

**Relatório 60623236-ACM-DM-ZZ-RP-PM-0038-2020**

**Relatório relativo aos trabalhos de assessoria técnica às vistorias realizadas pela ANM – Agência Nacional de Mineração nas dependências da Mina Casa de Pedra (Processo Minerário 043.306/1956), nos meses de setembro e outubro de 2020.**

Nome do Projeto: **Assessoria técnica independente, especializada nas áreas de hidrologia, hidráulica, geotecnia e segurança de barragens, com transferência de conhecimentos e tecnologias, referentes a estruturas para contenção de rejeitos minerários.**

Cliente: ANM – Agência Nacional de Mineração

Número do Contrato: 31/2019, Processo 48051.004772/2019-60

Diretor Técnico do Projeto: Waldemar Felitti

Diretor do Contrato: Luiz Eduardo Villas Bôas

Data do Relatório: 10 de fevereiro de 2021

Distribuição: ANM: Luiz Paniago Neves

AECOM: Vicente Mello – Diretor Executivo  
Caio Prado – Diretor Infraestrutura  
Luiz Eduardo Villas Bôas – Diretor do Contrato  
Ed Toms – Diretor de Barragens  
Nemuel Magalhães – Gerente do Contrato  
Waldemar Felitti – Coordenador de Geologia e Geotecnia

**Tabela dos Eventos Principais do Contrato**

<b>Nº.</b>	<b>Título</b>	<b>Data</b>
1	Assinatura do contrato entre ANM e AECOM	31/12/2019
2	Realização do <i>Workshop</i>	27 a 31/01/2020
3	Vistoria Mina Casa de Pedra	28/09 a 05/10/2020



**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Estrutura organizacional para Mina Casa de Pedra.....	16
Figura 2 – <i>Masterplan</i> mina Casa de Pedra.....	17
Figura 3 – Barragem Casa de Pedra e Dique de Sela.....	18
Figura 4 – Mapa geológico estrutural da barragem de Casa de Pedra e dique de sela, em escala 1:5.000. .	19
Figura 5 – Mapa geológico-geotécnico da barragem de Casa de Pedra e dique de sela, escala 1:10.000. .	19
Figura 6 – Planta das sondagens realizadas na barragem Casa de Pedra, projeto <i>As /s</i> . .....	20
Figura 7 – Planta das sondagens realizadas no dique de sela, projeto <i>As /s</i> .....	20
Figura 8 – Localização das seções geológico-geotécnica – Casa de Pedra (maciço principal). .....	20
Figura 9 – Localização das seções geológico geotécnicas – dique de sela.....	21
Figura 10 – Seção geológico-geotécnica DD, barragem Casa de Pedra, com detalhes para posição do filtro inferida e ausência de sondagens de confirmação. ....	21
Figura 11 – Detalhe da região de jusante da barragem Casa de Pedra, seção DD. Sondagem SP-36 com baixo número de golpes NSPT. ....	22
Figura 12 – Seção geológico-geotécnica EE com detalhe para regiões com sondagem curta, e ausência de informação na região dos filtros. ....	22
Figura 13 – Seção geológico-geotécnica GG com detalhe para regiões sem sondagens e material com baixo número de golpes NSPT registrado na sondagem SP-18. ....	23
Figura 14 – Seção geológico-geotécnica, II no dique de sela – detalhe para a presença de solo mole na porção de jusante (SP-20), sotoposto ao enrocamento de pé.....	23
Figura 15 – Seção geológico-geotécnica, JJ no dique de sela – detalhe para a ausência de sondagens que validem a seção geológico-geotécnica.....	23
Figura 16 – Seção geológico-geotécnica, LL no dique de sela – detalhe para sondagens curtas que não confirmam a posição do tapete, espessura e materiais da fundação e posição do filtro vertical, além da presença de material identificado como aluvião na porção de jusante, pé do dique de sela. ....	24
Figura 17 – Lista de ensaios de laboratório executados na estrutura Casa de Pedra. ....	24
Figura 18 – Parâmetros de resistência para os materiais da barragem Casa de Pedra e dique de sela. ....	25
Figura 19 – Parâmetros de resistência para os materiais diversos. ....	26
Figura 20 – Parâmetros de resistência para o rejeito contido pelo reservatório. ....	26
Figura 21 – Parâmetros de resistência obtidos nos ensaios de laboratório para o solo residual maduro em amostras indeformadas – região do dique de sela. ....	27
Figura 22 – Parâmetros de resistência obtidos nos ensaios de laboratório para o saprolito de filito em amostras indeformadas – região do maciço principal. ....	28
Figura 23 – Parâmetros de resistência obtidos nos ensaios de laboratório para o saprolito de filito em amostras indeformadas – região do dique de sela. ....	28
Figura 24 – Localização das seções instrumentadas – barramento principal. ....	32



Figura 25 – Localização das seções instrumentadas, dique de sela (ausência da nomenclatura dos instrumentos).....	32
Figura 26 – Seção instrumentada de maior altura do barramento principal (seção CC), com detalhe para a ausência de piezômetros na fundação.....	33
Figura 27 – Seção instrumentada de maior altura do barramento principal (seção CC), com detalhe para a ausência de piezômetros na fundação.....	33
Figura 28 – Seção instrumentada AA apresentada em conjunto com a análise de estabilidade não permitindo a identificação da instrumentação.....	33
Figura 29 – Resultados do trânsito de cheias para TR 10.000 anos.....	36
Figura 30 – Locação das seções instrumentadas no barramento principal, Casa de Pedra, e utilizadas para os estudos de estabilidade.....	38
Figura 31 – Locação das seções instrumentadas no dique de sela, e utilizadas para os estudos de estabilidade.....	38
Figura 32 – Parâmetros de resistência utilizados nas análises de estabilidade – dique de sela.....	39
Figura 33 – Parâmetros de resistência utilizados nas análises de estabilidade – maciço principal.....	39
Figura 34 – Parâmetros de resistência utilizados nas análises de estabilidade – gerais.....	40
Figura 35 – Parâmetros de resistência para o rejeito contido pelo reservatório.....	40
Figura 36 – Resumo das análises de Estabilidade, com detalhe para os valores limítrofes aos estabelecidos pela Norma Brasileira.....	41
Figura 37 – Resultados da Análise de Estabilidade, carregamento estático – seção AA.....	42
Figura 38 – Instrumentação seção AA – (reprodução parcial).....	42
Figura 39 – Localização dos instrumentos na seção AA – detalhe para os piezômetros posicionados no aterro/filtro.....	43
Figura 40 – Seção de estabilidade CC – detalhe para a região de material saturado e de baixa resistência na porção final da barragem.....	43
Figura 41 – Seção de estabilidade DD, com detalhe para a queda brusca da freática não compatível com a posição do filtro vertical e ausência de instrumentos na porção de jusante.....	44
Figura 42 – Seção de estabilidade FF, com detalhe para a queda brusca da freática não compatível com a posição do filtro vertical e material de baixa resistência.....	44
Figura 43 – Seção de estabilidade JJ, dique de sela.....	45
Figura 44 – Seção de estabilidade KK, dique de sela, com detalhe para a cunha de ruptura global na região da fundação.....	46
Figura 45 – Seção de estabilidade NN, dique de sela, com detalhe para a cunha de ruptura global passando pelo material Saprolito-Ds.....	46
Figura 46 – Vista frontal da Barragem B4.....	63
Figura 47 – Seção geológico-geotécnica BB – projeto As /s 2019.....	64
Figura 48 – Seção instrumentada BB' – apresentada em conjunto com a análise de estabilidade não permitindo a identificação da instrumentação.....	65
Figura 49 – Resultados do trânsito de cheias para TR 10.000 anos.....	68
Figura 50 – Resumo das Análises de Estabilidade.....	70



Figura 51 – Vista da barragem B5 em 2020, com sua descaracterização em estágio avançado. ....	83
Figura 52 – Locação das Investigações geológico-geotécnicas realizadas na barragem B5. ....	84
Figura 53 – Seção AA' e BB' com as sondagens realizadas. Seção AA' (em cima) com investigações atingindo a fundação e seção BB' com investigações curtas. ....	84
Figura 54 – Seção A-A – Freática definida pelos instrumentos instalados. ....	85
Figura 55 – Resultado da Análise de Estabilidade – Seção BB (Pseudo-Estática). ....	88
Figura 56 – Vista do reservatório e do talude montante do Dique do Esmeril IV. ....	94
Figura 57 – Mapa geológico-geotécnico do dique do Esmeril IV – CSN. ....	95
Figura 58 – Seção longitudinal da barragem – projeto <i>As Is</i> DAM 2019. ....	95
Figura 59 – Planta com a locação da instrumentação existente no dique segundo relatório do <i>checklist</i> . ....	97
Figura 60 – Seção instrumentada central CC' segundo desenho do projeto <i>As Is</i> de 2019. Nomenclatura da seção e dos instrumentos não correspondente ao apresentado no relatório do <i>checklist</i> . ....	98
Figura 61 – Seção instrumentada central BB' segundo relatório de atualização da carta de risco de março de 2020. Nomenclatura da seção e dos instrumentos, e profundidade dos instrumentos não correspondente ao apresentado no projeto <i>As Is</i> de 2019. ....	98
Figura 62 – Resultado do trânsito de cheias para TR 1.000 e 10.000. ....	100
Figura 63 – Seções transversais e instrumentos de monitoramento existentes no dique Esmeril IV. ....	103
Figura 64 – Resultado da Análise de Estabilidade – Seção CC (Pseudo-Estática). ....	103



**LISTA DE FOTOS**

Foto 1 – Vista do reservatório da barragem de Casa de Pedra a partir da ombreira esquerda. ....	48
Foto 2 – Vista do reservatório da barragem de Casa de Pedra a partir da ombreira direita. ....	49
Foto 3 – Vista do talude de montante a partir da ombreira direita. ....	49
Foto 4 – Vista da crista a partir da ombreira esquerda. ....	50
Foto 5 – Vista frontal dos taludes de jusante da barragem. ....	50
Foto 6 – Detalhe para a presença de transição com brita entre o maciço e as canaletas de drenagem superficial. ....	51
Foto 7 – Saprolito de filito em um corte de acesso para o dreno de fundo da estrutura, ombreira direita. ....	51
Foto 8 – Detalhe para a identificação por código QR na placa de identificação do instrumento. ....	52
Foto 9 – Saída do dreno de fundo do maciço principal, e medidor de vazão por chapa triangular. ....	52
Foto 10 – Presença de feições horizontes próximo às canaletas de drenagem de berma. ....	53
Foto 11 – Presença de trinca no talude de jusante, próximo à ombreira direita. ....	53
Foto 12 – Vista da saída da drenagem interna do dique com detalhe para a presença de material de coloração ferruginosa. ....	54
Foto 13 – Medidor de vazão de chapa triangular na saída do dreno de fundo. ....	54
Foto 14 – Emboque dos bueiros sob o acesso, com sedimentos acumulados a montante e tubulação obstruindo parcialmente um dos bueiros. ....	55
Foto 15 – Vista do canal de aproximação. Observar alguns pontos de sedimentos acumulados (próximo ao desemboque, já com formação de vegetação) e tubulações inativas na calha. ....	56
Foto 16 – Vista do emboque do canal emissário, no lago formado na margem direita do reservatório. ....	56
Foto 17 – Calha com degraus do sistema extravasor, seguido por bacia de dissipação. ....	57
Foto 18 – Bacia de dissipação e canal de restituição assoreados e com vegetação. ....	57
Foto 19 – Região adjacente ao canal extravasor, com vegetação alta, não permitindo o acesso até o trecho inicial. ....	58
Foto 20 – Canaleta de berma, caixa de passagem e bueiro sob berma – Barragem Casa de Pedra. ....	58
Foto 21 – Descida d'água na ombreira direita. Barragem Casa de Pedra. ....	59
Foto 22 – Caixa de passagem com assoreamento e pedaço de madeira no emboque do bueiro. Barragem Casa de Pedra. ....	59
Foto 23 – Vista da descida d'água, na ombreira direita do maciço, onde observaram-se algumas surgências. ....	60
Foto 24 – Detalhe de pontos de surgência nas paredes da descida d'água de drenagem superficial. ....	60
Foto 25 – Trecho final da descida d'água do sistema de drenagem superficial do dique de sela. Em destaque, ponto de desvio do fluxo, para que não seja coletado pelo medidor de vazão. ....	61
Foto 26 – Ponto de redirecionamento da descida d'água na ombreira direita do dique de sela. ....	61
Foto 27 – Vista do reservatório a partir da crista. ....	72
Foto 28 – Vista do talude de montante. ....	72



Foto 29 – Vista da crista da barragem a partir da ombreira direita.....	73
Foto 30 – Vista dos taludes de jusante localizados abaixo da estrada municipal.....	73
Foto 31 – Vista do talude de jusante localizado acima da estrada municipal.....	74
Foto 32 – Porção do talude da berma de reforço com cobertura vegetal com coloração diferenciada.....	74
Foto 33 – Detalhe da instrumentação presente na estrutura.....	75
Foto 34 – Saída 01 do dreno de fundo da barragem.....	76
Foto 35 – Medidor de vazão MV-B4-01 localizado na ombreira direita da estrutura.....	76
Foto 36 – Saída 02 do dreno de fundo da barragem.....	77
Foto 37 – Saída 03 do dreno de fundo da barragem.....	77
Foto 38 – Presença de colóides na saída do dreno de fundo MV-B4-01.....	78
Foto 39 – Vista da soleira lateral, vertente, por dentro da galeria.....	78
Foto 40 – Vista do desemboque da galeria sob o maciço da barragem.....	79
Foto 41 – Canal extravasor a jusante da galeria sob o maciço da barragem.....	79
Foto 42 – Surgência observada na parede esquerda do canal extravasor, provenientes do terreno natural.....	80
Foto 43 – Bacia de dissipação do sistema extravasor.....	80
Foto 44 – Descida d'água no talude de montante.....	81
Foto 45 – Canaletas do sistema de drenagem superficial.....	81
Foto 46 – Vista do desemboque da drenagem superficial, no canal extravasor.....	82
Foto 47 – Vista do reservatório a partir da ombreira direita.....	90
Foto 48 – Vista da crista por onde passa a estrada municipal, a partir da ombreira direita.....	90
Foto 49 – Vista do emboque das galerias que conduzem o fluxo do canal de cintura e da canaleta em pedra argamassada próximo à crista. Observar sedimentos depositados na calha e vegetação se formando ao longo do canal.....	91
Foto 50 – Vista de leira contornando o reservatório (sem proteção vegetal), cuja drenagem é conduzida para o acesso e para o canal de cintura, na margem esquerda.....	92
Foto 51 – Vista do canal de cintura e do acesso lateral, cuja drenagem é conduzida para o canal, por meio de escavação da leira. Observar vegetação, sedimentos e trecho com empoçamento.....	92
Foto 52 – Início do canal de cintura e desemboque do bueiro existente sob a estrada.....	93
Foto 53 – Vista do reservatório do dique do Esmeril IV a partir da crista.....	104
Foto 54 – Vista do reservatório e talude de montante a partir da ombreira direita.....	105
Foto 55 – Talude de montante do dique. Detalhe para a presença de canaletas de drenagem e faixa de proteção de <i>rip-rap</i> .....	105
Foto 56 – Vista da crista da estrutura a partir da ombreira direita.....	106
Foto 57 – Vista geral do dique a partir da ombreira direita.....	106
Foto 58 – Vista dos taludes de jusante superiores.....	107
Foto 59 – Vista dos taludes de jusante inferiores, próximos à saída do dreno de fundo.....	107
Foto 60 – Vista do encosto da estrutura com a ombreira esquerda, talude superior.....	108
Foto 61 – Detalhe para o material de fundação observado na ombreira esquerda, onde pode se observar que a foliação mergulha em direção favorável à estabilidade da estrutura.....	108
Foto 62 – Vista do encosto da estrutura com a ombreira direita.....	109



Foto 63 – Vista do corte em terreno natural no encosto da crista com a ombreira direita. Detalhe para as cicatrizes de escorregamento existentes no talude. ....	109
Foto 64 – Vista do escorregamento mais a jusante. Detalhe para o tratamento executado no pé do talude com sacos de solo/cimento. ....	110
Foto 65 – Vista do escorregamento mais a montante. Detalhe para a preparação do local para tratamento do pé do talude com sacos de solo/cimento. ....	110
Foto 66 – Detalhe para o material encontrado no escorregamento mais a montante. ....	111
Foto 67 – Detalhe da instrumentação existente na estrutura. ....	111
Foto 68 – Vista da saída do dreno de fundo. ....	112
Foto 69 – Medidor de vazão em chapa triangular na saída do dreno de fundo. ....	112
Foto 70 – Vista geral do trecho inicial do sistema extravasor, na ombreira direita da barragem, contemplando emboque e canal em calha lisa. ....	113
Foto 71 – Canal extravasor com degraus e vista da bacia de dissipação. ....	113
Foto 72 – Região de restituição do fluxo ao terreno natural, com blocos de enrocamento. ....	114
Foto 73 – Vista geral do sistema de drenagem superficial nos taludes de jusante, composto por canaletas de bermas e descidas d'água na ombreira direita. ....	114
Foto 74 – Vista dos canaletas implantadas no talude de jusante. ....	115
Foto 75 – Canaleta de drenagem com trinca tratada. ....	115
Foto 76 – Canaleta periférica, com degraus, na ombreira direita. ....	116



## SUMÁRIO

1. Introdução.....	10
2. Sumário Executivo.....	11
3. Metodologia de Trabalho.....	12
4. História da mina Casa de Pedra.....	13
4.1. Estrutura de Governança.....	15
4.2. <i>Masterplan</i> do site.....	16
4.3. Barragem Casa de Pedra e Dique de Sela.....	18
4.4. Barragem B4.....	63
4.5. Barragem B5.....	83
4.6. Dique Esmeril IV.....	94

## 1. Introdução

Em outubro de 2019, o Ministério Público Federal (MPF), por meio da Força-Tarefa Brumadinho e da 4ª Câmara de Coordenação e Revisão do MPF (4ª CCR), firmou um acordo com a União para que a Agência Nacional de Mineração (ANM) recebesse recursos materiais, financeiros e profissionais com o objetivo de ter capacidade de atender a um cronograma pré-definido de inspeções, vistorias e fiscalizações de barragens de mineração.

Como um dos desdobramentos desse acordo, a AECOM foi escolhida para atuar como assessora técnica da ANM durante um período de 30 meses. O escopo de trabalho da AECOM inclui:

- Realização de Workshop inicial com apresentação técnica aos servidores da ANM envolvidos na segurança de barragens;
- Proposta de melhoria do manual de fiscalização de barragens da ANM de forma a adequá-lo às melhores práticas internacionais;
- Visitas a empreendimentos minerários, constando de sessões técnicas e atividades de campo;
- Eventos mensais de discussões técnicas e capacitação com apresentações detalhadas acerca de cada complexo minerário visitado, patologias identificadas, discussões, considerações e recomendações técnicas;
- Emissão de relatórios acerca de cada complexo visitado, os resultados e atividades desenvolvidas, patologias identificadas, considerações e recomendações técnicas, de acordo com conteúdo mínimo aprovado no Plano de Trabalho.

O cronograma de visitas de campo foi estabelecido, no âmbito do acordo entre a ANM e a União, com base na priorização das estruturas com base no Nível de Emergência e na categoria de Dano Potencial Associado (DPA) das estruturas:

- GRUPO A: até maio de 2020, barragens de mineração sem Declaração de Condição de Estabilidade situadas em Minas Gerais;
- GRUPO B: até novembro de 2020, barragens de mineração com Declaração de Condição de Estabilidade e Dano Potencial Associado (DPA) alto situadas em Minas Gerais;
- GRUPO C: até junho de 2021, barragens de mineração sem Declaração de Condição de Estabilidade e DPA alto situadas em outros Estados.



## 2. Sumário Executivo

O presente relatório trata da vistoria realizada pela equipe de fiscalização da ANM, com suporte técnico da AECOM, no complexo minerário da CSN, na mina Casa de Pedra em Congonhas (MG) ocorrida entre os dias 28 de setembro a 05 de outubro de 2020.

Este relatório descreve as 4 estruturas de barramento inspecionadas na Mina Casa de Pedra. Nesse período, foram realizados 2 dias de vistoria de campo e 3 dias de sessões técnicas, nos quais as equipes de geotecnia do empreendedor, seus consultores e projetistas apresentaram histórico das estruturas, situação atual e projetos a serem realizados.

Este relatório apresenta as considerações e 148 recomendações da AECOM à ANM acerca das estruturas vistoriadas no complexo minerário da mina Casa de Pedra.



### 3. Metodologia de Trabalho

A metodologia de trabalho do serviço de assessoria técnica aqui apresentada está direcionada à elaboração de dois relatórios técnicos de vistoria, para cada complexo minerário objeto do escopo, sendo um Relatório Inicial e um Relatório Final.

Na primeira etapa do trabalho que embasará a emissão do Relatório Inicial, a equipe de assessoria técnica da AECOM fará três atividades em campo, com duração estimada de uma semana.

- Primeira atividade: sessão técnica aonde os empreendedores deverão apresentar a Governança do Site, o *Masterplan*, as Declarações da Condição de Estabilidade (DCEs) de cada barragem, a caracterização detalhada de cada estrutura, as patologias observadas ao longo da vida útil da estrutura e o resultado da instrumentação;
- Segunda atividade: visita de campo detalhada aos locais de cada estrutura de barramento;
- Terceira atividade: sessões técnicas com as equipes de trabalho da mineradora e os agentes da ANM para discussão dos dados apresentados na primeira atividade e das observações realizadas na visita de campo.

A segunda etapa desta metodologia aplicada pela AECOM consiste na apresentação mensal aos representantes da ANM dos resultados das visitas de assessoria, incluindo análise de riscos e recomendações técnicas para o grupo de estruturas visitados no período vigente.

Já a terceira etapa da metodologia refere-se à elaboração dos relatórios mensais de assessoria independente à ANM, com recomendações, análises e considerações acerca das eventuais pendências identificadas.

A quarta e última etapa do processo que consiste em uma sessão técnica aonde a empresa mineradora irá fornecer informações complementares ou os avanços das atividades realizadas para corrigir as patologias identificadas ou para apresentar as informações pendentes, conforme demandadas apresentadas no formato de recomendações ou solicitações do Relatório Inicial.

Em princípio a Quarta Etapa não prevê visita a campo, exceto quando não for fornecida pela empresa proprietária de um complexo minerário a correção das patologias identificadas no Relatório Inicial ou quando a ANM e a AECOM entenderem ser pertinente o retorno à estrutura ou ao complexo. Neste caso a AECOM irá realizar nova visita ao site.



#### 4. Vistoria da mina Casa de Pedra

Entre os dias 30 de setembro e 01 de outubro de 2020 foi realizada a vistoria de inspeção de campo na mina Casa de Pedra. Participaram deste trabalho de campo as equipes da ANM e da AECOM, além da equipe de geotecnia da CSN.

Durante a vistoria e as sessões técnicas o empreendedor apresentou os seguintes documentos:

- **Apresentação PowerPoint** – Sessão Técnica – Barragem B4 – nome do arquivo: *Apresentação ANM B4\_REV 04 – 06102020.pptx*;
- **Apresentação PowerPoint** – Sessão Técnica – Barragem B5 – nome do arquivo: *Apresentação ANM B5\_REV 3 – 06102020.pptx*;
- **Apresentação PowerPoint** – Sessão Técnica – Barragem Casa de Pedra – nome do arquivo: *Apresentação ANM CDP\_REV 05\_06102020*;
- **Apresentação PowerPoint** – Sessão Técnica – Dique do Esmeril IV – nome do arquivo: *Apresentação ANM E4\_REV 02 – 06102020*;
- **Relatório do Checklist em PDF** – Complexo de Casa de Pedra – Barragem Casa de Pedra – Relatório de compilação de dados do *checklist* vistoria ANM – setembro/2020 – arquivo: *CMIN\_CHK\_H\_CDP\_08\_2020 REV 0 – Barragem Casa de Pedra.pdf* e documentos Anexos:
  - Anexo 1\_Dados pluviométricos.xlsx;
  - Anexo 2\_Monitoramento medidores de vazão.xlsx;
  - Anexo 3\_quantis de precipitação.xlsx;
  - 5\_Estudos Geológicos – Pasta: 3 arquivos;
  - 6\_Sondagens – Pasta: 14 arquivos;
  - 7\_ensaios de laboratório – Pasta: 3 arquivos;
  - 8\_Dados de Projeto – Pasta: 3 pastas (AS BUIL, AS IS, BASICO\_EXECUTIVO);
  - Anexo 9\_Dados de Leitura\_CDP.xlsx;
  - Anexo 10\_Teste de Vida.pdf;
  - 11\_Estudo Dam Break – Pasta: 1 arquivos;
  - Anexo 12\_CDJ-C-CP-RE-004-2.pdf;
  - Anexo 13\_CDJ-C-CP-RE-001-2.pdf;
  - Anexo 14\_L5797001\_REV\_05\_CSNCONG2\_B4.pdf;
  - 15\_Fichas de inspeção regular – Pasta: 16 arquivos;
  - 16\_Relatórios de inspeção – Pasta: 10 arquivos;
  - 17\_Últimas 5 DCEs – Pasta: 14 arquivos;
  - 18\_CMIN – BARRAGEM CASA DE PEDRA – Pasta: 12 arquivos.
- **Relatório do Checklist em PDF** – Complexo de Casa de Pedra – Barragem B4 – Relatório de compilação de dados do *checklist* vistoria ANM – setembro/2020 – arquivo: *CMIN\_CHK\_H\_B4\_08\_2020 REV 0 – Barragem B4.pdf* e documentos Anexos:
  - Anexo 1\_Dados pluviométricos.xlsx;

- Anexo 2\_Monitoramento medidores de vazão.xlsx;
  - Anexo 3\_quantis de precipitação.xlsx;
  - 5\_Estudos Geológicos – Pasta: 3 arquivos;
  - 6\_Sondagens – Pasta: 11 arquivos;
  - 7\_ENSAIOS DE LABORATÓRIO – Pasta: 3 arquivos;
  - 8\_Dados de Projeto – Pasta: 6 pastas (2-PROJETOS (BASICO\_EXECUTIVO), 3-PROJETO AS BUILT, As Is-2014, As Is-2019, NOVO VERTEDOIRO DA B4 e Projeto descaracterização);
  - Anexo 9\_Dados de Leitura\_BV.xlsx;
  - Anexo 11\_Estudo de Dam Break.pdf;
  - Anexo 12\_CDJ-C-B4-RE-004-2.pdf;
  - Anexo 13\_CDJ-C-B4-RE-001-2.pdf;
  - Anexo 14\_L5797001\_REV\_05\_CSNCONG2\_B4.pdf;
  - 15\_Fichas de inspeção regular – Pasta: 16 arquivos;
  - 16\_Relatórios de inspeção – Pasta: 9 arquivos;
  - 17\_Últimas 5 DCEs – Pasta: 13 arquivos;
  - 18\_CMIN – BARRAGEM B4: 9 arquivos.
- **Relatório do Checklist em PDF** – Complexo de Casa de Pedra – Barragem B5 – Relatório de compilação de dados do checklist vistoria ANM – setembro/2020 – arquivo: *CMIN\_CHK\_H\_B5\_09\_2020 REV 0 – Barragem B5.pdf* e documentos Anexos:
- Anexo 1\_Dados pluviométricos.xlsx;
  - Anexo 2\_Monitoramento medidores de vazão.xlsx;
  - Anexo 3\_quantis de precipitação.xlsx;
  - Anexo 5\_Estudos Geológicos – Pasta: 3 arquivos;
  - Anexo 6\_SONDAGENS – Pasta: 4 arquivos, 1 pasta: (RG317455\_R05);
  - Anexo 7\_ensaios de laboratório – Pasta: vazia;
  - Anexo 8\_Dados de Projeto – Pasta: 4 pastas (2-PROJETOS (BASICO\_EXECUTIVO), 3-PROJETO AS BUILT, 4-PROJETO COMO ESTÁ e Projeto Detalhado – Descaracterização B5);
  - Anexo 9\_Dados de Leitura\_CDP.xlsx;
  - Anexo 10\_Testes de Vida.pdf;
  - Anexo 11\_Dam Break – Pasta: 2 arquivos;
  - Anexo 12\_CDJ-C-B4-RE-001-2.pdf;
  - Anexo 13\_L5797001\_REV\_05\_CSNCONG2\_B4.pdf;
  - Anexo 14\_Fichas de inspeção regular – Pasta: 16 arquivos;
  - Anexo 15\_Relatórios de inspeção – Pasta: vazia;
  - Anexo 16\_Últimas 5 DCEs – Pasta: 12 arquivos;
  - CMIN\_CHK\_H\_B5\_09\_2020 REV 0.pdf.



- **Relatório do Checklist em PDF** – Complexo de Casa de Pedra – Dique do Esmeril IV – Relatório de compilação de dados do *checklist* vistoria ANM – setembro/2020 – arquivo: *CMIN\_CHK\_H\_EIV\_09\_2020 REV 0 – Dique do Esmeril IV.pdf* e documentos Anexos:
  - Anexo 1\_Dados pluviométricos.xlsx;
  - Anexo 2\_Monitoramento medidores de vazão.xlsx;
  - Anexo 3\_quantis de precipitação.xlsx;
  - Anexo 4\_CDJ-C-IV-RE-003-1.pdf;
  - Anexo 5\_Estudos Geológicos – Pasta: 3 arquivos;
  - Anexo 6\_Sondagens – Pasta: 5 arquivos;
  - Anexo 7\_ensaios de laboratório – Pasta: 2 arquivos;
  - Anexo 8\_Dados de Projeto – Pasta: 4 pastas (AS BUILT, AS IS, AS IS 2014 e EXECUTIVO);
  - Anexo 9\_Dados de Leituras.xlsx;
  - Anexo 10\_Teste de Vida.pdf;
  - Anexo 11\_Dam Break\_Esmeril IV.pdf;
  - Anexo 12\_CDJ-C-IV-RE-004-2.pdf;
  - Anexo 13\_CDJ-C-IV-RE-004-2.pdf;
  - Anexo 14\_Fichas de inspeção regular – Pasta: 16 arquivos;
  - Anexo 15\_Relatórios de inspeção – Pasta: 7 arquivos;
  - Anexo 16\_Últimas 5 DCEs – Pasta: 14 arquivos;
  - Anexo 17\_CMIN – DIQUE DO ESMERIL IV – Pasta: 2 pastas (REV\_ANTERIOR e REV\_ATUAL);
  - CMIN\_CHK\_H\_EIV\_09\_2020 REV 0.pdf.
- Relatório de auditoria de setembro de 2020 – Pasta: B4 – 14 arquivos em pdf;
- Relatório de auditoria de setembro de 2020 – Pasta: B5 – 13 arquivos em pdf;
- Relatório de auditoria de setembro de 2020 – Pasta: CASA DE PEDRA – 29 arquivos em pdf;
- Relatório de auditoria de setembro de 2020 – Pasta: ESMERIL IV – 14 arquivos em pdf.

A seguir a AECOM apresenta as suas considerações e recomendações com base nas visitas de campo, nas sessões técnicas e nos documentos apresentados pelo empreendedor e seus projetistas.

#### **4.1. Estrutura de Governança**

A estrutura de governança para a Mina Casa de Pedra foi apresentada em reunião com a ANM e AECOM em 28 de setembro de 2020 conforme apresentada no organograma da Figura 1.



Figura 1 – Estrutura organizacional para Mina Casa de Pedra.

As projetistas e as empresas responsáveis pela última DCE de cada barragem estão relacionadas na Tabela 1 abaixo. O empreendedor não possui o modelo de EoR estabelecido para as estruturas.

ESTRUTURA	PROJETISTA	EMISSOR DCE
Barragem Casa de Pedra	Dam – As Is	Fonntes Geotécnica
Barragem B4	Dam – As Is	Fonntes Geotécnica
Barragem B5	Dam – As Is	Fonntes Geotécnica
Esmeril IV	Dam – As Is	Fonntes Geotécnica

Tabela 1 – Empresas com responsabilidades técnicas sobre as estruturas.

#### 4.2. Masterplan do site

A Tabela 2 apresenta a finalidade e o nível de emergência de cada barragem vistoriada. Já o *masterplan* da mina Casa de Pedra é apresentado na Figura 2.

ESTRUTURA	TIPO DE ARMAZENAMENTO	NÍVEL DE EMERGÊNCIA
Barragem Casa de Pedra	Rejeitos	Sem nível
Barragem B4	Rejeitos	Sem nível
Barragem B5	Rejeitos	Sem nível
Dique Esmeril IV	Sedimentos	Sem nível

Tabela 2 – Tipo de armazenamento e nível de emergência.



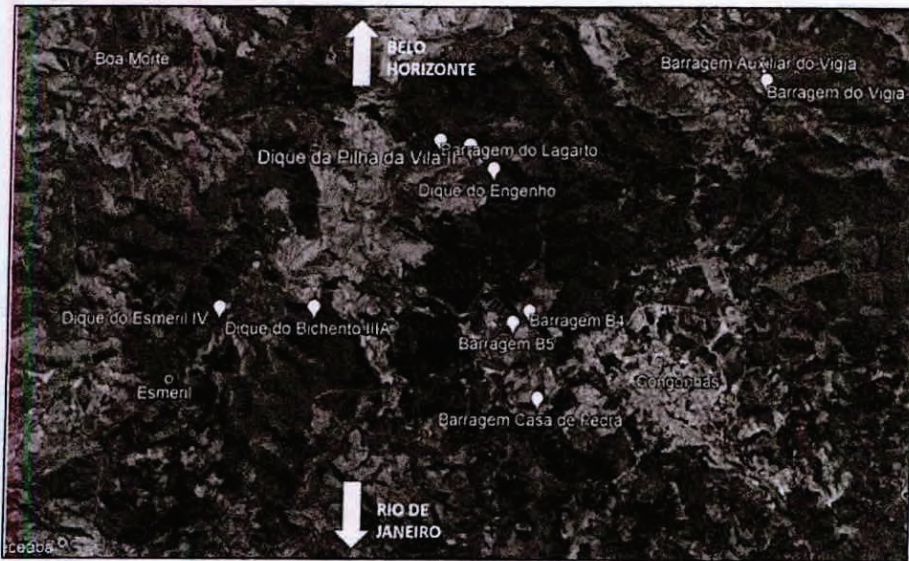


Figura 2 – Masterplan mina Casa de Pedra.

#### 4.2.1. Base cartográfica

##### Considerações

- Segundo informado pelo empreendedor, e verificado nos desenhos de projetos mais recentes das barragens vistoriadas na mina, o sistema de referência geográfica adotado na mina Casa de Pedra é o SIRGAS2000.



### 4.3. Barragem Casa de Pedra e Dique de Sela

O projeto da barragem Casa de Pedra (CDP) foi elaborado em 2006, com a finalidade de disposição de rejeito. As obras iniciaram em 2007 e finalizaram em 2009. A obra de alteamento foi iniciada em 2011 e concluída em 2014, alterando a finalidade original de disposição de rejeito, para a disposição de rejeitos e reservação de água. Nesse período foi construído o Dique de Sela, que em 2018 passou por um processo de alteamento. Na data da vistoria a estrutura não se encontrava em nível de emergência.

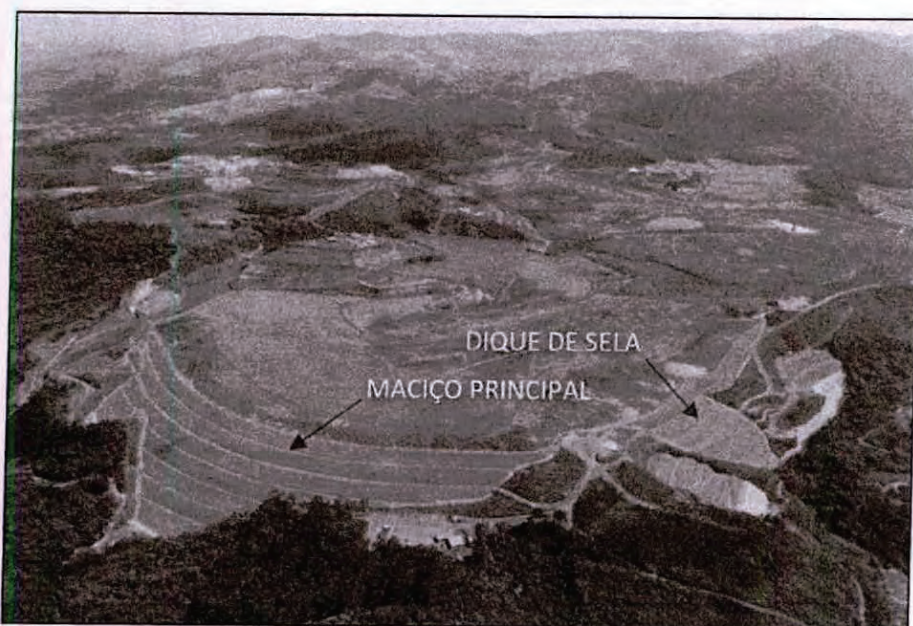


Figura 3 – Barragem Casa de Pedra e Dique de Sela.

#### 4.3.1. Avaliação das investigações geológico-geotécnicas

##### Considerações

- Foi apresentado o mapa geológico estrutural, em escala 1:5.000, no qual se observa que a barragem Casa de Pedra e o Dique de Sela estão assentados sobre o grupo Nova Lima (Figura 4). Também foi apresentado o mapa geológico-geotécnico, em escala 1:10.000 (Figura 5);
- No relatório de *checklist* foram listadas 13 campanhas de sondagens na região da barragem Casa de Pedra e do Dique de Sela realizadas entre os anos de 2004 e 2018, tendo sido executadas sondagens a percussão, mistas, coleta de amostras de blocos indeformados, Denison, entre outros. No entanto, não foi apresentado um documento único que organiza, compila e interpreta os diversos ensaios listados. De igual modo, não foram localizados para algumas campanhas (por exemplo, campanha de 2004), os boletins dos *logs* de sondagens;



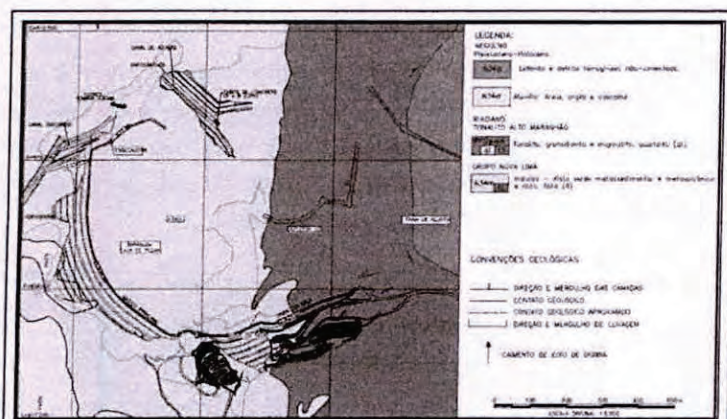


Figura 3.2 – Recorte do mapa geológico, Desenho "DC582751\_001\_00" DAM Projetos de Engenharia 2018.  
 Figura 4 – Mapa geológico estrutural da barragem de Casa de Pedra e dique de sela, em escala 1:5.000.

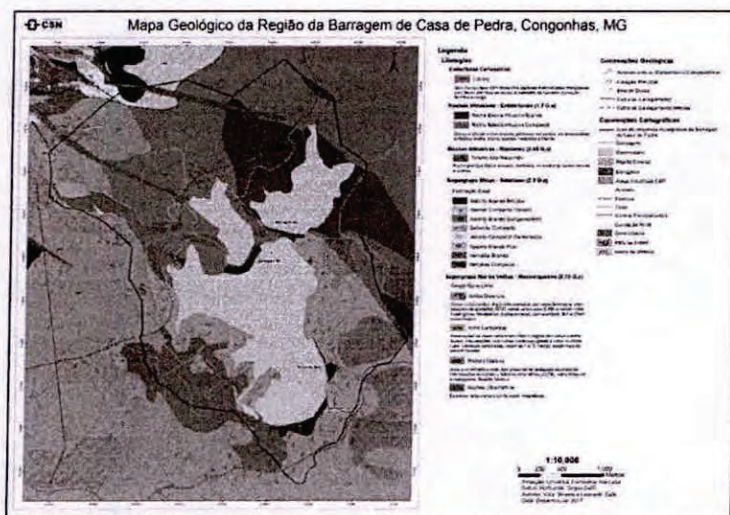


Figura 5 – Mapa geológico-geotécnico da barragem de Casa de Pedra e dique de sela, escala 1:10.000.

- Os documentos do projeto do As /s apresentam os desenhos com a locação em planta e seção das campanhas de sondagens das estruturas de Casa de Pedra e do dique de sela (Figura 6 e Figura 7);
- Foi apresentada a realização de ensaios CPTu realizados na região do dique de sela para estudo do potencial de liquefação do rejeito e na Figura 8 e Figura 9 a localização das seções geológico-geotécnicas;



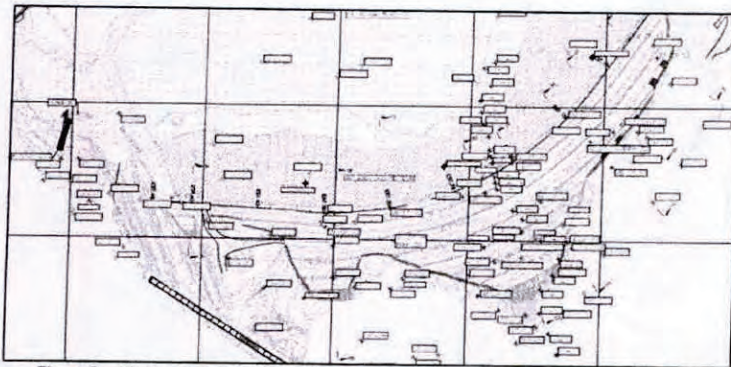


Figura 6 – Planta das sondagens realizadas na barragem Casa de Pedra, projeto As Is.

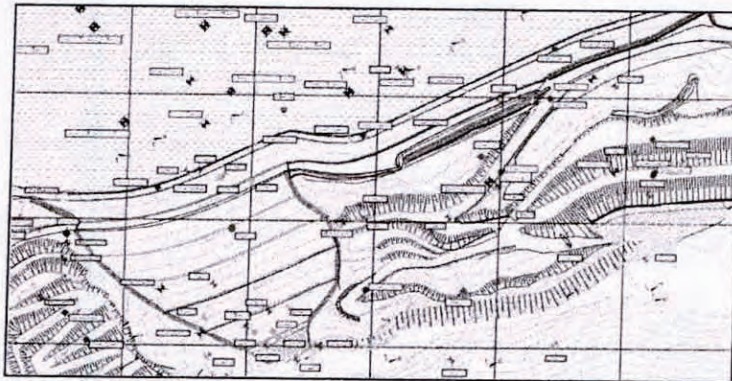


Figura 7 – Planta das sondagens realizadas no dique de sela, projeto As Is.

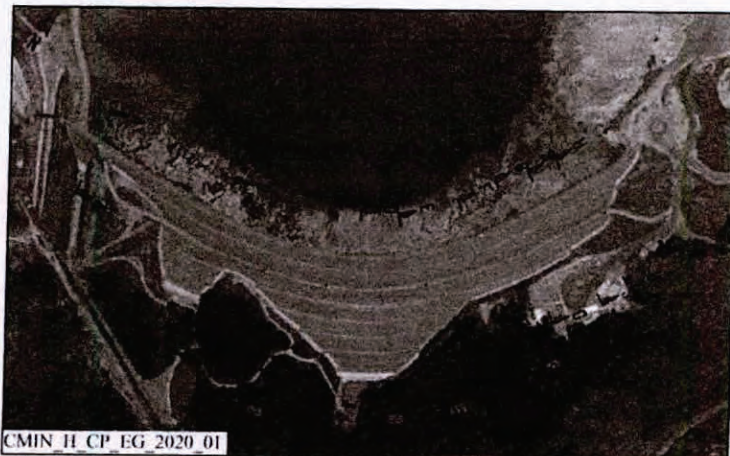


Figura 8 – Localização das seções geológico-geotécnica – Casa de Pedra (maciço principal).



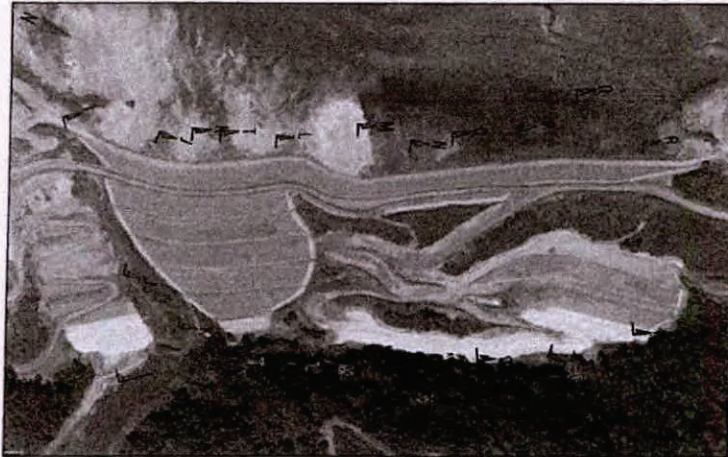


Figura 9 – Localização das seções geológico geotécnicas – dique de sela.

- Algumas seções apresentadas não estão validadas por sondagens, notadamente a posição do filtro vertical, a espessura do filtro horizontal e a espessura das camadas dos materiais presentes na fundação tanto para a estrutura do barramento principal (Figura 10, Figura 12 e Figura 13), como para o dique de sela;
- Não foram localizados documentos do projeto do *As Built* da segunda etapa de alteamento do maciço principal que validem a geometria interna do alteamento até El. 933 m, com descrição da posição do filtro, dos tapetes drenantes e do controle tecnológico realizado para o aterro (Figura 10);

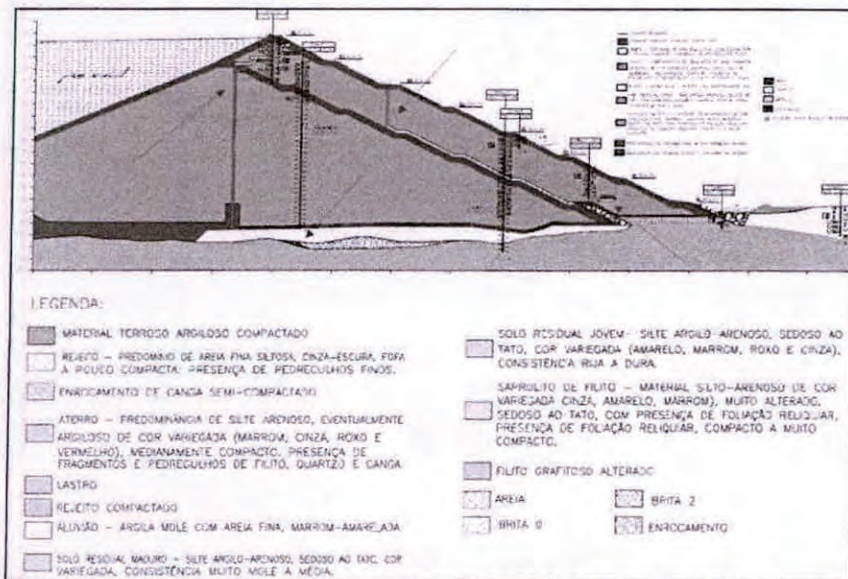


Figura 10 – Seção geológico-geotécnica DD, barragem Casa de Pedra, com detalhes para posição do filtro inferida e ausência de sondagens de confirmação.



- Na seção DD se observa a presença de material com baixo número de golpes NSPT, conforme representado na sondagem SP-36 (Figura 11). A ausência de sondagens complementares nessa região não permite confirmar a extensão e espessura do material aluvionar descrito (identificado na cor amarela) podendo eventualmente se estender para além da representação feita e sob o barramento principal;

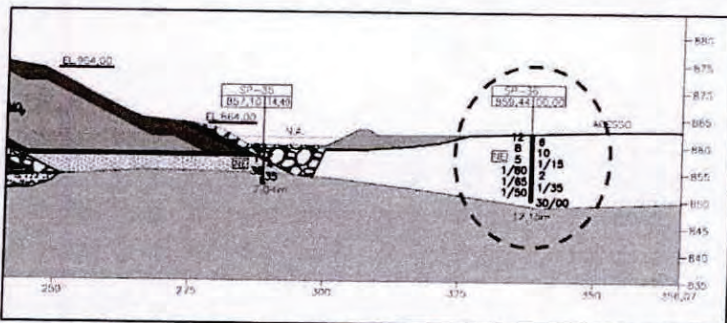


Figura 11 – Detalhe da região de jusante da barragem Casa de Pedra, seção DD. Sondagem SP-36 com baixo número de golpes NSPT.

- A seção EE (Figura 12) também não apresenta informações de campanhas de ensaios que possam estabelecer a posição dos filtros verticais, tapetes e espessura das camadas de fundação;

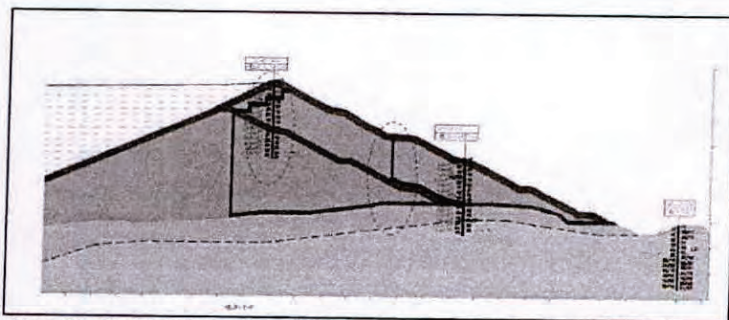


Figura 12 – Seção geológico-geotécnica EE com detalhe para regiões com sondagem curta, e ausência de informação na região dos filtros.

- Na seção GG, além da ausência de sondagens que identifiquem a posição dos filtros e espessura das camadas, também se nota material com baixo número de golpes NSPT (representado em verde na Figura 13) classificado como solo residual maduro, de consistência muito mole a média. No entanto, o contato não é confirmado por outras sondagens, podendo esse material eventualmente se estender para além da sondagem SP-18;



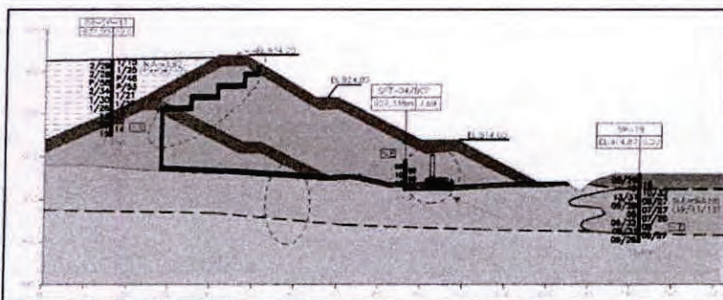


Figura 13 – Seção geológico-geotécnica GG com detalhe para regiões sem sondagens e material com baixo número de golpes NSPT registrado na sondagem SP-18.

- Não foram apresentadas seções longitudinais ao barramento da barragem Casa de Pedra e no dique de sela de modo a se confirmar a extensão e a espessura dos materiais de baixa resistência descritos anteriormente;
- Foram identificadas sondagens com a mesma nomenclatura em seções distintas, tais como sondagens com nomenclatura SP-36 na seção BB e na seção DD;
- Na seção II do dique de sela, Figura 14, é identificado material com baixo número de golpes NSPT, classificado como de consistência mole a média e sotoposto ao enrocamento;

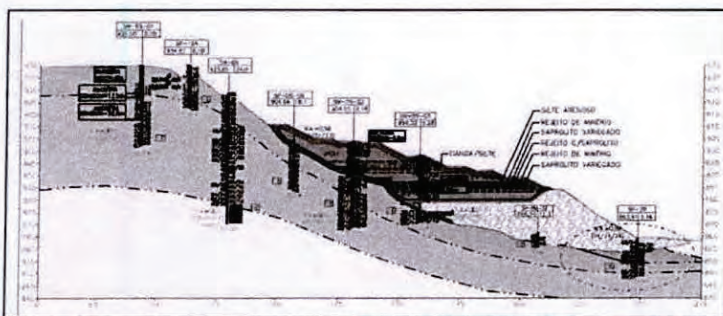


Figura 14 – Seção geológico-geotécnica, II no dique de sela – detalhe para a presença de solo mole na porção de jusante (SP-20), sotoposto ao enrocamento de pé.

- A seção JJ do dique de sela (Figura 15) não possui sondagens que validem a seção geológico-geotécnica apresentada;

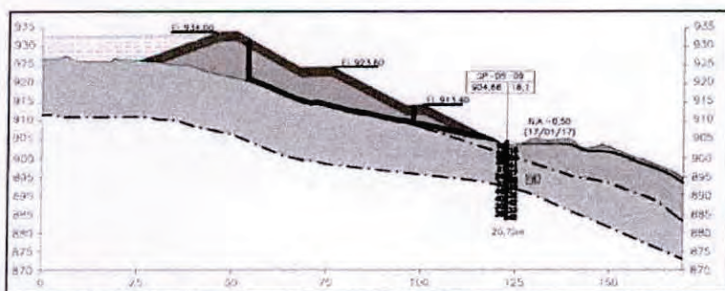


Figura 15 – Seção geológico-geotécnica, JJ no dique de sela – detalhe para a ausência de sondagens que validem a seção geológico-geotécnica.



- Na seção LL, Figura 16, observa-se a ausência de sondagens profundas que atravessem os diversos materiais representados na fundação. Nas sondagens SP-49 e SP-119, na porção do pé do talude de jusante do dique de sela, é representado material descrito como aluvião, com baixo número de golpes NSPT (sondagens SP-49 e SP-119);

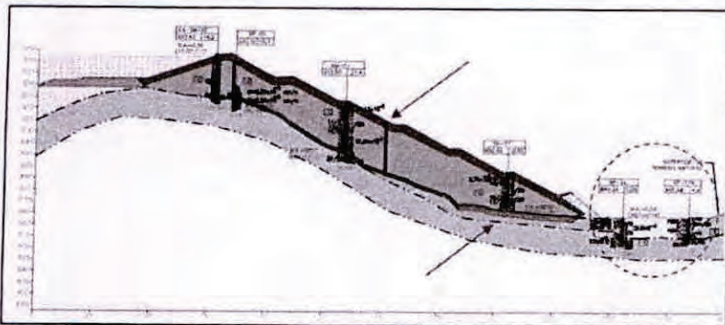


Figura 16 – Seção geológico-geotécnica, LL no dique de sela – detalhe para sondagens curtas que não confirmam a posição do tapete, espessura e materiais da fundação e posição do filtro vertical, além da presença de material identificado como aluvião na porção de jusante, pé do dique de sela.

- No relatório de *checklist* o empreendedor lista ensaios de laboratório realizados na fundação e maciço da estrutura (Figura 17);

Ensaio Maciço da Barragem				
Item	Descrição	Unidade	Quantidade	Material
1	Granulometria Completa	Ensaio	13	Fundação
2	Densidade Real dos Grãos	Ensaio	7	
3	Massa específica aparente	Ensaio	4	
4	Teor de umidade	Ensaio	7	
5	Compactação Proctor Normal	Ensaio	7	
6	Permeabilidade a carga variável	Ensaio	10	
7	Triaxial CIUsat (50, 100, 200 E 400 kPa)	Ensaio	82	
8	Limites de Atterberg	Ensaio	1	Maciço
9	Granulometria Completa	Ensaio	13	
10	Densidade Real dos Grãos	Ensaio	13	
11	Massa específica aparente	Ensaio	2	
12	Teor de umidade	Ensaio	12	
13	Compactação Proctor Normal	Ensaio	12	
14	Triaxial CIUsat (50, 100, 200 E 400 kPa)	Ensaio	56	Rejeito
15	Limites de Atterberg	Ensaio	10	
16	Granulometria Completa	Ensaio	1	
17	Densidade Real dos Grãos	Ensaio	1	
18	Triaxial CIUsat (50, 100, 200 E 400 kPa)	Ensaio	8	

Figura 17 – Lista de ensaios de laboratório executados na estrutura Casa de Pedra.

- Observa-se na Figura 17 que a máxima tensão desviadora empregada nos ensaios triaxiais foi de 400 kPa. Entretanto, em algumas seções a barragem possui altura superior à 80 metros e que, para essa situação, tanto os materiais da fundação, quanto os materiais do aterro estarão submetidos a carregamentos superiores aos valores ensaiados. Do mesmo modo, na seção de maior altura o rejeito do



reservatório está submetido a valores de carregamento superiores aos valores ensaiados em laboratório e, eventualmente, podem apresentar comportamento distinto do esperado quando submetidos a tensões desviadoras similares a situação de campo;

- Na base de dados fornecida pelo minerador, não foram identificados ensaios de cisalhamento direto em amostras da fundação e no aterro. Destaca-se que, numa superfície potencial de ruptura, os materiais apresentam diversas trajetórias de tensões, dentre elas, o cisalhamento direto;
- Já no documento enviado em anexo ao relatório de *checklist*, são apresentadas a localização, o tipo de amostra e a data da campanha de coleta de materiais, realizadas entre 2015 e 2019. Para tais amostras, o empreendedor apresenta os parâmetros de resistência para os diversos materiais, agrupando-os de acordo com sua localização e tipo de material presente na seção (Figura 18, Figura 19 e Figura 20);

Local	Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	Referência
Maciço Principal	Aterro Saprolítico	19,3	15,0	29,5	25,0	23,0	Ensaio Triaxial CUsat (Tabela 6.8)
	Aterro Argiloso	19,9	40,5	22,0	56,0	16,0	Ensaio Triaxial CUsat (Tabela 6.54)
	Solo Residual Jovem	17,7	10,0	32,0	27,0	19,0	Ensaio Triaxial CUsat (Tabela 6.31) e Correlações Ensaio SPT
	Saprolito de Filito	19,4	20,0	32,0	0,5	29,0	Ensaio Triaxial CUsat (Tabela 6.30) e correlação com ensaios SPT
Dique de Sela	Aterro Saprolítico	19,6	8,0	28,5	7,0	22,0	Ensaio Triaxial CUsat (Tabela 6.15)
	Aterro Argiloso	19,8	6,0	35,0	61,4	25,0	Ensaio Triaxial CUsat (Tabela 6.59)
	Solo Residual Jovem	18,3	18,5	33,0	57,0	21,0	Ensaio Triaxial CUsat (Tabela 6.66)
	Solo Residual Maduro	16,5	10,0	28,0	36,0	6,5	Ensaio Triaxial CUsat (Tabela 6.42) e Correlações Ensaio SPT
	Saprolito de Filito	20,1	15,0	33,0	36,5	22,0	Ensaio Triaxial CUsat (Tabela 6.35) e correlação com ensaios SPT
	Material de Envolvimento (Recomposição topográfica da sela)	20,2	6,0	32,0	29,5	19,0	Ensaio Triaxial CUsat (Tabela 6.72)

Figura 18 – Parâmetros de resistência para os materiais da barragem Casa de Pedra e dique de sela.



Local	Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	Referência
	Rejeito Compactado – Material do núcleo	23,0	0,0	36,0	0,0	36,4	Ensaio Triaxial CUsat (Tabela 6.48)
	Colúvio	17,2	25,0	28,8	57,0	12,0	Ensaio Triaxial CUsat (Tabela 6.60)
	Lastro	21,0	5,0	35,0	-	-	Correlação Ensaio SPT
	Drenagem interna (areia e brita)	20,0	0,0	33,0	-	-	Bowles (1977)
	Enrocamento	23,0	0,0	39,0	-	-	Leps (1970)
	Aluvião	20,0	10,0	15,0	-	-	Correlação Ensaio SPT

Figura 19 – Parâmetros de resistência para os materiais diversos.

Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$Su(pico)/\sigma'_{ve}$	$Su(liq)/\sigma'_{ve}$	Referência
Rejeito no reservatório	24,0	0,0	34,0	0,213	0,038	Ensaio SPT

\* Parâmetro de resistência utilizado para o rejeito no reservatório nas análises pseudo-estáticas.  
\* Parâmetro de resistência utilizado para o rejeito no reservatório nas análises liquefeitas das seções do dique da sela alteadas pelo método de linha de centro.

Figura 20 – Parâmetros de resistência para o rejeito contido pelo reservatório.

- De acordo com o material apresentado pelo empreendedor, observa-se que embora tenham sido realizados ensaios de laboratório para determinação dos parâmetros de resistência, porém para alguns materiais os autores dispensam os resultados obtidos e definem os parâmetros de resistência com base em correlações empíricas com o número de golpes de NSPT;
- Segundo o material apresentado os parâmetros obtidos por correlação e apresentados pelos autores são sensivelmente superiores aos valores obtidos por ensaios de laboratório. Por exemplo, para o solo residual maduro na região do dique de sela, os parâmetros de resistência médio para a condição drenada são: coesão igual a 41 kPa e ângulo de atrito efetivo de 8 graus (Figura 21). No entanto, os autores descartam os 8 resultados dos ensaios e adotam os valores de coesão igual a 10 kPa e ângulo de atrito igual a 28 graus (Figura 18), também em termos drenados. Segundo os autores, os parâmetros foram obtidos de correlação empírica com o NSPT, mas não foram apresentadas justificativas para a adoção desse critério, bem como quais as correlações utilizadas;
- O material descrito como aluvião e representado na Figura 18, com parâmetros de resistência drenados de coesão igual a 10 kPa e ângulo de atrito igual a 15 graus, notadamente presentes na seção DD, apresenta valores de NSPT de 1/80 (sondagem SP-36) e 30/00 à 12,15 metros de profundidade (Figura 11), com o nível de água na superfície representado na superfície do terreno. Não foram apresentados parâmetros de resistência não drenada para esse material;
- O material saprolito de filito presente na fundação do maciço principal e na fundação do dique de sela, também teve os resultados de ensaios desconsiderados. Os parâmetros de laboratório obtidos, Figura 22, indicam parâmetros drenados médios igual a coesão de 20,3 kPa e ângulo de atrito igual a 29 graus. Embora os resultados dos ensaios apresentem grande dispersão e o número de amostras ser reduzido,



ainda assim os 3 resultados foram descartados tendo sido adotado pelos autores o valor de coesão igual a 20 kPa e ângulo de atrito igual a 32 graus, ambos em termos efetivos (Figura 18). Para esse caso, também não foram apresentadas a justificativa para o critério adotado;

- Para as amostras do saprolito de filito coletadas na região do dique de sela, os resultados dos ensaios de laboratório resultaram em parâmetros de coesão igual a 13 kPa e ângulo de atrito 27 graus, ambos drenados (Figura 23). No entanto, os autores descartam esses parâmetros para a análise de estabilidade e adotam os valor de 15 kPa e 33 graus, para coesão e ângulo de atrito respectivamente (ambos drenados), conforme apresentado na Figura 18;

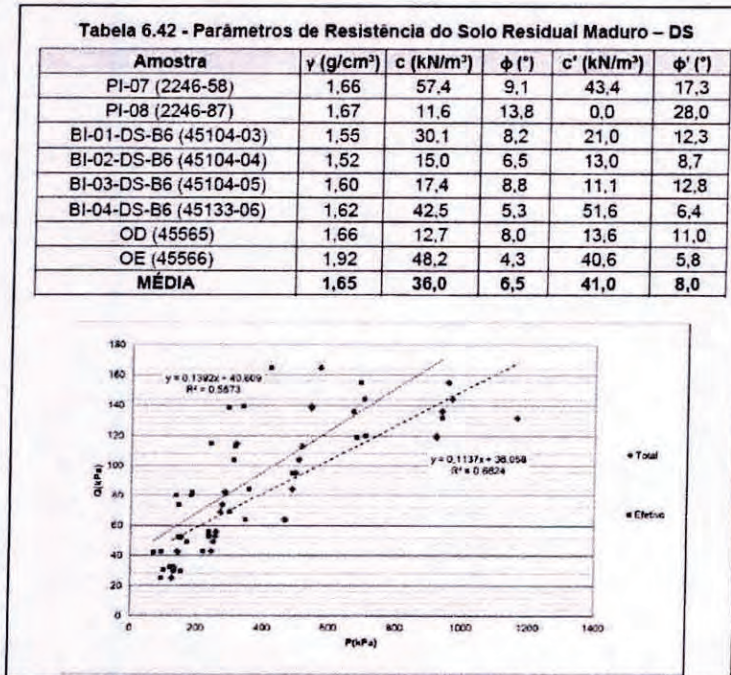


Figura 21 – Parâmetros de resistência obtidos nos ensaios de laboratório para o solo residual maduro em amostras indeformadas – região do dique de sela.



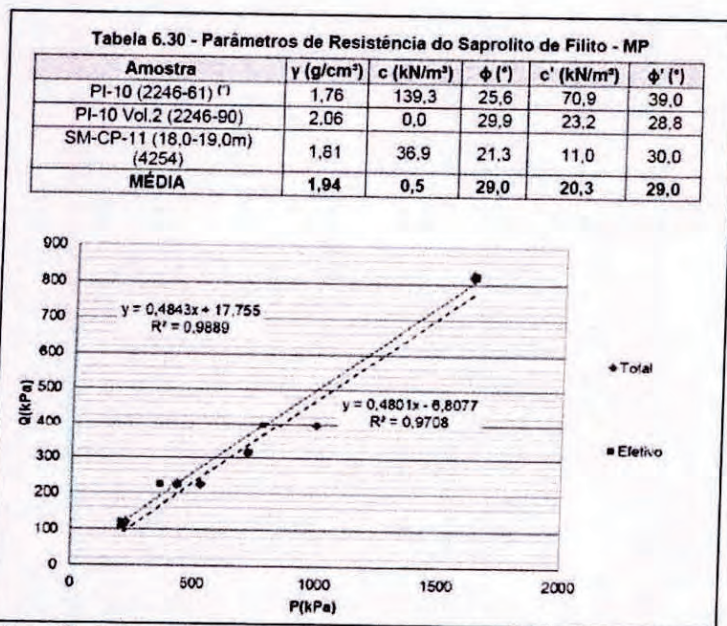


Figura 22 – Parâmetros de resistência obtidos nos ensaios de laboratório para o saprolito de filito em amostras indeformadas – região do maciço principal.

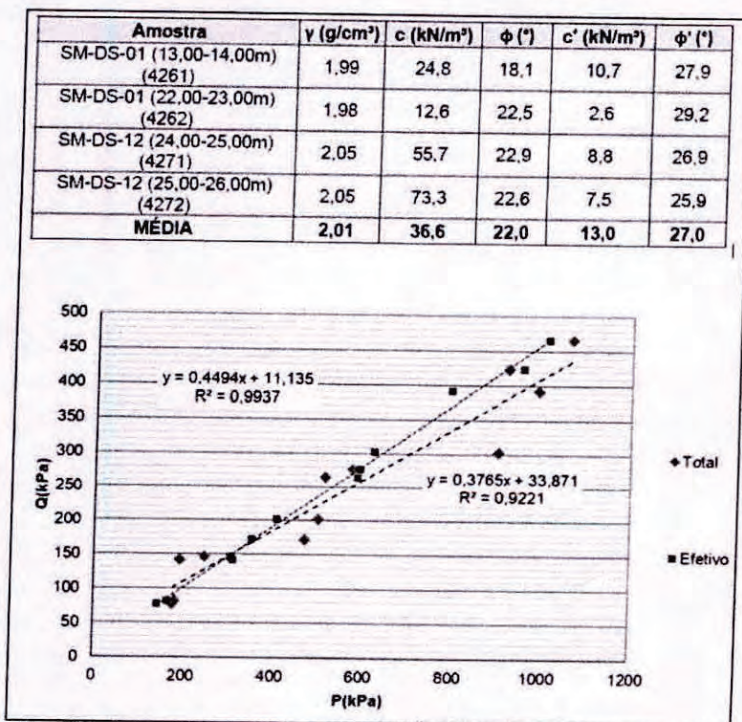


Figura 23 – Parâmetros de resistência obtidos nos ensaios de laboratório para o saprolito de filito em amostras indeformadas – região do dique de sela.



- No relatório de *checklist* não foram localizados dados que embasem a posição da linha de praia apresentada nas seções geológico-geotécnicas;
- Conforme apresentado pelo empreendedor, não foram realizados levantamentos geofísicos na área da barragem, dique de sela e reservatório.

**Recomendações à ANM**

- ✓ **Recomendação\_1\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente as seções geológico-geotécnicas longitudinais ao barramento, embasadas nos mapas geológico-estrutural, geológico-geotécnico e nas investigações realizadas, com os *logs* das sondagens plotados, mostrando o maciço da barragem e a fundação, incluindo as regiões das ombreiras;
- ✓ **Recomendação\_2\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que elabore uma campanha complementar de investigação do maciço e da fundação, com coleta de amostras para ensaios (caracterização, resistência e permeabilidade), em profundidades e distribuição tais que permitam um melhor conhecimento do maciço e da fundação;
- ✓ **Recomendação\_3\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que, com base nas novas investigações realizadas, apresente as seções geológico-geotécnicas atualizadas do barramento, embasadas nos mapas geológico-estrutural, geológico-geotécnico e nas investigações, com os *mini-logs* de sondagens plotados (mostrando a caracterização dos materiais, SPT, permeabilidade entre outros), caracterizando o zoneamento do maciço e fundação, preferencialmente em seções transversais e longitudinais ao barramento, incluindo as regiões das ombreiras e reservatório, em quantidade compatível com a complexidade geológico-geotécnica da estrutura;
- ✓ **Recomendação\_4\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente o modelo geológico-geotécnico e hidrogeológico tridimensional do barramento principal e do dique de sela;
- ✓ **Recomendação\_5\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente a revisão do projeto do *As Is*, ou projeto *As Built*, com a locação dos filtros verticais e tapetes drenantes, validados por ensaios de campo, laudos do período construtivo, entre outros;
- ✓ **Recomendação\_6\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente a revisão da nomenclatura das sondagens adequando-as de acordo com o local e ano de execução, corrigindo as duplicidades;
- ✓ **Recomendação\_7\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente para a complementação da campanha de sondagens, sejam investigadas o material aluvionar de baixa resistência identificado, mas não se limitando, a região da



sondagem SP-36, seção DD. A revisão deverá investigar a espessura, a profundidade e a extensão do material identificado na seção DD e adjacências;

- ✓ Recomendação\_8\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente, considerando a base de dados existente, a justificativa para a adoção dos parâmetros de resistência obtidos por correlações empíricas em detrimento aos resultados dos ensaios de laboratório para alguns dos materiais, principalmente aqueles presentes na fundação;
- ✓ Recomendação\_9\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente, considerando a base de dados existente, relatório com a avaliação estatística dos resultados dos ensaios de laboratório, ensaios de campo e referência bibliográfica para as correlações utilizadas para a obtenção dos parâmetros de resistência;
- ✓ Recomendação\_10\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente, considerando a base de dados existente e para os casos em que as correlações empíricas resultaram superiores aos valores de laboratório, relatório com a análise de sensibilidade dos parâmetros e sua influência nos fatores de segurança apresentados no item 4.3.4;
- ✓ Recomendação\_11\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente estudos complementares especificamente na fundação do enrocamento do dique de sela, na região em que se identificam materiais de consistência mole a muito mole (Figura 14). Recomenda-se que sejam fornecidos documentos e estudos complementares que apresentem a extensão, a profundidade e a espessura desses materiais;
- ✓ Recomendação\_12\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que no plano complementar de ensaios de laboratório sejam incluídos, mas não se limitando, os ensaios de compressão triaxiais em amostras da fundação, coletadas em profundidade e amostras indeformadas, com trajetória de tensões e cargas compatíveis aquelas que possam estar submetidas em campo. Nesse sentido, especial atenção deve ser dada a tensão desviadora dos ensaios que deve ser representativa da profundidade do material da fundação. Adicionalmente recomenda-se que sejam planejados ensaios de cisalhamento direto em amostras coletadas em regiões próximas e de acordo com cunha de ruptura das seções de estabilidade que apresentem fatores de segurança marginais ao mínimo estabelecido pelas Normas Brasileiras;
- ✓ Recomendação\_13\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que no plano complementar de ensaios de laboratório sejam incluídos, mas não se limitando, as amostras dos materiais que tiveram os resultados dos ensaios de laboratório descartados e para os quais tenham sido utilizadas as correlações empíricas. Para os demais materiais, recomenda-se que seja avaliado o universo amostral utilizado para determinação dos parâmetros de resistência, e ampliá-lo caso seja reduzido;
- ✓ Recomendação\_14\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que para o plano complementar de ensaios de campo e laboratório a serem realizados,



sejam incluídos ensaios específicos para a pesquisa de resistência não drenada dos materiais da fundação;

- ✓ **Recomendação\_15\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente documentos atualizados da posição da linha de praia do rejeito contido pelo reservatório da barragem Casa de Pedra e dique de sela;
- ✓ **Recomendação\_16\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que elabore uma campanha de investigação geofísica, preferencialmente eletrorresistividade e potencial espontâneo, nas regiões do barramento e ombreiras, e que apresente os dados geofísicos, integrados no modelo geológico-geotécnico e hidrogeológico da barragem, preferencialmente em modelo 3D.

#### 4.3.2. Avaliação da instrumentação e monitoramento

##### Considerações

- Segundo o relatório do *checklist*, a instrumentação da barragem é composta por:
  - 28 piezômetros (PZs) de Casagrande – 15 automatizados;
  - 74 indicadores de nível d'água (INAs) – 38 automatizados;
  - 24 marcos superficiais (MSs);
  - 05 medidores de vazão;
  - 01 régua linimétrica.
- Não foi apresentada a planilha técnica da instrumentação com dados de instalação;
- Foi apresentado que o último teste de vida executado na instrumentação foi realizado em junho de 2018;
- Foram apresentados gráficos individuais com a leitura da instrumentação nos últimos 12 meses, contudo, não são plotados em conjunto com a identificação das leituras secas, a pluviometria, o nível do reservatório e a vazão do dreno de fundo;
- Não foram apresentados gráficos individuais com as leituras históricas da instrumentação;
- Foram apresentados gráficos consolidados das leituras históricas e dos últimos 12 meses da instrumentação, 6 gráficos para o barramento principal e 11 para o dique de sela, contudo, não são plotados em conjunto com o nível do reservatório e a vazão do dreno de fundo;
- No documento enviado em anexo ao relatório de *checklist*, foram apresentadas a posição em planta das seções instrumentadas (Figura 24 e Figura 25). Contudo, as seções plotadas com a instrumentação com indicação da linha freática são representadas apenas nas análises de estabilidade e, na maioria delas, não é possível distinguir a posição da leitura do instrumento na seção devido à sobreposição com as linhas das cunhas de ruptura nas análises numéricas (Figura 28);





Figura 24 – Localização das seções instrumentadas – barramento principal.

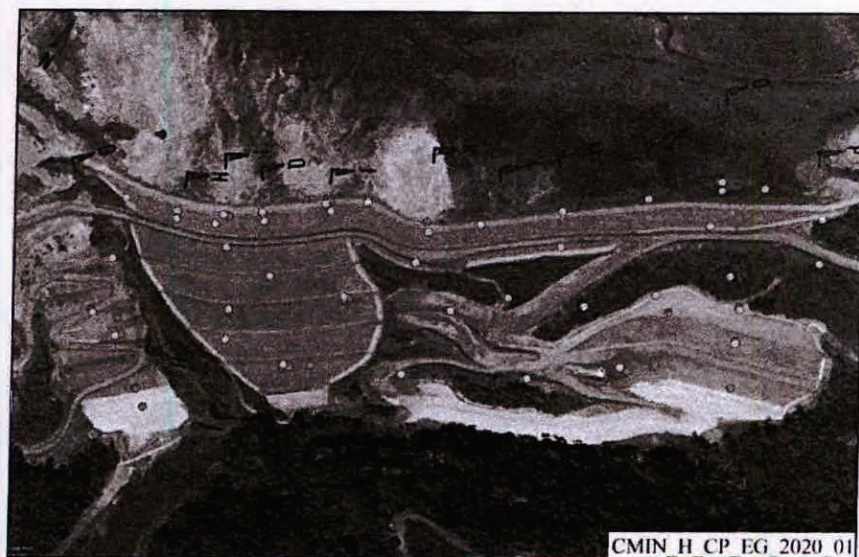


Figura 25 – Localização das seções instrumentadas, dique de sela (ausência da nomenclatura dos instrumentos).

- No documento enviado em anexo ao relatório de *checklist* observa-se que os piezômetros estão instalados somente no alinhamento da crista do barramento principal e, ainda assim, apenas o PZ-CP-12 atravessa o maciço da estrutura e chegando na fundação (Figura 26);
- Baseado nas informações apresentadas, conclui-se que não há instrumentos em quantidade adequada na fundação da barragem de modo que se possa verificar a sub pressão à que a estrutura possa estar



submetida. Foi observado que alguns piezômetros foram declarados com leitura seca e podem, eventualmente, não representar as condições de pressão a que o maciço possa estar submetido;

- A linha freática representada possui queda abrupta não condizente com o comportamento esperado em relação ao traçado do filtro vertical representado na seção;

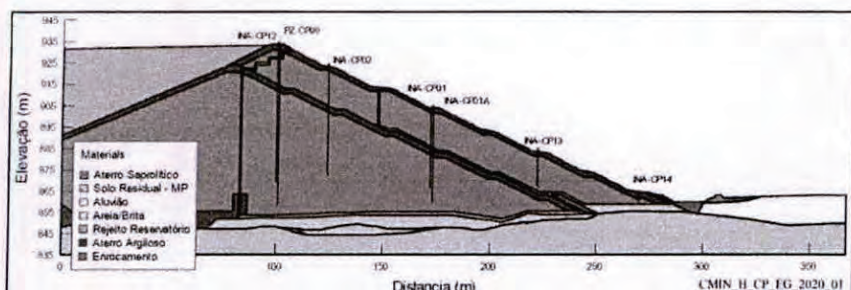


Figura 26 – Seção instrumentada de maior altura do barramento principal (seção CC), com detalhe para a ausência de piezômetros na fundação.

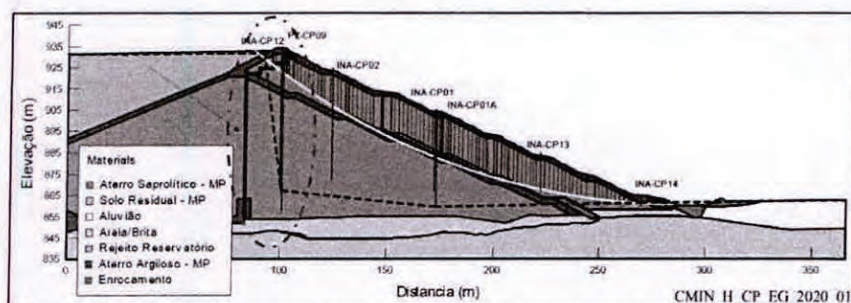


Figura 27 – Seção instrumentada de maior altura do barramento principal (seção CC), com detalhe para a ausência de piezômetros na fundação.

- A linha freática é traçada manualmente, a partir da leitura de instrumentos da barragem, e não foi apresentado um estudo de rede de fluxos para confirmar esse comportamento. Adicionalmente há regiões em que o traçado não é compatível com o comportamento esperado;
- Não foram apresentados dados recentes sobre o monitoramento dos deslocamentos da barragem.

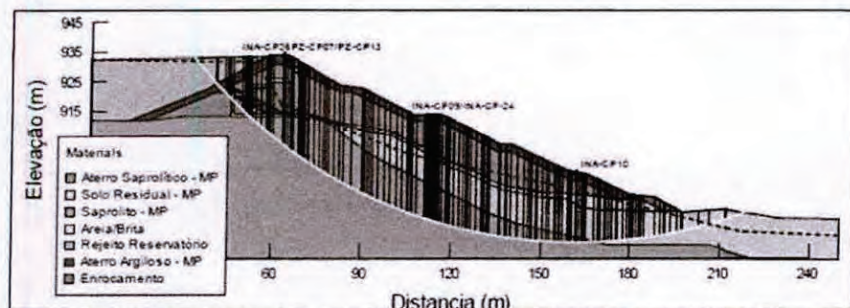


Figura 28 – Seção instrumentada AA apresentada em conjunto com a análise de estabilidade não permitindo a identificação da instrumentação.



**Recomendações à ANM**

- ✓ **Recomendação\_17\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente a planilha técnica da instrumentação, com dados de locação, incluindo entre outras informações o sistema geográfico de referência adotado e dados construtivos dos instrumentos;
- ✓ **Recomendação\_18\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que realize novos testes de vida na instrumentação;
- ✓ **Recomendação\_19\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente gráficos individuais das leituras dos últimos 12 meses da instrumentação, plotando os níveis de controle, os limites de boca e fundo dos instrumentos, a identificação das leituras secas, em escala vertical adequada para as leituras, incluindo a pluviometria, o nível do reservatório e a vazão do dreno de fundo;
- ✓ **Recomendação\_20\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente gráficos individuais das leituras históricas da instrumentação, plotando os níveis de controle, os limites de boca e fundo dos instrumentos, a identificação das leituras secas, em escala vertical adequada para as leituras, incluindo: a pluviometria, o nível do reservatório e a vazão do dreno de fundo;
- ✓ **Recomendação\_21\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente gráficos consolidados das leituras dos últimos 12 meses da instrumentação, preferencialmente para cada seção instrumentada, em escala vertical adequada para as leituras, plotando a instrumentação, a pluviometria, o nível do reservatório e a vazão do dreno de fundo;
- ✓ **Recomendação\_22\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente gráficos consolidados das leituras históricas da instrumentação, preferencialmente para cada seção instrumentada, em escala vertical adequada para as leituras, plotando a instrumentação, a pluviometria, o nível do reservatório e a vazão do dreno de fundo;
- ✓ **Recomendação\_23\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente a justificativa e a função esperada da instalação de cada INA e piezômetro existente na estrutura;
- ✓ **Recomendação\_24\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente as seções instrumentadas com linhas freáticas plotada referentes à última leitura, identificando em cada instrumento os níveis de controle existentes, destacando as leituras mínimas e máximas dos últimos 12 meses. Recomenda-se que as informações solicitadas sejam apresentadas em seções individualizadas das análises de estabilidade, de forma que a leitura dos dados não fique prejudicada;



- ✓ Recomendação\_25\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda que a ANM solicite ao empreendedor que confirme as linhas freáticas pelo emprego de rede de fluxo com linhas equipotenciais e linhas de fluxo;
- ✓ Recomendação\_26\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda que a ANM solicite ao empreendedor que apresente plano de complementação da instrumentação do maciço principal e dique de sela, incluindo, mas não se limitando a instalação de piezômetros na fundação da barragem e dique de sela, de modo que sejam verificadas as sub pressões na sua fundação dessas estruturas. Recomenda-se que sejam distribuídos em toda seção da barragem, tais como crista, porção central e jusante do barramento. Recomenda-se também que sejam instalados INAs e piezômetros a montante do filtro para verificação do comportamento do mesmo;
- ✓ Recomendação\_27\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente a linha freática, embasada nos dados de leitura da instrumentação da barragem, considerando cenários que englobem variação sazonal e variação no nível do reservatório;
- ✓ Recomendação\_28\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda que à ANM solicite ao empreendedor que apresente dados atualizados sobre o monitoramento dos deslocamentos da barragem e que apresente a tendência dos deslocamentos da estrutura em planta, com vetores (direção, sentido e intensidade);
- ✓ Recomendação\_29\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que no plano de complementação da instrumentação a ser instalada, sejam incluídos inclinômetros, com vistas a monitorar o comportamento dos materiais da fundação de baixa resistência.

#### 4.3.3. Avaliação dos estudos hidrológicos e hidráulicos

##### Considerações

- Os dados pluviométricos são baseados na estação pluviométrica da CSN, localizada na unidade de Casa de Pedra, em Congonhas, em operação desde 1981 até os dias de hoje. A série utilizada considera dados até 2017;
- Não foi apresentado estudo de consistência dos dados pluviométricos;
- Foi considerada a distribuição de Gumbel para representar a frequência de totais diários máximos anuais;
- Não foi apresentada a metodologia de desagregação de precipitações diárias em quantis sub-diários;
- Não foram apresentados estudos para determinação da PMP;
- Foram apresentadas as curvas cota x área x volume. Porém não foi confirmado se a base de obtenção delas está também em SIRGAS2000;
- Não foi apresentada a metodologia de obtenção das curvas de descarga dos sistemas extravasores, bem como os parâmetros envolvidos no cálculo;
- Não foi apresentado o detalhamento do amortecimento de cheias no reservatório e premissas assumidas, como níveis de partida das simulações etc.;



- Os resultados do trânsito de cheias para TR 10.000 anos são resumidos na Figura 45;

Item	TR = 10.000 anos
Duração da Chuva Crítica (dias)	2
Altura da Chuva Crítica (mm)	530,18
Vazão Máxima Afluente (m³/s)	65,0
Vazão Máxima Efluente (m³/s)	63,0
Período de controle (dias)	2
Elevação soleira do extravasor (m)	931,00
Elevação da crista (m)	934,00
NA Máximo Máximo (m)	932,82
Borda livre (m)	1,18

Figura 29 – Resultados do trânsito de cheias para TR 10.000 anos.

- Segundo empreendedor, foi calculada a sobrelevação devido à onda eólica junto ao barramento, resultando-se no valor de 0,76 metros;
- Não foi apresentada a avaliação da borda livre mínima, considerando o trânsito de cheias do reservatório e a sobrelevação devida à onda eólica;
- Não foi apresentada a linha d'água ao longo sistema extravasor, bordas livres, velocidades e a dissipação de energia;
- Não foi apresentada verificação hidráulica do sistema de drenagem superficial da barragem e dique;
- O estudo atual de *Dam Break* foi feito com o fluxo de fluido newtoniano (2017). Para atendimento da Resolução nº 32 da ANM de 11 de maio de 2020 está em processo de contratação estudos de *Dam Break* com análise de fluido não-newtoniano. A modelagem bidimensional atual foi feita com o *software* HEC-RAS 5.0.3;
- Foram analisados os seguintes cenários:
  - Cenário 1: ruptura da Barragem Casa de Pedra pelo maciço principal por galgamento (*overtopping*);
  - Cenário 2: ruptura da Barragem Casa de Pedra pelo dique da Sela por galgamento (*overtopping*);
  - Cenário 3: ruptura da Barragem Casa de Pedra pelo maciço principal por erosão interna (*piping*);
  - Cenário 4: ruptura da Barragem Casa de Pedra pelo dique da Sela por liquefação e *piping*;
  - Cenário 5: ruptura da Barragem Casa de Pedra pelo maciço principal por ruptura abrupta (*piping*);
  - Cenário 6: ruptura da Barragem Casa de Pedra pelo dique da Sela por ruptura abrupta (*piping*).
- A formação de brecha foi definida, segundo informações do minerador, utilizando a metodologia do *Guidelines For Dam Breach Analysis*, 2010;



- O estudo elaborado avalia e acompanha a propagação da onda de cheia ao longo dos rios Maranhão e Paraopeba, até o trecho a montante da cidade de Belo Vale, a aproximadamente 42 km da barragem Casa de Pedra. O estudo foi limitado a este ponto uma vez que a cheia artificial provocada pela ruptura hipotética da barragem seria inferior à cheia natural de TR = 2 anos a partir deste trecho.

## Recomendações à ANM

- ✓ Recomendação\_30\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que realizar análise de consistência no posto pluviométrico Casa de Pedra, considerando outros postos disponíveis nas proximidades;
- ✓ Recomendação\_31\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que detalhe a metodologia de desagregação de chuvas diárias;
- ✓ Recomendação\_32\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor realizar estudo de determinação da PMP;
- ✓ Recomendação\_33\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que informe se as curvas cota x área x volume utilizadas nos estudos de amortecimento de cheias estão baseadas no sistema SIRGAS2000;
- ✓ Recomendação\_34\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que detalhe o cálculo das curvas de vazão dos dispositivos extravasores considerados nos cálculos de trânsito de cheias;
- ✓ Recomendação\_35\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que detalhe o cálculo do trânsito de cheias no reservatório, explicitando os parâmetros envolvidos nos cálculos;
- ✓ Recomendação\_36\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que verifique a borda livre mínima da estrutura, considerando o trânsito de cheias e onda eólica conjuntamente;
- ✓ Recomendação\_37\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que detalhe o escoamento das cheias ao longo de todo o sistema extravasor, indicando perfis de linha d'água, as velocidades, a borda livre, entre outros;
- ✓ Recomendação\_38\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que verifique hidráulicamente a dissipação de energia do sistema extravasor;
- ✓ Recomendação\_39\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que verifique hidráulicamente o sistema de drenagem superficial da barragem, dique e adjacências;
- ✓ Recomendação\_40\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente o cronograma para a elaboração dos estudos de *Dam Break* para



atendimento da Resolução nº 32 da ANM de 11 de maio de 2020, bem como atendendo as premissas apresentadas no Ofício Circular 02-2019 GMG/CEDEC.

#### 4.3.4. Avaliação das análises de estabilidade

##### Considerações

- No relatório de *checklist* foram apresentadas 6 seções para a análise de estabilidade na seção principal e 11 seções transversais no dique de sela. As seções de cálculo não coincidem com as seções geológico-geotécnica avaliadas no item 4.3.1 (Figura 30 e Figura 31);



Figura 30 – Locação das seções instrumentadas no barramento principal, Casa de Pedra, e utilizadas para os estudos de estabilidade.

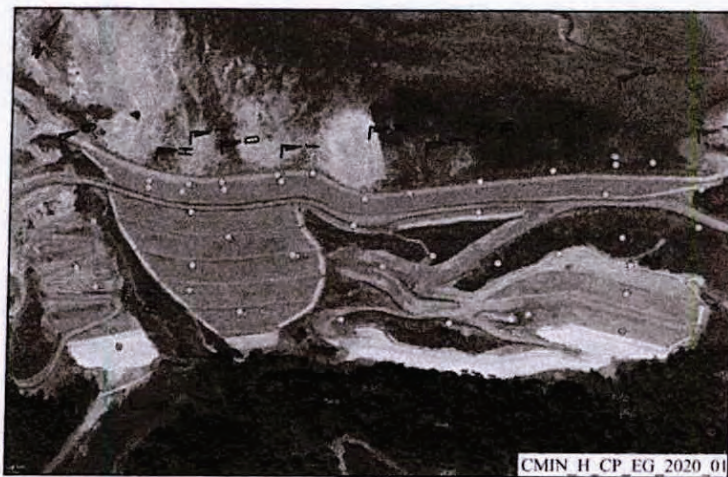


Figura 31 – Locação das seções instrumentadas no dique de sela, e utilizadas para os estudos de estabilidade.



- Na Figura 32, Figura 33 e Figura 34 são rerepresentados os parâmetros utilizados nas análises de estabilidade, conforme discutidos no item 4.3.1 – Avaliação das investigações geológico-geotécnicas;

Local	Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	Referência
Dique de Sela	Aterro Saprolítico	19,6	8,0	28,5	7,0	22,0	Ensaio Triaxial CU <sub>sat</sub> (Tabela 6.15)
	Aterro Argiloso	19,8	6,0	35,0	61,4	25,0	Ensaio Triaxial CU <sub>sat</sub> (Tabela 6.59)
	Solo Residual Jovem	18,3	18,5	33,0	57,0	21,0	Ensaio Triaxial CU <sub>sat</sub> (Tabela 6.66)
	Solo Residual Maduro	16,5	10,0	28,0	36,0	6,5	Ensaio Triaxial CU <sub>sat</sub> (Tabela 6.42) e Correlações Ensaio SPT
	Saprolito de Filito	20,1	15,0	33,0	36,5	22,0	Ensaio Triaxial CU <sub>sat</sub> (Tabela 6.35) e correlação com ensaios SPT
	Material de Envolvimento (Recomposição topográfica da sela)	20,2	6,0	32,0	29,5	19,0	Ensaio Triaxial CU <sub>sat</sub> (Tabela 6.72)

CMIN\_H\_CP\_EG\_2020\_01

Figura 32 – Parâmetros de resistência utilizados nas análises de estabilidade – dique de sela.

Local	Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	Referência
Maciço Principal	Aterro Saprolítico	19,3	15,0	29,5	25,0	23,0	Ensaio Triaxial CU <sub>sat</sub> (Tabela 6.8)
	Aterro Argiloso	19,9	40,5	22,0	56,0	16,0	Ensaio Triaxial CU <sub>sat</sub> (Tabela 6.54)
	Solo Residual Jovem	17,7	10,0	32,0	27,0	19,0	Ensaio Triaxial CU <sub>sat</sub> (Tabela 6.31) e Correlações Ensaio SPT
	Saprolito de Filito	19,4	20,0	32,0	0,5	29,0	Ensaio Triaxial CU <sub>sat</sub> (Tabela 6.30) e correlação com ensaios SPT

CMIN\_H\_CP\_EG\_2020\_01

Figura 33 – Parâmetros de resistência utilizados nas análises de estabilidade – maciço principal.



Local	Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	Referência
	Rejeito Compactado – Material do núcleo	23,0	0,0	36,0	0,0	36,4	Ensaio Triaxial CU <sub>sat</sub> (Tabela 6.48)
	Colúvio	17,2	25,0	28,8	57,0	12,0	Ensaio Triaxial CU <sub>sat</sub> (Tabela 6.60)
	Lastro	21,0	5,0	35,0	-	-	Correlação Ensaio SPT
	Drenagem interna (areia e brita)	20,0	0,0	33,0	-	-	Bowles (1977)
	Enrocamento	23,0	0,0	39,0	-	-	Leps (1970)
	Aluvião	20,0	10,0	15,0	-	-	Correlação Ensaio SPT

CMIN\_H\_CP\_EG\_2020\_01

Figura 34 – Parâmetros de resistência utilizados nas análises de estabilidade – gerais.

Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$S_u(\text{pico})/\sigma'_{vo}$	$S_u(\text{liq})/\sigma'_{vo}$	Referência
Rejeito no reservatório	24,0	0,0	34,0	0,213	0,038	Ensaio SPT

\* Parâmetro de resistência utilizado para o rejeito no reservatório nas análises pseudo-estáticas.  
\* Parâmetro de resistência utilizado para o rejeito no reservatório nas análises liquefeitas das seções do dique da seia alheadas pelo método de linha de centro.

CMIN\_H\_CP\_EG\_2020\_01

Figura 35 – Parâmetros de resistência para o rejeito contido pelo reservatório.

- Segundo o empreendedor, as análises foram feitas para a condição drenada, considerando os seguintes tipos de carregamento:
  - Carregamento Estático: o empreendedor considera a superfície freática indicada pela instrumentação de campo. No entanto não foi apresentada quais leituras de instrumentação foram consideradas, com a indicação de datas, envoltória de máximos, média, entre outros aspectos;
  - Carregamento Pseudo-estático: foi informado que se consideraram a aceleração na direção horizontal e vertical, iguais a 0,05 g e 0,03 g, respectivamente. No entanto, não foi possível observar o sentido adotado para a aceleração vertical (a favor da gravidade ou em sentido contrário).
- Ainda segundo os autores, também foram avaliadas a condição não drenada, utilizando parâmetros totais, devido ao alto DPA associado às estruturas;
- Para o dique de sela, foram apresentadas análise de estabilidade para a condição de pós-gatilho ou adoção de parâmetros de resistência residual (liquefeita) para o rejeito;
- Segundo o relatório de *checklist* a busca das superfícies de rupturas adotou o critério de Morgenstern-Price e os resultados estão sumarizados Figura 36;



Seção	Local	N.A.	F.S. Encontrado			
			Análise Estática	Análise com Sismo	Análise Liquefeita	Tensões Totais
AA	Maciço Principal	Atual	1,5	1,3	-	-
BB			1,8	1,5	-	-
CC			1,6	1,4	-	-
DD			1,7	1,5	-	-
EE			1,9	1,7	-	-
FF			1,9	1,7	-	-
GG	Dique da Sela		1,5	1,3	-	-
HH			1,7	1,5	-	-
II			1,6	1,4	-	-
JJ			1,5	1,3	-	-
KK			1,5	1,3	-	-
LL			1,7	1,6	1,6	1,3
MM		1,9 (local) 2,2 (global)	1,7 (local) 1,9 (global)	1,9	1,6	
		1,6 (local) 1,7 (global)	1,4 (local) 1,5 (global)	1,6 (local) 1,7 (global)	1,3	
NN		1,6 (local) 2,1 (global)	1,4 (local) 1,8 (global)	1,6 (local) 2,0 (global)	1,7 (local) 1,5 (global)	
		2,0 (local) 2,0 (global)	1,7 (local) 1,9 (global)	1,9 (local) 2,2 (global)	1,9 (local) 1,6 (global)	
PP	1,5 (local) 1,6 (global)	1,3 (local) 1,4 (global)	-	-		

Figura 36 – Resumo das análises de Estabilidade, com detalhe para os valores limítrofes aos estabelecidos pela Norma Brasileira.

- Conforme mencionado no item 4.3.1 – Avaliação das investigações geológico-geotécnicas, os parâmetros de resistência adotados para os diversos materiais presentes na seção geológico-geotécnica foram obtidos de ensaios de laboratório e de correlações empíricas com o número de golpes NSPT. Nesse aspecto, frisa-se que, conforme citado anteriormente, o empreendedor não apresentou justificativas para os casos de adoção dos valores via correlação de golpes em detrimento aos resultados dos ensaios de laboratório;
- Os parâmetros de resistência obtidos por ensaios de laboratório e desconsiderados pelos autores apresentaram-se na maioria dos exemplos, inferiores aos valores obtidos por correlação e, para alguns casos, a diferença supera 20% em termos de ganho de resistência, por exemplo no solo residual maduro presente na fundação do dique de Sela;
- Na seção AA (Figura 37) observa-se que a cunha de ruptura global atravessa os materiais da fundação identificados como Solo Residual-MP e Saprolito-MP, que possuem parâmetros de resistência obtidos por ensaios de laboratório sensivelmente menores que àqueles adotados pelo emprego de correlações empíricas, conforme avaliado no item 4.3.1 – Avaliação das investigações geológico-geotécnicas;



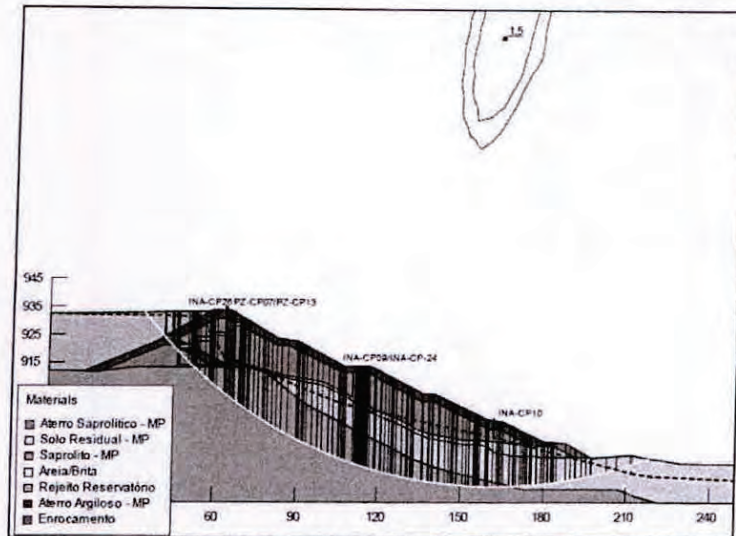


Figura 37 – Resultados da Análise de Estabilidade, carregamento estático – seção AA.

- Outro critério com grande peso na sensibilidade do fator de segurança é a posição da linha freática no maciço. Em documento anexo ao relatório de *checklist*, o empreendedor afirma que as sub pressões no corpo maciço e fundação foram obtidas considerando-se a linha freática coincidente com a linha piezométrica e que a linha piezométrica adotada corresponde a envoltória de máximos obtida entre os meses de julho/2019 e janeiro/2020 e nível do reservatório na El. 931,5 metros. No entanto, na seção instrumentada AA, observa-se a ausência de piezômetros posicionados na fundação ou na região da cunha de ruptura. Os autores classificam o único piezômetro posicionado na seção analisada como curto ou seco e, portanto, ineficaz para avaliar a condição de sub pressão existente na fundação (Figura 38 e Figura 39);
- Considerando a sensibilidade do fator de segurança ao nível freático e a escassez de instrumentos na seção AA capazes de representar as sub pressões na fundação, conclui-se que o valor do fator de segurança apresentado para a seção AA pode, eventualmente, ser sensivelmente menor que o resultado limítrofe de 1,5 apresentado;

Instrumento	Seção	Data da Leitura	Cota Piezométrica Obtida (m)	Cota Piezométrica Adotada (m)
INA-CP26	AA	27/12/19	Seco	916,88 <sup>(1)</sup>
PZ-CP07			Seco	916,70 <sup>(2)</sup>
PZ-CP13			Seco	916,70 <sup>(3)</sup>
INA-CP09		31/01/20	900,30	900,55 <sup>(2)</sup>
INA-CP24			900,55	900,55
INA-CP10		27/12/19	888,54	888,54

CMIN II, CP, FG, 2020, 01

<sup>(1)</sup> Instrumento seco ou curto. Cota de fundo adotada como leitura.  
<sup>(2)</sup> Leitura adotada de acordo com instrumentos próximos na mesma seção.

Figura 38 – Instrumentação seção AA – (reprodução parcial).



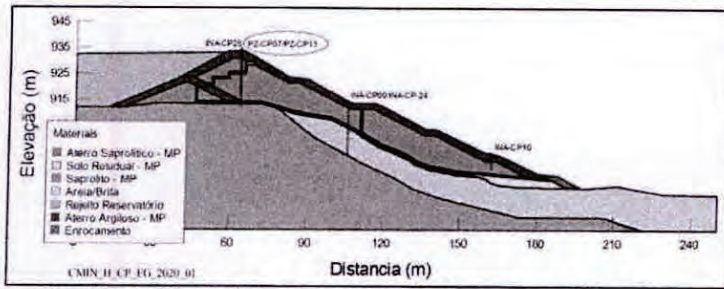


Figura 39 – Localização dos instrumentos na seção AA – detalhe para os piezômetros posicionados no aterro/filtro.

- A seção CC, região de maior altura do maciço principal (Figura 40), apresenta na porção a jusante material caracterizado como aluvião, de consistência mole a médio, com nível d'água na superfície e com baixo número de golpes NSPT: 1/80 e 30/00 à profundidade de 12,45 m (sondagem SP-36, conforme discutido no item 4.3.1 – Avaliação das investigações geológico-geotécnicas). No entanto, nas análises de estabilidade, não foram considerados parâmetros de resistência não drenados para esse material;
- Também na seção CC observa-se que o piezômetro PZ-CP09 está instalado no corpo do aterro e que não há instrumentos instalados na fundação de forma a se medir as sub pressões na fundação do maciço. Soma-se a esse fato a queda abrupta da linha freática à montante do instrumento, embora não tenha sido representado filtro vertical nessa porção e a ausência de leituras nos medidores de nível de água;
- Do exposto conclui-se que a linha freática apresentada na seção CC pode não ser compatível com o comportamento real da estrutura e o fator de segurança pode ser eventualmente inferior ao valor calculado de 1,6;

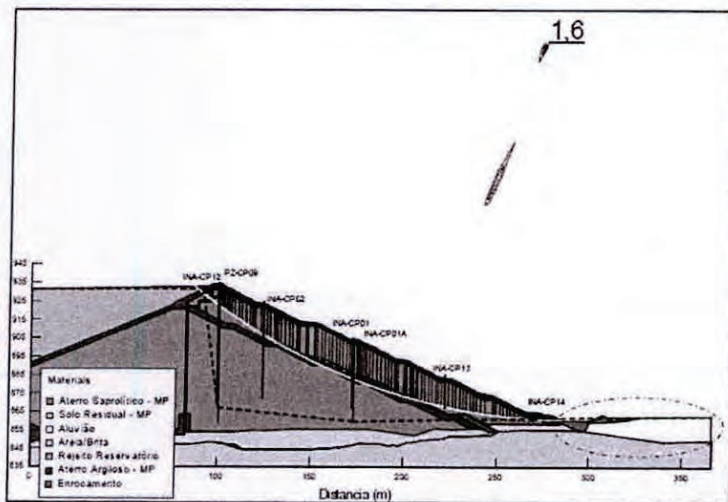


Figura 40 – Seção de estabilidade CC – detalhe para a região de material saturado e de baixa resistência na porção final da barragem.

- Na seção DD (Figura 41), observa-se a ausência de instrumentos na porção de jusante do maciço, que possam ratificar a posição da linha freática desenhada. Também a queda brusca da linha freática após a



posição do filtro vertical não é validada pelo instrumento PZ-CP-10, identificado como seco na planilha de instrumentação fornecida;

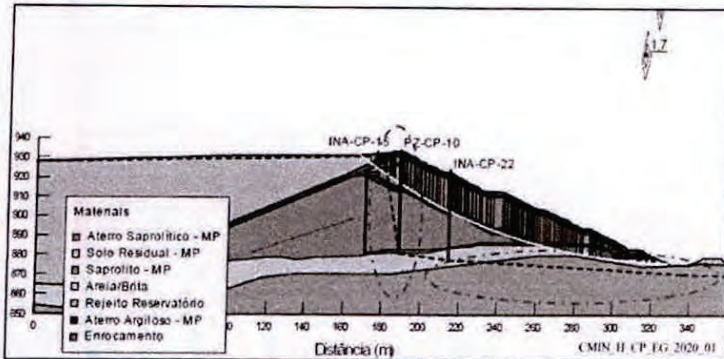


Figura 41 – Seção de estabilidade DD, com detalhe para a queda brusca da freática não compatível com a posição do filtro vertical e ausência de instrumentos na porção de jusante.

- Na seção FF (Figura 42), há importante presença de material definido como solo residual maduro, próximo ao pé do barramento principal. Conforme abordado no item, 4.3.1 – Avaliação das investigações geológico-geotécnicas, a espessura do material e sua extensão não é validada por sondagens adicionais e portanto, podendo se estender para além da representação feita na seção. Outro ponto relevante é a adoção de parâmetros de resistência sensivelmente superiores àqueles obtidos nos ensaios de laboratório. É possível observar a posição da linha freática não justificada por instrumentos nessa região. Do somatório dessas considerações, conclui-se que o fator de segurança apresentado para a seção FF apresenta muitas incertezas e pode não ser representativo e a variação das premissas e parâmetros considerado podem conduzir a fator de segurança inferiores ao apresentado;

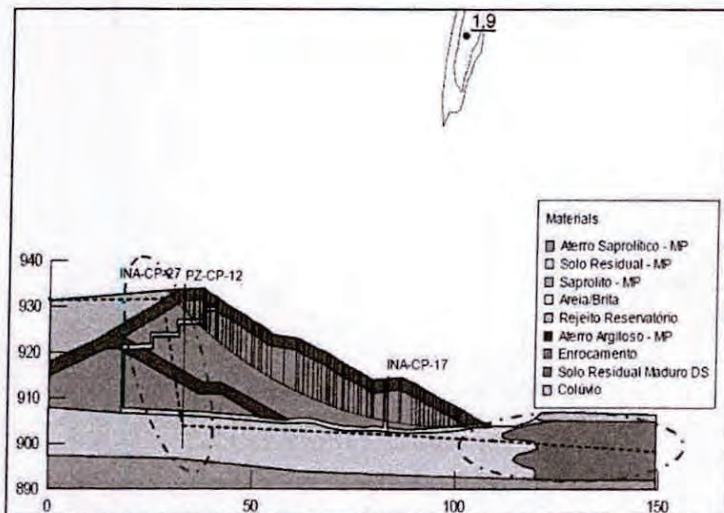
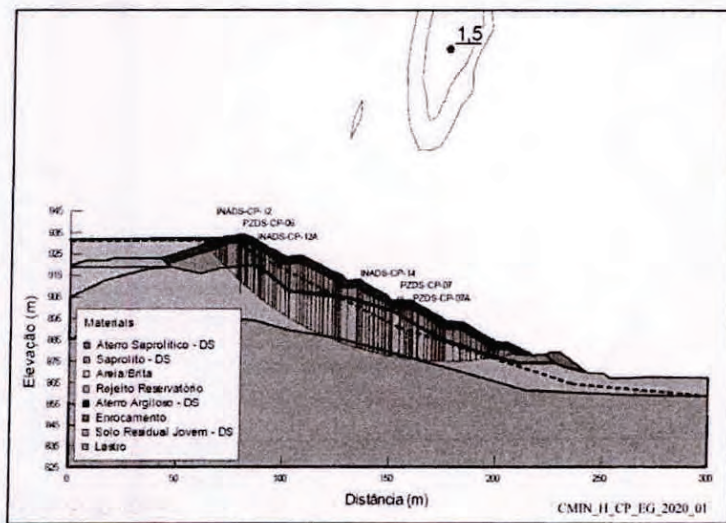


Figura 42 – Seção de estabilidade FF, com detalhe para a queda brusca da freática não compatível com a posição do filtro vertical e material de baixa resistência.



- Para o dique de sela, foram apresentadas 11 seções de análise de estabilidade, conforme mencionado anteriormente. As seções JJ, KK e QQ apresentaram fator de segurança limítrofe ao valor recomendado pela Norma Brasileira (Figura 36);
- Na seção JJ (Figura 43), observa-se que a cunha de ruptura passa pelo material apresentado como solo residual jovem e solo residual maduro. Também a seção KK apresenta cunha de ruptura global, atravessando os materiais de fundação supracitados;
- Conforme mencionado no item 4.3.1 – Avaliação das investigações geológico-geotécnicas, os parâmetros de resistência para o solo residual maduro foi adotado a partir de correlações com o NSPT tendo sido descartados os valores de ensaios de laboratório que apresentaram valores sensivelmente menores;
- Dadas as incertezas na obtenção dos parâmetros de resistência, verifica-se que os fatores de segurança podem, eventualmente, serem menores do que o valor limite de 1,5 informado;





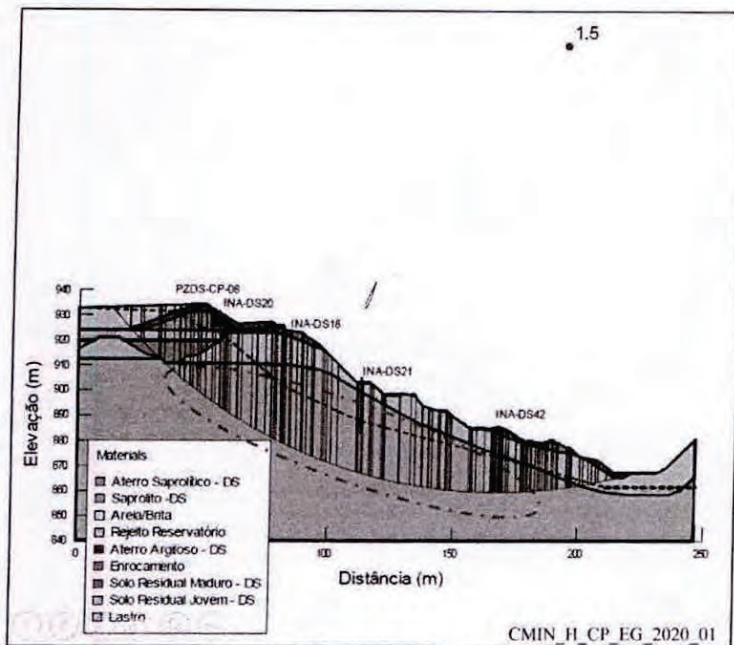


Figura 44 – Seção de estabilidade KK, dique de sela, com detalhe para a cunha de ruptura global na região da fundação.

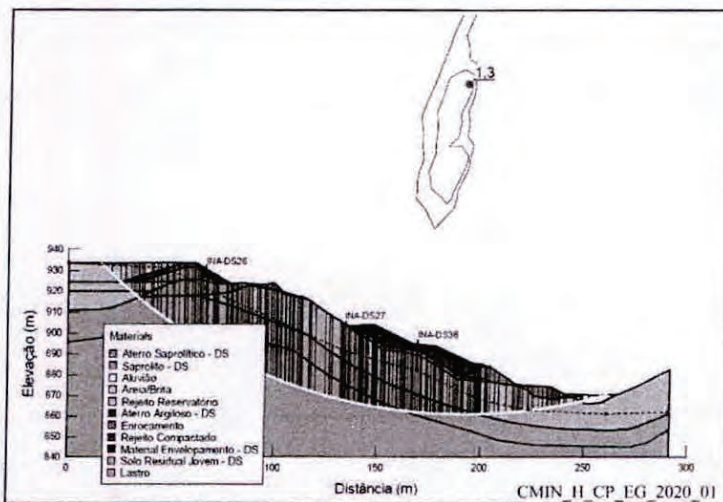


Figura 45 – Seção de estabilidade NN, dique de sela, com detalhe para a cunha de ruptura global passando pelo material Saprolito-Ds.

- Por fim, observa-se no geral que para as análises de estabilidade da barragem Casa de Pedra e para o dique de sela, não foram apresentados estudos de percolação, com traçado de rede de fluxo, que poderiam auxiliar no entendimento do comportamento da linha freática e sub pressões na fundação das estruturas.



**Recomendações à ANM**

- ✓ Recomendação\_41\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente novas análises de estabilidade com pelo menos 02 outras metodologias, tais como Bishop, Spencer, entre outros;
- ✓ Recomendação\_42\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que padronize a nomenclatura das seções geológico-geotécnicas, instrumentadas e de análises de estabilidade, de forma que as seções com mesmo nome coincidam, afim de evitar erros de interpretação dos dados apresentados;
- ✓ Recomendação\_43\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente as novas análises de estabilidade considerando as linhas freáticas obtidas pelo emprego de rede de fluxo, observando que a linha freática deverá ser compatível com a auscultação da barragem;
- ✓ Recomendação\_44\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente as novas análises de estabilidade considerando a revisão do modelo geológico-geotécnico e hidrogeológico conforme Recomendação\_4\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra;
- ✓ Recomendação\_45\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente as novas análises de estabilidade considerando a ampliação da base de dados recomendada no item 4.3.1 – Avaliação das investigações geológico-geotécnicas;
- ✓ Recomendação\_46\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que, para a base de dados existente, apresente o estudo de sensibilidade dos parâmetros de resistência adotados a partir de correlações empíricas, em especial para os materiais cuja cunha de ruptura os atravessem;
- ✓ Recomendação\_47\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que, para a base de dados existente e para as seções geológico-geotécnicas cujo fator de segurança tenham resultado limítrofes ao mínimo exigido pelas Normas Brasileiras, sejam apresentados estudos de sensibilidade do fator de segurança à variação dos parâmetros de resistência adotados por correlações empíricas. Recomenda-se que sejam revisados os resultados de laboratório de cada amostra apresentando os resultados para o fator de segurança obtidos a partir do seu emprego;
- ✓ Recomendação\_48\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que para as novas análises de estabilidade e considerando a ampliação da base de dados recomendada no item 4.3.1 – Avaliação das investigações geológico-geotécnicas, sejam apresentadas análises não drenadas, sobremaneira para os materiais da fundação e saturados, por exemplo aluvião, colúvio, saprolito de filito, solo residual, entre outros;



- ✓ **Recomendação\_49\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que, visando ampliar o conhecimento do comportamento geomecânico da estrutura da barragem principal e dique de sela, sejam realizadas análises tensão-deformação, via elementos finitos ou diferenças finitas.

#### 4.3.5. Avaliação do projeto de descaracterização

- Segundo o empreendedor a Barragem Casa de Pedra, não possui projeto de descaracterização até o presente momento, visto que não se trata de uma exigência legal. Porém, foi apresentado que é de interesse da CSN Mineração a descaracterização da estrutura, em função disto projetos conceituais estão em desenvolvimento.

#### 4.3.6. Vistoria de campo

##### Reservatório, talude de montante e crista

- O reservatório da barragem de Casa de Pedra encontrava-se quase que totalmente preenchido por rejeitos. A região próxima à ombreira esquerda e ao fundo do reservatório encontram-se secos, sendo que ocorre formação de lago apenas próximo à ombreira direita (Foto 1 e Foto 2);



Foto 1 – Vista do reservatório da barragem de Casa de Pedra a partir da ombreira esquerda.





Foto 2 – Vista do reservatório da barragem de Casa de Pedra a partir da ombreira direita.

- O talude de montante da barragem não apresentava proteção, encontrando-se conformado com solo lançado. Nota-se a presença de vegetação alta e arbustiva no interior do reservatório próximo à crista e o solo lançado sobre o talude de montante aparenta ser recente, pois recobre parte desta vegetação (Foto 3);



Foto 3 – Vista do talude de montante a partir da ombreira direita.

- A crista da barragem encontrava-se em boas condições de manutenção, revestida com material para permitir o tráfego de veículos sobre ela, e não foram observados abatimentos ou trincas (Foto 4).



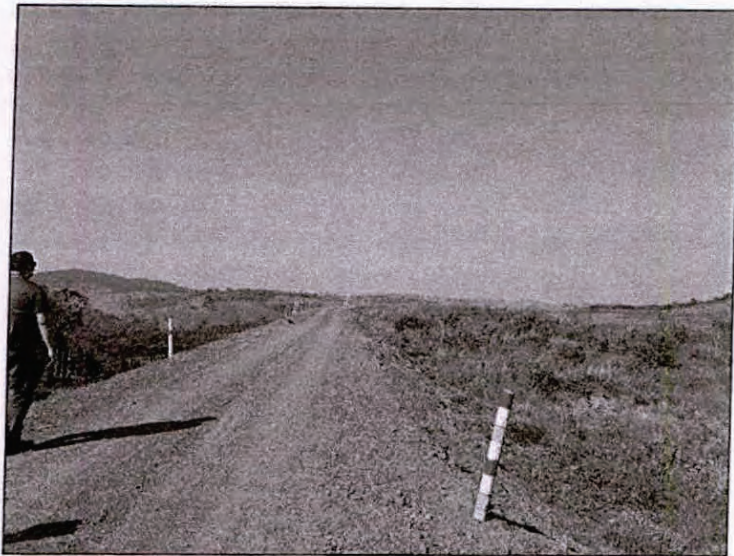


Foto 4 – Vista da crista a partir da ombreira esquerda.

#### Taludes de jusante e Ombreiras

- Os taludes de montante da barragem encontravam-se com cobertura vegetal adequada no momento da vistoria (Foto 5);



Foto 5 – Vista frontal dos taludes de jusante da barragem.

- Não foram observadas presença de trincas, erosões ou abatimentos nos taludes;
- Na transição do aterro do maciço com as canaletas de drenagem de descida de ambas as ombreiras existe uma faixa de brita com cerca de 1 metro de espessura (Foto 6);





Foto 6 – Detalhe para a presença de transição com brita entre o maciço e as canaletas de drenagem superficial.

- Foi possível observar o maciço de fundação em um corte de acesso para o dreno de fundo da estrutura, na ombreira direita, onde observou-se a presença de saprolito de filito (Foto 7).



Foto 7 – Saprolito de filito em um corte de acesso para o dreno de fundo da estrutura, ombreira direita.

#### Instrumentação

- A instrumentação na barragem encontrava-se em bom estado de manutenção e identificação. O empreendedor adotou um sistema de leitura dos instrumentos por código QR facilitando a identificação do instrumento em campo por aplicativo (Foto 8);





Foto 8 – Detalhe para a identificação por código QR na placa de identificação do instrumento.

- A estrutura estende-se por dois vales, um principal à esquerda e outro de menor dimensão à direita. Para cada um desses setores existe uma saída da drenagem interna;
- O dreno de fundo do setor à direita encontrava-se seco no momento da vistoria. A saída do dreno de fundo do maciço principal é monitorada por um medidor de vazão de chapa triangular (Foto 9).

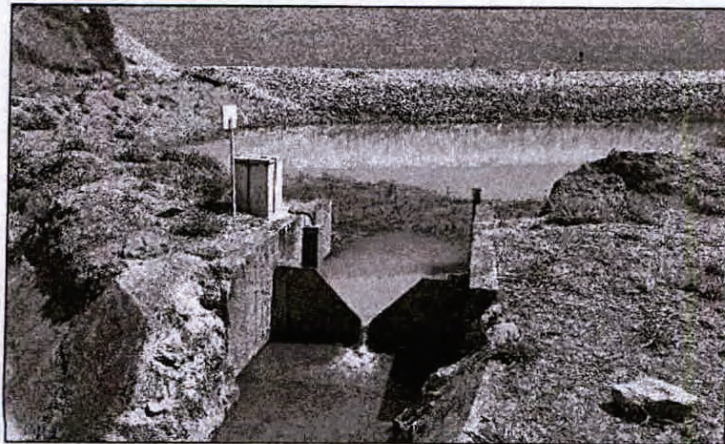


Foto 9 – Saída do dreno de fundo do maciço principal, e medidor de vazão por chapa triangular.

#### Dique de Sela

- Os taludes de jusante do dique de sela encontravam-se com cobertura vegetal adequada no momento da vistoria;



- Foi observada a presença de feições horizontais em torno de um metro acima da canaleta de drenagem de berma no talude da elevação 894 m, aparentemente relacionado à um processo de corrugamento de face, tendo em vista a inclinação elevada dos taludes do dique (Foto 10);
- No talude entre as bermas de elevação 904 e 894 m, a cerca de 5 metros da ombreira direita, foram observadas duas trincas transversais com abertura em torno de 1 cm, comprimento entre 1 a 2 metros e profundidade de pelo menos 10 cm (Foto 11);



Foto 10 – Presença de feições horizontais próximo às canaletas de drenagem de berma.



Foto 11 – Presença de trinca no talude de jusante, próximo à ombreira direita.



- A drenagem interna do dique é direcionada para a saída do dreno de fundo localizado no pé da estrutura, sendo as vazões monitoradas por um medidor de vazão de chapa triangular (Foto 12 e Foto 13).



Foto 12 – Vista da saída da drenagem interna do dique com detalhe para a presença de material de coloração ferruginosa.



Foto 13 – Medidor de vazão de chapa triangular na saída do dreno de fundo.

#### Sistema extravasor

- O sistema extravasor da Barragem Casa de Pedra é formado por 05 linhas de bueiro circular em concreto (Foto 14) sob acesso, posicionadas na porção montante do reservatório, seguidas por canal de



aproximação trapezoidal (Foto 15), revestido por geomembrana, que conduz as vazões defluentes a um lago intermediário, na margem esquerda. Então, as vazões são conduzidas por meio de um canal emissário, em concreto projetado, que descarrega o fluxo em um canal retangular, com degraus, até a bacia de dissipação, sendo esse trecho em concreto (Foto 16 e Foto 19);

- Foram observados sedimentos acumulados no reservatório, na região a montante dos bueiros que conduzem o fluxo ao canal de aproximação. Observou-se a formação de vegetação na porção assoreada (Foto 14);
- No emboque de um dos bueiros, havia uma tubulação inativa obstruindo parcialmente o mesmo (Foto 14);



Foto 14 – Emboque dos bueiros sob o acesso, com sedimentos acumulados a montante e tubulação obstruindo parcialmente um dos bueiros.

- No canal de aproximação, foram identificados alguns pontos com acúmulo de sedimentos e um deles, próximo ao desembocamento dos bueiros, com vegetação formada sobre os sedimentos. Também foram observadas tubulações dispostas na calha desse canal (Foto 15);





Foto 15 – Vista do canal de aproximação. Observar alguns pontos de sedimentos acumulados (próximo ao desembocamento, já com formação de vegetação) e tubulações inativas na calha.



Foto 16 – Vista do emboque do canal emissário, no lago formado na margem direita do reservatório.



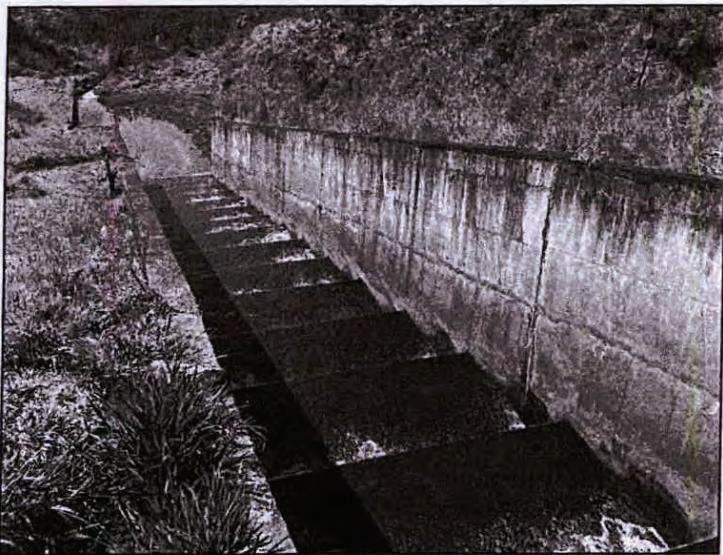


Foto 17 – Calha com degraus do sistema extravasor, seguido por bacia de dissipação.

- A bacia de dissipação e o canal de restituição encontravam-se assoreados, com bastante sedimentos e vegetação. O fluxo defluente do extravasor é conduzido por um trecho remanescente, estreitado, na porção esquerda do canal de restituição (Foto 18);



Foto 18 – Bacia de dissipação e canal de restituição assoreados e com vegetação.

- A região da ombreira direita, adjacente ao canal extravasor apresentava vegetação alta, impossibilitando a inspeção no trecho inicial do canal com degraus (Foto 19);
- Havia vertimento na data da inspeção.





Foto 19 – Região adjacente ao canal extravasor, com vegetação alta, não permitindo o acesso até o trecho inicial.

#### Drenagem superficial

- O sistema de drenagem superficial da Barragem Casa de Pedra e do dique de sela é formado por canaletas de concreto nas bermas, caixas de passagem e descidas d'água, também em concreto, em ambas as ombreiras, que conduzem o fluxo para jusante dos taludes das estruturas. Algumas travessias de bermas são realizadas por bueiros em PEAD (Foto 20 a Foto 21);

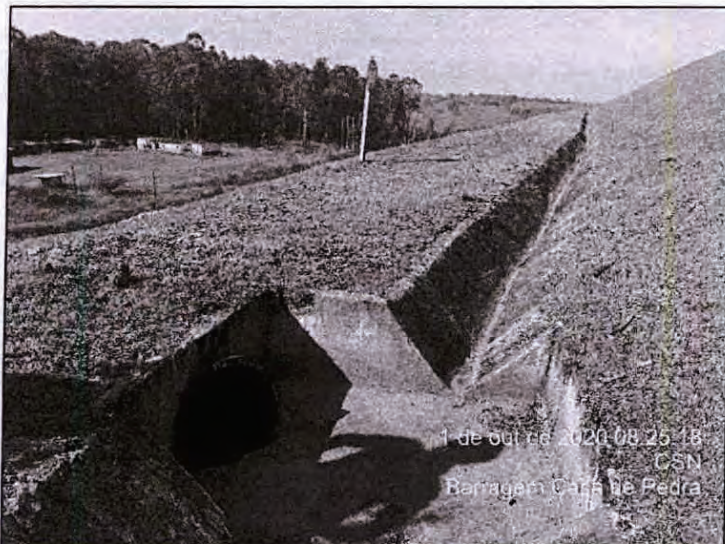


Foto 20 – Canaleta de berma, caixa de passagem e bueiro sob berma – Barragem Casa de Pedra.





Foto 21 – Descida d'água na ombreira direita. Barragem Casa de Pedra.

- As estruturas de drenagem da Barragem Casa de Pedra estavam, de uma maneira geral, limpas e desobstruídas. No entanto, observou-se assoreamento a montante de um dos bueiros, aparentemente retido por um pedaço de madeira, dentro da caixa de passagem (Foto 22);



Foto 22 – Caixa de passagem com assoreamento e pedaço de madeira no emboque do bueiro. Barragem Casa de Pedra.

- Na descida d'água da ombreira direita da Barragem Casa de Pedra, foram observados pontos de surgência nas paredes da estrutura, sendo a maior parte, provenientes da parede adjacente ao terreno natural (Foto 23 e Foto 24);





Foto 23 – Vista da descida d'água, na ombreira direita do maciço, onde observaram-se algumas surgências.

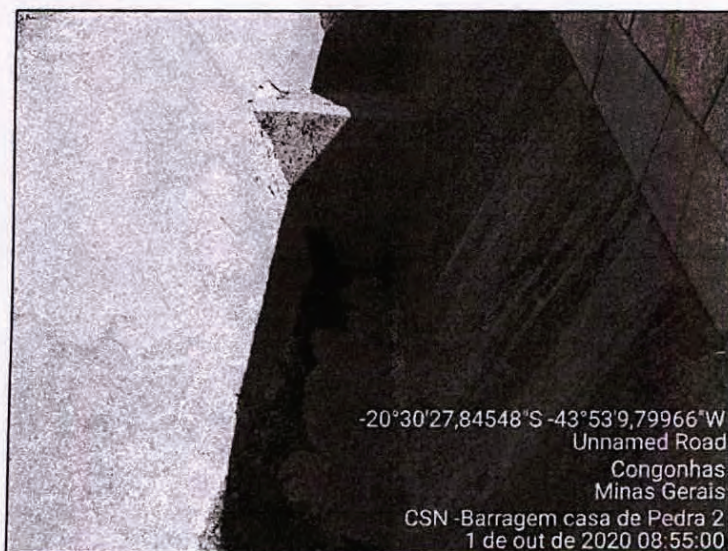


Foto 24 – Detalhe de pontos de surgência nas paredes da descida d'água de drenagem superficial.

- As estruturas de drenagem do dique de sela estavam limpas e desobstruídas na data da inspeção;
- Observou-se que as descidas d'água (ombreiras esquerda e direita) do dique de sela, em seu trecho final, foram redirecionadas para que o fluxo conduzido por essas estruturas não interfira nas leituras do medidor de vazão do dreno de fundo (Foto 25 e Foto 26). O fluxo conduzido pelo último trecho das descidas d'água ainda é direcionado para o medidor. No entanto, essa contribuição é muito pequena.



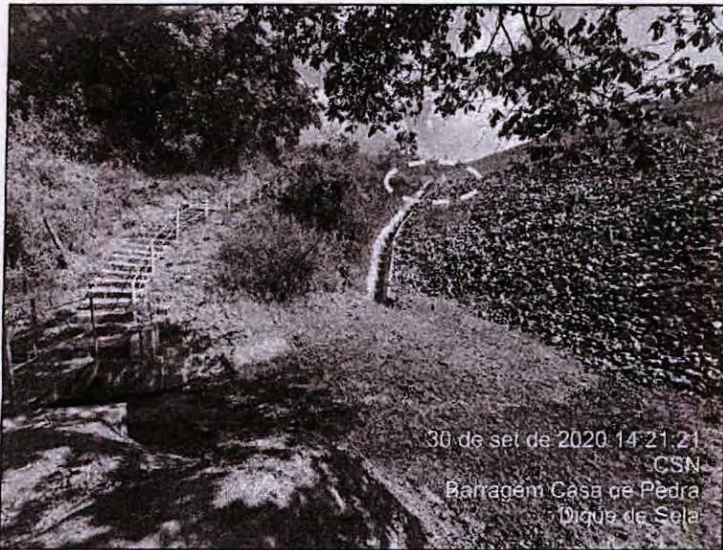


Foto 25 – Trecho final da descida d'água do sistema de drenagem superficial do dique de sela. Em destaque, ponto de desvio do fluxo, para que não seja coletado pelo medidor de vazão.



Foto 26 – Ponto de redirecionamento da descida d'água na ombreira direita do dique de sela.

## Recomendações à ANM

- ✓ **Recomendação\_50\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que recomponha e monitore o trecho do talude de jusante do dique de sela onde se observa o corrugamento de face;



- ✓ Recomendação\_51\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que investigue, trate e monitore as trincas observadas no talude de jusante do dique de sela;
- ✓ Recomendação\_52\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que promova a limpeza dos sedimentos acumulados a montante do emboque dos bueiros sob o acesso, que conduzem o fluxo do reservatório ao canal de aproximação do extravasor;
- ✓ Recomendação\_53\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor a remoção da tubulação existente no emboque de um dos bueiros sob o acesso;
- ✓ Recomendação\_54\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor a remoção das tubulações abandonadas sobre a mesma;
- ✓ Recomendação\_55\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor a limpeza da bacia de dissipação e do canal de restituição, restaurando esse último para a situação original de projeto;
- ✓ Recomendação\_56\_Casa\_de\_Pedra\_Casa\_de\_Pedra: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor a remoção da vegetação formada no talude adjacente ao canal extravasor, na ombreira direita.

#### **4.3.7. Avaliação do Plano de Segurança de Barragem (PSB) e Plano de Ações Emergenciais para Barragens de Mineração (PAEBM)**

Avaliação legal da documentação do PSB e PAEBM não foi enviada pela ANM à AECOM, não sendo possível a participação e análise por parte da AECOM.



#### 4.4. Barragem B4

A barragem B4 foi construída em 1978 com a finalidade de disposição de rejeito. Foram executados 3 alteamentos pelo método de montante, nos anos de 1994, 1996 e 2007 e em 2019 foi executada a berma de reforço a jusante da barragem com a finalidade de reforço em atendimento à Resolução nº 4 da ANM. Na data da vistoria a estrutura não se encontrava em nível de emergência.



Figura 46 – Vista frontal da Barragem B4.

##### 4.4.1. Avaliação das investigações geológico-geotécnicas

###### Considerações

- As investigações apresentadas em geral não apresentam a profundidade adequada, com apenas uma sondagem no maciço inicial atingindo a fundação sob o maciço inicial;
- Não são representadas nas seções geológico-geotécnicas as direções das foliações do maciço de fundação;
- Não foram apresentadas seções longitudinais ao barramento, não sendo caracterizada as relações de contato entre os dois materiais de fundação apresentados nas seções geológicas do projeto *As Is*, solo residual e filito alterado e as espessuras das camadas;
- Não foram apresentados levantamentos geofísicos na área da barragem e reservatório e, segundo o empreendedor, esses estudos não foram executados;
- A determinação dos parâmetros dos materiais foi embasada em ensaios de laboratório para apenas alguns materiais, e os demais foram adotados com base em experiência com materiais similares;
- Não foi possível verificar se todos os materiais definidos nas seções geológicas-geotécnicas foram ensaiados, se a quantidade de amostras por tipo material é representativa, e se a interpretação dos resultados dos ensaios é adequada, pois estas informações não foram apresentadas de forma consolidada;



- Não foram apresentados os laudos dos ensaios realizados.

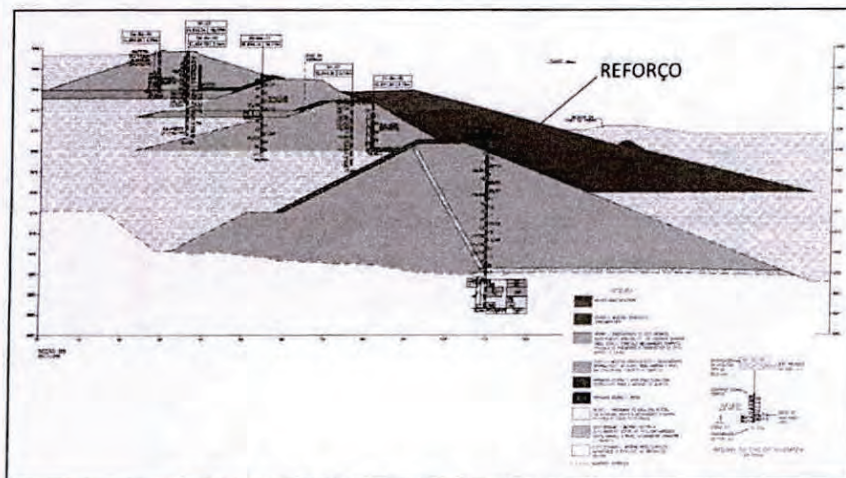


Figura 47 – Seção geológico-geotécnica BB – projeto As Is 2019.

### Recomendações à ANM

- ✓ **Recomendação\_1\_Casa\_de\_Pedra\_B4:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente as seções geológico-geotécnicas longitudinais ao barramento, embasadas nos mapas geológico-estrutural, geológico-geotécnico e nas investigações realizadas, com os *logs* das sondagens plotados, mostrando maciço da barragem e fundação, incluindo as regiões das ombreiras;
- ✓ **Recomendação\_2\_Casa\_de\_Pedra\_B4:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que elabore uma campanha complementar de investigação do maciço e fundação, com coleta de amostras para ensaios (caracterização, resistência e permeabilidade), em profundidades e distribuição tais que permitam um melhor conhecimento do maciço e fundação;
- ✓ **Recomendação\_3\_Casa\_de\_Pedra\_B4:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que, com base nas novas investigações realizadas, apresente as seções geológico-geotécnicas atualizadas do barramento, embasadas nos mapas geológico-estrutural, geológico-geotécnico e nas investigações, com os *mini-logs* de sondagens plotados (mostrando a caracterização dos materiais, SPT, permeabilidade entre outros), caracterizando o zoneamento do maciço e fundação, preferencialmente em seções transversais e longitudinais ao barramento, incluindo as regiões das ombreiras e do reservatório, em quantidade compatível com a complexidade geológico-geotécnica da estrutura;
- ✓ **Recomendação\_4\_Casa\_de\_Pedra\_B4:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente os relatórios e laudos dos ensaios realizados (campo e laboratório);
- ✓ **Recomendação\_5\_Casa\_de\_Pedra\_B4:** A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que elabore uma campanha de investigação geofísica, preferencialmente eletrorresistividade e potencial espontâneo, nas regiões do barramento e ombreiras e que apresente os dados geofísicos,



integrados no modelo geológico-geotécnico e hidrogeológico da barragem, preferencialmente em modelo 3D.

#### 4.4.2. Avaliação da instrumentação e monitoramento

##### Considerações

- Segundo o relatório do *checklist*, a instrumentação da barragem é composta por:
  - 14 piezômetros (PZs) de Casagrande – 03 automatizados;
  - 17 indicadores de nível d'água (INAs) – 06 automatizados;
  - 17 marcos superficiais (MSs);
  - 04 medidores de vazão.
- Não foi apresentada a planilha técnica da instrumentação com dados de instalação;
- Foi apresentado que o último teste de vida executado na instrumentação foi realizado em junho de 2018;
- Foram apresentados gráficos individuais com a leitura da instrumentação, nos últimos 12 meses, para 15 INAs e 02 PZs, contudo, não são plotados em conjunto com a identificação das leituras secas, a pluviometria, o nível do reservatório e a vazão do dreno de fundo;
- Não são apresentados gráficos individuais com as leituras históricas da instrumentação;
- São apresentados gráficos consolidados das leituras históricas e dos últimos 12 meses da instrumentação para 4 seções instrumentadas, contudo, não são plotados em conjunto com nível do reservatório e da vazão do dreno de fundo;
- Foram apresentadas as seções instrumentadas com as linhas freáticas plotadas referente à leitura da auditoria do 1º semestre, contudo, as seções correspondem às seções das análises de estabilidade, e em 3 delas não é possível distinguir a posição do instrumento na seção devido à presença das linhas das análises (Figura 48);

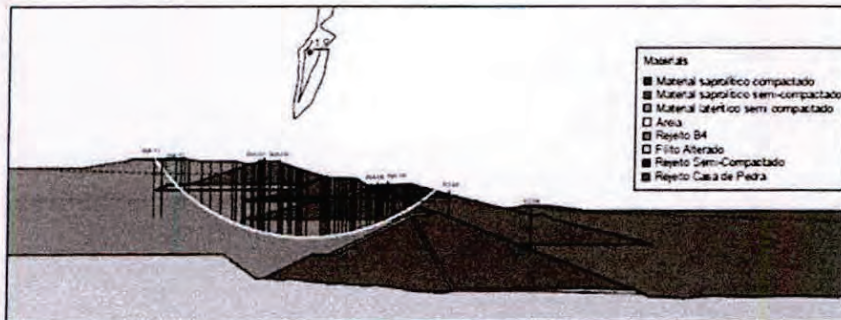


Figura 48 – Seção instrumentada BB' – apresentada em conjunto com a análise de estabilidade não permitindo a identificação da instrumentação.

- Os desenhos das seções instrumentadas não são claros sobre em quais elementos estão instalados cada um dos INAs e piezômetros, também não ficaram claras suas funções esperadas, sendo estimadas com base na profundidade traçada dos instrumentos nas seções apresentadas para esta avaliação;



- A análise da instrumentação existente na barragem mostra que poucos instrumentos monitoram a freática na porção de jusante da barragem, especialmente considerando que o talude de jusante já se encontra parcialmente soterrado pelos rejeitos da barragem de Casa de Pedra;
- A linha freática é traçada manualmente, a partir da instrumentação da barragem, e não é confirmada pelo emprego de rede de fluxo;
- Não foram apresentados dados recentes sobre o monitoramento dos deslocamentos da barragem.

**Recomendações à ANM**

- ✓ Recomendação\_6\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente a planilha técnica da instrumentação, com dados de locação, incluindo entre outras informações o sistema geográfico de referência adotado e dados construtivos dos instrumentos;
- ✓ Recomendação\_7\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que realize novos testes de vida na instrumentação;
- ✓ Recomendação\_8\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente gráficos individuais das leituras dos últimos 12 meses da instrumentação, plotando os níveis de controle, os limites de boca e fundo dos instrumentos, a identificação das leituras secas, em escala vertical adequada para as leituras, incluindo a pluviometria, o nível do reservatório e a vazão do dreno de fundo;
- ✓ Recomendação\_9\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente gráficos individuais das leituras históricas da instrumentação, plotando os níveis de controle, os limites de boca e fundo dos instrumentos, a identificação das leituras secas, em escala vertical adequada para as leituras, incluindo a pluviometria, o nível do reservatório e a vazão do dreno de fundo;
- ✓ Recomendação\_10\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente gráficos consolidados das leituras dos últimos 12 meses da instrumentação, preferencialmente para cada seção instrumentada, em escala vertical adequada para as leituras, plotando a instrumentação, a pluviometria, o nível do reservatório e a vazão do dreno de fundo;
- ✓ Recomendação\_11\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente gráficos consolidados das leituras históricas da instrumentação, preferencialmente para cada seção instrumentada, em escala vertical adequada para as leituras, plotando a instrumentação, a pluviometria, o nível do reservatório e a vazão do dreno de fundo;
- ✓ Recomendação\_12\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente a justificativa e função esperada da instalação de cada INA e piezômetro existente na estrutura;
- ✓ Recomendação\_13\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente as seções instrumentadas com linhas freáticas plotada referentes à



última leitura, identificando em cada instrumento os níveis de controle existentes, destacando as leituras mínimas e máximas dos últimos 12 meses. Apresentar essas informações sem os dados das análises de estabilidade para não prejudicar a leitura dos dados;

- ✓ Recomendação\_14\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda que a ANM solicite ao empreendedor que confirme as linhas freáticas pelo emprego de rede de fluxo com linhas equipotenciais e linhas de fluxo;
- ✓ Recomendação\_15\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que avalie ampliar a instrumentação da barragem com a instalação de INAs/piezômetros a jusante da barragem;
- ✓ Recomendação\_16\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente a superfície freática através de plantas com curvas equipotenciais, embasada nos dados de leitura da instrumentação da barragem, considerando cenários que englobem variação sazonal e variação no nível do reservatório;
- ✓ Recomendação\_17\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda que a ANM solicite ao empreendedor que apresente dados atualizados sobre o monitoramento dos deslocamentos da barragem, e que apresente a tendência dos deslocamentos da estrutura em planta, com vetores (direção, sentido e intensidade).

#### **4.4.3. Avaliação dos estudos hidrológicos e hidráulicos**

##### **Considerações**

- Os dados pluviométricos apresentados são baseados na estação pluviométrica da CSN, localizada na unidade de Casa de Pedra, em Congonhas, em operação desde 1981 até os dias de hoje. A série utilizada considera dados até 2018;
- Não foi apresentado estudo de consistência dos dados pluviométricos;
- Foi considerada a distribuição de Gumbel para representar a frequência de totais diários máximos anuais;
- Não foi apresentada a metodologia de desagregação de precipitações diárias em quantis sub-diários;
- Não foram realizados estudos para determinação da PMP;
- Foi apresentada curva cota x área x volume, mas não foi confirmado se a base de obtenção dela está também em SIRGAS2000;
- Não foi apresentada a metodologia de obtenção da curva de descarga do sistema extravasor, bem como os parâmetros envolvidos no cálculo;
- Não foi apresentado o detalhamento do amortecimento de cheias no reservatório e premissas assumidas, como níveis de partida das simulações;
- Os resultados do trânsito de cheias para TR 10.000 anos são resumidos na Figura 49;



Item	TR = 10.000 anos
Duração da Chuva Crítica (horas)	8
Altura da Chuva Crítica (mm)	266,41
Vazão Máxima Afluente (m³/s)	41,95
Vazão Máxima Efluente (m³/s)	15,12
Período de controle (horas)	8
Elevação soleira do extravasor (m)	950,78
Elevação da crista (m)	954,00
NA Máximo <del>Maximum</del> (m)	952,21
Borda livre (m)	1,79

Figura 49 – Resultados do trânsito de cheias para TR 10.000 anos.

- Foi calculada a sobrelevação devido à onda eólica junto ao barramento, resultando-se no valor de 0,50 metros;
- Não foi feita avaliação da borda livre mínima considerando o trânsito de cheias do reservatório e a sobrelevação devida à onda eólica;
- Não foi apresentada a linha d'água ao longo sistema extravasor, bordas livres, velocidades, dissipação de energia;
- Não foi apresentada verificação hidráulica do sistema de drenagem superficial do barramento;
- Para os estudos de *Dam Break* a Barragem B4 está localizada a montante da Barragem Casa de Pedra, portanto o rompimento da primeira causaria o rompimento da segunda;
- A formação de brecha foi definida utilizando a metodologia do *Guidelines For Dam Breach Analysis*, 2010;
- Foram avaliados seis cenários de falha simulando a ruptura isolada da Barragem B4, assim como a ruptura conjunta da Barragem B4 e da Barragem Casa de Pedra mais o Dique da Sela, por galgamento (*overtopping*), erosão interna (*piping*), liquefação, ruptura abrupta e em cascata (ruptura conjunta), sendo que o crítico foi o Cenário 1 – ruptura conjunta da Barragem B4 e Casa de Pedra pelo maciço principal;
- O estudo foi feito com o fluxo de fluido newtoniano (2017). Para atendimento da resolução 32 da portaria 70.389 DNPM/ANM está em processo de contratação os *Dam Breaks* com análise de fluido não-newtoniano. A modelagem bidimensional foi feita com o *software* HEC-RAS 5.0.3;
- O critério de parada da cheia foi o local denominado Chacrinha, distrito de Belo Vale, a aproximadamente 42,5 km das barragens, dado que a cheia artificial provocada pela ruptura hipotética das barragens seria inferior à cheia natural de TR = 2 anos.

#### Recomendações à ANM

- ✓ Recomendação\_18\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que realizar análise de consistência no posto pluviométrico Casa de Pedra, considerando outros postos disponíveis nas proximidades;
- ✓ Recomendação\_19\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que detalhe a metodologia de desagregação de chuvas diárias;



- ✓ Recomendação\_20\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor realizar estudo de determinação da PMP;
- ✓ Recomendação\_21\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que verifique se a curva cota x área x volume utilizada no estudo de amortecimento de cheias estão baseadas no sistema SIRGAS2000;
- ✓ Recomendação\_22\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que detalhe o cálculo da curva de vazão do extravasor;
- ✓ Recomendação\_23\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que detalhe o cálculo do trânsito de cheias no reservatório, explicitando os parâmetros envolvidos nos cálculos;
- ✓ Recomendação\_24\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que verifique a borda livre mínima da estrutura, considerando o trânsito de cheias e onda eólica conjuntamente;
- ✓ Recomendação\_25\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que detalhe o escoamento das cheias ao longo de todo o sistema extravasor, indicando perfis de linha d'água, velocidades, borda livre, entre outros;
- ✓ Recomendação\_26\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que verifique hidráulicamente a dissipação de energia do sistema extravasor;
- ✓ Recomendação\_27\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que verifique hidráulicamente o sistema de drenagem superficial da barragem e adjacências;
- ✓ Recomendação\_28\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que revise o estudo de *dam break* da barragem conforme Resolução nº 32, de 11 de maio de 2020, bem como atendendo as premissas apresentadas no Ofício Circular 02-2019 GMG/CEDEC.

#### 4.4.4. Avaliação das análises de estabilidade

##### Considerações

- Foram apresentadas as análises do relatório Avaliação de Segurança de Barragens – 1º semestre de 2020, elaborado pela empresa de consultoria Dam Projetos Engenharia;
- As análises foram feitas para 4 seções, para as condições atual, pseudo-estática, não drenada (pico) e pós gatilho (liquefeita), considerando a metodologia de Morgenstern-Price, sendo obtidos fatores de segurança acima dos mínimos exigidos por norma (Figura 50);
- As análises de estabilidade foram realizadas para as condições drenadas, adotando o critério de ruptura de Mohr-Coulomb e para as não-drenadas, *Vertical Stress Ratio*;



- Na análise de estabilidade para a condição pseudo-estática, foi considerado um coeficiente de aceleração de 0,05 g na direção horizontal e de 0,03 g na direção vertical, contudo, sem indicação do sentido de aplicação da força vertical;
- A fundação da barragem é pouco investigada, havendo dúvida quanto à sua caracterização adequada;
- A linha freática adotada para as análises tem por base a leitura máxima da piezometria, contudo, não é confirmada pelo emprego de rede de fluxo e não há teste de vida recentes da instrumentação.

Condição	FS mín.	Fatores de Segurança Obtidos					
		Seção AA	Seção BB		Seção CC		Seção DD
			Talude Superior	Talude Inferior	Talude Superior	Talude Inferior	
Condição Atual - Estática	1,5	2,3	1,9	2,1	2,3	2,2	2,8
Pseudo-estática	1,1	1,5	1,3	1,8	1,3	1,6	1,9
Condição Não Drenada (Pico)	1,3	1,9	1,7	2,2	1,9	2,1	2,5
Pós-Galho (Liquefeita)	1,1	1,7	1,2	2,2	1,2	2,2	2,5

Figura 50 – Resumo das Análises de Estabilidade.

### Recomendações à ANM

- ✓ Recomendação\_29\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda que a ANM solicite ao empreendedor que apresente novas análises de estabilidade em pelo menos 03 metodologias, tais como Bishop, Morgenstern-Price, Spencer ou outro;
- ✓ Recomendação\_30\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda que a ANM solicite ao empreendedor a apresentação de novas análises de estabilidade considerando as seções geológico-geotécnicas embasadas em novas investigações, conforme Recomendação\_3\_Casa\_de\_Pedra\_B4;
- ✓ Recomendação\_31\_Casa\_de\_Pedra\_B4: A AECOM recomenda que a ANM solicite ao empreendedor que apresente as novas análises de estabilidade considerando as linhas freáticas obtidas pelo emprego de rede de fluxo, observando que a linha freática deverá ser compatível com a leitura de instrumentação da barragem.

### 4.4.5. Avaliação do projeto de descaracterização

#### Considerações

- Segundo dados do empreendedor, o projeto de descaracterização foi elaborado pela empresa de consultoria DAM e prevê a execução de três fases, conforme a sequência construtiva:
  - Primeira Fase – execução dos canais de contorno:
    - o Execução do canal de contorno definitivo da ombreira esquerda (revestido em concreto e calculado para a vazão de uma cheia decamilenar) e dos canais de contorno secundários e provisórios da ombreira direita.
  - Segunda Fase – remoção dos rejeitos do reservatório e dos maciços de alteamento para montante:



- Está sendo prevista a remoção de todo o rejeito do reservatório (trinta milhões de toneladas) em 5 anos;
  - A remoção dos rejeitos do reservatório será feita em camadas de 3 metros por processo de dragagem até 50 m de distância dos maciços de alteamento;
  - O restante de camada de rejeito e dos maciços de alteamento será removido por processo mecânico com equipamento de terraplenagem;
  - Serão 14 etapas de atividade até a remoção de todos maciços alteados para montante;
  - Posteriormente será removido todo o rejeito do reservatório a montante do dique de partida.
- Terceira Fase – reprocessamento, espessamento, filtragem e empilhamento do rejeito:
- O rejeito dragado do reservatório será bombeado para a planta de beneficiamento, onde será espessado até atingir um teor de sólidos de 60%;
  - Após o espessamento o rejeito do rejeito, será filtrado num sistema de filtro prensa e após a filtragem deve com um teor de umidade de 17%, para ser depositado na pilha de rejeito onde será espalhado e compactado.
- Após a remoção de todo o rejeito do reservatório da barragem B4 será construída no local uma pilha de rejeito filtrado e compactado, com um sistema de drenagem de fundo;
  - A pilha será construída com rejeito filtrado e compactado em camadas de 50 cm até atingir um grau de compactação mínimo de 95% em relação ao Proctor Normal, e deverá atingir 168 metros de altura e 56 milhões de metros cúbicos;
  - Para a execução das obras de descaracterização está previsto:
    - Monitoramento pela leitura da instrumentação existente no maciço;
    - Inspeções visuais;
    - Leitura de deslocamento superficial e em profundidade;
    - Monitoramento de vibrações.
  - O cronograma prevê a conclusão da 15ª etapa de remoção de rejeito (dragagem) em 2025 e finalização do lançamento e compactação da pilha de rejeitos em 2035;
  - O modelo geológico-geotécnico e hidrogeológico da barragem para a elaboração do projeto de descaracterização é o mesmo detalhado anteriormente nos capítulos 4.4.1 e 4.4.2, sendo as considerações e recomendações feitas nestes dois capítulos também pertinentes para a elaboração do projeto de descaracterização.

#### **4.4.6. Vistoria de campo**

##### **Reservatório, talude de montante e crista**

- O reservatório da barragem B4 encontrava-se seco e sem formação de lago no momento da vistoria (Foto 27);





Foto 27 – Vista do reservatório a partir da crista.

- O talude de montante da estrutura encontrava-se com cobertura vegetal, sem indícios de estabilizações ou erosões (Foto 28);

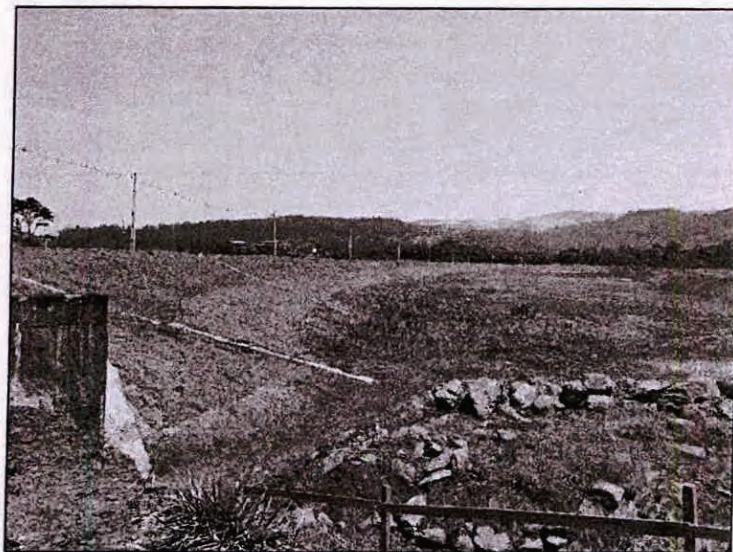


Foto 28 – Vista do talude de montante.

- A crista da barragem encontrava-se em boas condições no momento da vistoria, não sendo observadas trincas ou abatimentos (Foto 29).



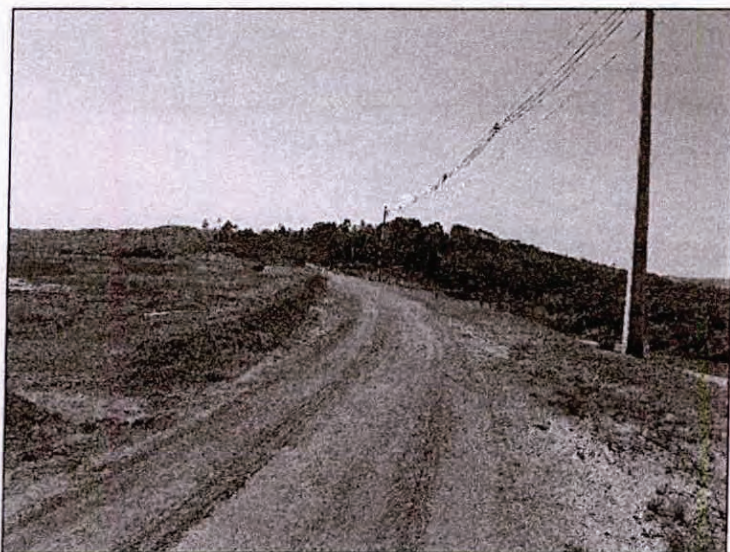


Foto 29 – Vista da crista da barragem a partir da ombreira direita.

### Taludes de jusante e Ombreiras

- Os taludes de jusante encontravam-se com cobertura vegetal adequada no momento da vistoria (Foto 30 e Foto 31);

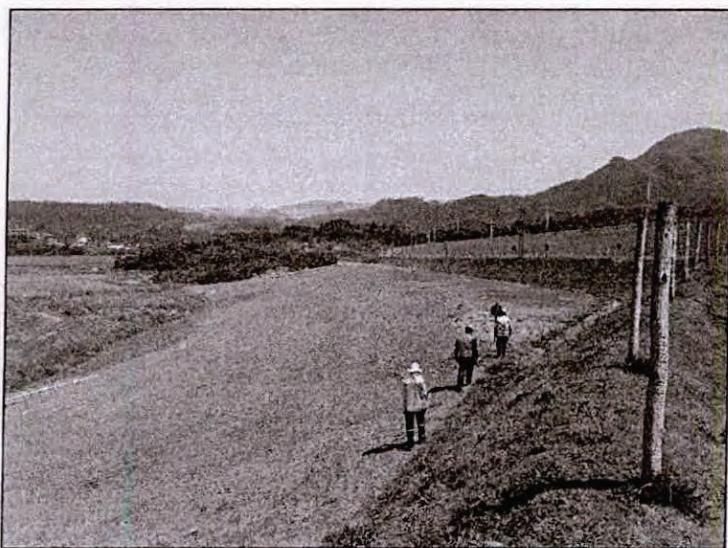


Foto 30 – Vista dos taludes de jusante localizados abaixo da estrada municipal.





Foto 31 – Vista do talude de jusante localizado acima da estrada municipal

- Sobre a crista do segundo alteamento passa uma estrada municipal (estrada Casa de Pedra);
- A estrutura encontra-se parcialmente soterrada no pé pelos rejeitos do reservatório da barragem de Casa de Pedra, que já encobriu totalmente o maciço inicial;
- Observa-se uma porção do talude da berma de reforço com presença de vegetação diferenciada, não tendo sido observados, contudo, a presença de surgências no talude (Foto 32);



Foto 32 – Porção do talude da berma de reforço com cobertura vegetal com coloração diferenciada.



- A jusante da estrutura encontra-se uma bermã de reforço na qual estão localizados os dispositivos de saída da drenagem interna da barragem.

## Instrumentação

- A instrumentação existente na estrutura encontrava-se em bom estado de manutenção e identificação no momento da vistoria (Foto 33);



Foto 33 – Detalhe da instrumentação presente na estrutura.

- A barragem conta com quatro saídas da drenagem interna, localizadas no que atualmente é o pé do talude da bermã de reforço, as localizadas mais próximo das ombreiras contam com medidor de vazão triangular, e as duas localizadas na parte central tem a vazão medida com auxílio de balde (Foto 34 a Foto 37);



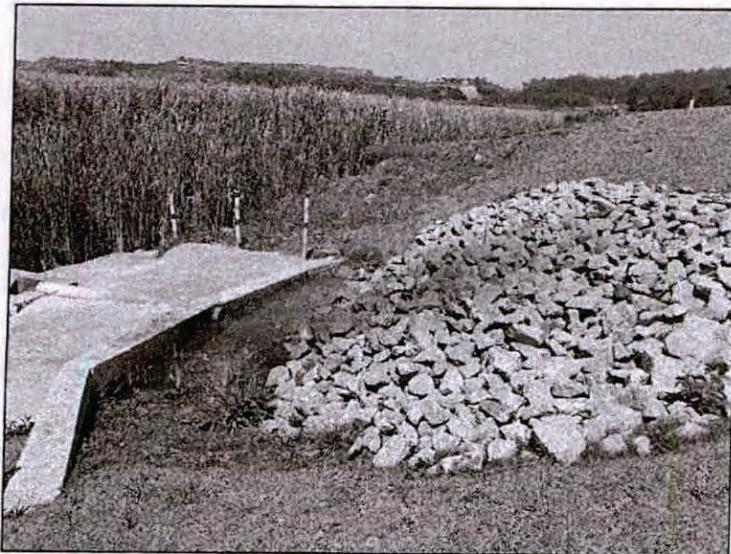


Foto 34 – Saída 01 do dreno de fundo da barragem.



Foto 35 – Medidor de vazão MV-B4-01 localizado na ombreira direita da estrutura.





Foto 36 – Saída 02 do dreno de fundo da barragem.



Foto 37 – Saída 03 do dreno de fundo da barragem.

- Observou-se a presença de colóides na saída do dreno de fundo da ombreira direita MV-B4-01 (Foto 38).





Foto 38 – Presença de colóides na saída do dreno de fundo MV-B4-01.

#### Sistema extravasor

- O sistema extravasor da Barragem B4, posicionado na ombreira esquerda, é composto por emboque com soleira lateral em concreto, seguida por trechos de canais retangulares e galerias sob o maciço e sob a estrada municipal, e bacia de dissipação intermediária, também em concreto (Foto 39 a Foto 43);

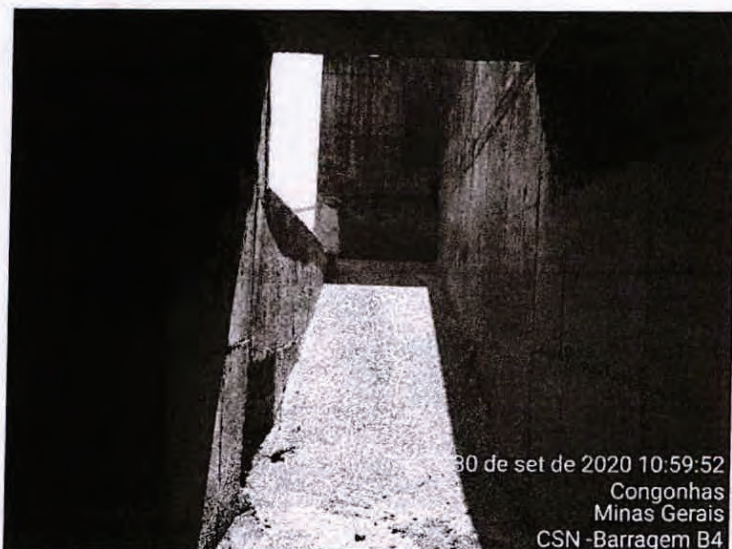


Foto 39 – Vista da soleira lateral, vertente, por dentro da galeria.

- A soleira lateral do sistema extravasor é provida de orifício retangular, para escoar as vazões de pequena magnitude (Foto 39);





Foto 40 – Vista do desemboque da galeria sob o maciço da barragem.



Foto 41 – Canal extravasor a jusante da galeria sob o maciço da barragem.

- Foram observadas surgências do terreno natural, na parede esquerda do canal extravasor, a jusante da galeria sob o maciço (Foto 42);



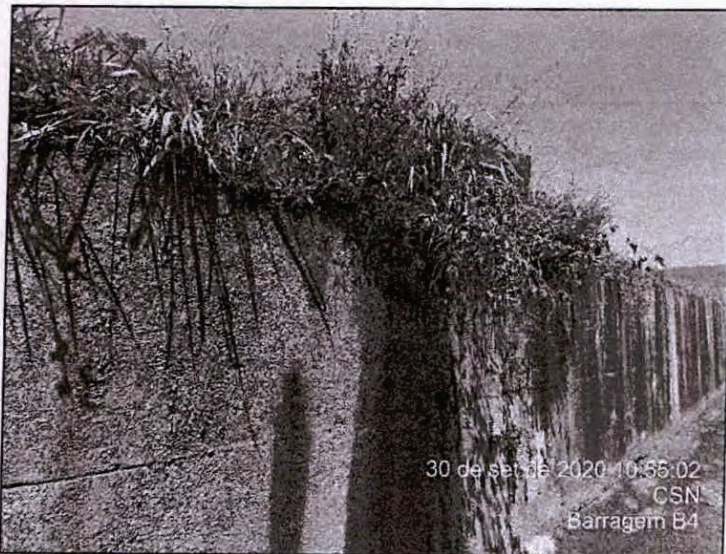


Foto 42 – Surgência observada na parede esquerda do canal extravasador, provenientes do terreno natural.

- Não foram observadas obstruções ou assoreamentos ao longo das estruturas extravasadoras;
- Não havia vertimento no dia da inspeção.



Foto 43 – Bacia de dissipação do sistema extravasador.



## Drenagem superficial

- O sistema de drenagem superficial da Barragem B4 é composto por canaletas de concreto periféricas nas ombreiras e nas bermas do maciço, cujo fluxo é conduzido para a calha do canal extravasador, por meio de bueiros (Foto 45 e Foto 46). No talude de montante há descidas d'água em concreto (Foto 44);
- Não foram identificadas anomalias ou obstruções nas estruturas de drenagem, na data da inspeção.



Foto 44 – Descida d'água no talude de montante.



Foto 45 – Canaletas do sistema de drenagem superficial.





Foto 46 – Vista do desemboque da drenagem superficial, no canal extravasador.

#### **4.4.7. Avaliação do Plano de Segurança de Barragem (PSB) e Plano de Ações Emergenciais para Barragens de Mineração (PAEBM)**

Avaliação legal da documentação do PSB e PAEBM não foi enviada pela ANM à AECOM, não sendo possível a participação e análise por parte da AECOM.



#### 4.5. Barragem B5

A barragem B5 foi construída em 1993 com a finalidade de disposição de rejeitos do beneficiamento de minério de ferro. A barragem foi implantada sobre uma camada de rejeito com alto teor de minério de ferro, depositado no fundo do vale. Sobre a crista da barragem, com aproximadamente 7,50 m de largura, passa a estrada de acesso municipal que liga o município de Congonhas a ao município de Jeceaba, e que também serve de via de acesso à mina. Em 2017 foram iniciadas as obras de descaracterização, que foram concluídas em 2020.

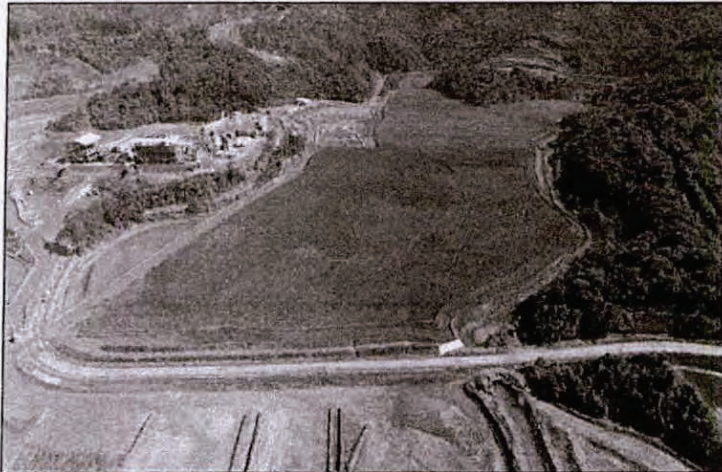


Figura 51 – Vista da barragem B5 em 2020, com sua descaracterização em estágio avançado.

##### 4.5.1. Avaliação das investigações geológico-geotécnicas

###### Considerações

- As investigações executadas na barragem (Figura 52), são no geral, sondagens percussivas de pequena profundidade, sendo executadas sondagens mistas que avançam além do maciço inicial, e atingem a fundação, apenas na seção AA' (Figura 53). Pelas investigações executadas nesta seção observa-se que a fundação da barragem apresenta uma variação grande da espessura de solo residual e de rejeito presente na fundação da estrutura, que são desconhecidos nas porções das seções nas quais as investigações não atingem a fundação;
- Não são representadas nas seções geológico-geotécnicas as direções das foliações do maciço de fundação;
- Não foram apresentadas seções longitudinais ao barramento;
- A determinação dos parâmetros dos materiais foi embasada em ensaios de laboratório apenas para o aterro compactado e para o rejeito de fundação. Para os materiais que os parâmetros não foram definidos com base em ensaios de laboratório, foram adotados parâmetros com base na correlação com ensaios SPT (solo residual da fundação) e de piezo-cone (Rejeito do reservatório) e baseados na experiência da



projetista (lastro/berma e drenagem interna). Não foram apresentados parâmetros para os outros materiais de fundação;

- Não foram apresentados levantamentos geofísicos na área da barragem e reservatório e, segundo o empreendedor, esses estudos não foram executados.

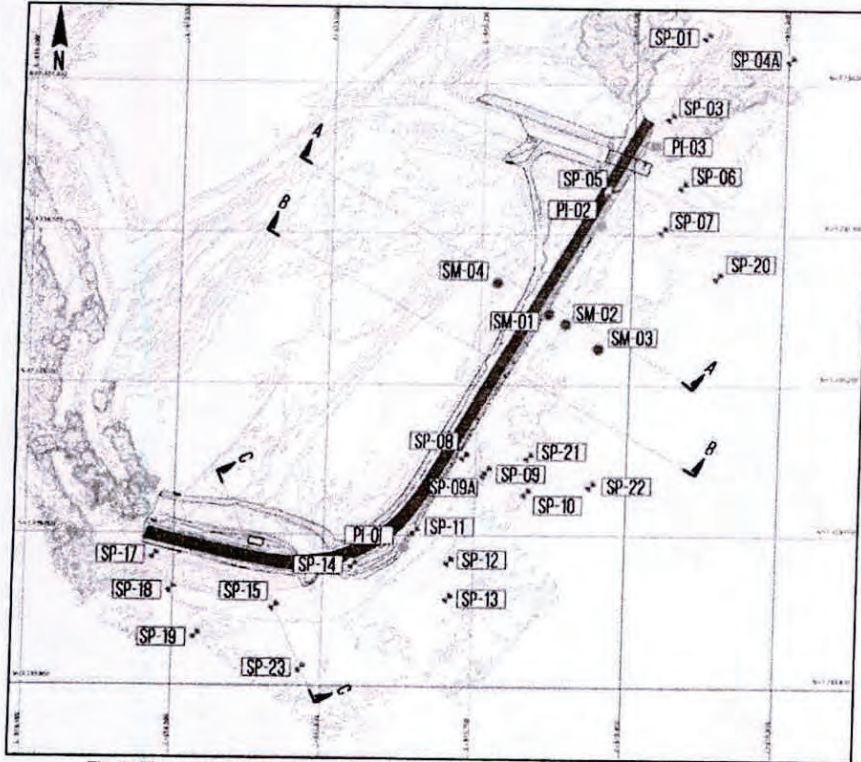


Figura 52 – Localização das Investigações geológico-geotécnicas realizadas na barragem B5.

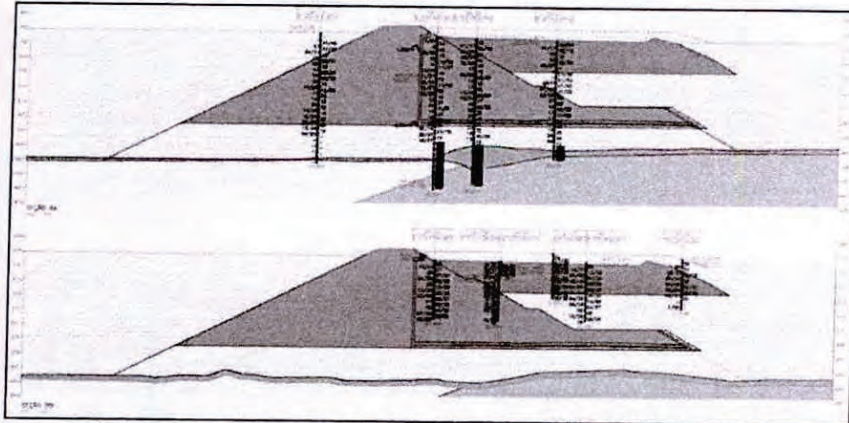


Figura 53 – Seção AA' e BB' com as sondagens realizadas. Seção AA' (em cima) com investigações atingindo a fundação e seção BB' com investigações curtas.



## Recomendações à ANM

Em função da conclusão das obras de descaracterização da barragem B5, não se vê a necessidade de recomendações com relação às investigações geológico-geotécnicas.

### 4.5.2. Avaliação da instrumentação e monitoramento

#### Considerações

- Segundo o relatório do *checklist*, a instrumentação da barragem é composta por:
  - 2 piezômetros;
  - 3 indicadores de nível d'água.
- O último teste de vida executado na instrumentação foi realizado em fevereiro de 2018;
- São apresentados 6 gráficos individuais das leituras dos últimos 12 meses da instrumentação, contudo, não são plotados em conjunto com os níveis de controle, identificação das leituras secas, a pluviometria, o nível do reservatório e a vazão do dreno de fundo;
- Não foram apresentados gráficos individuais com as leituras históricas da instrumentação;
- São apresentados gráficos consolidados das leituras históricas e dos últimos 12 meses da instrumentação, contudo, não são plotados em conjunto com a vazão do dreno de fundo;
- Não é identificado na planta de locação da instrumentação a localização do piezômetro PZ-B5-03, que também não é considerado na listagem de instrumentos da barragem;
- Verificou-se nos gráficos consolidados das leituras históricas que as leituras do nível do reservatório datam até meados de 2016, não havendo leituras a partir desta data;
- São apresentadas duas seções instrumentadas elaboradas para o relatório de auditoria do 1º semestre de 2020, com as linhas freáticas referente à leitura dos instrumentos da época, não sendo apresentadas as linhas freáticas referente à última leitura da instrumentação;
- As duas seções instrumentadas apresentadas mostram a linha freática junto ou muito próximo da superfície do terreno, não havendo informação de onde é obtida a posição da freática a montante da estrutura, uma vez que não há instrumentação dentro do reservatório ou formação de lago no reservatório que embasem esse dado;

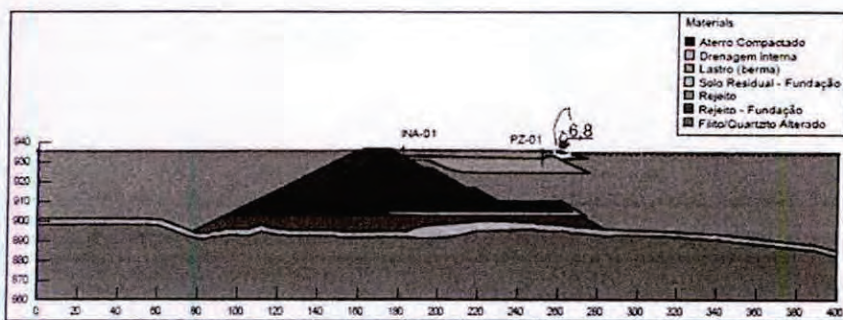


Figura 54 – Seção A-A – Freática definida pelos instrumentos instalados.



- ✓ Recomendação\_16\_Casa\_de\_Pedra\_B5: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que verifique hidráulicamente a dissipação de energia do sistema extravasor;
- ✓ Recomendação\_17\_Casa\_de\_Pedra\_B5: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente o projeto de drenagem superficial da B5, bem como estudo de proteção de superfícies do canal de cintura e terrapleno da descaracterização;
- ✓ Recomendação\_18\_Casa\_de\_Pedra\_B5: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor considerar os modos de falha e outros parâmetros da descaracterização da B5 no estudo de *Dam Break* da barragem de Casa de Pedra.

#### 4.5.4. Avaliação das análises de estabilidade

##### Considerações

- As análises de estabilidade apresentadas no relatório de *checklist* correspondem às elaboradas para o relatório Avaliação de Segurança de Barragens – 2º semestre de 2019, elaborado pela empresa de consultoria Dam Projetos Engenharia;
- As análises foram feitas para 2 seções, para as condições atual, pseudo-estática, não drenada (pico) e pós gatilho (liquefeita), considerando a metodologia de Morgenstern-Price, e foram obtidos fatores de segurança acima dos mínimos exigidos por norma (Figura 55);
- As análises de estabilidade foram realizadas para as condições drenadas, adotando o critério de ruptura de Mohr-Coulomb e para as não-drenadas, *Vertical Stress Ratio*;

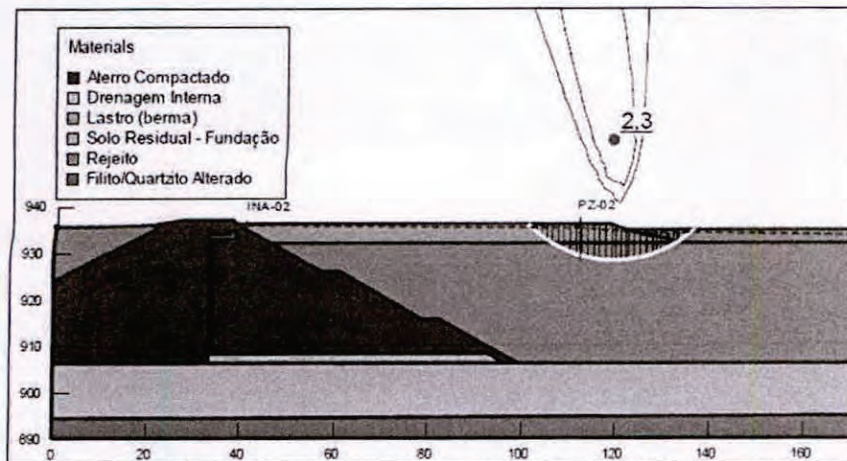


Figura 55 – Resultado da Análise de Estabilidade – Seção BB (Pseudo-Estática).

- Na análise de estabilidade para a condição pseudo-estática, foi considerado um coeficiente de aceleração de 0,05 g na direção horizontal e de 0,03 g na direção vertical, contudo, sem indicação do sentido de aplicação da força vertical;
- A fundação da barragem é pouco investigada, havendo dúvida quanto à sua caracterização adequada;



- A linha freática adotada para as análises tem por base a leitura máxima da piezometria, contudo, não é confirmada pelo emprego de rede de fluxo e não há teste de vida recentes da instrumentação.

#### Recomendações à ANM

- ✓ Recomendação\_19\_Casa\_de\_Pedra\_B5: A AECOM recomenda que a ANM solicite ao empreendedor que apresente novas análises de estabilidade em pelo menos 03 metodologias, tais como Bishop, Morgenstern-Price, Spencer ou outro.

#### 4.5.5. Avaliação do projeto de descaracterização

##### Considerações

- A descaracterização da barragem B5 já se encontra concluída;
- O projeto de descaracterização foi elaborado pela empresa de consultoria DAM engenharia e previu a execução de um canal de cintura na margem esquerda do reservatório e o preenchimento do reservatório com rejeito desaguado semi-compactado, formando um talude com inclinação média de 3,3%, decaindo para jusante;
- O projeto de descaracterização previu as seguintes etapas:
  - Primeira etapa – escavação, limpeza e regularização ao longo do eixo do canal de cintura;
  - Segunda etapa – adequação do bueiro existente e execução da canaleta em blocos;
  - Terceira etapa – preenchimento do reservatório com rejeito desaguado semi-compactado, mantendo o volume de amortecimento atual;
  - Quarta etapa – revestimento do canal com blocos de itabirito compacto, e revestimento dos taludes especificados com material laterítico semi-compactado e proteção vegetal;
  - Quinta etapa – execução da canaleta trapezoidal na crista da barragem;
  - Sexta etapa – preenchimento do reservatório na área de amortecimento com rejeito semi-compactado.
- A estabilidade dos taludes foi verificada para a condição durante e final a construção, para uma seção crítica;
- O modelo geológico-geotécnico e hidrogeológico da barragem para a elaboração do projeto de descaracterização é o mesmo detalhado anteriormente nos capítulos 4.5.1 e 4.5.2, sendo as considerações e recomendações feitas nestes dois capítulos também pertinentes para a elaboração do projeto de descaracterização.

#### 4.5.6. Vistoria de campo

##### Considerações

- A barragem B5 encontra-se já descaracterizada, não se observando em campo o maciço da barragem;
- O reservatório da estrutura encontra-se totalmente recoberto por solo argiloso que constitui a selagem do reservatório (Foto 47);





Foto 47 – Vista do reservatório a partir da ombreira direita.

- O talude de montante da estrutura encontra-se totalmente soterrado pelos rejeitos e pelo material da selagem do reservatório da barragem B5;
- Sobre a crista da estrutura passa a estrada municipal Casa de Pedra (Foto 48), e os taludes de jusante encontram-se soterrados sob os rejeitos da barragem Casa de Pedra;



Foto 48 – Vista da crista por onde passa a estrada municipal, a partir da ombreira direita.

#### **Sistema extravasor**

- A Barragem B5 está descaracterizada. Portanto, não possui sistema extravasor.



## Sistema de drenagem superficial

- A drenagem de contribuição da encosta é conduzida por meio de canal de cintura, na margem esquerda do reservatório, atualmente aterrado, até a galeria dupla retangular em concreto (antigo vertedor), sob a estrada municipal (Foto 49). Essa galeria também recebe a contribuição direta sobre parte do reservatório, conduzida por meio de canaleta revestida com pedra argamassada.
- O canal de cintura, com seção trapezoidal, é revestido com enrocamento em sua calha e os taludes superiores são apenas escavados, sem revestimento.
- Foram observados vários pontos com vegetação ao longo da calha do canal, pontos com empoçamento, além de acúmulo de sedimentos próximo às galerias (Foto 49).
- O reservatório aterrado não conta com qualquer proteção superficial, nem há sistema de drenagem para condução da precipitação direta para o canal de cintura. A drenagem é conduzida por declividade suave para a margem esquerda e para a região da crista. No entanto, foram observadas leiras longitudinais na margem esquerda do reservatório e no acesso lateral ao canal, que não permitem o escoamento superficial de forma difusa para a estrutura de drenagem (canal de cintura) (Foto 50). O fluxo, então, é conduzido para o canal de cintura, de forma concentrada, por meio de algumas aberturas nas leiras (Foto 51).



Foto 49 – Vista do emboque das galerias que conduzem o fluxo do canal de cintura e da canaleta em pedra argamassada próximo à crista. Observar sedimentos depositados na calha e vegetação se formando ao longo do canal.





Foto 50 – Vista de leira contornando o reservatório (sem proteção vegetal), cuja drenagem é conduzida para o acesso e para o canal de cintura, na margem esquerda.

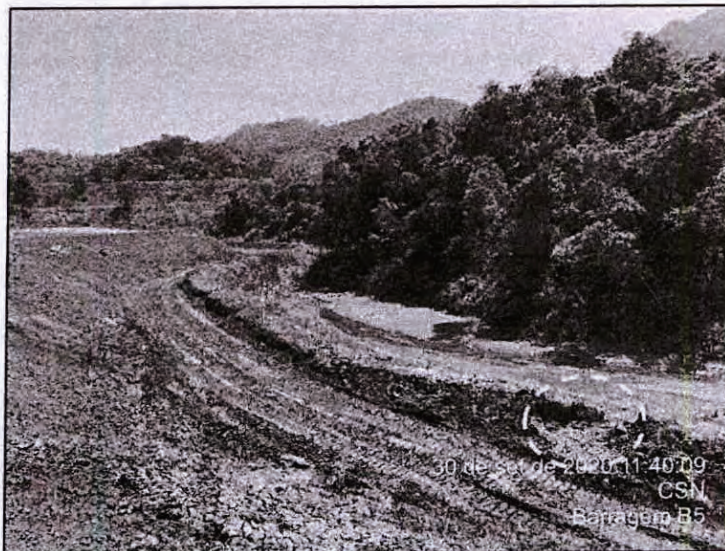


Foto 51 – Vista do canal de cintura e do acesso lateral, cuja drenagem é conduzida para o canal, por meio de escavação da leira. Observar vegetação, sedimentos e trecho com empocamento.





Foto 52 – Início do canal de cintura e desemboque do bueiro existente sob a estrada.

#### Recomendações à ANM

- ✓ Recomendação\_20\_Casa\_de\_Pedra\_B5: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor a limpeza da vegetação formada na calha do canal de cintura;
- ✓ Recomendação\_21\_Casa\_de\_Pedra\_B5: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor a remoção dos sedimentos acumulados no emboque da galeria a jusante do canal de cintura;
- ✓ Recomendação\_22\_Casa\_de\_Pedra\_B5: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor a implantação de sistema de drenagem para condução do fluxo da contribuição superficial proveniente do reservatório aterrado, para o canal de cintura, sem que haja formação de lâmina sobre o mesmo;
- ✓ Recomendação\_23\_Casa\_de\_Pedra\_B5: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor a implantação de proteção superficial no reservatório aterrado, para evitar processos erosivos.

#### 4.5.7. Avaliação do Plano de Segurança de Barragem (PSB) e Plano de Ações Emergenciais para Barragens de Mineração (PAEBM)

Avaliação legal da documentação do PSB e PAEBM não foi enviada pela ANM à AECOM, não sendo possível a participação e análise por parte da AECOM.



#### 4.6. Dique Esmeril IV

O dique Esmeril IV foi construído em 2011, em etapa única, para contenção dos sedimentos carregados da pilha de estéril do Bateateiro.



Figura 56 – Vista do reservatório e do talude montante do Dique do Esmeril IV.

##### 4.6.1. Avaliação das investigações geológico-geotécnicas

###### Considerações

- Não foi apresentado um mapa geológico-geotécnico em escala de detalhe para a área da barragem. O mapa apresentado como sendo o mapa geológico-geotécnico (Figura 57) não mostra as unidades geológico-geotécnicas superficiais encontradas na área, tais como depósitos de colúvio e tipos de solos, de acordo com o que é observado nas seções geológico-geotécnicas do projeto *As Is* de 2019;
- As seções geológico-geotécnicas apresentadas no relatório do *checklist*, que correspondem às elaboradas para o projeto *As Is* de 2019, não refletem a complexidade geológica do maciço de fundação relatada nas seções técnicas, com variação litológica entre as ombreiras, e com a presença de uma falha de cavalgamento encaixada no vale (Figura 58);
- A avaliação das seções apresentadas mostra que a maior parte das investigações executadas sobre o dique apresentam uma profundidade insuficiente, com poucas investigações avançando na fundação, além de existirem poucas investigações nas ombreiras. São observados ainda erros de revisão nas seções do projeto *As Is* de 2019, no que se refere à plotagem dos *mini-logs* de sondagem;



- Não foram apresentados levantamentos geofísicos na área da barragem ou reservatório;
- A determinação dos parâmetros dos materiais foi embasada em ensaios de laboratório para apenas alguns materiais, sendo os demais foram adotados com base em experiência com materiais similares;
- Não foi possível verificar se todos os materiais definidos nas seções geológicas-geotécnicas foram ensaiados, se a quantidade de amostras por tipo material é representativa e se a interpretações dos resultados dos ensaios é adequada, pois estas informações não foram apresentadas de forma consolidada;
- Não foram apresentados os laudos dos ensaios realizados;

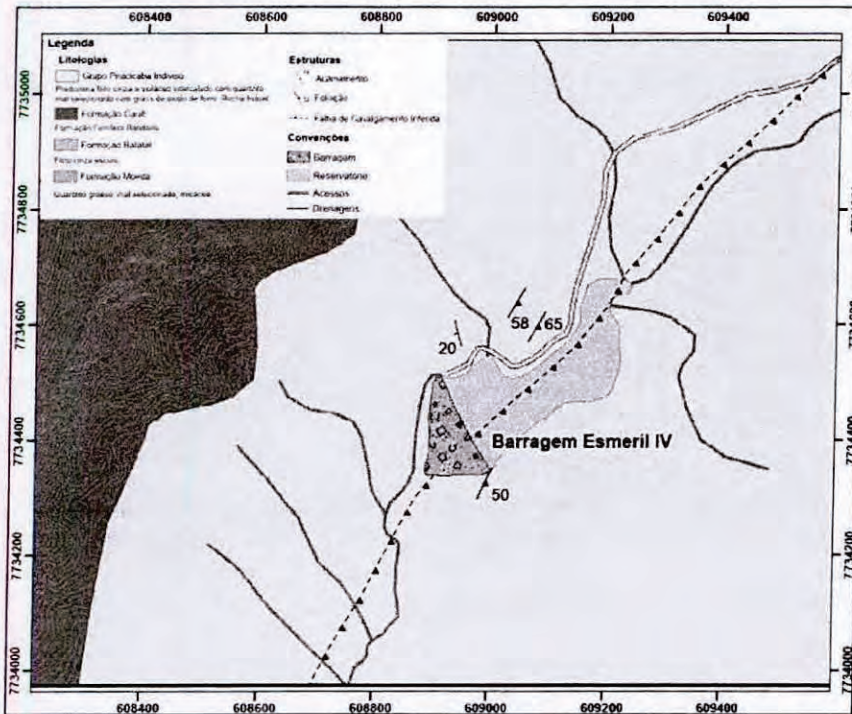


Figura 57 – Mapa geológico-geotécnico do dique do Esmeril IV – CSN.

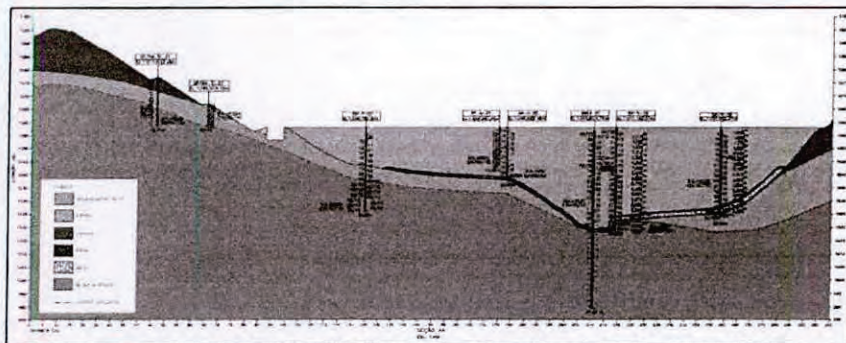


Figura 58 – Seção longitudinal da barragem – projeto As Is DAM 2019.



**Recomendações à ANM**

- ✓ Recomendação\_1\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente o mapeamento geológico-geotécnico atualizado de acordo com as unidades geotécnicas identificadas nas seções geológico-geotécnicas, em escala de detalhe para a barragem, as ombreiras e o reservatório;
- ✓ Recomendação\_2\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que elabore uma campanha complementar de investigação do maciço e fundação, com coleta de amostras para ensaios (caracterização, resistência e permeabilidade), em profundidades e distribuição tais que permitam um melhor conhecimento do maciço e da fundação;
- ✓ Recomendação\_3\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que revise e apresente as seções geológico-geotécnicas. Elas devem estar embasadas nos mapas geológico-estrutural, geológico-geotécnico e nas investigações realizadas, com os *logs* das sondagens plotados, mostrando maciço da barragem e fundação, preferencialmente em seções transversais e longitudinais, incluindo as regiões das ombreiras e do reservatório, de forma que reflitam a complexidade da geologia local;
- ✓ Recomendação\_4\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor a apresentação da metodologia e/ou referência bibliográfica para determinação dos parâmetros de resistência das unidades geológico-geotécnicas que não possuem ensaios específico;
- ✓ Recomendação\_5\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente os relatórios e laudos dos ensaios realizados (campo e laboratório);
- ✓ Recomendação\_6\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que elabore um relatório de consolidação de ensaios de campo e laboratório que deverá compilar e interpretar os resultados de todos os materiais presentes nas seções geológico-geotécnicas utilizadas para as análises de estabilidade, indicando a metodologia empregada para a definição de cada um dos parâmetros adotados para cada material;
- ✓ Recomendação\_7\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que elabore uma campanha de investigação geofísica, preferencialmente eletrorresistividade e potencial espontâneo, nas regiões do barramento e ombreiras, e que apresente os dados geofísicos, integrados no modelo geológico-geotécnico e hidrogeológico da barragem, preferencialmente em modelo 3D;
- ✓ Recomendação\_8\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que revise e reapresente os documentos do projeto *As Is* de 2019, no que diz respeito aos desenhos das seções geológico-geotécnicas.



## 4.6.2. Avaliação da instrumentação e monitoramento

### Considerações

- Segundo o relatório do *checklist*, a instrumentação do dique é composta por:
  - 11 piezômetros (PZs) de Casagrande – 03 automatizados;
  - 10 indicadores de nível de água (INAs) no maciço da barragem – 03 automatizados;
  - 02 indicadores de nível de água (INAs) na ombreira;
  - 01 medidor de vazão (MVs);
- Não foi apresentada a planilha técnica da instrumentação, com dados de instalação;
- Segundo o empreendedor, o último teste de vida da instrumentação foi realizado em fevereiro de 2018;
- Foram apresentados gráficos individuais com a leitura da instrumentação, nos últimos 12 meses, para 12 INAs e 11 PZs, contudo, não são plotados em conjunto com a identificação das leituras secas, a pluviometria, o nível do reservatório e a vazão do dreno de fundo;
- Não foram apresentados gráficos individuais com as leituras históricas da instrumentação;
- Foram apresentados gráficos consolidados das leituras históricas e dos últimos 12 meses da instrumentação para as 3 seções instrumentadas existentes, contudo, não são plotados em conjunto com a vazão do dreno de fundo;
- Não foram apresentadas as seções instrumentadas com as linhas freáticas referente à última leitura dos instrumentos plotadas;

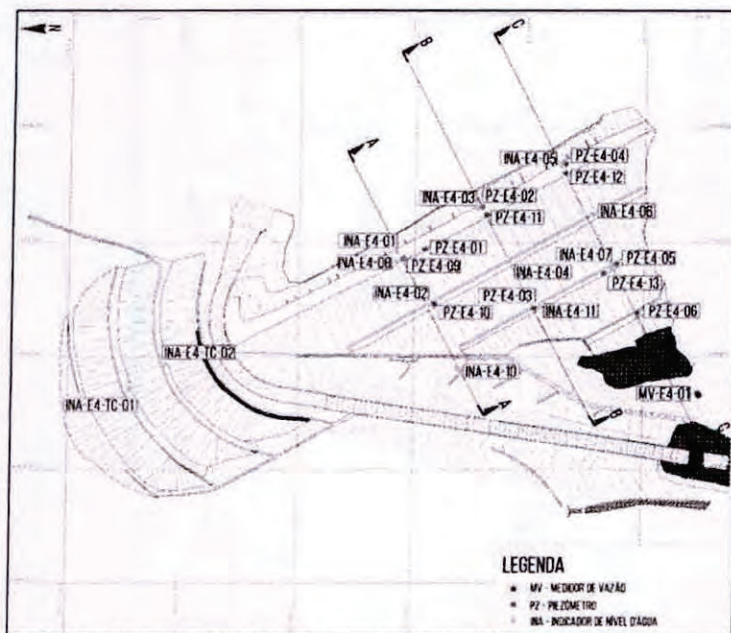


Figura 59 – Planta com a localização da instrumentação existente no dique segundo relatório do *checklist*.







- ✓ Recomendação\_10\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que realize novos testes de vida na instrumentação;
- ✓ Recomendação\_11\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente gráficos individuais das leituras dos últimos 12 meses da instrumentação, plotando os níveis de controle, os limites de boca e fundo dos instrumentos, a identificação das leituras secas, em escala vertical adequada para as leituras, incluindo a pluviometria, o nível do reservatório e a vazão do dreno de fundo;
- ✓ Recomendação\_12\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente gráficos individuais das leituras históricas da instrumentação, plotando os níveis de controle, os limites de boca e fundo dos instrumentos, a identificação das leituras secas, em escala vertical adequada para as leituras, incluindo a pluviometria, o nível do reservatório e a vazão do dreno de fundo;
- ✓ Recomendação\_13\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente gráficos consolidados das leituras dos últimos 12 meses da instrumentação, preferencialmente para cada seção instrumentada, em escala vertical adequada para as leituras, plotando a instrumentação, a pluviometria, o nível do reservatório e a vazão do dreno de fundo;
- ✓ Recomendação\_14\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente gráficos consolidados das leituras históricas da instrumentação, preferencialmente para cada seção instrumentada, em escala vertical adequada para as leituras, plotando a instrumentação, a pluviometria, o nível do reservatório e a vazão do dreno de fundo;
- ✓ Recomendação\_15\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente a justificativa e função esperada da instalação de cada INA e piezômetro existente na estrutura;
- ✓ Recomendação\_16\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente as seções instrumentadas com linhas freáticas plotada referentes à última leitura, identificando em cada instrumento os níveis de controle existentes, destacando as leituras mínimas e máximas dos últimos 12 meses. Apresentar essas informações sem os dados das análises de estabilidade para não prejudicar a leitura dos dados;
- ✓ Recomendação\_17\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda que a ANM solicite ao empreendedor que confirme as linhas freáticas pelo emprego de rede de fluxo com linhas equipotenciais e linhas de fluxo;
- ✓ Recomendação\_18\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente a superfície freática através de plantas com curvas equipotenciais, embasada nos dados de leitura da instrumentação da barragem, considerando cenários que englobem variação sazonal e variação no nível do reservatório;



- ✓ Recomendação\_19\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV A AECOM recomenda que a ANM solicite ao empreendedor que apresente como é feito o monitoramento dos deslocamentos da barragem;
- ✓ Recomendação\_20\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que revise e reapresente os documentos do projeto *As Is* de 2019, no que diz respeito aos desenhos do monitoramento da estrutura.

### 4.6.3. Avaliação dos estudos hidrológicos e hidráulicos

#### Considerações

- Os dados pluviométricos são baseados na estação pluviométrica da CSN, localizada na unidade de Casa de Pedra, em Congonhas, em operação desde 1981 até os dias de hoje. A série utilizada considera dados até 2019;
- Não foi apresentado estudo de consistência dos dados pluviométricos;
- Não foi apresentado mapa contendo os diversos usos e ocupação dos solos, para fins de caracterização do escoamento superficial, da área de drenagem;
- Foi considerada a distribuição de Gumbel para representar a frequência de totais diários máximos anuais;
- Não foi apresentada a metodologia de desagregação de precipitações diárias em quantis sub-diários;
- Não foram realizados estudos para determinação da PMP;
- Foi apresentada a curva cota x área x volume, mas não foi confirmado se a base de obtenção dela está também em SIRGAS2000;
- Não foi apresentada a metodologia de obtenção das curvas de descarga do sistema extravasor, bem como os parâmetros envolvidos no cálculo;
- Não foi apresentado o detalhamento do amortecimento de cheias no reservatório e premissas assumidas, como níveis de partida das simulações etc.;
- Os resultados do trânsito de cheias para TR 1.000 e 10.000 anos são resumidos na Figura 62;

Item	TR = 1.000 anos	TR = 10.000 anos
Duração Crítica (horas)	4,0	
Altura da Chuva Crítica (mm)	181	223
Vazão Máxima Afluente (m³/s)	39,9	63,1
Vazão Máxima Efluente (m³/s)	33,6	55,4
Período de controle (horas)	12	
Elevação soleira do extravasor (m)	1.054,00	
Elevação da crista (m)	1.058,00	
NA Máximo Maximorum (m)	1.055,90	1.056,80
Borda livre (m)	2,10	1,20

Figura 62 – Resultado do trânsito de cheias para TR 1.000 e 10.000.

- Não foi calculada a sobrelevação devido à onda eólica junto ao barramento;



- Não foi feita avaliação da borda livre mínima, considerando o trânsito de cheias do reservatório e a sobrelevação devida à onda eólica;
- Foi apresentada a linha d'água ao longo sistema extravasor, bordas livres, velocidades, dissipação de energia
- Não foi apresentada verificação hidráulica do sistema de drenagem superficial da barragem e escavação junto a ombreira direita (vertedouro);
- Para o estudo de *Dam Break* foram analisadas as seguintes rupturas hipotéticas:
  - Galgamento (*overtopping*) no qual o nível de água atinge a crista do dique na EL. 1.057,00 em decorrência da precipitação decimilênica de projeto e falha no sistema extravasor;
  - Erosão interna (*piping*) onde a ruptura terá início no aterro do maciço a partir da lâmina d'água inicial na EL. 1.054,00.
- As características geométricas das brechas assim como o tempo de formação das mesmas foram determinadas com base nas recomendações de *Fread, 1984 – A Breach Erosion Model for Earthen Dams* e do Manual BOSS DAMBRK;
- O estudo foi feito com o fluxo de fluido newtoniano. A modelagem bidimensional foi feita com o *software* HEC-RAS versão 4.1;
- O estudo elaborado avalia e acompanha a propagação da onda de cheia ao longo do vale onde está localizado o Dique do Esmeril IV em um trecho de aproximadamente 6,70 km a jusante do dique. O estudo foi limitado a este ponto uma vez que a cheia artificial provocada pela ruptura hipotética do dique seria inferior à cheia natural de TR = 10 anos após esse trecho;
- Os estudos de *dam break* para fluido não-newtoniano estão em fase de contratação.

#### Recomendações à ANM

- ✓ Recomendação\_21\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que realize análise de consistência no posto pluviométrico Casa de Pedra, considerando outros postos disponíveis nas proximidades;
- ✓ Recomendação\_22\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que detalhe a metodologia de desagregação de chuvas diárias;
- ✓ Recomendação\_23\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente mapa de usos e ocupação dos solos da área de drenagem, para fins de caracterização do escoamento superficial;
- ✓ Recomendação\_24\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor realizar estudo de determinação da PMP;
- ✓ Recomendação\_25\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que verifique se a curva cota x área x volume utilizada no estudo de amortecimento de cheias está baseada no sistema SIRGAS2000;



- ✓ Recomendação\_26\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que detalhe o cálculo da curva de vazão do extravasor considerado nos cálculos de trânsito de cheias;
- ✓ Recomendação\_27\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que detalhe o cálculo do trânsito de cheias no reservatório, explicitando os parâmetros envolvidos nos cálculos;
- ✓ Recomendação\_28\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que verifique a borda livre mínima da estrutura, considerando o trânsito de cheias e onda eólica conjuntamente;
- ✓ Recomendação\_29\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que detalhe o escoamento das cheias ao longo de todo o sistema extravasor, indicando perfis de linha d'água, velocidades, borda livre, dissipação de energia, etc., preferencialmente utilizando-se modelagem em 3D;
- ✓ Recomendação\_30\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que verifique hidráulicamente o sistema de drenagem superficial da barragem e escavação do vertedouro;
- ✓ Recomendação\_31\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que revise o estudo de *dam break* da barragem conforme Resolução nº 32, de 11 de maio de 2020, bem como atendendo as premissas apresentadas no Ofício Circular 02-2019 GMG/CEDEC.

#### 4.6.4. Avaliação das análises de estabilidade

##### Considerações

- Foram apresentadas as análises do relatório de inspeção regular do 1º ciclo de 2020, elaborado pela empresa de consultoria Dam Projetos Engenharia;
- As análises foram calculadas para 3 seções, para as condições atual estática e pseudo-estática, considerando os critérios da Eletrobrás e a metodologia de Morgenstern-Price, e obtiveram fatores de segurança acima dos mínimos exigidos por norma. Não foi realizada a análise de estabilidade para a condição de carregamento não drenado;
- As seções geológico-geotécnicas consideradas para as análises não refletem de maneira adequada a complexidade da geologia local da fundação da estrutura;
- A linha freática adotada para as análises tem por base a leitura da piezometria, contudo, não é confirmada pelo emprego de rede de fluxo e os testes de vida executados na instrumentação não são recentes;
- Não foi possível checar a fonte primária dos parâmetros de resistência adotados nas análises.



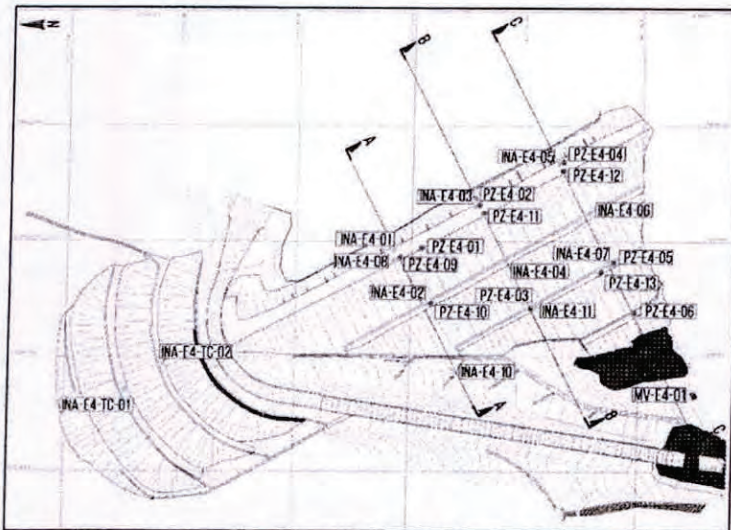


Figura 63 – Seções transversais e instrumentos de monitoramento existentes no dique Esmeril IV.

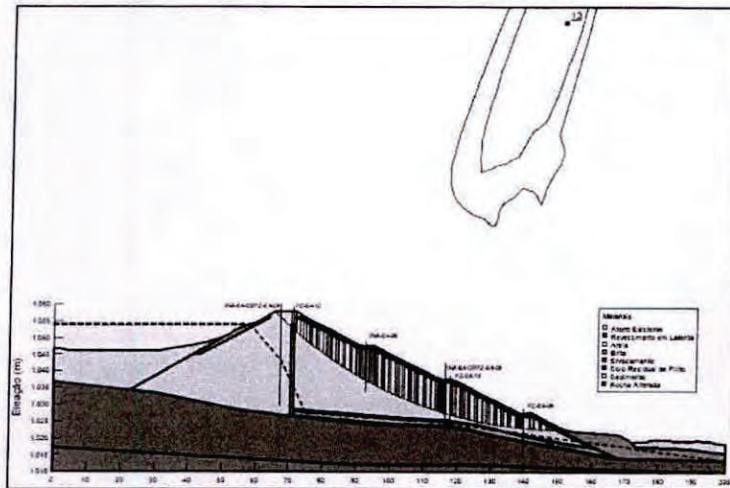


Figura 64 – Resultado da Análise de Estabilidade – Seção CC (Pseudo-Estática).

## Recomendações à ANM

- ✓ Recomendação\_32\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente as análises de estabilidade para os taludes da ombreira direita, considerando as direções da foliação e de fraturas;
- ✓ Recomendação\_33\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente novas análises de estabilidade em pelo menos mais 02 metodologias, tais como Bishop, Spencer ou outro;



- ✓ Recomendação\_34\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente novas análises de estabilidade para a condição de carregamento não drenada;
- ✓ Recomendação\_35\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que elabore um relatório de consolidação de ensaios de campo e laboratório que deverá compilar e interpretar os resultados de todos os materiais presentes nas seções geológico-geotécnicas utilizadas para as análises de estabilidade, indicando a metodologia empregada para a definição de cada um dos parâmetros adotados para cada material;
- ✓ Recomendação\_36\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que para as novas análises de estabilidade todos os parâmetros de resistência utilizados sejam apresentados com referência ao relatório de consolidação de ensaios de campo e laboratório, conforme Recomendação\_6\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV.

#### 4.6.5. Vistoria de campo

##### Reservatório, talude de montante e crista

- O reservatório do dique do Esmeril IV encontrava-se com o nível de água rebaixado no momento da vistoria, com parte dos sedimentos do fundo do lago emersos e com as porções normalmente submersas dos taludes internos expostas (Foto 53);
- Não se observou a presença de processos erosivos ou de instabilidade nos taludes internos do reservatório;

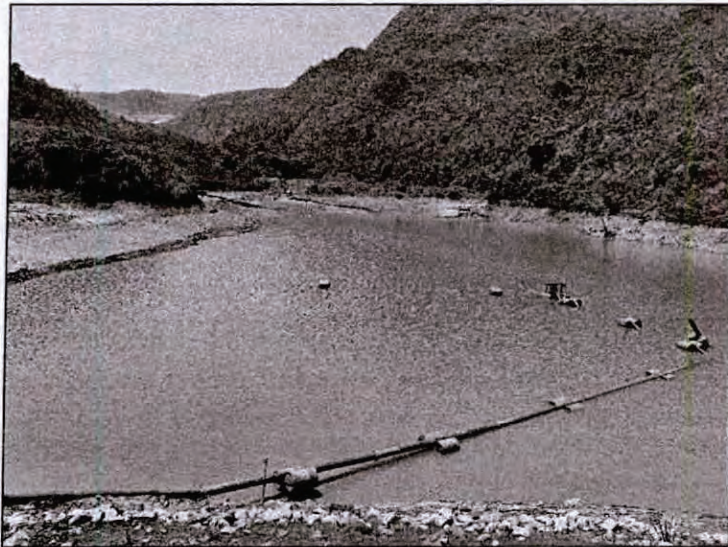


Foto 53 – Vista do reservatório do dique do Esmeril IV a partir da crista.



- O talude de montante da estrutura encontrava-se exposto no momento da vistoria. Não foi observada proteção no talude na porção acima do nível normal do reservatório (Foto 54), contudo, não se observaram indícios de processos erosivos ou de instabilização do mesmo. Ao longo do talude existem diversas canaletas de drenagem superficial;



Foto 54 – Vista do reservatório e talude de montante a partir da ombreira direita.

- Na porção abaixo do nível normal do reservatório, no talude de jusante, se observa uma faixa de proteção em *rip-rap* (Foto 55);



Foto 55 – Talude de montante do dique. Detalhe para a presença de canaletas de drenagem e faixa de proteção de *rip-rap*.



- A crista do dique encontrava-se em bom estado de manutenção, não se observando presença de trincas, abatimentos ou erosões (Foto 56).



Foto 56 – Vista da crista da estrutura apartir da ombreira direita.

#### Taludes de jusante

- Os taludes de jusante do dique encontravam-se em bom estado de conservação, com cobertura vegetal adequada (Foto 57);

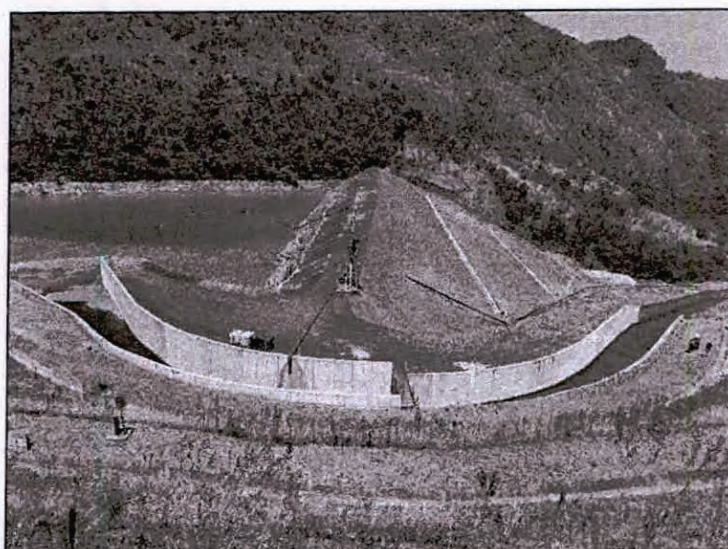


Foto 57 – Vista geral do dique apartir da ombreira direita.



- Não foram observados indícios de processos erosivos, abaulamentos, trincas ou surgências nos taludes (Foto 58 e Foto 59).

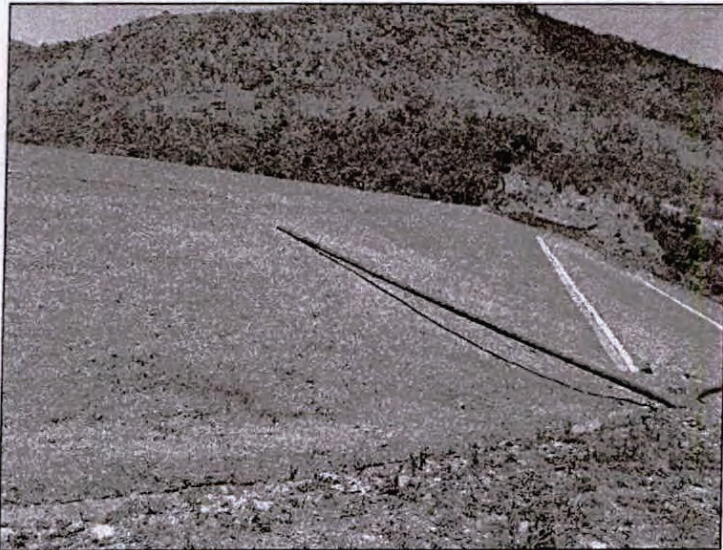


Foto 58 – Vista dos taludes de jusante superiores.



Foto 59 – Vista dos taludes de jusante inferiores, próximos à saída do dreno de fundo.

## Ombreiras

- O dique do Esmeril IV encontra-se instalado em um vale fechado de encostas de declividades acentuadas;
- Na ombreira esquerda foi possível observar o maciço de fundação da estrutura, constituído por solos de alteração de rochas meta-sedimentares, com direção de foliação principal mergulhando em direção



favorável à estabilidade da estrutura, na direção SE, para montante e ombreira esquerda (Foto 60 e Foto 61);

- Não foram observados problemas de erosão ou indícios de instabilização nos taludes em terreno natural da ombreira esquerda;



Foto 60 – Vista do encosto da estrutura com a ombreira esquerda, talude superior.



Foto 61 – Detalhe para o material de fundação observado na ombreira esquerda, onde pode se observar que a foliação mergulha em direção favorável à estabilidade da estrutura.

- O encosto da estrutura com a ombreira direita se dá em um talude de inclinação mais suave que a ombreira esquerda, estando localizado nesta ombreira o canal extravasor (Foto 62);





Foto 62 – Vista do encosto da estrutura com a ombreira direita.

- Na região de encaixe da crista do dique com a ombreira direita existe um corte no talude do terreno natural (Foto 63). Nestes taludes em terreno natural, se observam pelo menos três cicatrizes de escorregamento, localizadas nos dois taludes superiores do corte;



Foto 63 – Vista do corte em terreno natural no encosto da crista com a ombreira direita. Detalhe para as cicatrizes de escorregamento existentes no talude.

- Os dois escorregamentos, localizados no terceiro talude do corte em terreno natural, encontravam-se com tratamento por sacos de solo/cimento na porção do pé do escorregamento. O escorregamento mais a



jusante já se encontrava com o tratamento implantado (Foto 64), e o escorregamento mais a montante estava em fase de implantação (Foto 65);



Foto 64 – Vista do escorregamento mais a jusante. Detalhe para o tratamento executado no pé do talude com sacos de solo/cimento.



Foto 65 – Vista do escorregamento mais a montante. Detalhe para a preparação do local para tratamento do pé do talude com sacos de solo/cimento.

- A observação do material presente nestes escorregamentos, indica se tratar de uma rocha alterada quartzo-sercítica, não sendo possível verificar a direção principal da foliação (Foto 66).





Foto 66 – Detalhe para o material encontrado no escorregamento mais a montante.

#### Monitoramento

- A instrumentação na barragem encontrava-se em bom estado de manutenção e identificação (Foto 67);



Foto 67 – Detalhe da instrumentação existente na estrutura.

- A drenagem interna da estrutura é direcionada para o dreno de fundo, onde é monitorada a vazão com o auxílio de um medidor de placa triangular (Foto 68 e Foto 69);





Foto 68 – Vista da saída do dreno de fundo.



Foto 69 – Medidor de vazão em chapa triangular na saída do dreno de fundo.

#### **Sistema extravasor**

- O sistema extravasor da Barragem Esmeril IV, posicionado na ombreira direita, é formado por canal de aproximação em concreto, com transição até o canal extravasor constituído por calha lisa, com seção retangular no trecho em curva, seguido por calha com degraus até a bacia de dissipação. O fluxo é restituído para o terreno natural protegido por enrocamento (Foto 70 a Foto 72).



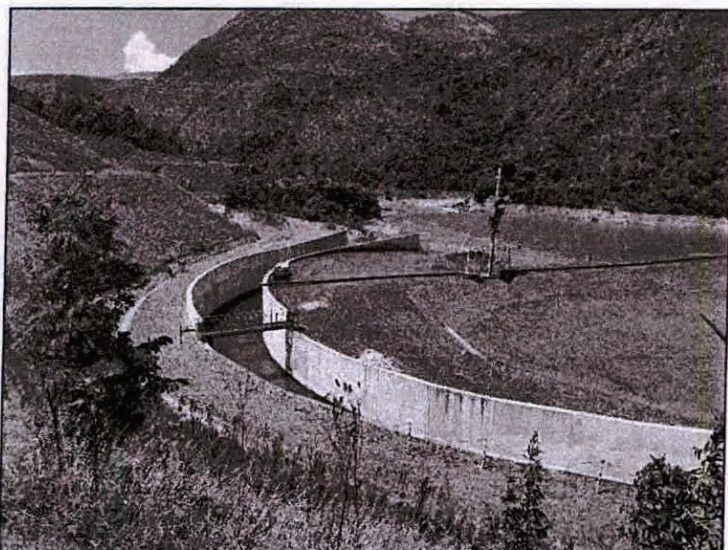


Foto 70 – Vista geral do trecho inicial do sistema extravasor, na ombreira direita da barragem, contemplando emboque e canal em calha lisa.



Foto 71 – Canal extravasor com degraus e vista da bacia de dissipação.





Foto 72 – Região de restituição do fluxo ao terreno natural, com blocos de enrocamento.

#### Drenagem superficial

- O sistema de drenagem superficial é composto por canaletas de berma, com declividade para uma canaleta periférica, com degraus, além de canaletas nos taludes de montante da barragem. Todas as estruturas são em concreto (Foto 73 a Foto 76);

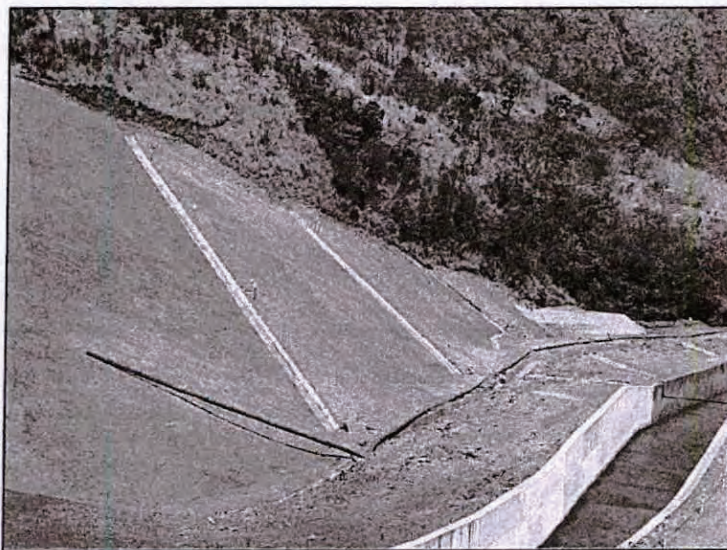


Foto 73 – Vista geral do sistema de drenagem superficial nos taludes de jusante, composto por canaletas de bermas e descidas d'água na ombreira direita.



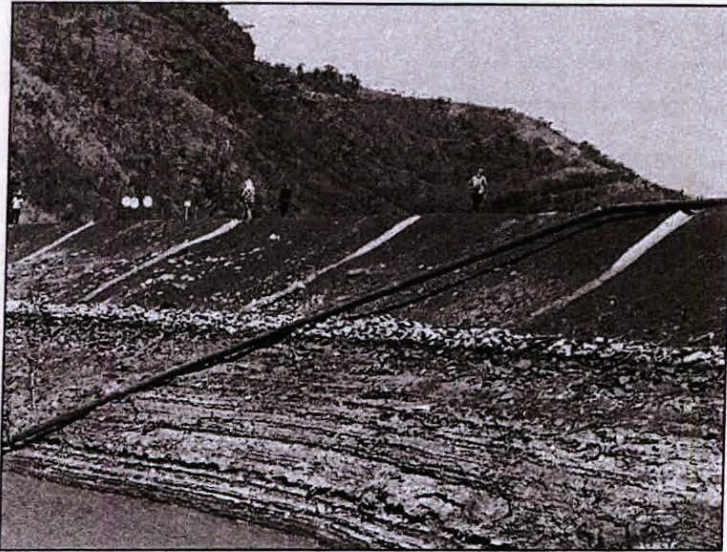


Foto 74 – Vista dos canaletas implantadas no talude de jusante.

- Não há estruturas de drenagem na ombreira esquerda. Não foram observadas erosões nessa região;
- Não foram observados acúmulo de água ou obstruções nas estruturas de drenagem superficial. Alguns pontos das canaletas de berma apresentavam trinças já tratadas (Foto 75).



Foto 75 – Canaleta de drenagem com trinca tratada.





Foto 76 – Canaleta periférica, com degraus, na ombreira direita.

#### Recomendações à ANM

- ✓ Recomendação\_37\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que realize o monitoramento do corte no talude do terreno natural na ombreira direita;
- ✓ Recomendação\_38\_Casa\_de\_Pedra\_Esmeril\_IV: A AECOM recomenda à ANM que solicite ao empreendedor que apresente análises de estabilidade do corte no talude do terreno natural na ombreira direita, incluindo rupturas globais do talude e a avaliação de uma possível obstrução do sistema extravasor pelo escorregamento.

#### 4.6.6. Avaliação do Plano de Segurança de Barragem (PSB) e Plano de Ações Emergenciais para Barragens de Mineração (PAEBM)

Avaliação legal da documentação do PSB e PAEBM não foi enviada pela ANM à AECOM, não sendo possível a participação e análise por parte da AECOM.






VICENTE MELLO  
Diretor Executivo



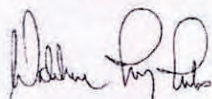
CAIO PRADO  
Diretor de Infraestrutura




ED A. TOMS  
Director Dams / Diretor Barragens



LUIZ EDUARDO VILLAS BÓAS  
Diretor do Contrato



WALDEMAR FELITTI  
Coordenador de Geotecnia e Geologia



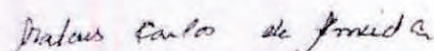
NEMUEL E. MAGALHÃES  
Gerente do Contrato



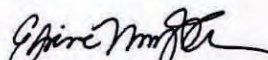
CLÁUDIO CASARIN  
Engenheiro Geotécnico Sênior



JUSTINO F. LEMOS PINHEIRO  
Geólogo Sênior



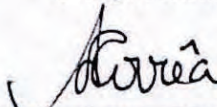
MATEUS CARLOS DE ALMEIDA  
Hidrólogo Sênior



ELAINE NOGOSEKE SOARES  
Geóloga Geotécnica



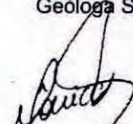
DAVID WILLIAN MASSICANO  
Engenheiro Geotécnico



ANA PAULA BARROSO CORRÊA  
Geóloga Sênior



FERNANDO PEREIRA AGUILAR  
Hidrólogo Sênior



MÔNICA ALMEIDA  
Hidrólogia Sênior