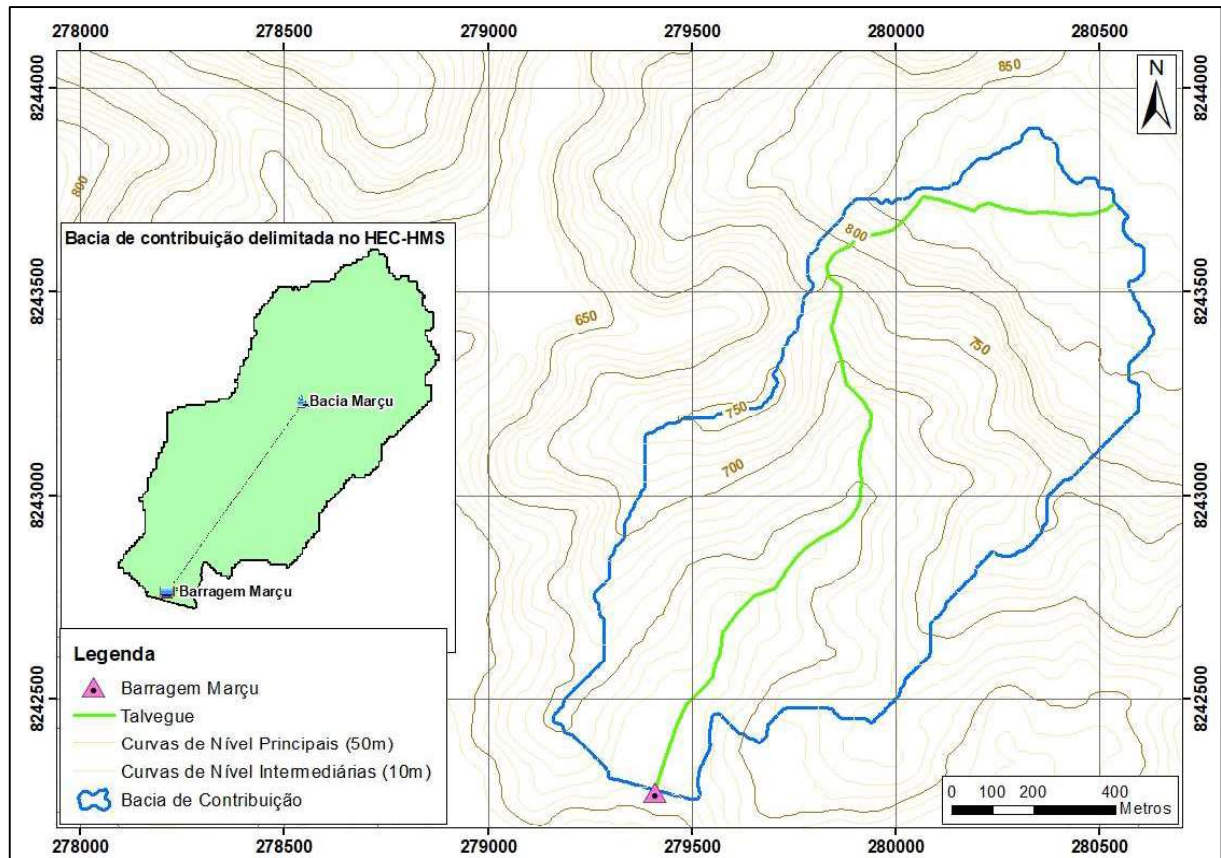


Figura 10.2 – Bacia de Contribuição da Barragem Marçu

(Fonte: NG-71-AI-MR-RL-R1)

O talvegue principal da bacia apresenta comprimento aproximado de 2,31 km, tendo sido determinada declividade média equivalente de 59,20 m/km. A partir das características geométricas da bacia, foi obtido tempo de concentração de 33,78 minutos, parâmetro posteriormente utilizado na modelagem hidrológica.

Para determinação das chuvas de projeto, foram analisadas as séries de máximas anuais das estações selecionadas. Os dados foram avaliados segundo diferentes distribuições estatísticas, tendo sido selecionada a distribuição Pearson-3 para os ajustes de frequência. Os testes de aderência foram realizados pelos métodos de Máxima Verossimilhança (MMV) ou Método dos Momentos (MOM).

A Precipitação Máxima Provável – PMP foi determinada por método hidrometeorológico de transposição de tormentas. Para os ajustes necessários à transposição foram utilizados dados da Estação Climatológica de Pedra Azul (INMET/ANA – 83393), situada a aproximadamente 27 km da Barragem Marçu e considerada meteorologicamente homogênea e com características de relevo semelhantes às da área de estudo. Como resultado, foi obtida PMP diária de 208,13 mm.

Paralelamente, a análise estatística das precipitações máximas anuais resultou nas alturas de chuva associadas aos diferentes tempos de retorno. Para a região da Barragem Marçu foram adotados os valores médios obtidos a partir das sete estações pluviométricas analisadas. Os principais resultados são apresentados na Tabela 10.2.

Tabela 10.2 – Desagregação da chuva de acordo com o Tempo de Retorno

Duração	Fator de Desagregação	TR - Tempo de Retorno							
		2	10	25	50	100	500	1.000	10.000
5 minutos	0,340	13,48	19,51	21,59	23,54	25,98	30,03	31,72	37,15
10 minutos	0,540	21,09	30,52	33,77	36,81	40,63	46,97	49,60	58,10
15 minutos	0,700	27,47	39,76	43,99	47,96	52,93	61,19	64,62	75,69
20 minutos	0,810	32,40	46,89	51,88	56,55	62,41	72,15	76,20	89,26
25 minutos	0,910	36,40	52,68	58,29	63,54	70,13	81,07	85,62	100,29
30 minutos	0,740	39,65	57,38	63,48	69,21	76,38	88,30	93,25	109,23
1 hora	0,520	53,58	77,54	85,79	93,53	103,22	119,33	126,02	147,61
2 horas	1,270	59,95	86,77	96,00	104,65	115,50	133,52	141,01	165,17
6 horas	0,720	72,94	105,56	116,80	127,32	140,52	162,45	171,57	200,96
8 horas	0,780	76,77	111,11	122,93	134,01	147,90	170,98	180,58	211,52
10 horas	0,850	79,95	115,70	128,02	139,55	154,02	178,06	188,05	220,26
12 horas	0,880	82,57	119,50	132,22	144,13	159,07	183,90	194,22	227,49
24 horas	1,095	93,51	135,34	149,74	163,23	180,15	208,27	219,95	257,64
1 dia	1	85,40	123,59	136,75	149,07	164,52	190,20	200,87	235,28

A precipitação diária correspondente ao TR de 10.000 anos foi estimada em 235,28 mm, valor superior à PMP diária de 208,13 mm. Dessa forma, dentre os eventos avaliados no estudo, a chuva decamilenar foi considerada a condição mais restritiva e adotada para as verificações hidrológico-hidráulicas da Barragem Marçu.

Após a definição da chuva diária de projeto, procedeu-se à sua desagregação temporal para obtenção das precipitações correspondentes a menores durações. Para a definição da duração crítica foram realizadas simulações considerando eventos com duração de 1, 2, 6 e 8 horas. A partir dos resultados dos hidrogramas afluentes e defluentes, o evento com duração de 6 horas foi definido como crítico para o TR de 10.000 anos, correspondendo a uma precipitação acumulada de 200,96 mm

Para a distribuição temporal da precipitação crítica foi adotado o método de Huff, segundo quartil e 50% de probabilidade de ocorrência, resultando no hietograma utilizado para geração dos hidrogramas empregados nas simulações subsequentes.

Assim, para fins das verificações hidráulicas da Barragem Marçu, o estudo estabeleceu como evento hidrológico crítico a precipitação associada ao TR de 10.000 anos, com duração de 6 horas e altura acumulada de 200,96 mm. Os procedimentos de tratamento das séries pluviométricas, análises estatísticas, determinação da PMP, desagregação temporal e demais memórias de cálculo encontram-se detalhados no estudo hidrológico-hidráulico de referência, sendo apresentados neste RTSB apenas os principais critérios e resultados necessários à avaliação da segurança da estrutura.

A Tabela 10.3 apresenta a distribuição das chuvas para o período de retorno decamilenar com duração crítica de seis horas, correspondendo a **200,96 mm**.

Tabela 10.3 – Distribuição das chuvas (TR=10.000 anos)

Tempo (%)	Precip. no intervalo (%)	Precip. Acumul. (%)	Duração (min)	TR=10.000 anos	
				Precip. (mm)	Precip. acumulada (mm)
0	0	0	0	0,00	0,00
5	3	3	18	6,03	6,03
10	5	8	36	10,05	16,08
15	4	12	54	8,04	24,12
20	4	16	72	8,04	32,15
25	6	22	90	12,06	44,21
30	7	29	108	14,07	58,28
35	10	39	126	20,10	78,37
40	12	51	144	24,12	102,49
45	11	62	162	22,11	124,60
50	8	70	180	16,08	140,67
55	6	76	198	12,06	152,73
60	5	81	216	10,05	162,78
65	4	85	234	8,04	170,82
70	3	88	252	6,03	176,85
75	3	91	270	6,03	182,87
80	2	93	288	4,02	186,89
85	2	95	306	4,02	190,91
90	2	97	324	4,02	194,93
95	2	99	342	4,02	198,95
100	1	100	360	2,01	200,96

10.2. TRÂNSITO DE CHEIAS E BORDA LIVRE

A avaliação do trânsito de cheias no reservatório da Barragem Marçu teve como objetivo determinar a resposta da estrutura ao evento hidrológico de projeto, considerando o balanço entre as vazões afluentes ao reservatório e as vazões descarregadas pelo sistema extravasor. A partir dessa análise, foi possível estimar o nível máximo atingido no reservatório durante a passagem da cheia e, conseqüentemente, verificar a borda livre disponível em relação à cota da crista da barragem.

Conforme apresentado no item anterior, foi adotada como condição crítica a precipitação associada ao Tempo de Retorno de 10.000 anos, com duração de 6 horas. A simulação do trânsito de cheias foi realizada considerando esse evento de projeto, tendo sido obtidos os hidrogramas de entrada e saída do reservatório.

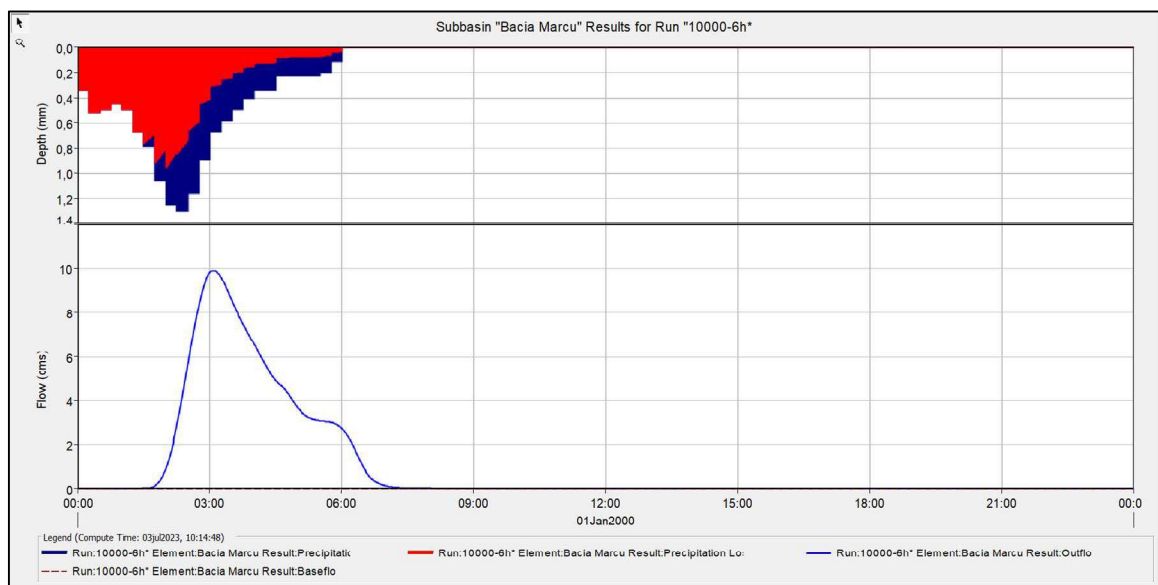


Figura 10.3 – Hidrograma de vazão afluente do reservatório

(Fonte: NG-71-AI-MR-RL-R1)

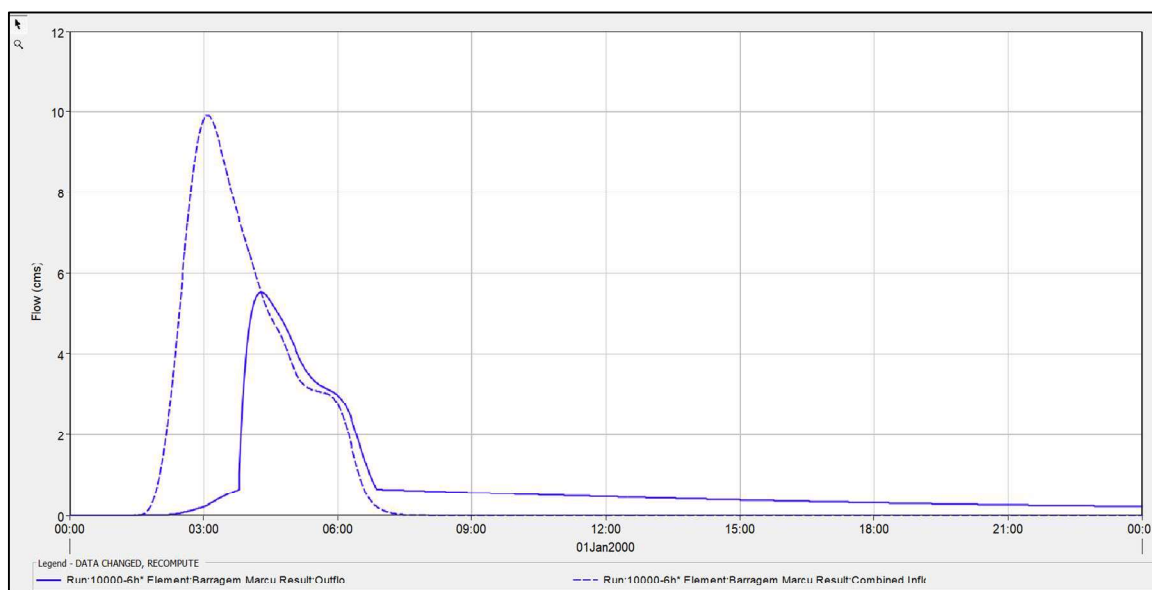


Figura 10.4 – Hidrograma de vazão afluente e defluente ao reservatório

(Fonte: NG-71-AI-MR-RL-R1)

Os resultados da simulação indicaram vazão de pico afluente de $9,9 \text{ m}^3/\text{s}$ e vazão de pico defluente de $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$, evidenciando o efeito de amortecimento promovido pelo reservatório durante a propagação da cheia. O nível d'água máximo *maximorum* foi estimado na cota 623,80 m. Os principais resultados do trânsito de cheias são apresentados na Tabela 10.4.

Tabela 10.4 – Simulação da chuva decamilenar de 6h no reservatório

Resumo dos Resultados	
Vazão de pico afluente	9,9 m^3/s
Vazão de pico defluente	5,5 m^3/s
Nível de água máximo <i>maximorum</i>	623,8 m
Borda Livre	1,2 m

Considerando a cota de coroamento da Barragem Marçu, igual a 625,00 m, e o nível máximo *maximorum* obtido na simulação, a borda livre resultante foi de 1,20 m. O estudo de referência considera que esse valor atende ao critério mínimo de 1,00 m adotado para a avaliação da estrutura.

De forma complementar, foi avaliada a influência da formação de ondas sobre a borda livre disponível. Para essa verificação foram considerados os cenários de operação normal associada a vento excepcional e de cheia máxima de projeto associada a vento habitual. As amplitudes estimadas foram de 0,34 m para a onda eólica habitual e 0,71 m para a onda eólica excepcional, ambas inferiores à borda livre de 1,20 m disponível entre o nível máximo *maximorum* e a crista da barragem.

Os resultados desse estudo encontram-se na **Tabela 10.5** e na **Tabela 10.6**. Ambos os valores encontrados são adequadamente acomodados na borda livres estimada da Barragem Marçu.

Tabela 10.5 – Cálculo de amplitude da onda eólica excepcional

Resumo dos Resultados	
<i>Fetch</i>	0,41 Km
Velocidade do vento	160 Km/h
Amplitude da onda eólica	0,71 m

Tabela 10.6 – Cálculo de amplitude da onda eólica habitual

Resumo dos Resultados	
<i>Fetch</i>	0,41 Km
Velocidade do vento	80 Km/h
Amplitude da onda eólica	0,34 m

10.3. VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA DO SISTEMA EXTRAVASOR

A verificação hidráulica do sistema extravasor da Barragem Marçu foi realizada considerando a vazão de pico defluente de 5,5 m³/s, obtida no estudo de trânsito de cheias para o evento decamilenar, conforme apresentado no item anterior.

O sistema extravasor atualmente implantado é composto por estrutura de entrada em concreto, três tubos de concreto DN 1000, escada hidráulica desenvolvida em três trechos sequenciais, caixa de passagem e conjunto de tubulações responsáveis pela restituição do escoamento à drenagem natural a jusante. Parte do sistema original foi mantida e os demais componentes foram objeto de adequações decorrentes das verificações hidráulicas realizadas para a estrutura.

A Figura 10.5 e Figura 10.6 apresentam a configuração em trechos do sistema extravasor da Barragem Marçu.

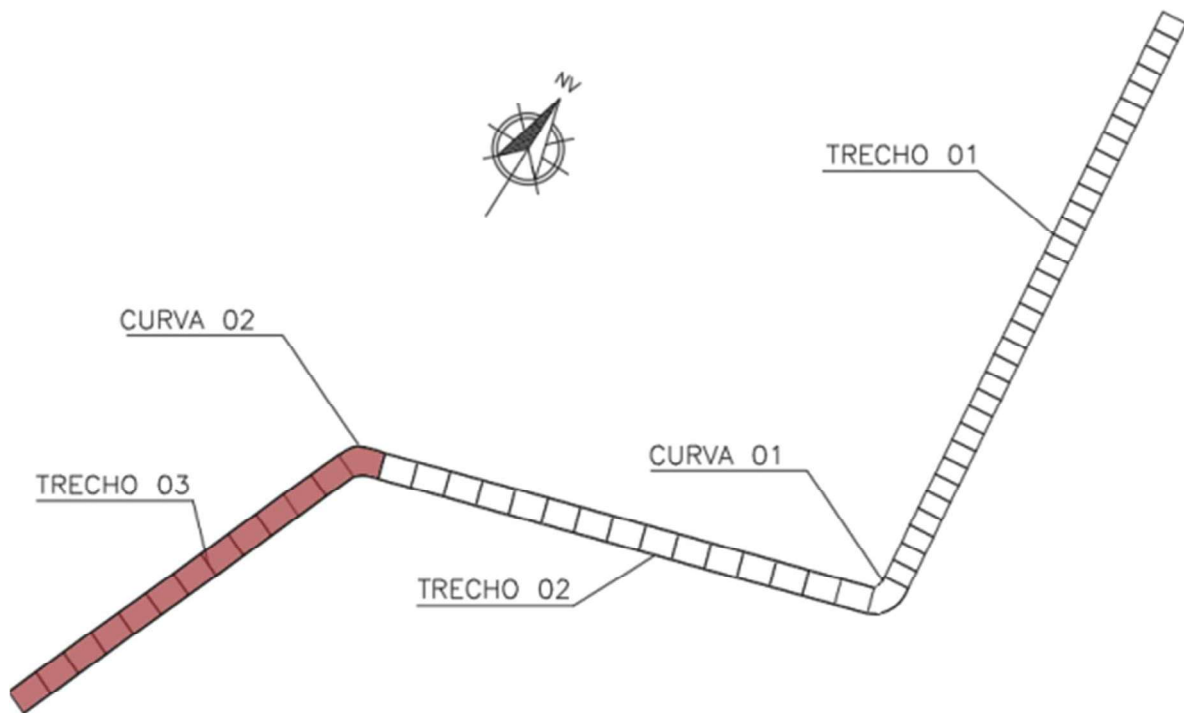


Figura 10.5 - Descrição dos trechos do extravasor.

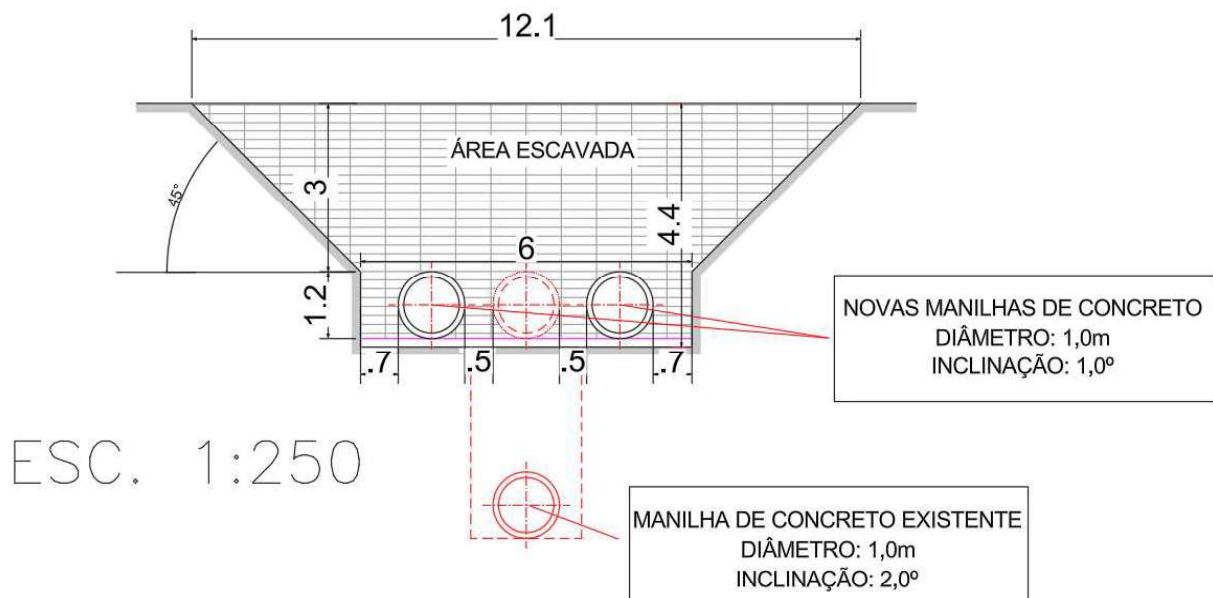


Figura 10.6 - Dimensões do "Tubo Final"

A estrutura de entrada do extravasor apresenta aberturas aproximadamente na El. 623,25 m. A relação cota-descarga determinada para o emboque indica rápido incremento da capacidade de descarga com a elevação do nível d'água, atingindo aproximadamente 6,13 m³/s na cota 623,80 m, correspondente ao nível máximo maximorum obtido no trânsito da cheia de projeto. Esse

valor é superior à vazão máxima defluente de 5,5 m³/s considerada na verificação. A curva cota-descarga do canal extravasor é apresentada na Tabela 10.7

Tabela 10.7 – Tabela Cota x Descarga (El. 625,0m)

Cota (m)	Descarga (m³/s)
623,25	0,00
623,50	0,23
623,75	0,64
623,80	6,13
623,90	6,54
624,00	6,90
624,25	7,71
624,50	8,42
624,75	9,06
625,00	9,65

Na sequência do emboque encontram-se instalados três tubos de concreto DN 1000, com comprimento aproximado de 22,52 m e declividade de 2,6%. A verificação hidráulica foi realizada pelo software SisCCoH 1.1, considerando a vazão afluente de 5,5 m³/s e coeficiente de Manning igual a 0,015. Os resultados indicaram funcionamento hidráulico compatível com a vazão de projeto.

Após a passagem pelas tubulações, o escoamento é conduzido por uma escadaria hidráulica constituída por três trechos, com largura de 2,50 m. Os trechos apresentam diferentes inclinações, comprimentos e geometrias de degraus, tendo sido avaliados individualmente para a vazão de 5,5 m³/s. As verificações foram realizadas considerando as dimensões efetivamente executadas na estrutura.

O Trecho 1 possui degraus com altura de 0,40 m e foi verificado em regime *Skimming Flow*. Para a vazão de projeto, foi obtida profundidade aerada de aproximadamente 0,49 m, inferior à altura de referência de parede calculada para o trecho.

Os Trechos 2 e 3 também foram verificados em regime *Skimming Flow*, considerando degraus com altura de 0,50 m e patamares de 3,20 m. Para ambos, foram obtidas profundidades aeradas da ordem de 0,55 m, compatíveis com a geometria disponível das estruturas. A Tabela 10.8 apresenta os resultados da verificação hidráulica

Tabela 10.8 – Síntese da verificação hidráulica do sistema extravasor

Componente	Vazão de verificação (m³/s)	Resultado principal	Condição
Emboque	5,5	Capacidade superior à vazão de projeto na El. 623,80 m	Adequado
Tubos DN 1000	5,5	Capacidade compatível com a vazão de projeto	Adequado
Escada – Trecho 1	5,5	Escoamento em regime <i>Skimming Flow</i>	Adequado
Escada – Trecho 2	5,5	Escoamento em regime <i>Skimming Flow</i>	Adequado
Escada – Trecho 3	5,5	Escoamento em regime <i>Skimming Flow</i>	Adequado
Caixa de passagem e tubo final	5,5	Capacidade compatível com a vazão de projeto	Adequado

Na extremidade final da escadaria encontra-se uma caixa de passagem que direciona o escoamento para o conjunto de tubos de restituição localizado sob a via de acesso. O sistema é constituído por uma tubulação central preexistente e duas tubulações laterais, todas com diâmetro nominal de 1,0 m. A verificação hidráulica da caixa de passagem e do tubo final foi realizada considerando, de forma conservadora, a menor inclinação das tubulações e a vazão total de 5,5 m³/s.

Os resultados indicaram condição hidráulica compatível com a passagem da vazão de projeto, tendo sido obtida profundidade operacional da ordem de 0,66 m e velocidade associada de aproximadamente 3,33 m/s para o cenário analisado.

Dessa forma, as verificações apresentadas no Projeto *As Is* indicam que os diferentes componentes do sistema extravasor da Barragem Marçu possuem capacidade hidráulica suficiente para condução da vazão máxima defluente associada à cheia de projeto, tendo o estudo concluído pela adequação do sistema para a passagem do evento considerado.

As memórias de cálculo, parâmetros hidráulicos, seções de escoamento e verificações individualizadas dos componentes encontram-se detalhados no estudo de referência, sendo apresentados neste RTSB apenas os principais resultados necessários à avaliação da segurança hidráulica da estrutura.

10.4. VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA DO SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL

O sistema de drenagem superficial da Barragem Marçu é constituído por canaletas implantadas ao longo das bermas, responsáveis pela coleta e condução do escoamento superficial, associadas a descidas d'água em escadas hidráulicas e manilhas destinadas à transposição das bermas. As canaletas são predominantemente de concreto, com seção triangular, largura média da ordem de 0,90 m e altura média de 0,30 m, sendo direcionadas para as respectivas estruturas de descida d'água.

As áreas de contribuição, por dispositivo foram delimitadas conforme a Figura 10.7.

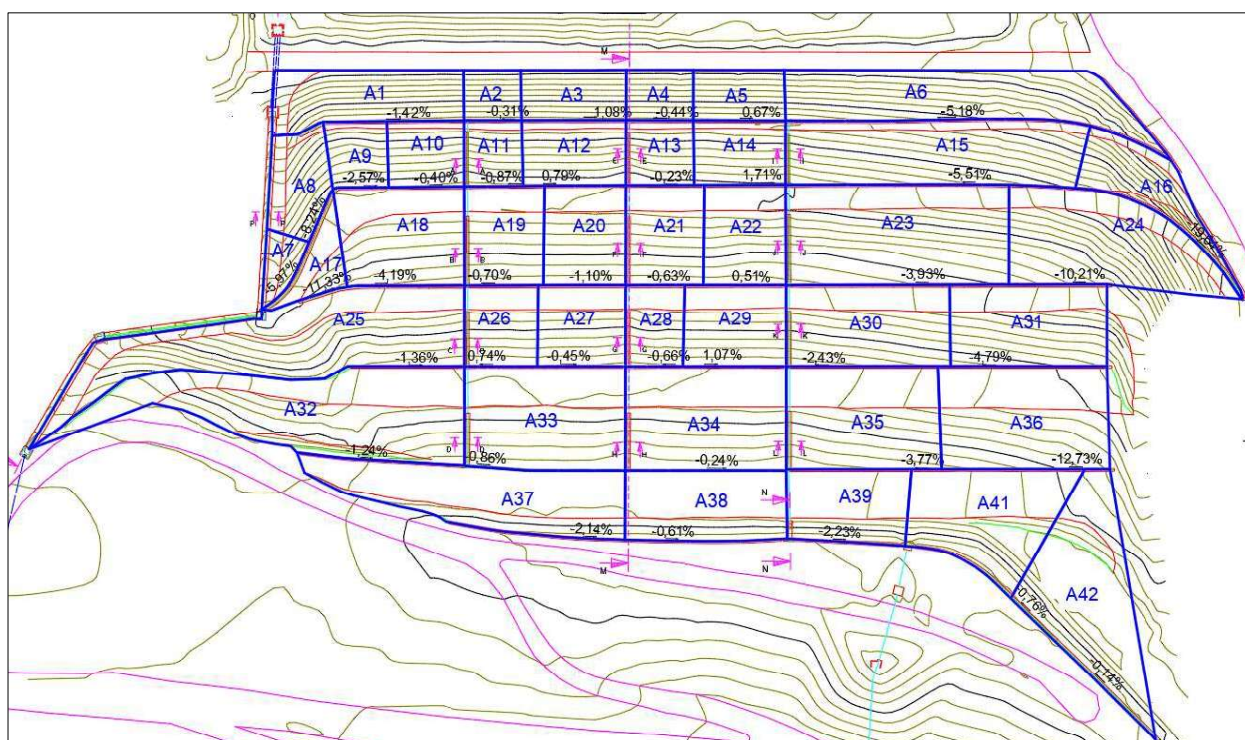


Figura 10.7 – Delimitação da área de contribuição de cada trecho

10.4.1. Canaletas

As canaletas foram verificadas trecho a trecho considerando suas dimensões, declividades e respectivas vazões de projeto. A análise buscou verificar a capacidade das seções implantadas para condução das vazões provenientes das áreas contribuintes sem ocorrência de extravasamento.

A síntese da verificação hidráulica das canaletas se encontra detalhada na Tabela 10.9.

Para fins deste RTSB, não se considera necessária a reprodução integral das memórias de cálculo de cada trecho, uma vez que os parâmetros geométricos, vazões, profundidades e demais resultados encontram-se detalhados no Projeto *As Is* e nos estudos de referência.

10.4.2. Descidas d'água

As águas coletadas pelas canaletas são conduzidas às descidas d'água em escadas hidráulicas. A configuração atual contempla estruturas segmentadas em diferentes trechos, cujas geometrias foram adequadas após a verificação hidráulica realizada em 2023.

A verificação das escadas considerou as vazões correspondentes às respectivas áreas de contribuição e as dimensões efetivamente executadas. Os dimensionamentos contemplaram, entre outros parâmetros, as profundidades do escoamento, velocidades, alturas de referência das paredes e condições hidráulicas desenvolvidas ao longo dos degraus.

A Tabela 10.10 apresenta o resultado das verificações hidráulicas dos trechos em escadaria.

10.4.3. Manilhas

O sistema possui ainda manilhas responsáveis pela passagem das águas entre diferentes trechos das escadas e pela transposição das bermas. Esses dispositivos também foram objeto de verificação hidráulica individualizada, considerando as vazões afluentes, diâmetros, comprimentos e declividades de cada trecho.

As vazões consideradas para as manilhas variam conforme a respectiva área contribuinte, tendo sido verificadas estruturas com diâmetros entre 0,25 m e 1,00 m. Os resultados apresentados no Projeto *As Is* indicam, para os dispositivos analisados, vazões admissíveis superiores às respectivas vazões afluentes consideradas no dimensionamento.

A Tabela 10.11 apresenta o resultado da verificação hidráulica das manilhas

Tabela 10.9 – Verificação Hidráulica das estruturas de drenagem superficial

Estrutura	Área de drenagem (m ²)	C	intens. (mm/h)	Q de proj. (m ³ /s)	Decliv. (%)	Prof. necessária (m)	Prof. real (m)	Velocidade (m/s)
Canaleta 1								
Canal 1 - T1	994,32	0,50	211,72	0,03	1,42	0,13	0,31	1,14
Canal 1 - T2	278,23	0,50	211,72	0,01	0,31	0,11	0,31	0,47
Canal 1 - T3	510,84	0,50	211,72	0,02	1,08	0,11	0,31	0,87
Canal 1 - T4	329,25	0,50	211,72	0,01	0,44	0,11	0,31	0,56
Canal 1 - T5	448,45	0,50	211,72	0,01	0,67	0,11	0,31	0,71
Canal 1 - T6	1.702,44	0,50	211,72	0,05	5,18	0,13	0,31	2,13
Canaleta 2								
Canal 2 - T9	378,62	0,50	211,72	0,01	2,57	0,08	0,27	1,10
Canal 2 - T10	482,90	0,50	211,72	0,01	0,40	0,12	0,27	0,58
Canal 2 - T11	367,79	0,50	211,72	0,01	0,87	0,09	0,27	0,73
Canal 2 - T12	647,13	0,50	211,72	0,02	0,79	0,12	0,27	0,81
Canal 2 - T13	421,20	0,50	211,72	0,01	0,23	0,12	0,27	0,46
Canal 2 - T14	565,03	0,50	211,72	0,02	1,71	0,10	0,27	1,05
Canal 2 - T15	1.843,06	0,50	211,72	0,05	5,51	0,12	0,27	2,18
Canal 2 - T16	696,40	0,50	211,72	0,02	19,64	0,07	0,27	2,74
Canaleta 3								
Canal 3 - T17	346,65	0,50	211,72	0,01	11,33	0,06	0,29	1,89
Canal 3 - T18	1.186,78	0,50	211,72	0,03	4,19	0,11	0,29	1,78
Canal 3 - T19	765,06	0,50	211,72	0,02	0,70	0,13	0,29	0,82
Canal 3 - T20	789,99	0,50	211,72	0,02	1,10	0,12	0,29	0,97
Canal 3 - T21	756,14	0,50	211,72	0,02	0,63	0,88	0,29	1,85
Canal 3 - T22	795,30	0,50	211,72	0,02	0,51	0,09	0,29	1,73
Canal 3 - T23	2.165,19	0,50	211,72	0,06	3,93	0,14	0,29	2,03
Canal 3 - T24	1.720,74	0,50	211,72	0,05	10,21	0,11	0,29	2,74

Estrutura	Área de drenagem (m²)	C	intens. (mm/h)	Q de proj. (m³/s)	Decliv. (%)	Prof. necessária (m)	Prof. real (m)	Velocidade (m/s)
Canaleta 4								
Canal 4 - T25	2.522,68	0,50	211,72	0,07	1,36	0,20	0,37	1,44
Canal 4 - T26	577,48	0,50	211,72	0,02	0,74	0,13	0,37	0,79
Canal 4 - T27	690,98	0,50	211,72	0,02	0,45	0,15	0,37	0,68
Canal 4 - T28	459,89	0,50	211,72	0,01	0,66	0,13	0,37	0,72
Canal 4 - T29	805,16	0,50	211,72	0,02	1,07	0,14	0,37	0,99
Canal 4 - T30	1.293,29	0,50	211,72	0,04	2,43	0,14	0,37	1,51
Canal 4 - T31	1.243,94	0,50	211,72	0,04	4,79	0,12	0,37	1,94
Canaleta 5								
Canal 5- T32	2.468,55	0,50	211,72	0,07	1,24	0,19	0,30	1,36
Canal 5- T33	11.981,98	0,50	211,72	0,35	0,86	0,47	1,08	1,99
Canal 5- T34	18.214,85	0,50	211,72	0,54	0,24	0,76	1,08	1,25
Canal 5- T35	3.218,07	0,50	211,72	0,09	3,77	0,17	0,30	2,21
Canal 5- T36	1.683,27	0,50	211,72	0,05	12,73	0,11	0,30	2,97
Canaleta 6								
Canal 6- T37	1.660,90	0,50	211,72	0,05	2,14	0,14	0,28	1,50
Canal 6- T38	2.755,44	0,50	211,72	0,08	0,61	0,22	0,28	1,06
Canal 6- T39	38.327,25	0,50	211,72	1,13	2,23	0,46	0,28	3,34
Canal 6- T40	3.133,21	0,50	211,72	0,09	0,76	0,22	0,28	1,19
Canal 6- T41	1.736,56	0,50	211,72	0,05	0,14	0,24	0,28	0,55

Tabela 10.10 – Dimensionamento hidráulico das escadas hidráulicas

Dimensionamento Hidráulico – Escadas Hidráulicas											
Dispositivo em escadaria	Escada 8				Escada 9			Escada 10			
Trechos	T1	T2	T3	T4	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Dados de Entrada											
Vazão (m³/s)	0,23	0,23	0,23	0,23	0,14	0,14	0,14	0,39	0,39	0,39	0,39
Largura do Canal (m)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Altura do Degrau (m)	0,3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,3	0,15	0,15	0,15
Comprimento do Patamar do Degrau (m)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Desnível do Trecho (m)	7,5	6,3	6,3	3,9	6,3	6,3	4,8	6,6	6,9	6,9	5,1
Dados para dimensionamento											
Profundidade Aerada do Escoamento (m)	0,171	0,17	0,17	0,17	0,123	0,123	0,123	0,242	0,229	0,229	0,229
Velocidade do Escoamento Aerado (m/s)	2,72	2,736	2,736	2,736	2,286	2,286	2,286	3,217	3,401	3,401	3,401
Profundidade Final do Escoamento (m)	0,097	0,12	0,12	0,12	0,086	0,086	0,086	0,137	0,168	0,168	0,168
Velocidade Final do Escoamento (m/s)	4,816	3,862	3,862	3,862	3,261	3,261	3,261	5,688	4,645	4,645	4,645
Energia Residual (m)	1,265	0,875	0,875	0,875	0,628	0,628	0,628	1,766	1,26	1,26	1,26
Altura de Referência da Parede (m)	0,239	0,238	0,238	0,238	0,172	0,172	0,172	0,339	0,321	0,321	0,321

Tabela 10.11 - Dimensionamento hidráulico das manilhas.

Estruturas Hidráulicas - Bueiros													
	Descida 8				Descida 9				Descida 10				
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M5
Dados de Entrada													
Vazão afluente (m³/s)	0,0374	0,0736	0,1413	0,2325	0,0247	0,0562	0,1017	0,1355	0,0633	0,1547	0,2924	0,3908	1,02
Coefficiente de Manning	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Declividade (m/m)	0,11	0,01	0,02	0,03	0,07	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,04	0,05	0,03
Comprimento do bueiro (m)	3,1	8,5	8,5	13,9	3,5	3	7,5	13,8	3,5	8,5	7,6	13,4	15,53
Diâmetro (m)	0,25	0,35	0,35	0,4	0,25	0,35	0,35	0,35	0,25	0,35	0,5	0,5	1,0
Resultados													
Tipo de bueiro	BSTC Ø 0,25	BSTC Ø 0,35	BSTC Ø 0,35	BSTC Ø 0,40	BSTC Ø 0,25	BSTC Ø 0,35	BSTC Ø 0,35	BSTC Ø 0,35	BSTC Ø 0,35	BSTC Ø 0,35	BSTC Ø 0,50	BSTC Ø 0,50	BSTC Ø 1
Condição de funcionamento hidráulico do bueiro	Canal Supercrítico	Canal Subcrítico	Orifício	Orifício	Canal Supercrítico	Canal Subcrítico	Canal Supercrítico	Orifício	Orifício	Orifício	Orifício	Orifício	Canal Supercrítico
Declividade crítica (m/m)	0,0117	0,105	-	-	0,0117	0,0105	0,0105	-	-	-	-	-	0,074
Profundidade crítica (m)	0,1573	0,2022	0,2769	0,4395	0,1267	0,1756	0,2391	0,2546	0,2135	0,3319	0,2847	0,5086	0,579
Vazão admissível (m³/s)	0,0479	0,1237	0,4519	0,6395	0,0479	0,1237	0,1111	0,4296	0,3385	0,5069	0,5347	0,7586	1,533
Profundidade Operacional em Escoamento Uniforme (m)	0,0794	0,1918	0,2347	0,2568	0,072	0,1634	0,1891	-	-	0,1978	0,2341	0,26	0,3642
Velocidade Associada à Prof. Operacional em Esc. Unif. (m/s)	2,7911	1,3638	2,0599	2,7256	2,1089	0,2754	1,918	-	-	2,7593	3,2395	3,7881	3,9439

10.4.4. Conclusão Sobre a Verificação Hidráulica

Com base nos estudos hidrológicos e hidráulicos disponíveis, verifica-se que a Barragem Marçu apresenta condições satisfatórias de segurança hidráulica para os cenários avaliados. O trânsito de cheias para o evento com TR de 10.000 anos resultou em borda livre de 1,20 m, considerada adequada no estudo de referência, inclusive quanto à acomodação das ondas eólicas analisadas.

O sistema extravasor foi verificado para a vazão máxima defluente de 5,5 m³/s, tendo o Projeto *As Is* concluído pela adequação de seus diferentes componentes para a passagem da cheia de projeto.

Da mesma forma, o sistema de drenagem superficial foi objeto de verificação e de adequações, posteriormente incorporadas à configuração atual da estrutura. Nas inspeções consideradas neste RTSB, os dispositivos hidráulicos apresentaram condições satisfatórias de conservação, não sendo observadas anomalias aparentes que comprometessem sua funcionalidade.

Dessa forma, não foram identificadas, no âmbito desta revisão, condições que indiquem comprometimento da segurança hidráulica da Barragem Marçu, devendo ser mantidas as rotinas de inspeção, limpeza e manutenção dos sistemas de drenagem e extravasão.

11. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS RESÍDUOS/REJEITOS

11.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS REJEITOS

O material contido na Barragem Marçu é constituído por rejeito proveniente do beneficiamento de minério de grafita. Para sua caracterização ambiental, foi analisada amostra do material em estado sólido e seco, contemplando ensaios sobre a massa bruta e sobre os extratos lixiviado e solubilizado, conforme os procedimentos estabelecidos pela norma ABNT NBR 10.004:2004.

Os resultados analíticos indicaram atendimento aos limites estabelecidos para a massa bruta e para os ensaios de lixiviação e solubilização. Dessa forma, o parecer técnico classificou a amostra analisada como **Classe II B – Resíduo Inerte**, segundo os critérios da ABNT NBR 10.004:2004.

11.2. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS REJEITOS

Em 2018, foram coletadas amostras indeformadas tipo “Shelby” (F-02 e F-03) na praia de rejeitos da Barragem Marçu juntamente com amostras deformadas (AD-01, AD-02, AD-03, AD-04, AD-05) que também foram encaminhadas para laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (LMS/DEC/UFV), obtendo-se resultados apresentados na Tabela 11.1 e na Tabela 11.2.

Cabe ressaltar que as amostras de AD-01 a AD-03 foram coletadas próximo à crista da barragem, enquanto as amostras AD-04 e AD-05 foram coletadas na porção montante do reservatório.

Tabela 11.1 – Resultados dos ensaios de caracterização das amostras do maciço

Amostra	GRANULOMETRIA				DENSIDADE REAL DOS GRÃOS (g/cm³)
	Argila %	Silte %	Areia %	Pedregulho %	
F-02	37.0	59.5	3.5	0.0	2.786
F-03	33.0	54.7	12.3	0.0	2.753
AD-01	35.0	56.5	8.5	0.0	2.770
AD-02	33.0	59.3	7.7	0.0	2.751
AD-03	28.0	61.2	10.8	0.0	2.769
AD-04	14.0	39.1	46.9	0.0	2.748
AD-05	11.0	35.1	53.9	0.0	2.759

Tabela 11.2 – Resultados dos ensaios de triaxiais das amostras do rejeito

ENSAIO TRIAXIAL – UU e CU				
Amostra	C (kPa)	Φ (°)	C' (kPa)	Φ' (°)
F-02	41	0	-	-
F-03	28	0	-	-
AD-01	7	17	11	31

Das sondagens realizadas na mesma campanha, os furos SP-03, SP-04, SP-05, SP-06, SP-07 e SP-09 perfuraram as camadas de rejeitos armazenados no reservatório da Barragem Marçu. Os valores de NSPT registrados aumentam com a profundidade, entretanto, há uma tendência para valores médios da ordem de 4 golpes nos primeiros 4 metros de profundidade.

Por entender que os valores dos ensaios triaxiais são pouco representativos dos rejeitos, optou-se por estimar os parâmetros de resistência desse material considerando os valores de NSPT, como medida conservadora.

Desde 1988 não são lançados rejeitos na Barragem Marçu. Os rejeitos ali presentes possuem os mesmos parâmetros geotécnicos dos rejeitos hoje lançados na Barragem Rancho Casca. No projeto de descaracterização, CAR-E-PM-RE-001-0, abril/2019, as características dos rejeitos são descritas na **Tabela 11.3**.

Tabela 11.3 - Características dos rejeitos

Densidade seca:	1,4 t/m ³
Granulometria:	Argila siltosa, com pequena proporção de areia muito fina.
Consistência:	Nspt entre 3 e 5 golpes (mole a muito mole).
Permeabilidade:	Entre 1*10 ⁻⁵ cm/s e 1*10 ⁻⁶ cm/s.
Densidade natural:	16 kN/m ³
Resistência mecânica:	c' = 9 kPa; ϕ' = 24°
Suscetibilidade à liquefação:	Não é suscetível por ser material argiloso. (reconhecimento tátil-visual)

12. MODOS DE FALHA

A avaliação dos modos de falha da Barragem Marçu foi realizada considerando os mecanismos potencialmente capazes de comprometer a integridade e a segurança da estrutura, tendo como referência os princípios de gestão de segurança de barragens, os estudos e projetos disponíveis e as condições observadas durante as inspeções.

A análise considera as diretrizes estabelecidas pela Resolução ANM nº 95/2022 e suas alterações, bem como conceitos e boas práticas aplicáveis à avaliação de modos de falha de barragens apresentados pelo International Commission on Large Dams – ICOLD. A abordagem busca identificar os mecanismos fisicamente plausíveis de falha e verificar, a partir das características da estrutura, instrumentação, inspeções e análises disponíveis, a existência de condições que possam favorecer sua iniciação ou progressão.

Para a Barragem Marçu, foram considerados como principais modos de falha a instabilidade geotécnica, o galgamento e a erosão interna (*piping*), conforme avaliação apresentada no Projeto *As Is*.

A Tabela 12.1 apresenta os modos de falha críveis para a estrutura.

Tabela 12.1 – Identificação dos modos de falha, componentes e causas

MODO DE FALHA	COMPONENTE AFETADO	ANÁLISE DA BARRAGEM MARÇU
Galgamento	Maciço	O sistema extravasor da barragem já está dimensionado para os eventos de tempestade mais severa (TR 10.000 anos/PMP) e atende aos requisitos de borda livre, o que afasta o risco de galgamento por cheias extremas ou ondas. Além disso, não se identificou riscos de deslizamento de encostas no entorno do reservatório. As estruturas de lançamento ou captação de lama ou água, assim como os demais elementos, conta com uma gestão de riscos cuidadosa. Mesmo assim, conforme recomendado pelo ICOLD, a análise considerou a remota possibilidade de erosão ou bloqueio do vertedouro, deformação da crista devido a recalque ou instabilidade, erro humano ou sabotagem.
Erosão Interna	Maciço / Fundação	O projeto e a construção do maciço obedeceram aos requisitos de drenagem interna, contando com as transições requeridas nas normas. O monitoramento demonstra não haver gradientes hidráulicos inadequados e não existem tubulações atravessando maciço ou fundação. Além disso, não há indícios de má distribuição de tensões dentro da barragem, causando recalques diferenciais. Tampouco foram identificadas características na fundação que possam causar erosão interna. Por último, o local da barragem não está sujeito a sismos relevantes.

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

MODO DE FALHA	COMPONENTE AFETADO	ANÁLISE DA BARRAGEM MARÇU
		Por força da legislação, este passa a ser um cenário crível, tendo em vista que não se pode considerar a condição de "risco zero" de colmatção.
Instabilidade Estática	Maciço / Fundação	Os planos de investigação realizados foram satisfatórios para o conhecimento dos diversos materiais que compõem a fundação e o maciço. A posição do nível d'água nas seções analisadas está bem fundamentada. As análises de estabilidade elaboradas para avaliação de segurança da barragem chegaram a fatores de segurança adequados, conforme a norma preconiza, tendo sido simuladas as condições de carregamento necessárias, incluindo a pseudo-estática. Caso ainda ocorra uma falha por este mecanismo, a ruptura iria ocorrer no final por uma combinação de galgamento e/ou <i>piping</i>, estando esses dois cenários simulados neste estudo.
Liquefação	Maciço / Fundação	Não foi identificada presença de materiais susceptíveis a liquefação (solo de comportamento contrátil, saturado e não coesivo) seja na fundação ou seja no maciço. Dessa forma, este não é um modo crível de falha para a barragem.

13. ANÁLISES DE ESTABILIDADE

O presente tópico tem como objetivo avaliar as condições de estabilidade da Barragem Marçu.

Para este estudo, foram avaliadas condições de ruptura global e entre bermas, em conformidade com os critérios de estabilidade previstos na NBR 13.028:2025 e requisitados no Termo de Referência da FEAM.

13.1. METODOLOGIA APLICADA

As análises de estabilidade foram realizadas no *software* Slide2, adotando os métodos de Morgenstern-Price e Spencer, adequados para a avaliação de superfícies de ruptura não circulares, além do método de Sarma, conforme recomendam as boas práticas de engenharia para taludes complexos. Para fins de emissão da Declaração de Condição de Estabilidade (DCE), utilizou-se o método que resultou o valor de fator de segurança mais conservador.

O critério de resistência ao cisalhamento utilizado foi o de Mohr-Coulomb, enquanto, para os métodos de rupturas, foram analisadas as rupturas circulares e não circulares.

13.2. PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA ADOTADOS

A base para definição dos parâmetros de resistência está detalhada no item 5.2.4. Em resumo, os parâmetros adotados para os materiais da fundação e maciço estão descritos na Tabela 13.1.

Tabela 13.1 – Parâmetros geotécnicos utilizados nas análises de estabilidade

Material	γ [kN/m³]	TESÕES EFETIVAS		τ S_u/σ'_v	Justificativa
		c' [kPa]	ϕ' [°]		
Rejeito	16	0	25	0,20	Correlação com SPT médio + Ensaios triaxiais realizados na campanha de 2018: AD-01
Aterro 2ª Etapa	18	11	32		Ensaios triaxiais realizados na campanha de 2018: Amostras P1-01, P1-02, P1-03
Aterro 1ª Etapa	19	11	30		Correlação com o SPT médio (8 golpes)
Drenagem interna	20	0	32		Referência bibliográfica.
Colúvio	19	15	28		Correlação com o SPT médio (9 golpes)
Solo residual	20	16	32		Correlação com o SPT médio (acima de 30 golpes)

c – coesão, ϕ – ângulo de atrito; γ – peso específico natural; τ – razão de resistência não drenada

13.3. SEÇÕES REPRESENTATIVAS

As seções de análises de estabilidade foram estrategicamente selecionadas para representar fidedignamente a condição de estabilidade da barragem. Considerou-se fatores como: altura

máxima da barragem, interação com a fundação e ombreiras, nível d'água, condições de percolação dados de auscultação e parâmetros geotécnicos obtidos nos estudos prévios.

A posição das seções para as análises de estabilidade está demonstrada na Figura 5.9. Foram selecionadas duas seções priorizando a maior altura da barragem e a localização dos instrumentos, sendo:

- A Seção A, próximo à ombreira direita; e
- A seção B, na porção central, de maior altura, utilizando os níveis freáticos e piezométricos registados nos últimos 6 meses.

13.4. LINHA FREÁTICA

Para a definição da posição da linha freática adotada nas análises de estabilidade, foi utilizado como condição de referência o histórico de leituras dos instrumentos instalados na Barragem Marçu, sendo:

- Para o cenário que representa as condições normais de operação, adotou-se as leituras atuais dos instrumentos, incluindo a Régua Limnimétrica.
- Para a condição extrema adotou-se as maiores leituras já registradas, bem como o reservatório no seu nível máximo (EL. da soleira do vertedouro).

*A condição extrema **não representa o comportamento esperado da barragem**, mas sim uma situação hipotética e extrema, destinada a avaliar o fator de segurança sob um cenário desfavorável, garantindo que a estrutura apresente desempenho satisfatório mesmo em condições excepcionais.*

13.5. CENÁRIOS E FATORES DE SEGURANÇA ADMISSÍVEIS

Os cenários analisados definindo as fases ou condições de carregamento encontram-se resumidos na Tabela 13.2, estando os Fatores de Segurança Mínimos admissíveis em conformidade com a NBR 13.0128/2025.

Para todas as seções, simulou-se os cenários representando a condição normal, extrema e com solicitação sísmica.

A condição não drenada é intrínseca a um determinado tipo de material (granulometria, índice de vazios, permeabilidade, saturação, etc.), quando exposto a uma solicitação ou carregamento rápido, caracterizado, por exemplo, por alteamentos ou elevações da freática interna. Para a condição atual da barragem não são observadas tais características, a exceção dos rejeitos do reservatório.

Tabela 13.2 - Cenários e Fatores de Segurança Mínimos Admissíveis

FASE OU CONDIÇÃO	RUPTURA	TALUDE	FS MÍNIMO	APLICAÇÃO
Operação com rede de fluxo em condição extrema de operação, nível máximo do reservatório	Maciço e fundações	Jusante	1,3	Sim
Operação com rede de fluxo em condição normal	Maciço	Jusante	1,5	Sim
		Entre bermas	1,3	
Solicitação sísmica, com nível máximo do reservatório	Maciço e fundações	Montante e Jusante	1.1	Sim

A condição **final de construção** não é aplicável a essa barragem pela idade do último alteamento.

A condição de **rebaixamento rápido** não foi considerada na análise em razão da inexistência de lâmina d'água significativa no reservatório e da ausência de condição operacional que implique redução abrupta do nível d'água. A condição hidráulica atual é caracterizada pela presença de rejeito no reservatório, com o nível d'água situado abaixo da superfície do depósito e distribuição de poropressões associada à condição piezométrica atual da estrutura. Dessa forma, a análise de estabilidade foi realizada considerando-se a condição hidráulica atualmente estabelecida, sem a aplicação de um cenário de rebaixamento rápido.

A condição de **operação normal com nível d'água máximo**, na prática, é representada de forma muito próxima da condição "normal", em termos de regime de fluxo, gerando uma duplicidade de cenários.

Por fim, o modo de falha **por liquefação** não é um modo crível para essa barragem (ver item 12 deste relatório), o que torna não aplicável essa condição de análise de estabilidade.

13.6. RESULTADOS

Na sequência representada da Figura 13.1 até a Figura 13.12 se encontram os resultados das análises de estabilidade da Barragem Marçu, para os diferentes cenários analisados e descritos anteriormente.

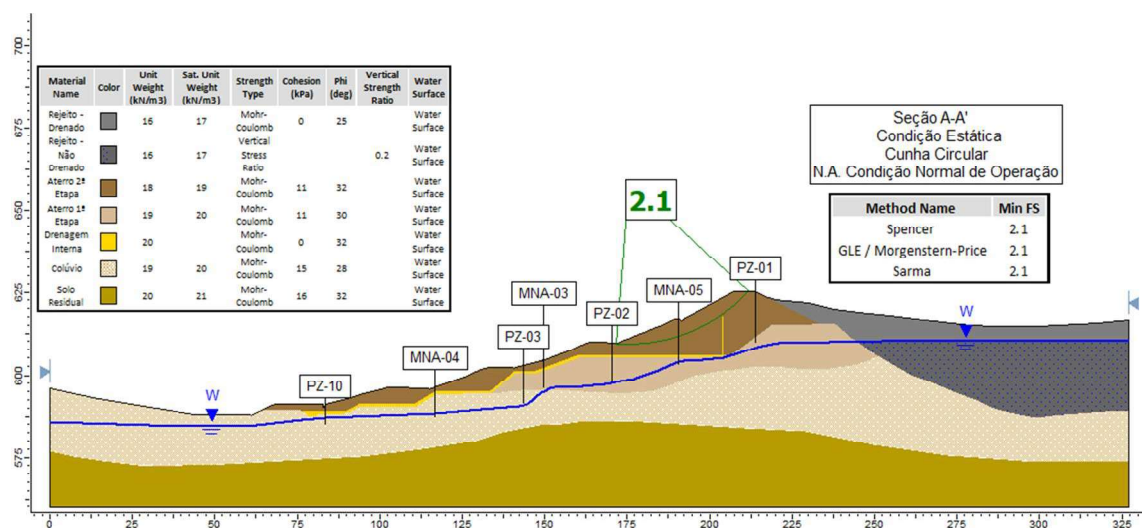
Na Tabela 13.3 estão os resultados das análises de estabilidade realizadas. Conforme pode ser verificado, em todos os casos, os fatores de segurança obtidos estão dentro dos limites aceitáveis estipulados.

Tabela 13.3 – Resultados das análises de estabilidade

Cenário	Seção	Circular			Não Circular		
		Spencer	GLE/M-P	Sarma	Spencer	GLE/M-P	Sarma
Condição normal	A-A'	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Condição extrema de operação, nível máximo do NA		1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Solicitação sísmica, na condição extrema de operação		1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6
Condição normal	B-B'	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9
Condição extrema de operação, nível máximo do NA		2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9
Solicitação sísmica, na condição extrema de operação		1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,8

Notas:

- (1) Os valores destacados são os mínimos obtidos pelos métodos Spencer, GLE/Morgenstern-Price e Sarma.
- (2) A utilização de uma casa decimal está de acordo com a ABNT NBR 13.028:2025.


Figura 13.1 – Análise de estabilidade da seção A-A' em condição normal de operação, considerando superfície de ruptura circular

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

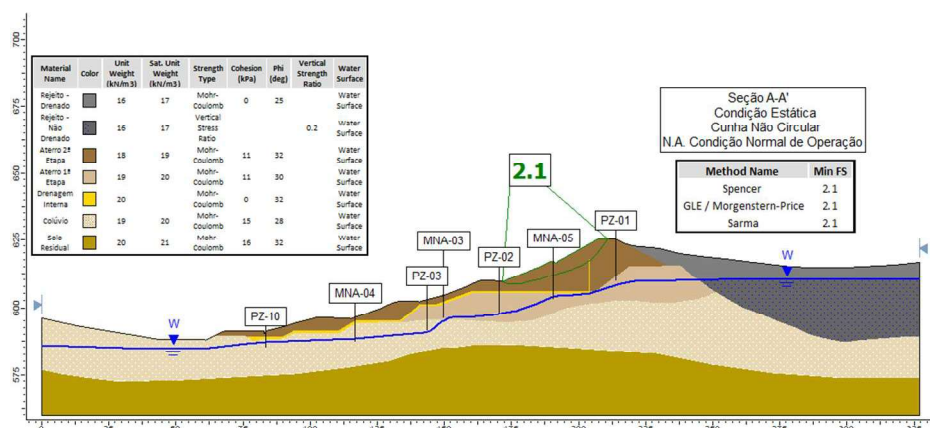


Figura 13.2 – Análise de estabilidade da seção A-A' em condição normal de operação, considerando superfície de ruptura não circular

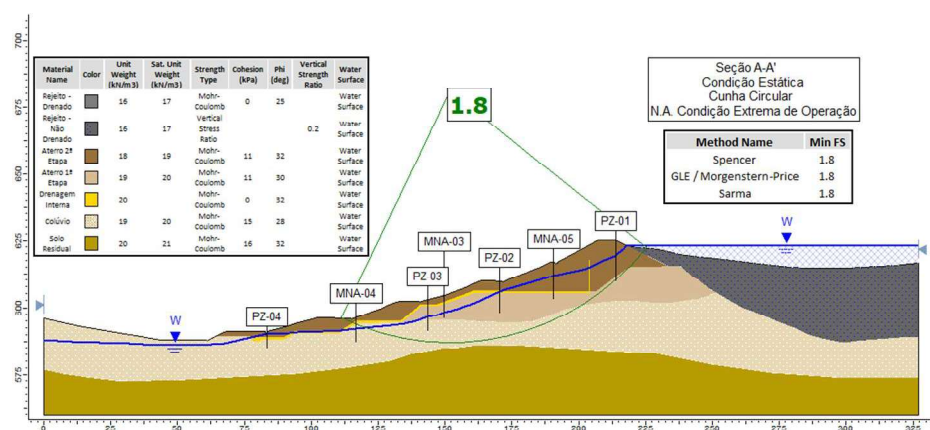


Figura 13.3 – Análise de estabilidade da seção A-A' em condição extrema de operação, com nível máximo do NA, considerando superfície de ruptura circular

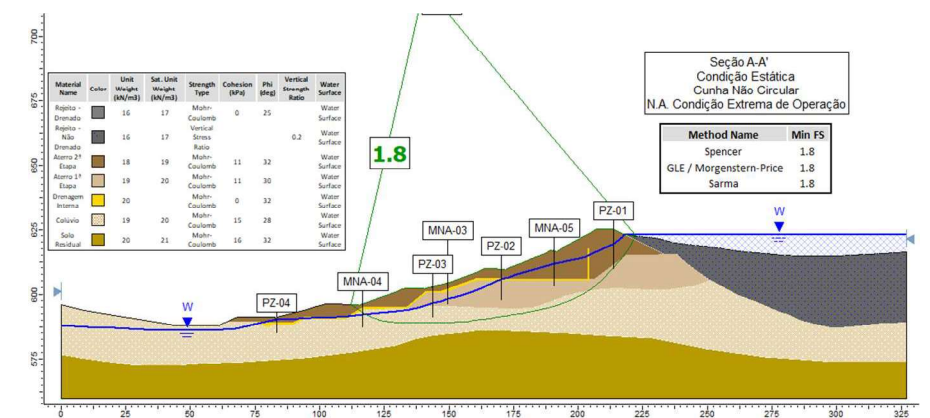


Figura 13.4 – Análise de estabilidade da seção A-A' em condição extrema de operação, com nível máximo do NA, considerando superfície de ruptura não circular

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

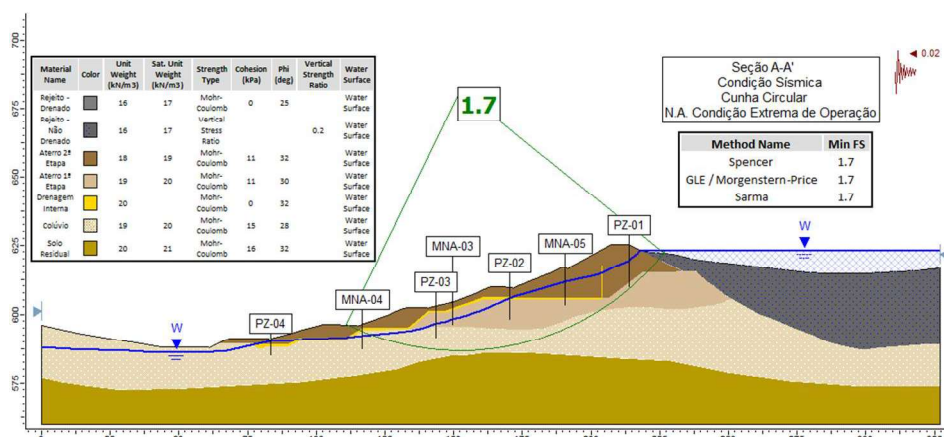


Figura 13.5 – Análise de estabilidade da seção A-A' sob condição sísmica, na condição extrema de operação, considerando superfície de ruptura circular

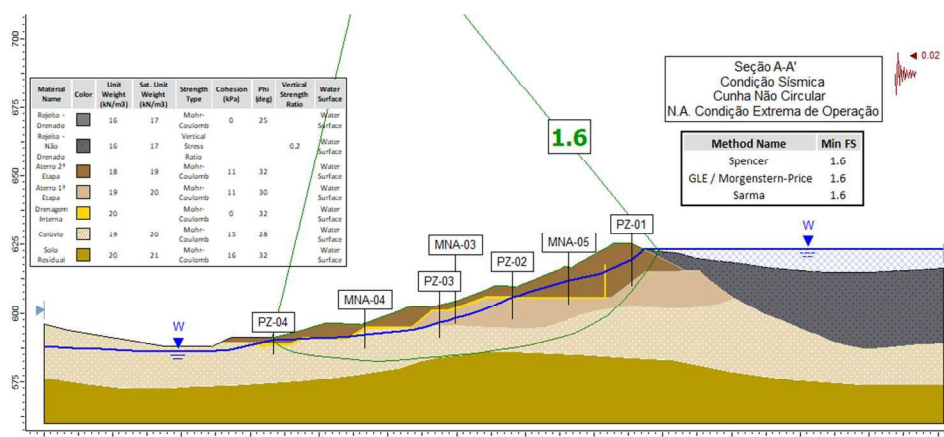


Figura 13.6 – Análise de estabilidade da seção A-A' sob condição sísmica, na condição extrema de operação, considerando superfície de ruptura não circular

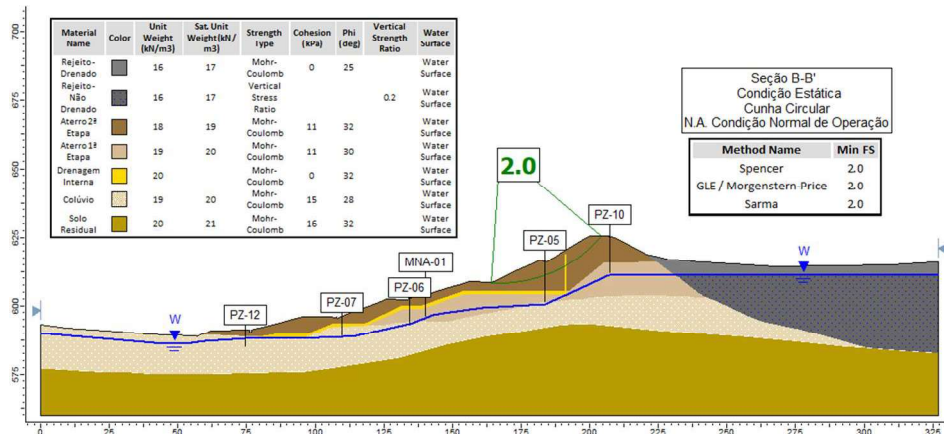


Figura 13.7 – Análise de estabilidade da seção B-B' em condição normal de operação, considerando superfície de ruptura circular

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

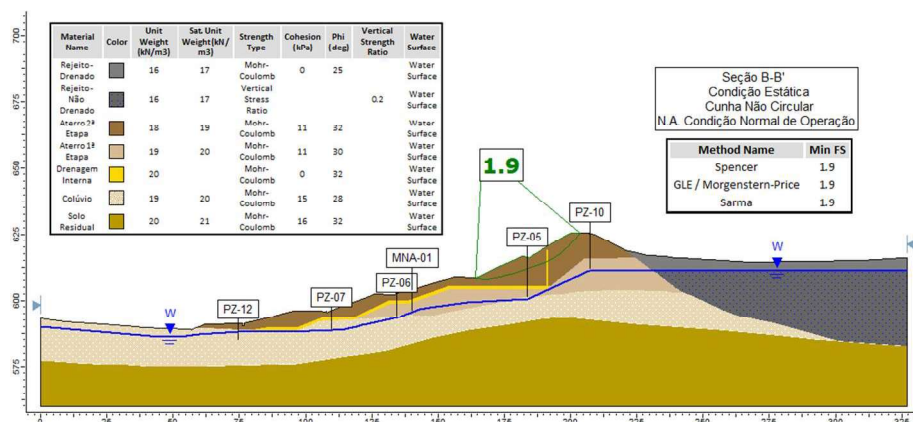


Figura 13.8 – Análise de estabilidade da seção B-B' em condição normal de operação, considerando superfície de ruptura não circular

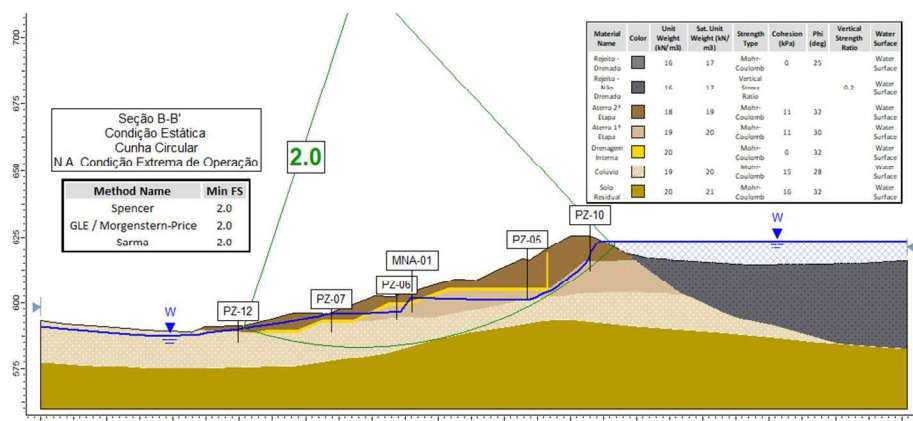


Figura 13.9 – Análise de estabilidade da seção B-B' em condição extrema de operação, com nível máximo do NA, considerando superfície de ruptura circular

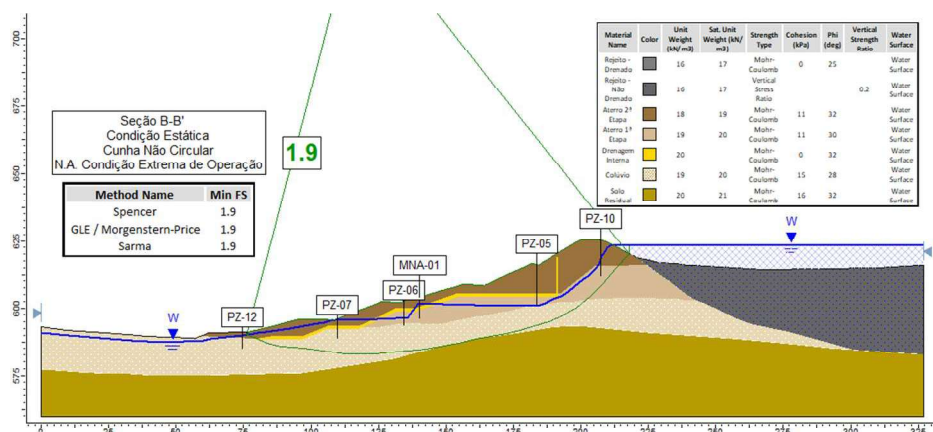


Figura 13.10 – Análise de estabilidade da seção B-B' em condição extrema de operação, com nível máximo do NA, considerando superfície de ruptura não circular

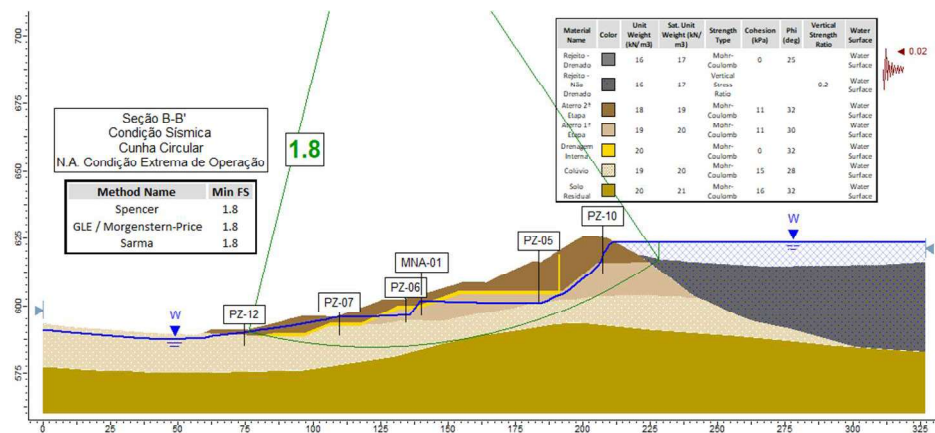


Figura 13.11 – Análise de estabilidade da seção B-B' sob condição sísmica, considerando superfície de ruptura circular

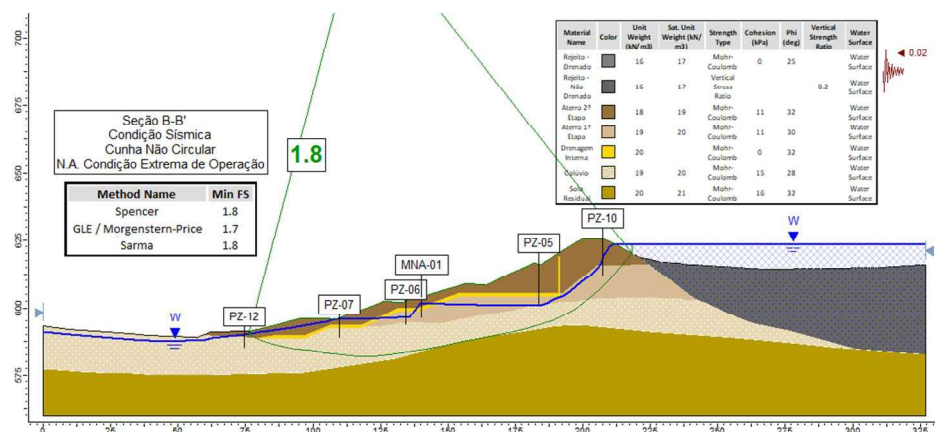


Figura 13.12 – Análise de estabilidade da seção B-B' sob condição sísmica, considerando superfície de ruptura não circular

13.7. AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE ESTRUTURAL

Como podem ser observados, os fatores de segurança atendem aos requisitos da norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 13.028/2025, dos guias da *Canadian Dam Association* – CDA e da *International Commission on Large Dams* - ICOLD.

14. AUSCULTAÇÃO

O monitoramento da barragem é composto por medições de instrumentos (piezômetros, medidores de nível d'água, medidores de vazão dos drenos de fundo e drenos horizontais, régua de leitura do nível do reservatório e pluviometria) e inspeções de campo. Estas medições dos instrumentos são efetuadas por equipe da própria NGL, que as repassa para a Geoconsultoria, responsável por sua interpretação mensal.

Na barragem estão instalados e em funcionamento os seguintes instrumentos:

- 9 piezômetros tipo Casagrande (PZ's)
- 5 indicadores de nível d'água (MA's)
- 7 marcos superficiais (MS's)
- 9 drenos tubulares de alívio (DT's)
- 1 pluviômetro

A **Figura 14.1**, apresenta a localização dos instrumentos existentes na Barragem Marçu citados e a **Tabela 14.1** apresenta as informações dos piezômetros e indicadores de nível d'água que são utilizados para o monitoramento do maciço e fundação da barragem.

Tabela 14.1 – Informações da Instrumentação

Instrumento	Coordenadas		Cota	Função - Monitoramento
	(SIRGAS 2000)			
	N	E		
PZ-01	8.242.313,2829	279.483,9081	625400	Estabilidade do talude: controle da elevação do nível freático no corpo e fundação da barragem. Percolação e eficiência do sistema de drenagem: detecção de níveis d'água elevados.
PZ-03	8.242.245,0148	279.466,7718	602943	
PZ-05	8.242.310,9304	279.400,7807	616556	
PZ-07	8.242.238,9783	279.382,3763	596216	
PZ-10	8.242.328,2378	279.425,7501	625569	
MA-01	8.242.268,4391	279.390,2945	603974	
MA-02	8.242.259,2330	279.429,9482	604414	
MA-03	8.242.250,7814	279.468,0512	604362	
MA-04	8.242.218,9706	279.460,1928	596328	
MA-05	8.242.290,8678	279.478,2718	617035	

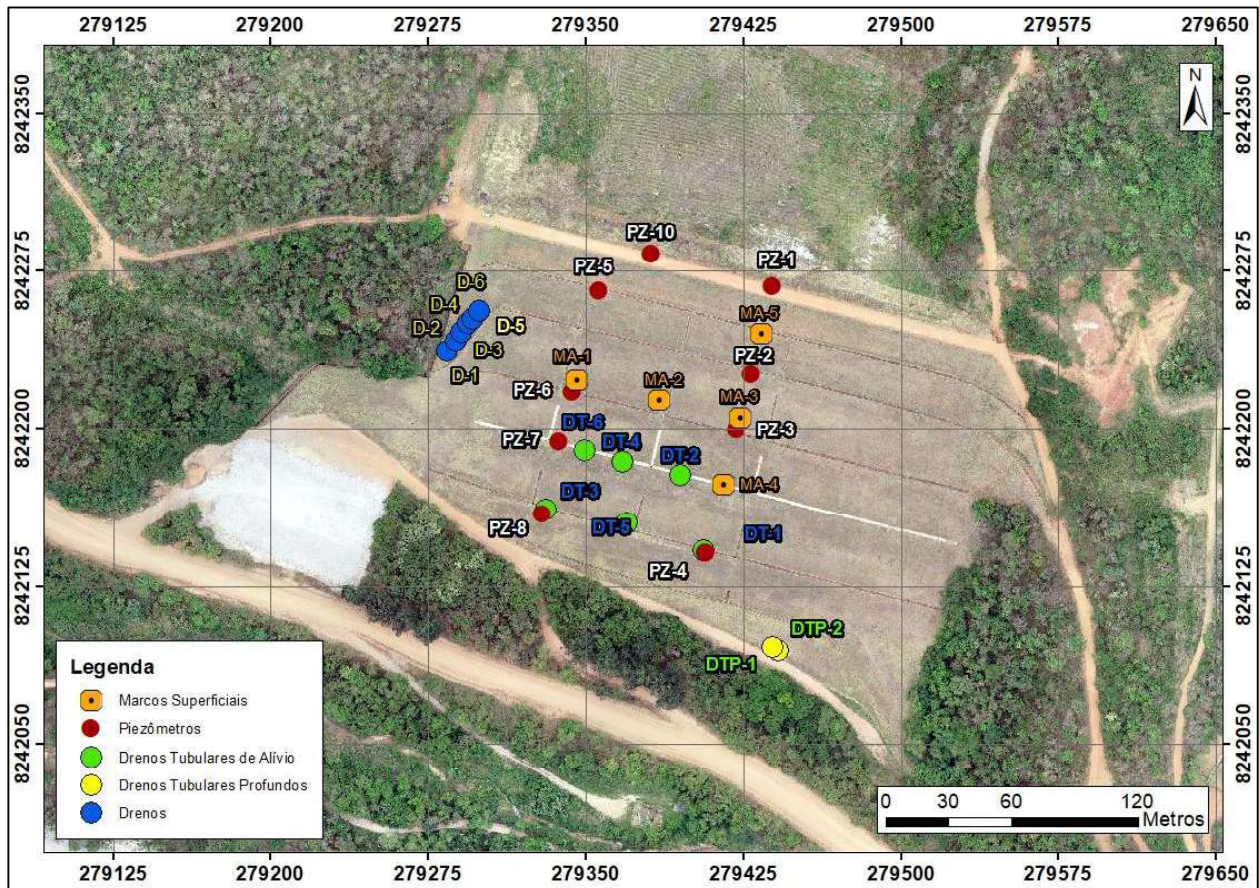


Figura 14.1 – Planta com a localização dos instrumentos de monitoramento da Barragem Marçu

O monitoramento da instrumentação da Barragem Marçu é realizado, no mínimo, com periodicidade quinzenal, abrangendo as leituras dos piezômetros, medidores de nível d'água e medidores de vazão, bem como o acompanhamento dos marcos superficiais. Os dados obtidos são registrados em fichas e planilhas de acompanhamento e utilizados na avaliação das condições de segurança da estrutura.

As informações provenientes das leituras dos instrumentos e das inspeções são encaminhadas para avaliação técnica, subsidiando a elaboração dos relatórios de inspeção e avaliação das condições de estabilidade da barragem. Conforme o Manual de Operações, os dados são encaminhados quinzenalmente ao projetista ou prestador de serviço especializado para avaliação.

O sistema de monitoramento contempla ainda o registro e a avaliação das ocorrências identificadas durante as inspeções, com encaminhamento das eventuais anormalidades ao responsável técnico pela barragem para adoção das providências cabíveis.

Os resultados apresentados nos itens a seguir abrangem o período de 2023 a 2026, permitindo uma melhor visualização do comportamento dos parâmetros monitorados. Porém, o banco de dados de leitura da instrumentação possui registros desde 2001. O compilado dos dados de monitoramento se encontra no documento GF34Mn-R8 - Marçu 06-08-26, fornecido pela Nacional de Grafite.

14.1. MEDIDORES DE NÍVEL D'ÁGUA

Estão instalados 05 (três) medidores de nível de água na estrutura. Os resultados das leituras são compilados no gráfico da Figura 14.2 a seguir. O resultado dos medidores de nível d'água MNA-01, MNA-02, MNA-03, MNA-04 e MNA-05

14.2. PIEZÔMETROS

O resultado do monitoramento dos piezômetros (PZ-1, PZ-2, PZ-3, PZ-4, PZ-5, PZ-6, PZ-7, PZ-8 e PZ-10) se encontra detalhado na Figura 14.3 a seguir.

14.3. MARCOS SUPERFICIAIS

Os resultados do monitoramento dos marcos topográficos superficiais (MS-1, MS-2, MS-3, MS-4, MS-5, MS-6, MS-7), de leitura manual se encontram na Figura 14.4.

Conforme o documento GF34Mn-R8 - Marçu 06-08-26, os deslocamentos se encontram dentro dos níveis de referência esperados.

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

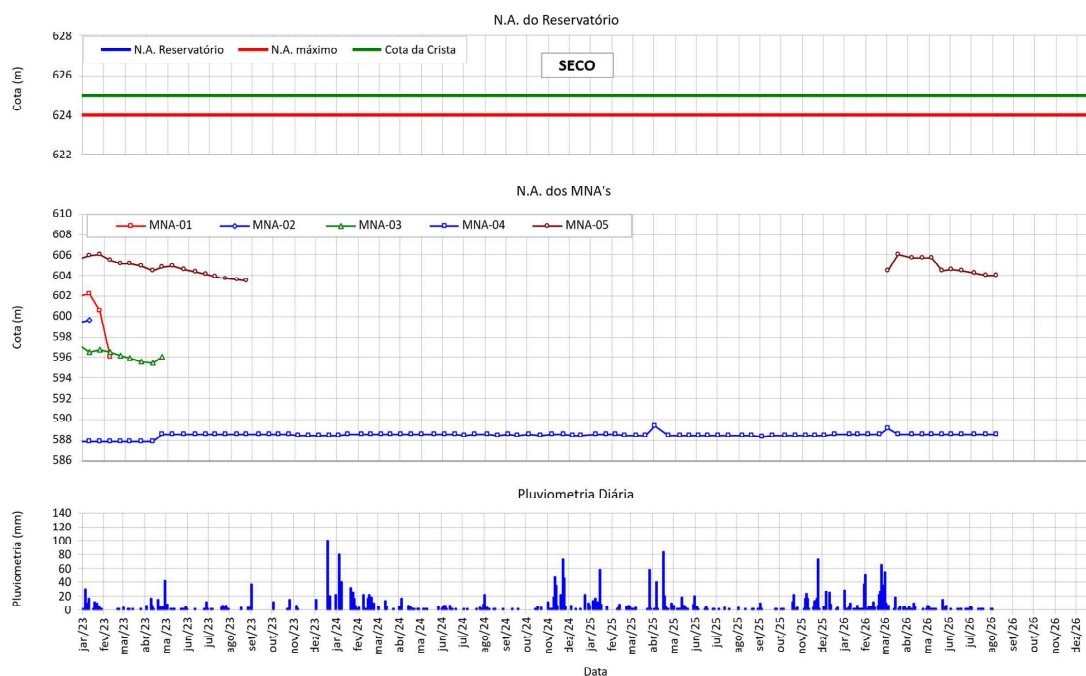


Figura 14.2 – Leitura dos MNA's

NG-132-RTSB-MR-RL-R0

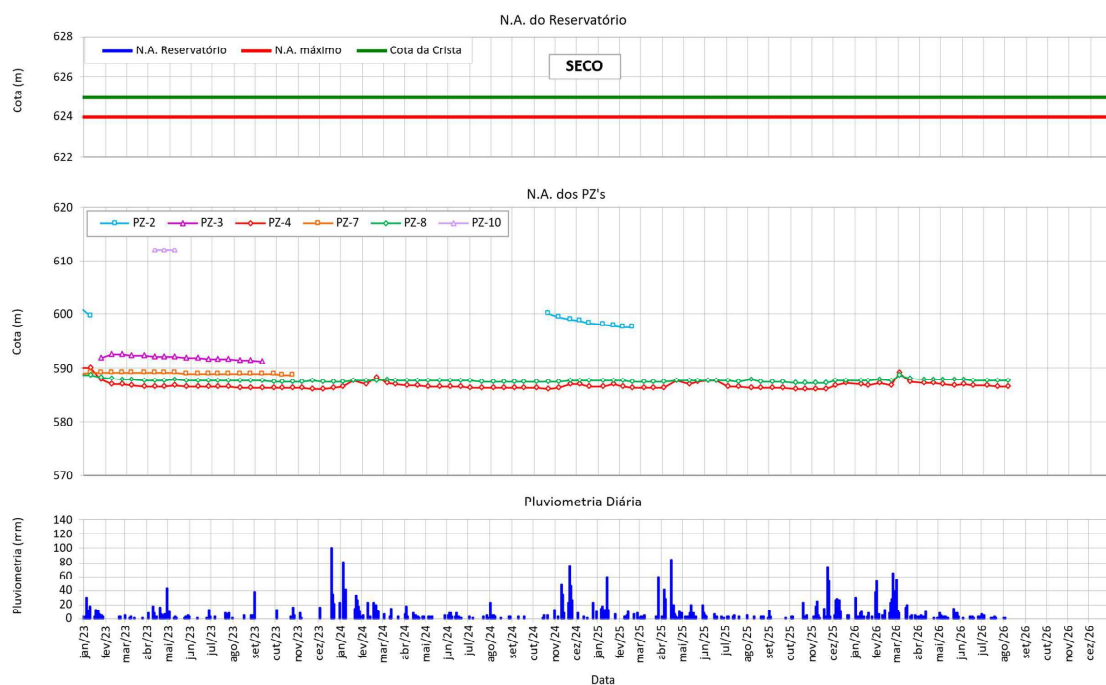


Figura 14.3 – Monitoramento dos piezômetros

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

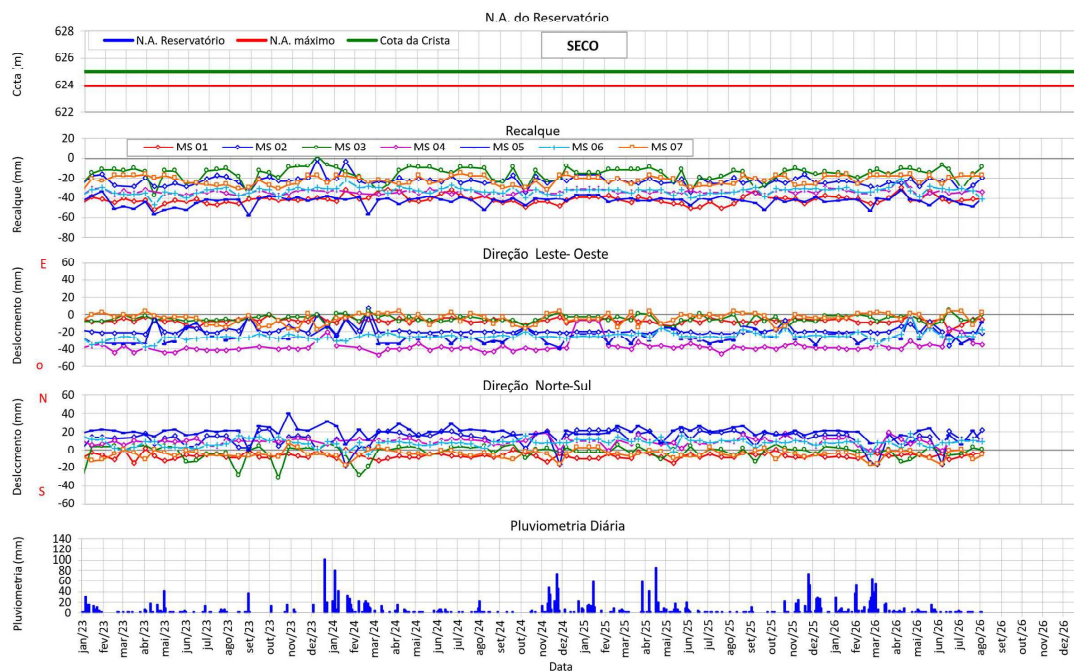


Figura 14.4 – Dados do monitoramento dos marcos superficiais

NG-132-RTSB-MR-RL-R0

15. CARTA DE RISCO

A avaliação das condições de segurança da Barragem Marçu é realizada com auxílio dos níveis de controle estabelecidos para a instrumentação geotécnica, conforme critérios apresentados no Manual de Operações da estrutura. Esses níveis constituem referências para interpretação dos resultados do monitoramento e para identificação de alterações que possam indicar condições distintas daquelas consideradas normais para a barragem.

O Manual estabelece quatro níveis de segurança — Normal, Atenção, Alerta e Emergência — associados aos resultados da instrumentação e às condições de estabilidade da estrutura. Os limites definidos para os piezômetros e indicadores de nível d'água foram estabelecidos considerando fatores de segurança correspondentes às diferentes condições de controle.

A Tabela 15.1 apresenta os níveis de controle estabelecidos no Manual de Operações para os instrumentos da Barragem Marçu.

Tabela 15.1 – Níveis de segurança para piezômetros e medidores de nível de água da Barragem Marçu

(Fonte: Manual de Operações – Barragem Marçu – Ver 5)

Seção	Instrumento	Normal – FS $\geq 1,50$ (m)	Atenção – 1,30 < FS < 1,50 (m)	Alerta – 1,10 < FS $\leq 1,30$ (m)	Emergência – FS < 1,10 (m)
AA	PZ-01	< 617,62	617,62 a 619,36	619,36 a 620,72	> 620,72
AA	MA-05	< 612,69	612,69 a 614,17	614,17 a 616,00	> 616,00
AA	PZ-02	< 604,82	604,82 a 607,02	607,02 a 608,00	> 608,00
AA	MA-03	< 602,83	602,83 a 603,35	603,35 a 603,47	> 603,47
AA	PZ-03	< 600,34	600,34 a 600,77	600,77 a 601,00	> 601,00
AA	MA-04	< 594,25	594,25 a 594,61	594,61 a 594,73	> 594,73
AA	PZ-04	< 586,64	586,64 a 588,98	588,98 a 590,00	> 590,00
BB	PZ-10	< 621,41	621,41 a 621,69	621,69 a 621,89	> 621,89
BB	PZ-05	< 609,25	609,25 a 614,08	614,08 a 616,00	> 616,00

Seção	Instrumento	Normal – FS $\geq 1,50$ (m)	Atenção – 1,30 < FS < 1,50 (m)	Alerta – 1,10 < FS $\leq 1,30$ (m)	Emergência – FS < 1,10 (m)
BB	MA-01	< 602,93	602,93 a 603,44	603,44 a 603,66	> 603,66
BB	PZ-06	< 600,21	600,21 a 600,54	600,54 a 601,00	> 601,00
BB	PZ-07	< 593,73	593,73 a 594,31	594,31 a 594,73	> 594,73
BB	PZ-08	< 588,54	588,54 a 589,51	589,51 a 590,00	> 590,00

Em condição Normal, os valores observados permanecem dentro dos limites associados à condição de estabilidade considerada satisfatória, devendo ser mantida a rotina regular de monitoramento. A condição de Atenção caracteriza uma alteração em relação à condição normal e requer identificação das causas, avaliação de sua evolução, aumento da frequência das leituras e, quando necessário, consulta ao projetista e preparação de medidas corretivas. A condição de Alerta representa maior criticidade, demandando participação do projetista, aumento da frequência das leituras para periodicidade diária, adoção de ações corretivas e preparação para eventual situação de emergência. Para a condição de Emergência, o Manual prevê intensificação adicional do monitoramento, adoção imediata de ações corretivas e emergenciais e envolvimento da Gerência da Unidade, além das demais medidas estabelecidas no Plano de Emergência.

Além dos níveis associados à instrumentação geotécnica, o Manual estabelece critérios relacionados ao nível d'água do reservatório e à manutenção da borda livre da barragem. O documento considera o funcionamento adequado do sistema extravasor e a manutenção da borda livre como parâmetros de referência para avaliação das condições de segurança da estrutura.

Complementarmente aos níveis de controle estabelecidos para os instrumentos de monitoramento do nível d'água, a Carta de Risco da Barragem Marçu contempla critérios específicos para avaliação dos marcos superficiais (MS) instalados na estrutura. O acompanhamento desses dispositivos tem como objetivo identificar eventuais movimentações do maciço por meio da análise das coordenadas obtidas nas campanhas de monitoramento.

Conforme estabelecido no Manual de Operações, as medições dos marcos superficiais devem ser realizadas com frequência quinzenal, sendo os resultados utilizados para identificação de possíveis movimentações da barragem. Eventuais anormalidades identificadas durante o acompanhamento devem ser comunicadas ao responsável técnico da estrutura e devidamente registradas.

Para avaliação dos resultados, foram estabelecidas faixas de referência a partir do histórico de medições de cada marco superficial. A classificação considera não apenas o enquadramento do valor medido em relação à respectiva faixa de controle, mas também a tendência de evolução dos deslocamentos ao longo do tempo, permitindo distinguir oscilações pontuais de comportamentos indicativos de movimentação progressiva.

Os níveis de segurança aplicáveis aos marcos superficiais são definidos da seguinte forma:

- **Nível Normal:** o valor medido da cota encontra-se dentro da faixa de valores estabelecida para o respectivo marco;
- **Nível de Alerta:** o valor medido encontra-se fora da faixa estabelecida ou, ainda que permaneça dentro dessa faixa, apresenta tendência de redução da cota;
- **Nível de Emergência:** é identificada tendência pronunciada de movimentação, inicialmente com velocidade aproximadamente constante e, posteriormente, com aumento da velocidade, caracterizando aceleração do deslocamento.

As faixas de referência adotadas para avaliação dos marcos superficiais são apresentadas na Tabela 15.2.

Tabela 15.2 – Faixa de valores de referência para marcos superficiais

(Fonte: Auditoria Técnica de Segurança da Barragem Marçu)

Marco superficial	Máximo medido (m)	Mínimo medido (m)	Valor médio (m)
MS 01	625,25	625,20	625,21
MS 02	620,73	620,69	620,71
MS 03	611,19	611,15	611,17
MS 04	609,73	609,69	609,70
MS 05	609,04	608,99	608,99
MS 06	602,41	602,36	602,37
MS 07	602,22	602,19	602,20

A avaliação dos marcos superficiais não deve se restringir à comparação isolada de uma determinada leitura com os limites apresentados na tabela. A análise da tendência temporal das medições é igualmente relevante, uma vez que a ocorrência de redução sistemática das cotas ou a identificação de aumento progressivo da velocidade de deslocamento constitui critério para alteração do nível de segurança.

Caso as medições sejam enquadradas nos níveis de Alerta ou Emergência, deverá ser intensificado o acompanhamento da estrutura, passando-se à realização de medições com frequência diária, acompanhadas de inspeções de campo, de modo a avaliar a evolução do comportamento observado e subsidiar a definição das medidas de resposta pertinentes.

16. SEGURANÇA OPERACIONAL

A Barragem Marçu encontra-se inativa desde 1988, não sendo realizadas, desde então, atividades de transporte, lançamento ou disposição de rejeitos/resíduos em seu reservatório. Dessa forma, não existem atualmente processos operacionais associados à disposição de materiais que demandem avaliação quanto aos procedimentos de transporte, lançamento e controle operacional.

Nesse contexto, os aspectos de segurança operacional relacionados especificamente às atividades de disposição de rejeitos/resíduos, conforme previstos neste item, são considerados não aplicáveis à condição atual da estrutura. Ressalta-se que a inexistência dessas operações elimina a necessidade de avaliação do engajamento de equipes diretamente envolvidas no processo de disposição, uma vez que tal atividade não integra a rotina operacional vigente da Barragem Marçu.

17. CONCLUSÃO

Com base na análise da documentação técnica disponível, nos registros de inspeção e monitoramento, nos estudos de segurança existentes e nas condições observadas durante a visita técnica realizada pela equipe da 3EM, conclui-se que a Barragem Marçu apresenta condições satisfatórias de segurança e conservação no período avaliado.

As inspeções de campo não evidenciaram anomalias relevantes capazes de comprometer a integridade ou o desempenho da estrutura. De modo geral, crista, taludes, ombreiras, sistemas de drenagem, extravasor, instrumentação e demais componentes inspecionados apresentaram condições satisfatórias de conservação. No dreno de fundo foi observada apenas vazão residual de pequena magnitude, com aspecto límpido e sem evidências de carreamento de sólidos.

Os resultados do monitoramento e da auscultação também indicam comportamento satisfatório da barragem, não sendo identificadas tendências ou alterações que indiquem evolução desfavorável das condições de segurança. A avaliação integrada dos registros de instrumentação e das inspeções constitui, portanto, elemento consistente para o acompanhamento do comportamento da estrutura.

Sob o aspecto hidrológico-hidráulico, os estudos disponíveis indicam condições adequadas para a passagem da cheia de projeto, com capacidade do sistema extravasor e borda livre compatíveis com o cenário analisado. Da mesma forma, não foram identificados, a partir das informações avaliadas, indícios de desenvolvimento dos principais modos de falha considerados para a estrutura.

As recomendações provenientes da auditoria anterior foram integralmente atendidas, destacando-se que estas possuem caráter predominantemente rotineiro e preventivo, relacionado às atividades de conservação, inspeção e monitoramento, não estando associadas à ocorrência de anomalias indicativas de comprometimento da segurança da barragem.

Diante do conjunto de informações analisadas, não foram identificadas condições que indiquem comprometimento da segurança da Barragem Marçu no período abrangido por este RTSB. Recomenda-se a continuidade das rotinas de inspeção, monitoramento, manutenção e conservação da estrutura e de seus dispositivos associados, de forma a assegurar a manutenção das condições satisfatórias atualmente observadas.

18. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Além dos documentos listados no próximo item, foram também utilizados os documentos e fontes de domínio público abaixo relacionados, a saber:

- BELÉM, J. Estudo geológico do Complexo Jequitinhonha e seu potencial grafitífero. 2006. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo – SIG: Folha SE.24 – Rio Doce. Escala 1:1.000.000. Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum WGS 84 (EPSG:4326). 2010.
- DACONTI, C. Geologia, petrografia e potencial econômico do Complexo Jequitinhonha. 2004. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.
- FARIA, A. P. Petrografia dos gnaisses grafitosos da região de Salto da Divisa. 1977. Monografia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1977.
- FARIA, L. C. O Complexo Jequitinhonha e as mineralizações de grafita associadas. 1997. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1997.
- FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. Termo de referência para a elaboração do relatório técnico de auditoria de segurança de barragens. Versão 02/2023. Belo Horizonte: FEAM, 2023.
- MEHNERT, K. R. Migmatites and the origin of granitic rocks. Amsterdam: Elsevier, 1971.
- PEDROSA-SOARES, A. C.; WIEDEMANN-LEONARDOS, C. M. Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt. In: CORDANI, U. G. et al. (org.). Tectonic evolution of South America. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2000. p. 265-285.

19. LISTA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS

A Tabela 19.1 contém os dados fornecidos pela Nacional de Grafite para análise de performance da estrutura.

Tabela 19.1 – Dados fornecidos pela NGL para avaliação da estrutura

Documentos recebidos e analisados		
Arquivo	Conteúdo do documento	
Manual de Operações - Barragem Marçu	Empresa	Nacional de Grafite
	Data	novembro/2023
	Referência	Manual de Operações (Barragem Marçu / NGL-PA) - Revisão 05
NG-71-AI-MR-RL-R1	Empresa	3EM – Mineração e Geologia Ltda.
	Data	21/02/2025
	Referência	Projeto "As Is" – Barragem Marçu – Rev. 01
GF34Mn-R8 - Marçu 06-08-26	Empresa	Nacional de Grafite
	Data	06/08/2026
	Referência	Verificação Hidráulica
FIR 19-03-2026	Empresa	Nacional de Grafite
	Data	19/03/2026
	Referência	Ficha de Inspeção Regular (FIR) - Barragem Marçu
NG-46-RPSB-PA-RL-R2	Empresa	3EM – Mineração e Geologia Ltda.
	Data	24/02/2025
	Referência	Relatório de Revisão Periódica de Segurança de Barragem – Barragem Marçu – Rev. 2
GF34-RT-51	Empresa	Geoconsultoria
	Data	29/08/25
	Referência	Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragem (RTSB) - FEAM - Barragem Marçu - Rev. 0
GF34-RT-58	Empresa	Geoconsultoria
	Data	27/03/26
	Referência	Relatório de Inspeção Semestral- RIS – FEAM 1º Semestre 2026 - Barragem Marçu - Rev. 0
NG-106-DB-MR-RL-R0	Empresa	3EM – Mineração e Geologia Ltda.
	Data	20/11/2025
	Referência	Estudo de Ruptura Hipotética/Dam Break – Barragem Marçu – Rev. 0
GF34-RT-34	Empresa	Geoconsultoria
	Data	17/03/23
	Referência	Relatório de Inspeção de Segurança Regular (RISR) – ANM 1º Semestre 2023 - Rev. 0
NG-15-EH-MR-RL-R2	Empresa	3EM – Mineração e Geologia Ltda.
	Data	27/11/2023
	Referência	Estudo Hidrológico e Hidráulico - Barragem Marçu – Rev. 2

20. ANEXO I - DECLARAÇÃO DE CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE

ANO BASE: 2026

SEMESTRE: 2º

Empreendimento: Nacional de Grafite Ltda

CNPJ: 21.228.861/0003-63

Município: Pedra Azul - MG

Nome da barragem: Barragem Marçu

Finalidade: Contenção de água e rejeitos

Categoria de risco: Baixo

Potencial de dano ambiental: Baixo

Declaro para fins de acompanhamento e comprovação junto a Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, que realizei auditoria técnica de segurança na estrutura acima especificada, conforme Relatório Técnico de Auditoria de Segurança elaborado em agosto de 2026.

Atesto a condição de estabilidade da barragem supracitada.

- Para melhorar, manter (ou obter) as condições de segurança da barragem foram especificadas as seguintes recomendações que serão implementadas conforme cronograma a seguir: Combate às pragas (formigueiros e cupinzeiros - atividade de rotina (prazo 30/08/2026 a 30/08/2029);
- Manter a crista e os taludes da barragem roçados e limpos - atividade de rotina (prazo 30/08/2026 a 30/08/2029);
- Manter limpo o emboque do extravasor - atividade de rotina (prazo 30/08/2026 a 30/08/2029);
- Manter as ações de monitoramento (inspeções de campo quinzenais e medição dos instrumentos de auscultação - atividade de rotina (prazo 30/08/2026 a 30/08/2029);

Anexo, cópia da Anotação de Responsabilidade Técnica do Relatório Técnico de Auditoria de Segurança.

Documento assinado digitalmente
 **MARTA APARECIDA SAWAYA MIRANDA**
Data: 28/08/2026 11:36:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marta Aparecida Sawaya Miranda
Geóloga / Geotécnica / MSc. em Eng. de Barragens
CREA: 77.793

**CLOVIS CORDEIRO
RUDGE**

RAMOS:21404667806

Assinado de forma digital por
CLOVIS CORDEIRO RUDGE
RAMOS:21404667806
Dados: 2026.08.28 15:38:51 -03'00'

Clóvis Cordeiro Rudge Ramos
Diretor Presidente
214.046.678-06

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

21. ANEXO II – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA – ART



Anotação de Responsabilidade Técnica – ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20265234598

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

INICIAL

1. Responsável Técnico	
MARTA APARECIDA SAWAYA MIRANDA	
Título profissional: GEÓLOGA	RNP: 1405911336 Registro: MG000077973D MG
Empresa contratada: 3EM - MINERACAO E GEOLOGIA LTDA	
Registro Nacional: 59134-MG	
2. Dados do Contrato	
Contratante: NACIONAL DE GRAFITE LTDA	CPF/CNPJ: 21.228.861/0003-63
FAZENDA BAIXA GRANDE	Nº: S/N
Complemento:	Bairro: -
Cidade: PEDRA AZUL	UF: MG
	CEP: 39970000
Contrato: Não especificado	Celebrado em: 31/07/2026
Valor: R\$ 40.000,00	Tipo de contratante: Pessoa Jurídica de Direito Público
Ação Institucional: Outros	
3. Dados da Obra/Serviço	
AVENIDA PORTUGAL	Nº: 2350
Complemento: SALA 09 E 10	Bairro: JARDIM ATLÂNTICO
Cidade: BELO HORIZONTE	UF: MG
Data de Início: 03/08/2026	CEP: 31560000
Previsão de término: 28/08/2026	Coordenadas Geográficas: 0, 0
Finalidade: OUTROS	Código: 31560-000
Proprietário: NACIONAL DE GRAFITE LTDA	CPF/CNPJ: 21.228.861/0003-63
4. Atividade Técnica	
14 - Elaboração	Quantidade
40 - Estudo > GEOTECNIA E GEOLOGIA DA ENGENHARIA > PRESSÕES SOBRE OS SOLOS E RESISTÊNCIA AO CUSALHAMENTO > #3,7,1 - DE ESTUDOS GEOTÉCNICOS	1,00
	un
Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deve proceder a baixa desta ART	
5. Observações	
Elaboração de Relatório Técnico de Auditoria de Segurança da Barragem - RTSB - Barragem Marçu da Nacional de Grafite em Pedra Azul, em atendimento a FEAM	
6. Declarações	
• Declaro estar ciente de que devo cumprir as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no decreto n. 5296/2004. - Cláusula Compromissória: Qualquer conflito ou litígio originado do presente contrato, bem como sua interpretação ou execução, será resolvido por arbitragem, de acordo com a Lei no, 9.307, de 23 de setembro de 1996, por meio da Câmara de Mediação e Arbitragem - CMA vinculada ao Crea-MG, nos termos do respectivo regulamento de arbitragem que, expressamente, as partes declaram concordar • Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que meus dados pessoais e eventuais documentos por mim apresentados nesta solicitação serão utilizados conforme a Política de Privacidade do CREA-MG, que encontra-se à disposição no seguinte endereço eletrônico: https://www.crea-mg.org.br/transparencia/legislacao/privacidade-dados. Em caso de cadastro de ART para PESSOA FÍSICA, declaro que informei ao CONTRATANTE e ao PROPRIETÁRIO que para a emissão desta ART é necessário cadastrar nos sistemas do CREA-MG, em campos específicos, os seguintes dados pessoais: nome, CPF e endereço. Por fim, declaro que estou ciente de que é proibida a inserção de qualquer dado pessoal no campo "observação" da ART, seja meu ou de terceiros. - Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que não posso compartilhar a ART com terceiros sem o devido consentimento do contratante e/ou do(a) proprietário(a), exceto para cumprimento de dever legal.	
7. Entidade de Classe	
AEAEEUFMG - Associação dos Ex-alunos da Escola de Engenharia da U.F.M.G.	

A autenticidade desta ART pode ser verificada em: <https://crea-mg.org.br/publico/>, com a chave: 789WWW
Impresso em: 26/08/2026 às 16:50:06 por: ip: 149.102.234.48

www.crea-mg.org.br
Tel: 0800 031 2732

atendimento@crea-mg.org.br
Fax:

CREA-MG
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais



RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu



Anotação de Responsabilidade Técnica – ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20265234598

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

INICIAL

8. Assinaturas

Dedarei serem verdadeiras as informações acima

Local _____ de _____ de _____

Local _____ data _____

9. Informações

* A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.

10. Valor

Valor da ART: **R\$ 285,59** Registrada em: **26/08/2026** Valor pago: **R\$ 285,59** Nosso Número: **8614554743**

MARTA APARECIDA SAWAYA MIRANDA - CPF: 369.092.196-09
Assinado digitalmente por MARTA APARECIDA SAWAYA MIRANDA em 26/08/2026 às 11:54:12 -03'30'

MAURICIO COUTO DAS NEVES PEIXOTO - CPF: 369.092.196-09
Assinado digitalmente por MAURICIO COUTO DAS NEVES PEIXOTO em 26/08/2026 às 11:54:12 -03'30'

NACIONAL DE GRAFITE LTDA - CNPJ: 27.228.861/0001-63

22. ANEXO III – RELATÓRIO TÉCNICO FOTOGRÁFICO

22.1. ACESSOS

Durante as inspeções de campo e a visita técnica realizada pela 3EM, foram avaliadas as condições dos acessos à estrutura, não sendo identificadas anomalias, obstruções ou condições que comprometessem o acesso seguro à Barragem Marçu.

22.2. CRISTA

A crista da Barragem Marçu foi inspecionada durante as atividades de campo, apresentando condições satisfatórias de conservação, sem evidências de depressões, afundamentos, trincas ou outras anomalias aparentes que pudessem indicar comprometimento de sua integridade. A Figura 22.1 apresenta uma vista da crista da barragem durante visita técnica.

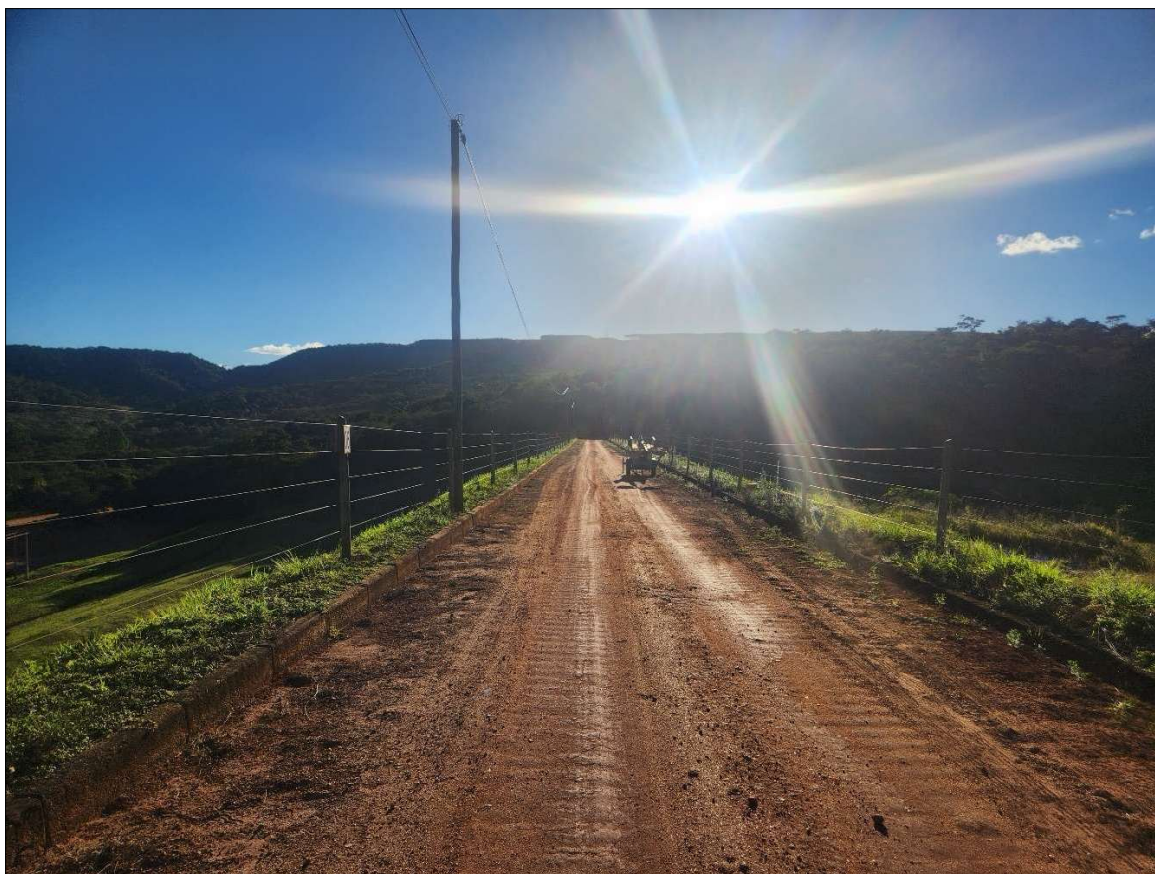


Figura 22.1 – Crista da Barragem Marçu

22.3. RESERVATÓRIO

O reservatório da Barragem Marçu foi inspecionado durante as atividades de campo, apresentando-se assoreado, sem presença de lâmina d'água e com desenvolvimento de vegetação de pequeno porte em sua superfície. Durante as inspeções, não foram identificadas condições aparentes no reservatório que demandassem intervenções. A Figura 22.2 apresenta a condição do reservatório durante a visita técnica.



Figura 22.2 – Vista do reservatório da barragem

22.4. TALUDES

Os taludes de montante e jusante da Barragem Marçu foram avaliados durante as atividades de campo, não sendo identificadas anomalias aparentes que indicassem comprometimento de suas condições de estabilidade ou conservação. Não foram observados indícios de processos erosivos relevantes, trincas, abatimentos ou movimentações superficiais. A Figura 22.3 apresenta o talude de jusante da barragem durante a visita técnica.

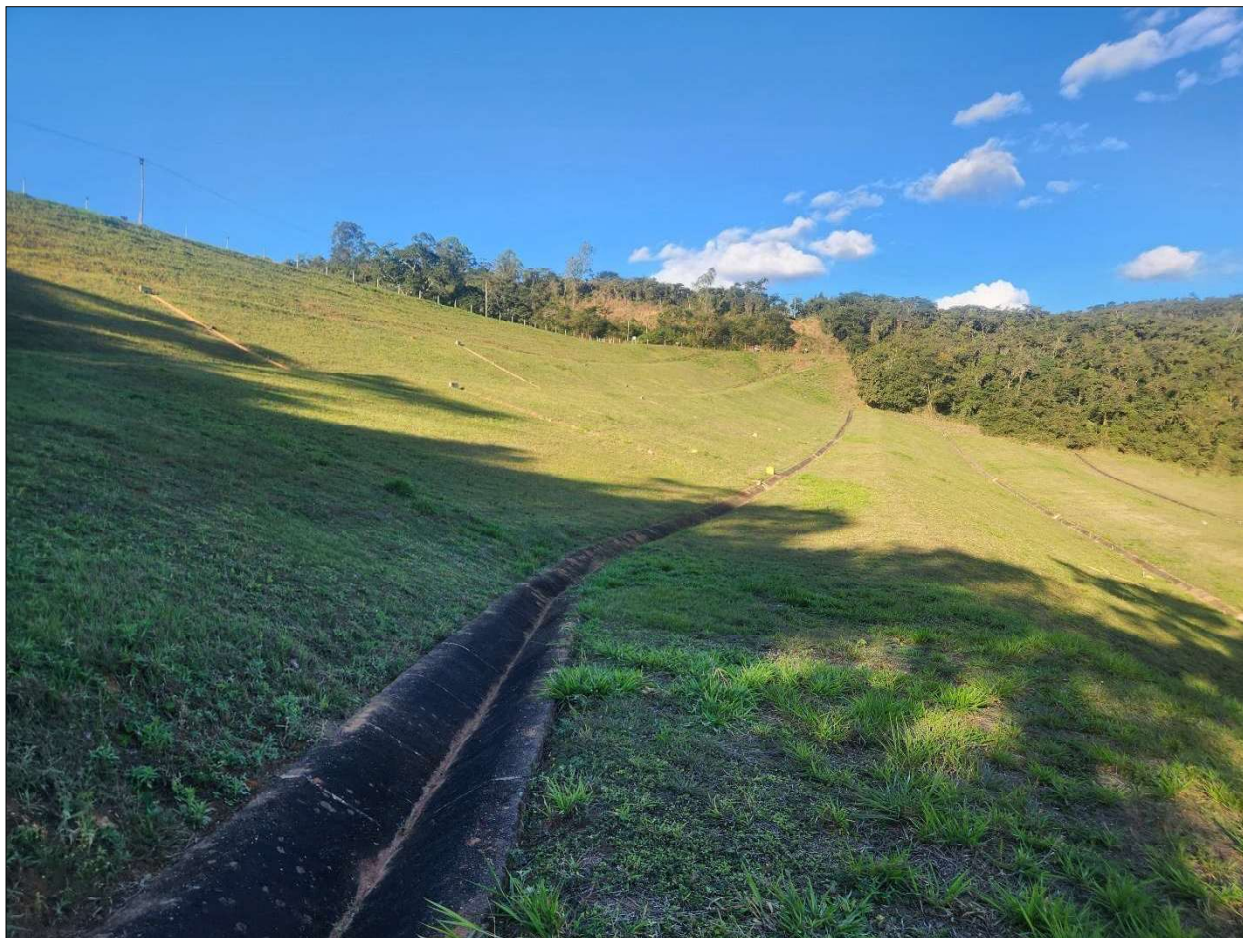


Figura 22.3 – Vista do talude de jusante

22.5. OMBREIRAS

As ombreiras da Barragem Marçu foram avaliadas durante as atividades de campo, incluindo as regiões de contato entre o maciço e o terreno natural. Não foram identificadas surgências, processos erosivos, trincas ou outras anomalias aparentes nesses contatos que pudessem indicar condições adversas ao comportamento da estrutura. De modo geral, as ombreiras apresentaram condições satisfatórias de conservação no período avaliado.

22.6. EXTRAVASOR

O sistema extravasor da Barragem Marçu foi avaliado durante as atividades de campo, apresentando condições satisfatórias de conservação. Ressalta-se que a estrutura foi objeto de intervenção recente, realizada a partir dos resultados de verificação hidráulica, com adequação de seus componentes. Durante a inspeção, não foram observadas fissuras, trincas, deslocamentos, obstruções ou outras anomalias aparentes nos elementos de concreto que pudessem comprometer seu desempenho.

A Figura 22.4 apresenta a escadaria hidráulica do canal extravasor.



Figura 22.4 – Canal extravasor

22.7. INSTRUMENTAÇÃO

A instrumentação instalada na Barragem Marçu foi avaliada durante as atividades de campo, contemplando a verificação visual das condições gerais de conservação e identificação dos dispositivos. Os instrumentos inspecionados encontravam-se devidamente identificados e acessíveis, não sendo observados, visualmente, danos ou outras condições aparentes que pudessem comprometer sua integridade ou utilização nas atividades de monitoramento. De modo geral, a instrumentação apresentou condições satisfatórias de conservação no período avaliado.

A Figura 22.5 apresenta registro de instrumentos observados durante a visita técnica.



Figura 22.5 – Instrumentação da Barragem Marçu

22.8. TUBULAÇÕES, CERCA, SINALIZAÇÃO E ESTAQUEAMENTO

Durante as atividades de campo, foram avaliadas as condições do cercamento, sinalização e estaqueamento existentes na Barragem Marçu. Os elementos inspecionados apresentaram condições satisfatórias de conservação, não sendo observados danos aparentes ou outras anomalias que comprometessem suas respectivas funções. A sinalização e o estaqueamento encontravam-se instalados e visíveis, enquanto o cercamento apresentava condições adequadas para a delimitação e controle de acesso à área da estrutura. A Figura 22.6 e Figura 22.7 apresentam registros desses elementos durante a visita técnica.



Figura 22.6 – Sinalização e cercamento na Barragem Marçu



Figura 22.7 – Sinalização e cercamento na Barragem Marçu

22.9. DRENO DE FUNDO

O dreno de fundo da Barragem Marçu foi vistoriado durante as atividades de campo, sendo constatada a ocorrência de vazão residual de pequena magnitude em sua saída. Durante a inspeção, o fluxo apresentou aspecto visual límpido, não sendo observados indícios de carreamento de sólidos ou outras anomalias aparentes associadas ao dispositivo. De modo geral, o dreno apresentou condições satisfatórias no período avaliado. A Figura 22.8 apresenta o ponto de saída do dreno de fundo durante a visita técnica.



Figura 22.8 – Vista do dreno de fundo da Barragem Marçu

22.10. DRENAGEM SUPERFICIAL

O sistema de drenagem superficial da Barragem Marçu foi vistoriado durante as atividades de campo, apresentando condições satisfatórias de conservação. Os dispositivos encontravam-se desobstruídos e sem acúmulo significativo de materiais que pudesse comprometer o livre escoamento das águas pluviais. Durante a inspeção, não foram observadas trincas, fissuras,

RTSB – Relatório Técnico de Auditoria de Segurança de Barragens – Barragem Marçu

rachaduras ou outras anomalias aparentes nos elementos que compõem o sistema. A Figura 22.9 apresentam registros dos dispositivos de drenagem superficial durante a visita técnica.



Figura 22.9 – Sistema de drenagem superficial observado durante visita técnica