

FG-2201-NHB-A-BA-RT07-02

À

NORSK HYDRO BRASIL

Avenida Gentil Bitencourt, 549 - Batista Campos

Belém – PA

A/C

CAROLINA VARKALA

Departamento de Suprimentos de Bauxita & Alumina

Referência: Segurança e estabilidade dos depósitos de resíduos sólidos – DRS1 e DRS2**Local:** Barcarena – PA

Prezada,

Apresentamos o relatório técnico de avaliação da densidade de drenagem do DRS1, em atendimento à letra “D” do Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta, celebrado entre a HYDRO, ALUNORTE e o Ministério Público do Estado do Pará (MPPA), Ministério Público Federal (MPF), o Estado do Pará e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará. O DRS1 está localizado junto a produção da Alunorte, no município de Barcarena – PA.

À disposição para esclarecimentos julgados necessários,

Belo Horizonte, 03 de agosto de 2023

Atenciosamente,



Michel Fontes
DIRETOR
FONNTES GEOTÉCNICA



FONNTES
G E O T É C N I C A

FG-2201-NHB-A-BA-RT07-02

RELATÓRIO TÉCNICO DE AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

CLIENTE:



PROJETO:

**AUDITORIA DE SEGURANÇA E
ESTABILIDADE DOS DEPÓSITOS DE
RESÍDUOS SÓLIDOS DRS1 E DRS2**

BARCARENA - PA



Agosto/2023

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

SUMÁRIO

GLOSSÁRIO	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVO.....	6
3. DADOS UTILIZADOS	7
4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	8
5. APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA	9
5.1 LOCALIZAÇÃO	12
5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS	17
5.2.1 <i>Histórico de Investigações</i>	19
5.2.2 <i>Geologia Local</i>	20
5.3 DRENAGEM INTERNA	21
5.4 SISTEMA EXTRAVASOR E DRENAGEM SUPERFICIAL	21
5.5 INSTRUMENTAÇÃO	22
5.6 FECHAMENTO DO DEPÓSITO DRS1	22
6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO	25
7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....	27
7.1 NÍVEIS DE CONTROLE DE INSTRUMENTAÇÃO	36
7.2 MONITORAMENTO DA ESTABILIDADE FÍSICA DA ESTRUTURA	37
7.2.1 <i>Rotina Operacional de Leitura</i>	38
7.2.2 <i>Avaliação das Leituras Realizadas</i>	38
7.3 MONITORAMENTO DAS BACIAS DE CONTROLE	71
7.4 MONITORAMENTO DE POÇOS AMBIENTAIS	75
7.5 FREQUÊNCIA DE MONITORAMENTO	78
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
8.1 MONITORAMENTO DA ESTABILIDADE FÍSICA	79
8.2 MONITORAMENTO DAS BACIAS	81
8.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A DENSIDADE DE INSTRUMENTAÇÃO.....	81
8.4 MONITORAMENTO DOS POÇOS AMBIENTAIS	83
9. REFERÊNCIAS	83

GLOSSÁRIO

- “*As Built*” – “Como Construído” – expressão para definir o projeto que descreve o estado imediatamente após a implantação de uma estrutura.
- “*As Is*” – “Como está” – expressão para definir o projeto que descreve o estado atual de uma estrutura
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- Alunorte – Alumina do Norte do Brasil S.A. – empresa brasileira formada a partir de acordo bilateral pelos governos do Brasil e do Japão em 1976. Empresa produtora de alumina, responsável pela operação e manutenção do DRS 1 e DRS 2, signatária do TAC 3.1 e subsidiária da Hydro.
- ANA – Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico
- BC – Bacias de Controle (As bacias operacionais são BC1, BC 2, BC 3, BC 5 e BC 6; e as bacias descaracterizadas são BC4 e BC7)
- CL – Célula Leste
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil
- DOE – Diário Oficial do Estado
- DRS 1 – Depósito de Resíduos Sólidos nº 1 de propriedade da ALUNORTE
- DRS 2 - Depósito de Resíduos Sólidos nº 2 de propriedade da ALUNORTE
- ETEI – Estação de Tratamento de Efluentes Industriais
- FONNTES – Fonntes geotécnica Ltda – Empresa vencedora do edital para contratação de auditoria independente para atendimento ao item 3.1, do TAC 3.1.
- Hydro – Norsk Hydro ASA – Empresa Norueguesa, que tem na produção de alumínio o seu principal negócio signatária do TAC 3.1.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- MPF – Ministério Público Federal

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

- MPPA – Ministério Público do Estado do Pará
- MPSA – Mineração Paragominas
- MRN – Mineração Rio Norte
- NBR – Norma Brasileira
- NSPT – Número de golpes necessários para à cravação de amostrador de sondagem à percussão (spt), considerando apenas os 30 cm finais
- PA – Estado do Pará
- PEAD – Polietileno de alta densidade
- SEMAS – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará
- SPT - Ensaio de penetração padrão conforme a norma ABNT NBR 6484:2020.
- TAC 3.1 – item do Termo de Ajustamento de Conduta relativo à “Auditoria de segurança e estabilidade dos depósitos de resíduos sólidos”, assinado pela HYDRO, ALUNORTE, Ministério Público do Pará, Ministério Público Federal e Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará.
- UTM – Universal Transversa de Mercator (Sistema de projeção cartográfica)

1. INTRODUÇÃO

A Norsk Hydro ASA (HYDRO) fundada em 1905 é uma empresa norueguesa com atuação em 40 países nos setores da mineração, industrial e de energia. O Brasil é a principal fonte de matéria-prima do alumínio da HYDRO, a bauxita, extraída em Paragominas e Trombetas (PA). A bauxita é refinada e convertida em alumina (óxido de alumínio) na Alunorte, localizada no município de Barcarena (PA), que é a maior refinaria de alumina do mundo fora da China. Este processo gera um resíduo que é lavado, filtrado e armazenado em depósitos de resíduos sólidos, denominados DRS1 e DRS2, apresentados na Figura 1.1.



Figura 1.1 – Localização do empreendimento

Neste contexto, a Fonntes Geotécnica (FONNTES) foi contratada por meio do Edital de Contratação de Serviços de Auditoria de Segurança e Estabilidade dos Depósitos de Resíduos Sólidos DRS1 e DRS2. O objeto do contrato se trata da prestação do serviço de elaboração de auditoria da segurança e estabilidade dos depósitos de resíduos sólidos - DRS1 e DRS2, do termo de compromisso de ajustamento de conduta, Inquérito Civil - IC

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

n° 001/2018 - MP (SIMP n°000654 -710/2018) MPPA, Inquérito Civil n° 000980 - 040/2018 (Portaria no 12/2018) MPPA, Inquérito Civil no 1.23.000.000498/2018 - 98 MPF.

Os relatórios a serem elaborados pela FONNTES atenderão aos requisitos do Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta, celebrado entre a HYDRO, ALUNORTE, o Ministério Público do Estado do Pará (MPPA), Ministério Público Federal (MPF), o Estado do Pará e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará, incluindo:

- a) Compatibilidade do projeto executivo dos depósitos (DRS1 e DRS2) com a sua efetiva execução;
- b) Compatibilidade dos Depósitos de Resíduos Sólidos (DRS1 e DRS2) com a Lei Nacional de Segurança de Barragens (Lei n.º 12.334/2010);
- c) Aspectos estruturais Depósitos de Resíduos Sólidos (DRS1 e DRS2), a concepção geral do projeto, o arranjo e dimensionamento das estruturas, além de suas funcionalidades;
- d) Análise qualitativa da instrumentação com vistas a determinação da densidade de drenagem, a fim de aferir o comprometimento das águas superficiais e subterrâneas;**
- e) Avaliação da compatibilidade da localização dos DRS com o projeto, obedecendo à legislação aplicável, às normas ambientais e aos critérios econômicos, geotécnicos, estruturais, sociais e de segurança e risco, mediante necessidade de segurança estrutural, bem como considerando a possibilidade de existência de drenagens naturais possivelmente afetadas, tais como mananciais e olhos d'água;
- f) Análise da viabilidade da concepção proposta, em termos operacionais e manutencionais, ou seja, se os processos de controle necessários à disposição dos rejeitos da forma concebida são compatíveis com a estrutura existente e

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

- consequente produção dos rejeitos, levando em consideração as condições ambientais locais;
- g) Verificação da densidade e teor de umidade ótimo (período chuvoso e período seco) e suas variações, envolvendo valor médio e desvio padrão durante a fase de testes;
 - h) Revisão dos parâmetros geotécnicos de coesão e ângulo de atrito efetivo, a partir de ensaios de laboratório e de campo, e suas variações envolvendo valor médio e desvio padrão durante a fase de testes;
 - i) Análise de estabilidade, através de parâmetros geotécnicos (programas-slope/W1 e ensaios – Laboratórios de Geotecnia), e estanqueidade. Determinação do Fator de segurança, seu valor médio e seu grau de confiabilidade, após o período de testes;
 - j) Análise de estabilidade dos depósitos, utilizando-se como referência os fatores de segurança mínimos descritos na Norma ABNT NBR 13.028/2017, e Norma ABNT NBR 13029/2017
 - k) Revisão do projeto e disposição de drenos, filtros, medidores de vazão e seus processos executivos.
 - l) Revisão do Projeto de revestimento e monitoramento dos taludes;
 - m) Verificação do teor de umidade do material que condicionará a decisão de lançá-lo na área úmida ou aplicá-lo na área seca e suas variações ao longo do período de testes;
 - n) Interpretação dos resultados dos testes relativos à aplicação do material sobre as geomembranas;
 - o) Interpretação dos ensaios destrutivos e não destrutivos para verificação da estanqueidade da Geomembrana;
 - p) Análise e adequação da suficiência do Plano de Ação Emergencial, o qual deverá contemplar a identificação e análise das possíveis/situações de emergência; os procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura dos depósitos; os procedimentos preventivos e

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação; a estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência, utilizando-se como referência a Instrução Normativa nº02/2018, publicada no DOE nº 33.554, de 07 de fevereiro de 2018 e conforme estabelecido no Art. 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010.

Nesse contexto, o presente relatório apresenta os estudos realizados para atendimento do item d), relativo à avaliação da drenagem superficial do DRS1.

2. OBJETIVO

Em atendimento ao termo de compromisso de ajustamento de conduta, Inquérito Civil - IC nº 001/2018 - MP (SIMP nº000654 -710/2018) MPPA, Inquérito Civil nº 000980 - 040/2018 (Portaria no 12/2018) MPPA, Inquérito Civil no 1.23.000.000498/2018 - 98 MPF, o presente documento abordará o item **“d) Análise qualitativa da instrumentação com vistas a determinação da densidade de drenagem, a fim de aferir o comprometimento das águas superficiais e subterrâneas”**, para o depósito de resíduos sólidos DRS1.

Ao se iniciar os serviços foram realizadas reuniões com o MPPA para alinhamento do escopo das letras do TAC 3.1. Essas reuniões ensejaram no envio de um ofício elaborado pela FONNTES com esclarecimentos do entendimento técnico das perguntas para adequado encadeamento das atividades. Posteriormente foi recebido o “de acordo” do MPPA para elaboração dos serviços seguindo o raciocínio apresentado no ofício, que passou a ser utilizado como referência para elaboração de todos os relatórios. Vale destacar que esse esclarecimento foi muito importante para o direcionamento dos serviços, porque em alguns casos havia perguntas com temas que teriam melhor

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

abordagem em outras letras do TAC 3.1 ou ainda em outras cláusulas que não eram escopo do presente trabalho. Abaixo é reproduzido o extrato do ofício com a explicação do entendimento para resposta da pergunta **letra D)**, objeto desse relatório.

A questão central deste item é a instrumentação. Para responder de forma mais didática é necessário separar os tipos de instrumentação da estrutura em relação a finalidade de monitoramento a que se destinam. É possível dividir em três tipos de instrumentação:

- ✓ *Instrumentos destinados a monitorar a estabilidade física e estrutural dos Diques Laterais e dos resíduos armazenados, como piezômetros, indicadores de nível de água, marcos de recalque etc.;*
- ✓ *Medidores de nível de água armazenada nas baias que coletam as águas superficiais. São responsáveis por definir o momento de acionamento dos sistemas de bombeamento para envio da água para tratamento, além de garantir que há um volume de reserva para armazenar eventos pluviométricos de grande intensidade;*
- ✓ *Poço ambientais, localizados no entorno das estruturas. São responsáveis por verificar a qualidade da água subterrânea, identificando alterações que possam sugerir eventual contaminação devido a falha no sistema de impermeabilização;*

Para responder ao item propõe-se avaliar, para cada tipo de instrumentação, se a quantidade e localização são pertinentes e suficientes para o que se precisa monitorar. Serão apontadas regiões que podem carecer de incremento de instrumentos, caso existam. Por fim, será apresentado parecer técnico se a quantidade de instrumentos e frequência de leituras são adequados para se operar com segurança as estruturas.

3. DADOS UTILIZADOS

Foi recebido um volume elevado de informações enviadas pela ALUNORTE à FONNTES. Os dados efetivamente consultados para avaliação nesse relatório são apresentados na Tabela 3.1.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1**Tabela 3.1 – Documentos recebidos e utilizados na elaboração deste estudo**

CÓDIGO	TÍTULO DO DOCUMENTO	ELABORADO POR	DATA
RT-3540-54-G-1014 R02	Relatório Técnico do Projeto “As Is”	PIMENTA DE AVILA	29/07/21
MD-3540-54-G-091 R04	Memorial Descritivo do Projeto de Expansão do DRS Célula Leste	PIMENTA DE AVILA	01/07/10
RT-3540-54-G-581	Relatório Técnico de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação referente a outubro a dezembro/2021	PIMENTA DE AVILA	04/02/2022
RT-8400-54-G-180	Relatório de Acompanhamento da Instrumentação da Linha freática referente a novembro e dezembro/2021	LPS	14/02/2022
-	Níveis, Bordas Livres e Elevação das Bacias DRS1_DRS2_82F_2021	ALUNORTE	07/02/2022
-	NK03.01 - PM01-R0 - DRS1	ALUNORTE	07/02/2022
RT-469137-54-G-0003 DRS1 RISR 2021.2	Relatório da Inspeção de Segurança Regular do DRS1 2021/2	GEOCONSULTORIA	11/01/2022
-	Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas do DRS1	ALUNORTE	08/02/2022
-	Resultados Hydro Alunorte 2021 a 2022 DRS2	ALUNORTE	08/02/2022
DK-3044436-54-Z-002 01	Data Book da Instrumentação da Carta de Controle do DRS1	GEOPROJETOS	10/08/22
RT-3540-54-G-532	Relatório Técnico de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação – Setembro/2018	PIMENTA DE AVILA	29/11/18

4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Durante a definição da estrutura dos documentos a serem produzidos para a auditoria foi estabelecido que todos os relatórios apresentariam capítulos básicos introdutórios, que pudessem contextualizar qualquer leitor, independentemente do acesso a outros relatórios dessa auditoria. Por isso, optou-se por reproduzir em todos os documentos um conteúdo introdutório que permita ao leitor o entendimento básico da localização, geologia e fisiografia do projeto da estrutura em avaliação. Este conteúdo introdutório,

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

comum a todos os relatórios de cada letra específica do Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) 3.1, contempla os itens 1 a 5.

Nestes termos, o presente relatório foi organizado da seguinte forma:

- Introdução, contendo apresentação do documento e do TAC 3.1 que resultou no contrato para auditoria documental;
- Objetivos do presente documento, indicando a letra específica da TAC 3.1 que será atendida;
- Dados utilizados/consultados para o atendimento à letra específica da TAC 3.1;
- Explicações sobre a organização do documento;
- Apresentação da estrutura em estudo, nivelando o conhecimento básico do leitor sobre o tema;
- Metodologia de avaliação da letra relativa ao presente relatório;
- Desenvolvimento dos estudos relativos à letra do presente relatório;
- Considerações finais;
- Referências bibliográficas.

5. APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA

Conforme indicado no Relatório Técnico do Projeto “As Is”, elaborado pela PIMENTA DE AVILA em 2021, doc. RT-3540-54-G-570-R01, o depósito DRS1 foi projetado para armazenar os resíduos industriais advindos do beneficiamento da bauxita. Até o ano de 2005, os resíduos industriais eram provenientes exclusivamente do beneficiamento da bauxita da Mineração Rio do Norte (MRN) e, posteriormente a esta data, iniciou-se o beneficiamento da bauxita proveniente da Mineração Bauxita Paragominas (MBP).

O relatório acrescenta que, até novembro de 2018, o sistema utilizado pela ALUNORTE para desagüamento dos resíduos era por filtro tambor, obtendo-se um resíduo com

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

cerca de 60% de teor de sólido. A partir de novembro de 2018, passou-se a utilizar o sistema de filtragem do resíduo por filtro prensa, obtendo-se um teor de sólidos de aproximadamente 78%.

No doc. RT-3540-54-G-570-R01, a PIMENTA DE AVILA (2021) informa que o início da construção do DRS1 ocorreu em 1994. A Figura 5.1 indica os elementos existentes no DRS1 e, a seguir, apresenta-se a sequência construtiva do DRS1:

- 1994/1995 – Implantação da Célula Inicial em etapa única;
- 1997 – Implantação das Células 1 e 2 em etapa única;
- 1998 – Implantação da Célula 3 em etapa única;
- 1999 – Implantação das Células 4 e 5 em etapa única;
- 2000 – Implantação da Célula 6 em etapa única;
- 2003 – Implantação da Célula 7 em etapa única;
- 2004-2006 – Alçamento a jusante dos diques periféricos das células existentes;
- 2006/2007 – Implantação das Célula Sul em etapa única;
- 2009/2010 – Implantação da Célula Leste 1 (CL1) em etapa única;
- 2009/2010 – Implantação das Bacias de Controle BC3 e BC4;
- 2010 – Implantação da Célula Leste 2 (CL2) em etapa única;
- 2011/2012 – Implantação da Célula Leste 3 (CL3) em etapa única;
- 2012 – Implantação das Bacias de Controle BC5 e BC6;
- 2019 – Implantação do Acesso Externo à Célula Leste 3 (CL3).

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

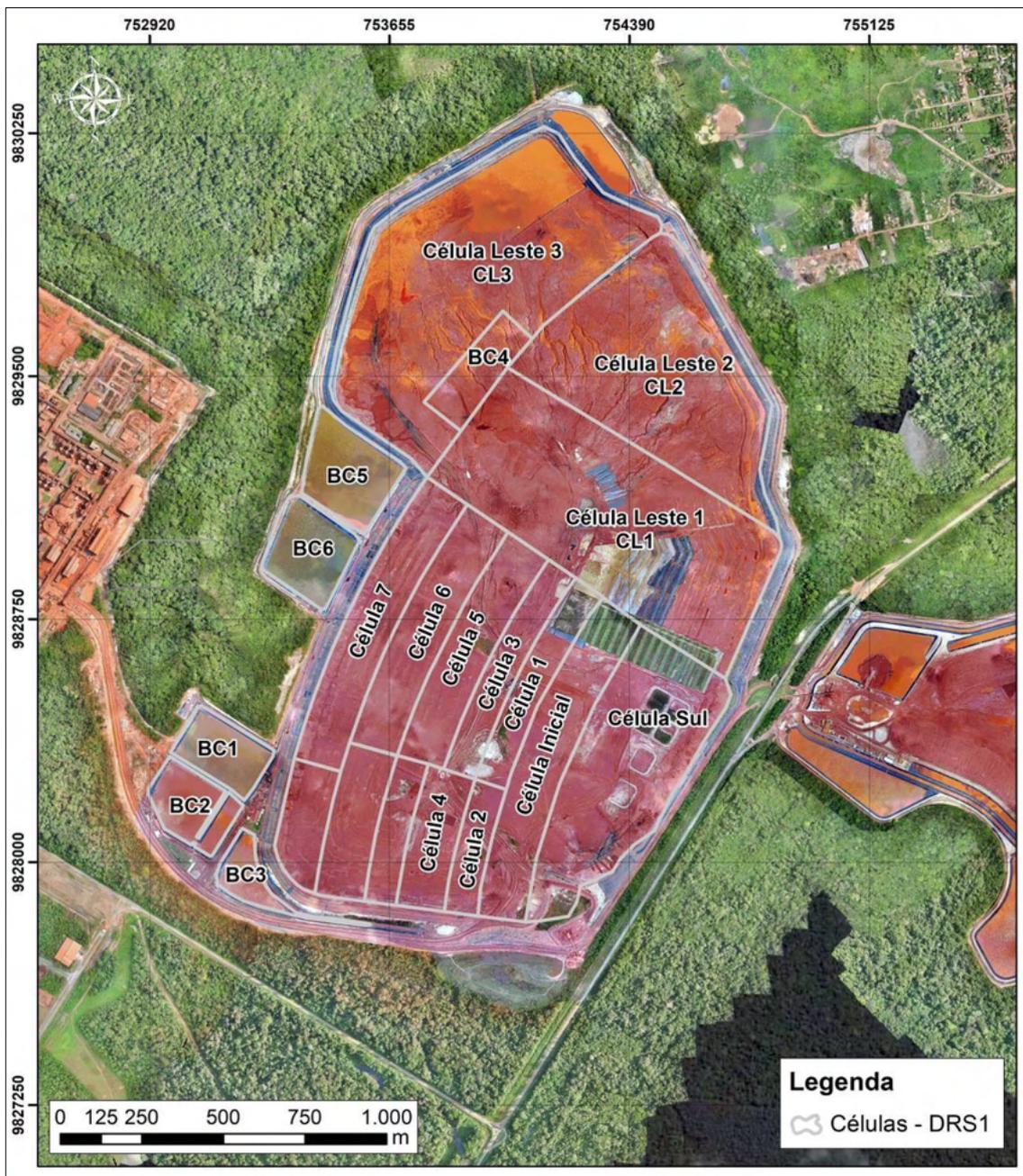


Figura 5.1 – Identificação das células e bacias de contribuição do DRS1 (Pimenta de Avila, 2021).

A partir de 2003, com o projeto de implantação da célula 7, a PIMENTA DE AVILA assumiu a função de projetista do DRS1, responsabilizando-se pela elaboração dos projetos posteriores a esta data. Acrescenta-se que a nomenclatura “DRS1” passou a ser

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

utilizada após a implantação da Célula Sul. Anteriormente, o depósito era referido como “DRS – Área 54A”.

5.1 LOCALIZAÇÃO

Localizados no município de Barcarena, no estado do Pará, o sistema de disposição de resíduos pertencente à ALUNORTE é composto pelos Depósitos de Resíduos Sólidos DSR1 e DSR2 e situa-se em torno das coordenadas UTM/DATUM SIRGAS 2000 754.812 E 9.828.482 S.

Os depósitos se encontram a uma distância de aproximadamente 120 km da capital Belém e o acesso se dá pela rodovia estadual PA-481. A planta industrial da ALUNORTE em Barcarena apresenta influência mundial na produção de alumina, colaborando para o desenvolvimento da região.

Logo a jusante dos depósitos DRS1 e DRS2 estão localizadas a bacia hidrográfica do rio Murucupi e diversas comunidades que direta ou indiretamente possuem influência do empreendimento.

A Figura 5.2 apresenta o mapa de localização do sistema de disposição de resíduos, indicando os Depósitos DRS1 e DRS2.

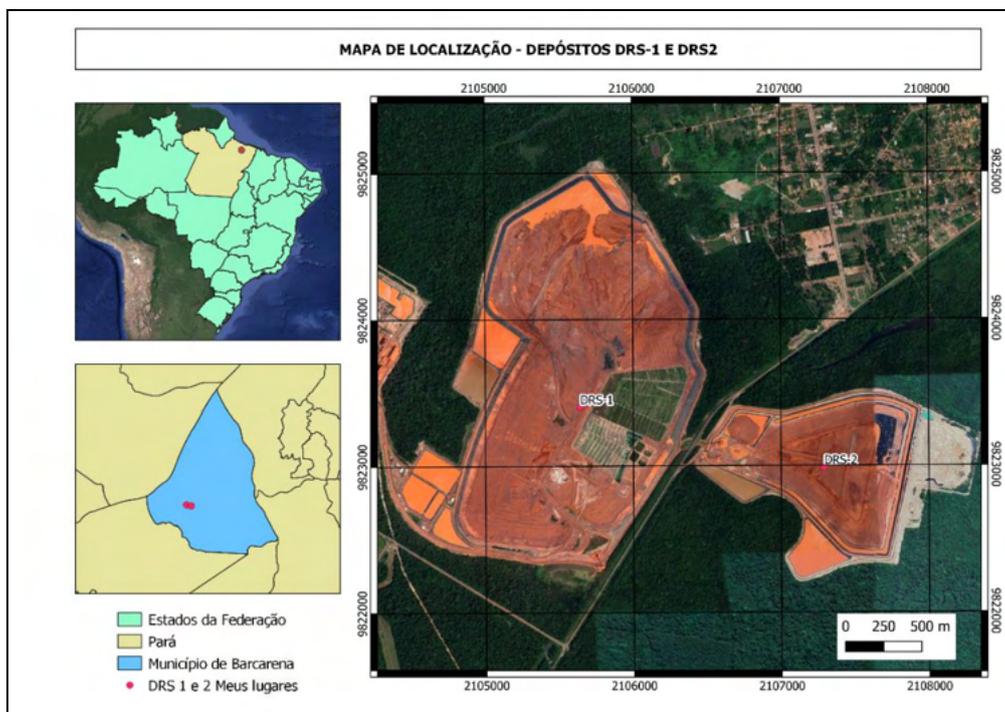
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1


Figura 5.2 – Localização da Estrutura – DRS1 e DRS2

O município de Barcarena está localizado no bioma Amazônia, apresentando 1.310,34 km² de área (IBGE, 2021). Apresenta esgotamento sanitário adequado para 27,8% de seus habitantes (IBGE, 2010).

A estação chuvosa do município de Barcarena é compreendida entre os meses dezembro e junho, sendo que os meses em que são identificados maiores volumes precipitados se concentram entre janeiro e maio.

Segundo o levantamento censitário realizado pelo IBGE (2010), o município de Barcarena possui 99.859 habitantes, apresentando densidade demográfica de 76,21 habitantes por quilômetro quadrado. Conforme Figura 5.3, identificam-se as comunidades Água Verde, Boa Vista, Bom Futuro, Itupanema, J. Cabanos, J. Independência, J. Paraíso, Jardim das Palmeiras, Laranjal, Murucupi, Nazaré, Nossa Sra. De Fátima, Novo Horizonte, Novo Paraíso, Pioneiro, Renascer com Cristo, São José, Vila Nova e Vila São Francisco. Além das comunidades Quilombolas Gibrié de São Lourenço, Sítio Conceição, Sítio Cupuaçu/Boa Vista, Sítio do Burajuba e Sítio São João.



Figura 5.3 – Localização das comunidades próximas aos depósitos DRS1 e DRS2 (Imagem fornecida pela equipe técnica da ALUNORTE)

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

Conforme apresentado por IBGE (2020), no ano de 2020 o salário médio mensal era de 2,8 salários-mínimos, com 22,5% da população com emprego formal. A taxa de escolarização de crianças entre 6 e 14 anos foi de 97,3% (IBGE, 2010b)

Em relação à economia do município, o PIB per capita de 2019 foi de R\$ 43.063,73, sendo 71% oriundo de fontes externas (IBGE, 2019), o IDHM do município é de 0,662 (IBGE, 2010).

A Nota Técnica “Contextualização sobre o histórico de expansões dos depósitos de resíduos sólidos – DRS1 e DRS2” (documento DT-3542-54-G-001) apresenta o histórico de implantação e expansão do DRS1 e DRS2. Esse histórico é replicado aqui visando contextualizar o leitor (Figura 5.4).

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1



Figura 5.4 – Histórico de expansão do DRS1 e DRS2

5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

A área de estudo encontra-se inserida no contexto geológico dos sedimentos cenozóicos (< 65,5 milhões de anos) individualizados nas formações: Pirabas e Barreiras, além de sedimentos quaternários (denominados de sedimentos pós Barreiras).

Conforme apresentado no Mapa Geológico do Estado do Pará, desenvolvido pela CPRM em 2008 (Figura 5.5), a estrutura DRS1 encontra-se sobre Sedimentos Pós-Barreiras.

Ocupando uma área de aproximadamente 12000 m², que se estende desde a faixa litorânea entre as cidades de Bragança e Belém avançando para o interior do Pará, a Formação Pirabas ocorre sobreposta ao embasamento cristalino (Almaraz, 1977) e é caracterizada pela composição calcária e conteúdo fossilífero. A deposição se fez por evento transgressivo decorrente da subida do nível do mar em todo o planeta, durante o Mioceno (Haq *et al.* 1987). Sucedendo ao evento transgressivo que resultou na Formação Pirabas, ocorreu um evento de caráter regressivo o qual foi responsável pela sedimentação do Grupo Barreiras.

O Grupo Barreiras, também denominado por alguns autores de Formação Barreiras, aflora na costa brasileira, quase continuamente desde o Pará até o Rio de Janeiro. O grupo é constituído por sedimentos de origem continental pouco litificados, oriundos da ação do intemperismo e ciclos geológicos ocorridos no interior do continente após a abertura do Atlântico (MABESOONE e CASTRO, 1975). Os estratos apresentam variações verticais e laterais bem marcadas que variam em níveis arenosos, argilo arenosos, conglomeráticos e ferruginosos. Os sedimentos quaternários Pós-Barreiras recobrem discordantemente essas sequências.

Admite-se como Sedimentos Pós Barreiras os depósitos que recobrem de maneira discordante os estratos da Formação Barreiras. Trata-se de areias consolidadas e semi-consolidadas de granulometria fina a média e coloração creme amarelada a branca,

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

podendo conter clastos e frações de argila (Farias *et al.* 1992). Segundo Rosseti e Valeriano (2007), a evolução desses sedimentos está relacionada a um paleovale de idade quaternária alimentado pelo Rio Tocantins, quando esse corria para oeste do seu curso atual.

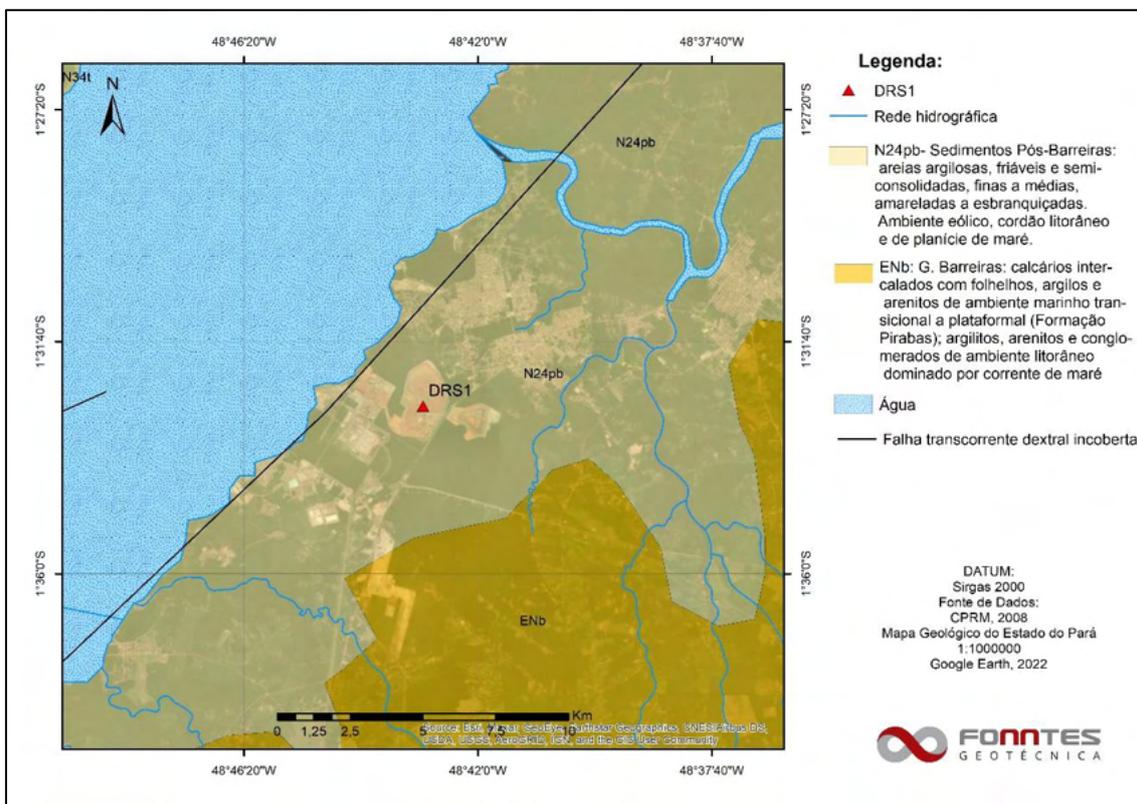


Figura 5.5 – Mapa geológico regional da estrutura DRS1

O relatório “As Is” RT-3540-54-G-1014 desenvolvido pela PIMENTA DE ÁVILA, apresenta as estruturas DRS1 e DRS2 inseridas sobre domínios da Formação/Grupo Barreiras enquanto o mapa apresentado na Figura 5.5 indica que que as estruturas estão localizadas sobre domínios dos Sedimentos Pós-Barreiras. Levando em consideração o caráter regional do estudo, é natural que haja diferenças entre os estudos, devido principalmente a escala de 1:1.000.000 (Figura 5.5), não sendo essas consideradas inconsistências.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

5.2.1 Histórico de Investigações

A Tabela 5.1 apresenta uma síntese das investigações executadas na área de estudo.

Tabela 5.1 – Tabela resumo do histórico de investigação executada na área da estrutura DRS1

CAMPANHA	EMPRESA	ANO	DOCUMENTO
Alteamento das Paredes – 7ª Fase de Expansão – 2003	WS – Geotecnia Ltda	2003	Documento 085/2003
Alteamento das Paredes – 7ª Fase de Expansão – 2003	Geolabor	2003	TLF-2881/0
Projeto de Alteamento da Parede Oeste – Área	WS – Geotecnia Ltda.	2005	Desenho D1-3540-54-G-090
Projeto do Dique de Partida – Célula Sul	Solotécnica Engenharia Ltda.	2006	Documento 073/2006
Expansão do DRS para Leste – CL1/CL2/CL3 – 1ª Etapa	WS-Geotecnia Ltda.	2008	Desenho D1-3540-54-G-093 e documento MD-3540-54- G-091
Expansão do DRS para Leste – CL1/CL2/CL3 – 2ª Etapa	WS-Geotecnia Ltda.	2010	Desenhos D1-3540-54-G-023 a D1-3540-54-G-025 (planta e seções)
Acesso DRS1-DRS2, área de filtragem, desvio e travessia da PA-481	Solotécnica	2014	Documento RT-3541-34-L- 016 e desenhos D1-3541-54- L-008 a D1-3541-54-L-015.
Estudos Geológicos da Fundação – Correia C-34e-04	GEONORT	2015	Documento nº 019/2016
Acesso Externo à CL3	Enviro-Tec	2019	Boletins referentes ao contrato referente ao contrato 4600006593-TAC4 e desenhos D1-3540-54-G- 601 a D1-3540-54-G-603
Instrumentação Complementar – 2019/2020	3Geo Consultoria	2019/2020	Relatório RT-467309-54G- 003

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

Caracterização dos materiais do reservatório	Fugro In Situ Geotecnia Ltda	2021	RT-468603-54-L-0002 R00, RT-468603-54-L-0003 R00 e RT-468603-54-L-0004 R00
--	------------------------------	------	--

5.2.2 Geologia Local

Nesse subitem é apresentada uma síntese do estudo de geologia local desenvolvido no relatório técnico do projeto “As Is”, doc. RT-3540-54-G-1014, elaborado pela empresa PIMENTA DE ÁVILA.

A estrutura DRS1 encontra-se sobre fundação que varia entre materiais predominantemente argilosos a arenosos, com coloração variegada e pontualmente é possível observar a presença de pedregulhos. A camada inferior é caracterizada por apresentar composição silto arenosa a silto argilosa e NSPT variando entre 13 e 35, sendo a média igual a 20. A camada superior apresenta predominantemente material de composição arenosa, com ocorrências de silte e argila. O índice de NSPT varia entre 20 e 34 e o valor médio encontrado é igual a 25.

Na região de jusante do canal de contorno da estrutura, é possível observar a ocorrência de materiais de área de empréstimo, e próximo à estaca 275 ocorrem detritos vegetais e resíduos, de coloração cinza escura e índice de NSPT inferior a 5 golpes.

O aterro é formado por solos argilo-siltosos a silto-arenosos com coloração variegada. Pontualmente é observada a presença de pedregulhos que interferem nos resultados do NSPT, sendo o valor mínimo de NSPT observado igual a 5 e o máximo igual a 54.

A Figura 5.6 apresenta a seção típica que representa a área de interesse.

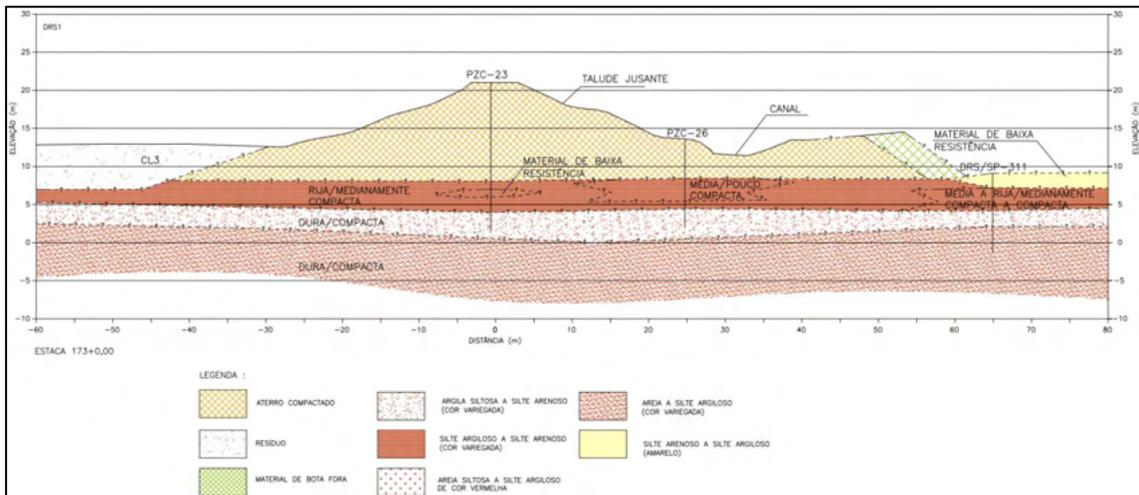
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1


Figura 5.6 – Seção típica da área de estudo. (Fonte: RT-3540-54-G-1014)

5.3 DRENAGEM INTERNA

Os diques do DRS1, bem como todo o reservatório, os canais de contorno e as bacias de controle, são revestidos com geomembrana PEAD, com espessuras de 1,0 mm e 1,5 mm, variando conforme o ponto de instalação do material. Sendo assim, os diques não apresentam sistema de drenagem interna por serem impermeabilizados.

Os relatórios FG-2201-NHB-A-BA-RT11-00, FG-2201-NHB-A-BA-RT12-00, FG-2201-NHB-A-BA-RT21-00 e FG-2201-NHB-A-BA-RT22-00, referentes aos itens N e O do termo de referência do TAC 3.1, trazem com maior detalhamento avaliação quanto ao material utilizado na impermeabilização dos depósitos e suas características mecânicas de resistência.

5.4 SISTEMA EXTRAVASOR E DRENAGEM SUPERFICIAL

Conforme indicado no doc. RT-3540-54-G-570-R01, elaborado pela PIMENTA DE AVILA (2021), o sistema extravasor do DRS1 é composto por 40 rápidos de concreto localizados nos diques periféricos do DRS1. Os rápidos direcionam os efluentes do reservatório do depósito e as águas superficiais para os canais de contorno. Na sequência, o fluxo é

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

encaminhado para as bacias de controle, que armazenam e direcionam os efluentes do sistema para a Estação de Tratamento de Efluentes Industriais ETEI.

Os canais de contorno circundam todo o depósito DRS1 e são divididos em canal norte, sul, leste, oeste e canal CL3. As bacias de controle do depósito são denominadas BC1, BC2, BC3, BC5 e BC6.

5.5 INSTRUMENTAÇÃO

Segundo o doc. RT-3540-54-G-570-R01, elaborado pela PIMENTA DE AVILA (2021), os diques do depósito DRS1 conta com uma série de instrumentos para monitoramento geotécnico, incluindo 35 piezômetros Casagrande, 21 medidores de nível d'água, 113 marcos superficiais, 31 poços de monitoramento. Os níveis das bacias de controle são registrados por meio de réguas limnimétricas.

Além disso, as pilhas de resíduos contam com 43 piezômetros elétricos de corda vibrante e oito poços de monitoramento e os aterros experimentais possuem um total de 24 piezômetros elétricos, 24 marcos superficiais, 9 poços de monitoramento e medidores de vazão.

5.6 FECHAMENTO DO DEPÓSITO DRS1

O “Manual de Planejamento de Implantação e Operação” relativo ao Projeto de Reabilitação do DRS1, elaborado pela LPS em 14/12/18, doc. OM-8400-54-G-069 R01, apresenta a reabilitação do DRS1. Este processo engloba:

- uma camada de conformação com rejeito filtro prensa densificado assente sobre perfil estabilizado da superfície do depósito;
- uma camada de areia ou geossintético drenante de bloqueio/ sistema de drenagem subsuperficial;

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

- duas camadas de solo, sendo a primeira de cobertura com solo local com espessura média de 60cm e a segunda camada de solo vegetal com 20cm de espessura;
- sistema de drenagem superficial definitivo, destinado à captação e coleta dos escoamentos de água de chuva e posterior encaminhamento para os canais periféricos limpos a serem construídos;
- sistema de drenagem subsuperficial robusto em cascalho e tubos drenantes na região do buffer, que se apoia sobre geotêxtil tecido sobre resíduo escavado e é sobreposta por uma camada de cobertura final de geotêxtil não tecido e geomembrana de PEAD.

A reabilitação prevista contempla 11 faixas entre o topo do depósito e a crista do dique periférico, conforme pode ser observado na Figura 5.7. A reabilitação foi iniciada pela Faixa 2, localizada no Setor Sul (Faixa 1 a 4), cujo término de operação ocorreu em 2009.

Na sequência, será realizada a reabilitação do Setor Norte (Faixas 5 e 6), cujo término de operação foi em 2007. Após o preenchimento da Faixa 6, será realizado o preenchimento horizontal da CL3, iniciando desde o fundo da célula até a cota 20,00 m e prosseguindo, ainda horizontalmente, no trecho sobre a área da CL3 para conformar os taludes, em forma de cone, até que seja atingida a cota do platô. As fases finais de reabilitação comportam as faixas 7, 8, 9, 10 e 11, sendo as faixas 7 e 8 executadas em trecho de transição para as áreas de reabilitação sobre a CL3, já preenchida e conformada em taludes.

O projeto prevê a implantação da camada de conformação em faixas do topo até a crista de dique de partida, de forma a evitar erosões e retrabalhos. Estes sub-trechos (faixas) possuem largura variável, conforme volume de destinação de rejeito de filtro prensa ao DRS1 por ano.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

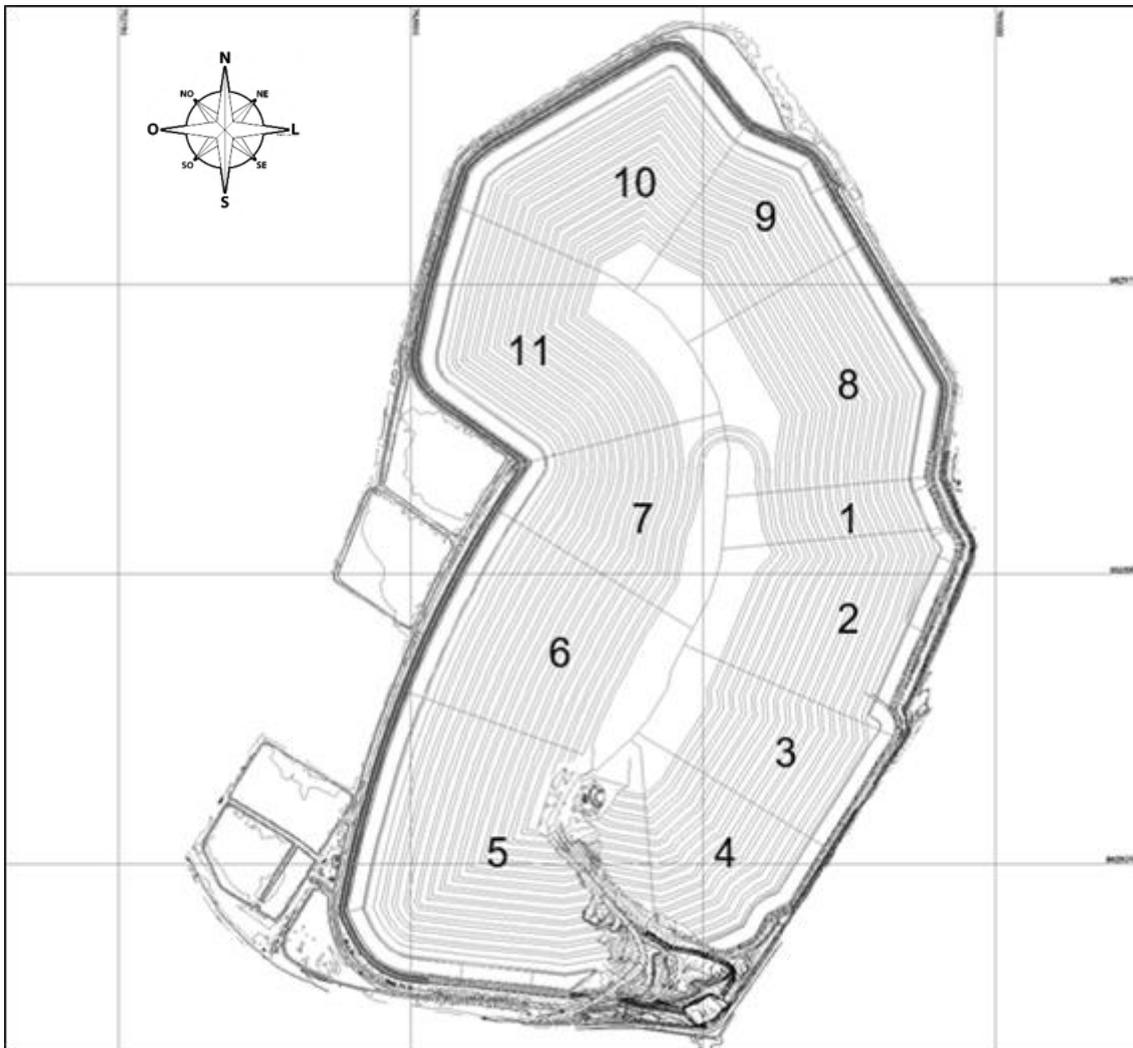


Figura 5.7 – Faixas de reabilitação do DRS1 (Doc. OM-8400-54-G-069 R01)

A Figura 5.8 apresenta a situação da FAIXA 2 (Vide Figura 5.7), em processo reabilitação, durante visita técnica de campo realizada pela FONNTES no dia 09/02/2022.



Figura 5.8 – Vista da FAIXA 2 no DRS1 em processo de reabilitação (Fonte: Visita Técnica realizada em 09/02/2022)

O projeto pressupõe que após o término da reabilitação de cada faixa, inclusa área de buffer, todo deflúvio deve ser lançado inicialmente no canal periférico e encaminhado para análises laboratoriais e tratamento na estação de tratamento de efluentes. Somente após as medições de qualidade de água atestarem continuamente os parâmetros físicos e químicos adequados para lançamento no corpo receptor que as águas de escoamento sobre a área reabilitada poderão ser encaminhadas ao meio ambiente.

6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

No início dos trabalhos foram realizadas reuniões com o MP-PA com objetivo de alinhamento sobre o entendimento do escopo das letras do TAC 3.1. Um ofício foi elaborado pela FONNTES e direcionado ao MP-PA (protocolo PR-PA-00011706/2022 em 16 de março de 2022) com o entendimento da metodologia para resposta técnica de

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

cada uma das letras do TAC 3.1. O “de acordo” ao entendimento foi encaminhado pelo MPF pelo Ilmo. Procurador da República Dr. Ricardo Augusto Negrini no dia 04 de abril de 2022. A metodologia estabelecida para o atendimento da **letra D)**, objeto desse relatório, é reproduzida a seguir.

Para a análise qualitativa de instrumentação com vistas a determinação da densidade de drenagem do DRS1, os tipos de instrumentação do depósito foram divididos em três grupos, em função da finalidade dos instrumentos:

- Instrumentos destinados a monitorar a estabilidade física e estrutural dos diques e dos resíduos armazenados, como piezômetros e indicadores de nível de água;
- Medidores de nível de água das bacias que coletam as águas superficiais. Estes instrumentos são responsáveis por definir o momento de acionamento dos sistemas de bombeamento para envio da água para tratamento, além de garantir que há um volume de reserva para armazenar eventos pluviométricos de grande intensidade;
- Poço ambientais, localizados no entorno das estruturas e responsáveis por verificar a qualidade da água subterrânea, identificando alterações que possam sugerir a eventual contaminação devido a falha no sistema de impermeabilização;

Para cada tipo de instrumentação, foi avaliada se a quantidade e localização são pertinentes e suficientes para o que se precisa monitorar, além de apontar as regiões que podem carecer de incremento de instrumentos, caso existam. Por fim, apresenta-se o parecer técnico para validação da operação da estrutura com segurança a partir da quantidade de instrumentos e frequência de leituras.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Conforme indicado no Manual de Operação, elaborado pela PIMENTA DE AVILA, em 05/03/21, doc. OM-3540-54-G-1001 R03, o monitoramento geotécnico dos diques do depósito DRS1 é composto por: 21 medidores de nível d'água, 35 piezômetros Casagrande, 127 marcos superficiais e 31 poços de monitoramento. Também é realizada o controle do nível d'água das bacias de controle e do efluente acumulado na CL3, através da leitura de régua limnimétrica cadastradas junto com o apoio da equipe de topografia, e o registro diário de pluviometria, através de um pluviômetro instalado próximo à BC2.

Os dados de cadastro dos medidores de nível d'água, piezômetros, marcos superficiais e poços de monitoramento dos diques do depósito DRS1 são apresentados da Tabela 7.1 a Tabela 7.4, respectivamente. A Figura 7.1 apresenta a localização em planta dos instrumentos.

Tabela 7.1 – Dados cadastrais dos Medidores de Nível d'Água (PIMENTA DE AVILA, 2021)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

SEÇÃO	INSTRUMENTO	LOCAL DE INSTALAÇÃO	COTA DE INSTALAÇÃO (m)	COTA DE BOCA (m)	COORDENADAS UTM (m)	
					N	E
1	MNA-01	Crista	10,99	21,35	9.829.008,78	753.663,51
	MNA-02	Berma	12,04	17,35	9.829.014,51	753.654,59
	MNA-03	Pé	8,34	13,35	9.829.019,45	753.646,88
2	MNA-04	Crista	15,05	25,35	9.828.313,98	753.612,82
	MNA-05	Berma	17,32	22,35	9.828.310,12	754.618,81
	MNA-06	Pé	15,33	20,35	9.828.304,53	754.627,48
3	MNA-07	Crista	13,19	23,35	9.828.847,28	754.841,27
	MNA-08	Berma	15,19	20,35	9.828.843,26	754.850,06
	MNA-09	Pé	12,98	18,35	9.828.839,54	754.858,18
4	MNA-10	Crista	11,25	21,35	9.829.569,40	754.788,85
	MNA-11	Berma	13,04	18,35	9.829.574,11	754.796,83
	MNA-12	Pé	10,02	15,35	9.829.579,86	754.806,58
5	MNA-13	Crista	11,15	21,35	9.830.089,47	754.388,29
	MNA-14	Berma	12,03	17,35	9.830.100,57	754.392,59
	MNA-15	Pé	8,25	13,35	9.830.110,25	754.396,36
6	MNA-16	Crista	10,64	20,35	9.830.062,72	753.730,50
	MNA-17	Berma	11,99	17,35	9.830.071,17	753.725,42
	MNA-18	Pé	7,88	13,35	9.830.081,46	753.719,24
7	MNA-19	Crista	10,95	21,35	9.829.882,93	753.615,36
	MNA-20	Berma	12,21	17,35	9.829.885,25	753.608,35
	MNA-21	Pé	9,23	14,35	9.829.888,85	753.597,45

Tabela 7.2 – Dados cadastrais dos Piezômetros tipo Casagrande (PIMENTA DE AVILA, 2022)

INSTRUMENTO	COORDENADAS UTM (m)		COTA DO TERRENO (m)	COTA DE TOPO (m)	PROFUNDIDADE (m)	COTA DE INSTALAÇÃO (m)
	Norte	Este				
PZC-1	9.828.983,12	753.653,46	21,20	21,37	19,84	1,36
PZC-2	9.828.980,33	753.651,97	21,18	21,34	9,16	12,02
PZC-3	9.828.988,00	753.642,83	16,85	16,99	5,80	11,05
PZC-4	9.828.997,72	753.626,49	12,13	12,31	11,24	0,89
PZC-5	9.829.342,89	753.669,17	20,99	21,14	19,33	1,66
PZC-6	9.829.345,10	753.666,03	21,01	21,16	11,49	9,52
PZC-7	9.829.324,14	753.653,92	13,23	13,30	11,69	1,54
PZC-8	9.829.324,72	753.652,01	13,25	13,32	6,51	6,74
PZC-9	9.829.492,92	753.525,28	20,85	21,01	19,47	1,38
PZC-10	9.829.496,96	753.525,11	20,83	20,92	11,81	9,02
PZC-11	9.829.494,70	753.503,58	13,71	13,87	12,76	0,95
PZC-12	9.829.499,25	753.513,81	17,71	17,90	8,10	9,61
PZC-13	9.829.878,02	753.616,57	21,17	21,29	19,83	1,34

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

INSTRUMENTO	COORDENADAS UTM (m)		COTA DO TERRENO (m)	COTA DE TOPO (m)	PROFUNDIDADE (m)	COTA DE INSTALAÇÃO (m)
	Norte	Este				
PZC-14	9.829.874,51	753.615,47	21,20	21,37	10,72	10,48
PZC-15	9.829.875,02	753.603,81	17,20	17,34	9,89	7,31
PZC-16	9.829.886,15	753.595,30	13,07	13,40	12,33	0,74
PZC-17	9.829.882,49	753.594,14	13,07	13,38	5,00	8,07
PZC-18	9.830.050,94	753.722,44	21,03	21,06	19,57	1,46
PZC-19	9.830.055,73	753.727,61	20,98	21,13	10,60	10,38
PZC-20	9.830.059,77	753.714,50	17,69	17,83	11,51	6,18
PZC-21	9.830.074,91	753.715,82	13,87	14,05	12,69	1,18
PZC-22	9.830.071,44	753.708,68	13,85	13,91	6,16	7,69
PZC-23	9.830.301,31	754.148,39	20,98	21,16	19,62	1,36
PZC-24	9.830.299,79	754.143,88	21,02	21,15	12,69	8,33
PZC-25	9.830.307,55	754.134,46	17,67	17,77	9,25	8,42
PZC-26	9.830.322,54	754.134,52	13,43	13,53	11,94	1,49
PZC-27	9.830.320,77	754.131,09	13,44	13,54	4,96	8,48
PZC-28	9.830.093,78	754.372,14	21,07	21,22	19,67	1,40
PZC-29	9.830.091,64	754.376,01	21,06	21,19	13,68	7,38
PZC-30	9.830.113,05	754.384,33	13,50	13,62	12,02	1,48
PZC-31	9.830.110,80	754.387,72	13,49	13,71	4,96	8,53
PZC-32	9.829.581,91	754.776,93	21,91	22,13	20,32	1,59
PZC-33	9.829.579,03	754.778,64	21,96	22,11	10,03	11,93
PZC-34	9.829.587,95	754.790,46	17,11	17,33	15,80	1,31
PZC-35	9.829.585,78	754.791,80	16,99	17,30	5,24	11,75

Tabela 7.3 – Dados cadastrais dos marcos superficiais (PIMENTA DE AVILA, 2022)

INSTRUMENTO	COORDENADAS UTM (M)		COTA DE INSTALAÇÃO (m)
	NORTE	ESTE	
MS-02	9.827.837,681	753.768,484	23,154
MS-03	9.827.826,921	753.765,360	19,126
MS-04	9.827.853,708	753.619,111	22,678
MS-05	9.827.842,388	753.619,449	18,128
MS-06	9.827.871,503	753.470,107	22,326
MS-07	9.827.860,082	753.468,815	17,9
MS-08	9.827.935,804	753.339,562	22,064
MS-09	9.827.928,829	753.331,166	17,587
MS-10	9.828.084,895	753.293,430	21,641
MS-11	9.828.086,714	753.281,648	16,953
MS-12	9.828.231,640	753.325,779	21,66

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

INSTRUMENTO	COORDENADAS UTM (M)		COTA DE INSTALAÇÃO (m)
	NORTE	ESTE	
MS-13	9.828.235,150	753.314,657	17,125
MS-14	9.828.375,475	753.365,271	21,6
MS-15	9.828.378,037	753.354,132	17,104
MS-16	9.828.519,139	753.411,510	21,574
MS-17	9.828.522,593	753.401,010	17,171
MS-18	9.828.659,236	753.466,026	21,56
MS-19	9.828.662,742	753.455,600	17,127
MS-20	9.828.761,012	753.510,283	21,578
MS-21	9.828.766,023	753.500,239	17,248
MS-22	9.828.976,894	753.620,700	21,65
MS-23	9.828.984,183	753.611,691	17,16
MS-24	9.829.035,522	753.642,235	17,188
MS-25	9.829.029,029	753.651,583	21,683
MS-26	9.829.155,516	753.731,413	21,456
MS-27	9.829.161,260	753.721,944	17,055
MS-38	9.828.946,593	754.849,575	23,525
MS-39	9.828.942,822	754.863,743	18,645
MS-40	9.828.851,176	754.808,631	23,969
MS-41	9.828.845,791	754.821,384	20,051
MS-42	9.828.718,070	754.751,523	24,659
MS-43	9.828.712,272	754.764,356	19,989
MS-44	9.828.580,701	754.692,637	25,34
MS-45	9.828.575,633	754.706,760	20,703
MS-46	9.828.434,512	754.662,427	25,809
MS-47	9.828.425,074	754.677,153	21,924
MS-48	9.828.307,186	754.582,479	25,971
MS-49	9.828.301,887	754.591,230	22,386
MS-50	9.828.179,741	754.503,409	25,973
MS-51	9.828.174,229	754.511,863	22,129
MS-52	9.828.053,443	754.423,517	26,468
MS-53	9.828.043,495	754.428,830	22,199
MS-54	9.827.951,945	754.313,013	26,395
MS-55	9.827.958,784	754.173,417	27,727
MS-61	9.829.874,662	754.542,022	22,413
MS-62	9.829.755,021	754.626,061	17,435
MS-63	9.829.748,119	754.614,156	22,386
MS-64	9.829.625,747	754.700,180	17,548
MS-65	9.829.618,282	754.687,896	22,401
MS-66	9.829.495,570	754.775,171	17,508
MS-67	9.829.487,510	754.762,592	22,303
MS-68	9.829.404,031	754.825,000	17,555
MS-69	9.829.397,627	754.812,069	22,35
MS-70	9.829.254,219	754.808,689	17,685

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

INSTRUMENTO	COORDENADAS UTM (M)		COTA DE INSTALAÇÃO (m)
	NORTE	ESTE	
MS-71	9.829.256,106	754.793,918	22,331
MS-72	9.829.120,513	754.808,398	18,132
MS-73	9.829.116,220	754.795,470	22,728
MS-3N	9.829.852,348	753.568,551	21,541
MS-4N	9.829.856,890	753.558,231	17,374
MS-5N	9.830.028,528	753.692,329	21,359
MS-6N	9.830.038,742	753.686,439	17,552
MS-7N	9.830.055,895	754.328,677	21,360
MS-8N	9.830.066,320	754.333,414	17,522
MS-9N	9.829.537,704	754.734,267	22,303
MS-10N	9.829.545,348	754.746,526	17,323
MS-11N	9.829.271,987	753.765,127	20,810
MS-12N	9.829.261,670	753.757,455	16,511
MS-13N	9.829.342,778	753.523,553	20,946
MS-14N	9.829.333,226	753.659,317	17,091
MS-15N	9.829.386,354	753.476,192	13,759
MS-16N	9.829.495,019	753.523,553	20,687
MS-17N	9.829.494,351	753.512,849	17,665
MS-18N	9.829.602,834	753.539,718	20,863
MS-19N	9.829.603,913	753.528,333	16,983
MS-20N	9.829.738,893	753.572,368	20,755
MS-21N	9.829.741,627	753.561,100	16,889
MS-22N	9.830.002,525	753.658,877	20,840
MS-23N	9.830.008,862	753.650,287	17,056
MS-24N	9.830.134,886	753.857,691	20,839
MS-25N	9.830.144,916	753.850,574	16,793
MS-26N	9.830.236,102	754.029,330	20,980
MS-27N	9.830.246,215	754.022,393	16,779
MS-28N	9.830.301,871	754.144,596	20,968
MS-29N	9.830.311,836	754.139,525	17,152
MS-30N	9.830.212,618	754.274,237	21,044
MS-31N	9.830.218,212	754.285,182	16,855
MS-32N	9.830.024,053	754.528,488	20,891
MS-33N	9.830.031,188	754.535,206	17,311
MS-34N	9.828.872,607	753.395,251	13,877
MS-35N	9.828.969,252	753.317,716	13,801
MS-36N	9.829.098,548	753.370,613	13,446
MS-37N	9.829.105,443	753.515,755	13,450
MS-38N	9.829.110,260	753.519,149	13,678
MS-39N	9.829.284,631	753.453,469	13,737
M-CL3-1	9.830.076,123	754.316,052	17,223
M-CL3-2	9.830.068,269	754.309,191	21,085
M-CL3-3	9.830.065,462	754.306,203	21,139

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

INSTRUMENTO	COORDENADAS UTM (M)		COTA DE INSTALAÇÃO (m)
	NORTE	ESTE	
M-CL3-4	9.830.090,125	754.304,226	17,064
M-CL3-5	9.830.082,796	754.295,545	21,103
M-CL3-6	9.830.081,205	754.293,250	21,112
M-CL3-7	9.830.154,628	754.238,391	21,061
M-CL3-8	9.830.220,891	754.187,897	21,034
M-CL3-9	9.830.235,233	754.176,534	20,914
M-SUL-1	9.828.059,911	754.429,018	26,076
M-SUL-2	9.828.054,256	754.424,524	26,187
M-SUL-3	9.828.049,358	754.418,743	26,173
M-SUL-4	9.828.044,726	754.410,396	26,069
M-SUL-5	9.828.041,466	754.403,962	26,114
M-SUL-6	9.828.032,091	754.409,685	22,209
M-SUL-7	9.828.034,754	754.414,795	22,190
M-SUL-8	9.828.040,027	754.424,989	22,034
M-SUL-9	9.828.044,264	754.429,906	21,900
M-SUL-10	9.828.054,817	754.437,917	21,624
MS-54-1	9.827.948,29	754.304,10	26,199
MS-54-2	9.827.954,17	754.317,94	26,101
MS-54-3	9.827.956,93	754.323,79	26,076
MS-54-4	9.827.962,25	754.331,79	26,095
MS-54-5	9.827.973,12	754.342,43	26,088
MS-54-6	9.827.977,22	754.344,47	26,097
MS-54-7	9.827.985,13	754.349,31	26,163
MS-54-8	9.827.946,45	754.318,37	23,664
MS-54-9	9.827.949,91	754.326,02	23,301
MS-54-10	9.827.953,86	754.334,00	23,058
MS-54-11	9.827.963,32	754.344,87	22,893
MS-54-12	9.827.974,20	754.352,49	22,845
MS-54-13	9.827.981,87	754.357,23	22,585

Tabela 7.4 – Dados de cadastro dos poços de monitoramento (PIMENTA DE AVILA, 2022)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

INSTRUMENTO	COORDENADAS SIRGAS2000 (m)		COTA DE INSTALAÇÃO (m)
	NORTE	ESTE	
P - 10R	9.828.365,94	752.984,19	14,84
PM - 101I	9.828.578,55	754.784,48	20,83
PM - 101R	9.828.581,19	754.785,58	21,08
PM - 102	9.827.696,61	754.254,67	17,63
PM - 102R	9.827.696,58	754.254,56	17,58
PM - 103	9.827.756,39	753.510,60	13,53
PM - 103I	9.827.755,33	753.513,04	13,58
PM - 108	9.828.261,01	752.816,73	16,19
PM - 108R	9.828.263,57	752.816,39	16,08
PM - 112	9.828.756,34	753.451,68	14,59
PM - 112R	9.828.732,18	753.425,06	15,58
PM - 113	9.829.007,85	752.269,98	10,17
PM - 113I	9.829.010,18	753.270,27	10,28
PM - 114	9.829.327,44	753.372,07	8,73
PM - 115	9.829.638,53	753.440,73	11,71
PM - 115I	9.829.640,53	753.441,61	11,77
PM - 116	9.829.896,80	753.519,33	10,93
PM - 117	9.830.118,08	753.712,29	11,96
PM - 117I	9.830.119,86	753.714,78	11,88
PM - 118	9.830.334,33	754.082,12	12,62
PM - 119	9.830.285,59	754.345,25	14,38
PM - 119I	9.830.284,03	754.346,71	13,8
PM - 120I	9.829.875,57	754.645,97	13,72
PM - 120R	9.829.873,25	754.646,14	13,97
PM - 122R	9.829.271,20	754.900,02	13,41
PM - 122I	9.829.269,53	754.901,49	13,39
PM - 124	9.828.978,71	754.924,16	17,61
PM - 125	9.827.720,28	753.806,42	17,22
PM - 126	9.827.908,93	753.044,78	16,61
PM - 127	9.829.506,93	754.821,69	14,9
PM - 128	9.830.046,79	754.525,87	12,51

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1



Figura 7.1 – Localização em planta dos instrumentos de monitoramento do dique do DRS1 (D1-3540-54-G-1147 R01, Pimenta de Avila, 2021)

Além das dez seções instrumentadas (Seção A a Seção J) no Dique de Contorno do DRS1, o interior do Depósito DRS1 também é monitorado através de oito seções (Seção

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

Leste, Leste 2, Sul, Sul 2, Oeste, Oeste 2, Norte 2 e Norte). O monitoramento dos resíduos no depósito engloba 43 piezômetros elétricos de corda vibrante e 08 poços de monitoramento. A locação das seções instrumentadas no interior do Depósito DRS1 é indicada na Figura 7.2.

Destaca-se que está prevista a implantação de duas novas seções instrumentadas em direção à CL3, quando esta região fornecer capacidade de suporte e condições de acesso favoráveis.

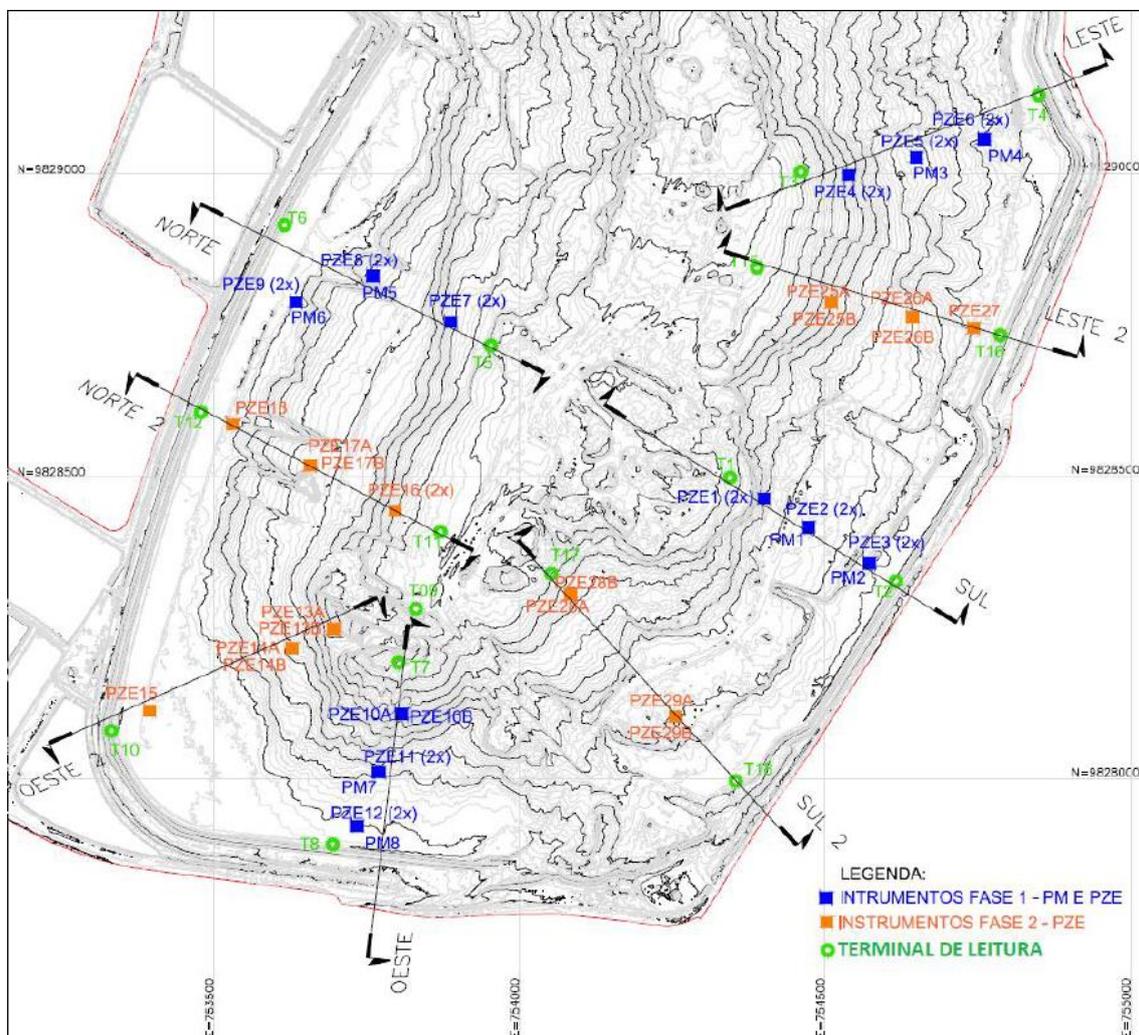


Figura 7.2 – Locação em planta dos instrumentos de monitoramento do interior do Depósito DRS1 (RT-8400-54-G-180, LPS, 2022)

7.1 NÍVEIS DE CONTROLE DE INSTRUMENTAÇÃO

É importante esclarecer que a SEMAS/PA, órgão que fiscaliza as atividades dos depósitos da ALUNORTE, não dispõe em suas instruções algum direcionamento ou definição para os níveis de controle dos depósitos. Nesse sentido, a FONNTES optou por adotar os níveis de controle dos depósitos balizados em orientações da Resolução ANM nº 95/2022.

Conforme o inciso XXXVII do Art. 2º da Resolução ANM nº95, de 07 de fevereiro de 2022, os níveis de controle da instrumentação consistem em níveis que delimitam os limites aceitáveis de auscultação para cada instrumento, ou conjunto de instrumentos, da estrutura visando subsidiar a tomada de decisão para ações preventivas e corretivas, utilizado como um dos elementos para avaliação de segurança da barragem, devendo ser definido individualmente para cada estrutura através de avaliações de segurança e classificados nos níveis de atenção (amarelo), alerta (laranja) e emergência (vermelho).

Os níveis de controle de instrumentação são classificados de acordo com os Fatores de Segurança obtidos nas análises de estabilidade das estruturas, baseando-se nos níveis de emergência definidos no Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM). Os níveis de emergência consistem em convenção utilizada na Resolução ANM nº95/2022 para graduar as situações de emergência em potencial que possam comprometer a segurança das barragens e são definidas como:

- Atenção (Nível de Emergência 1 – amarelo): quando o Fator de Segurança drenado estiver entre $1,3 \leq FS < 1,5$ ou Fator de Segurança não drenado de pico estiver entre $1,2 \leq FS < 1,3$ ou quando o Fator de Segurança não drenado de pico estiver entre $1,2 \leq FS < 1,5$;
- Alerta (Nível de Emergência 2 – laranja): quando o Fator de Segurança drenado estiver entre $1,1 \leq FS < 1,3$ ou Fator de Segurança não drenado de pico estiver entre $1,0 \leq FS < 1,2$;

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

- Emergência (Nível de Emergência 3 – vermelho): quando o Fator de Segurança drenado estiver abaixo de 1,1 ou Fator de Segurança não drenado de pico estiver abaixo de 1,0.

7.2 MONITORAMENTO DA ESTABILIDADE FÍSICA DA ESTRUTURA

Inicialmente é importante apresentar o regime de precipitação local para avaliar junto dos registros dos instrumentos de monitoramento da estrutura. Conforme indicado no item 5.1, a estação chuvosa do município de Barcarena é compreendida entre os meses dezembro e junho, sendo que os meses em que são identificados maiores volumes precipitados se concentram entre janeiro e maio. Visando ilustrar o regime pluviométrico local, são apresentados os dados da normal climatológica para Belém conforme INMET (1991-2020). Nota-se que o mês mais chuvoso é março com a precipitação média mensal de 506 mm e o menos chuvoso é setembro com a precipitação de 120 mm.

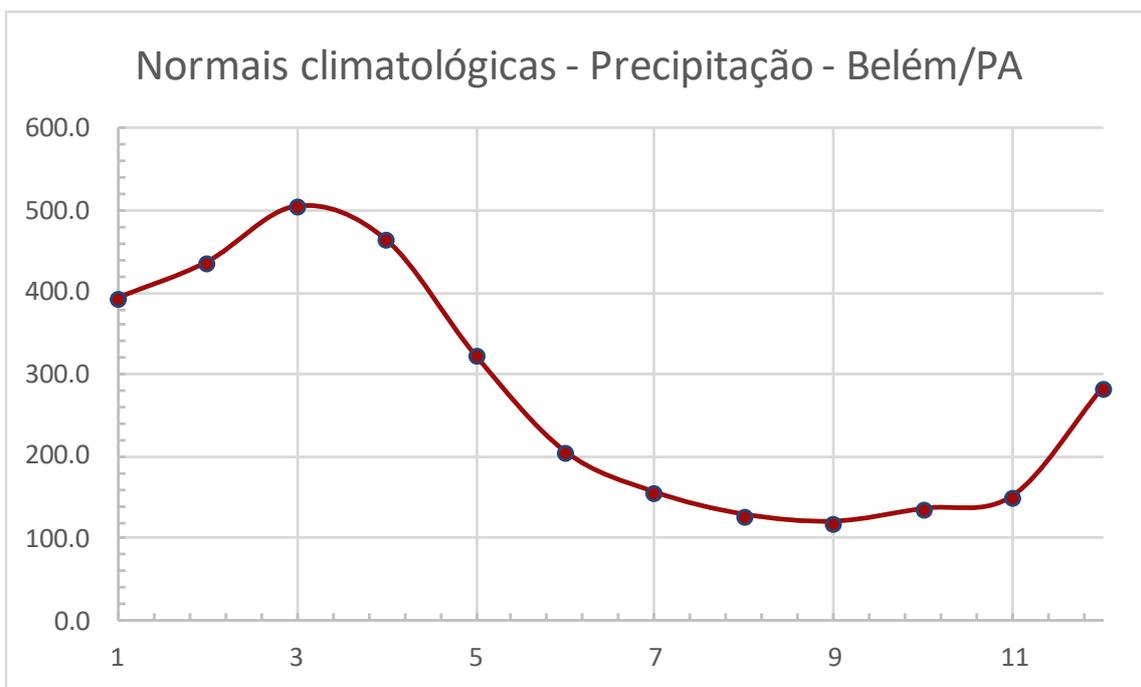


Figura 7.3 – Normais climatológicas – precipitação – Belém/PA (INMET, 2020)

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

7.2.1 Rotina Operacional de Leitura

A PIMENTA DE AVILA elabora trimestralmente o Relatório Técnico de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação, no qual apresenta a interpretação das leituras dos instrumentos de monitoramento do dique periférico do DRS1, além das leituras das bacias de contorno e dos poços de monitoramento localizados no entorno do DRS1. Conforme informado no Relatório Técnico de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação referente a outubro a dezembro/2021, doc. RT-3540-54-G-581, as leituras dos instrumentos de monitoramento do dique são realizadas com a periodicidade mínima:

- Diária – nível das bacias e da CL3, medidores de vazão e volume de bombeamento da CL3;
- Semanal – medidores de nível d’água e piezômetros Casagrande;
- Mensal – marcos superficiais;

Além disso, a LPS elabora bimestralmente o Relatório de Acompanhamento da Instrumentação da Linha freática, no qual apresenta a interpretação das leituras dos piezômetros e poços de monitoramento instalados no interior do depósito DRS1. As leituras destes instrumentos foram disponibilizadas pela ALUNORTE no documento “NK03.01 - PM01-R0 - DRS1”, sendo apresentadas semanalmente para os piezômetros e poços de monitoramento.

7.2.2 Avaliação das Leituras Realizadas

Para a avaliação da superfície freática / piezométrica, foram adotados como referência os gráficos gerados pela PIMENTA DE AVILA no Relatório Técnico de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação referente a outubro a dezembro/2021, doc. RT-3540-54-G-581. As análises dos instrumentos foram divididas em 10 seções (Seção A a Seção J), conforme indicadas na Figura 7.1.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

Considerou-se, também, o Relatório de Acompanhamento da Instrumentação da Linha freática referente a novembro e dezembro/2021, elaborado pela LPS (2022), doc. RT-8400-54-G-180, e o banco de dados de leituras dos instrumentos disponibilizados pela ALUNORTE, em fevereiro/2022, nos arquivos “Níveis, Bordas Livres e Elevação das Bacias DRS1_DRS2_82F_2021” e “NK03.01 - PM01-R0 - DRS1”.

De maneira sucinta é apresentado a seguir as leituras registradas em cada seção de monitoramento e a opinião desse auditor em relação a posição da superfície freática/piezométrica, em relação ao que seria esperado para operação da estrutura. Importante lembrar que todo o DRS1 é impermeabilizado com geomembrana de PEAD, assim o esperado operacionalmente é que todos os instrumentos no maciço do Dique de Contorno registrem leitura seca, e exista uma superfície freática/piezométrica na fundação apenas. Os instrumentos localizados dentro do resíduo devem registrar uma superfície freática/piezométrica diferente daquela lida nos instrumentos externos, garantindo que não exista contato entre a água contida no resíduo e a água natural externa a estrutura.

Seção A:

A Figura 7.4 apresenta a locação em planta dos instrumentos próximos à Seção A. A Figura 7.5 apresenta a Seção A com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). A Figura 7.6 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção A.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

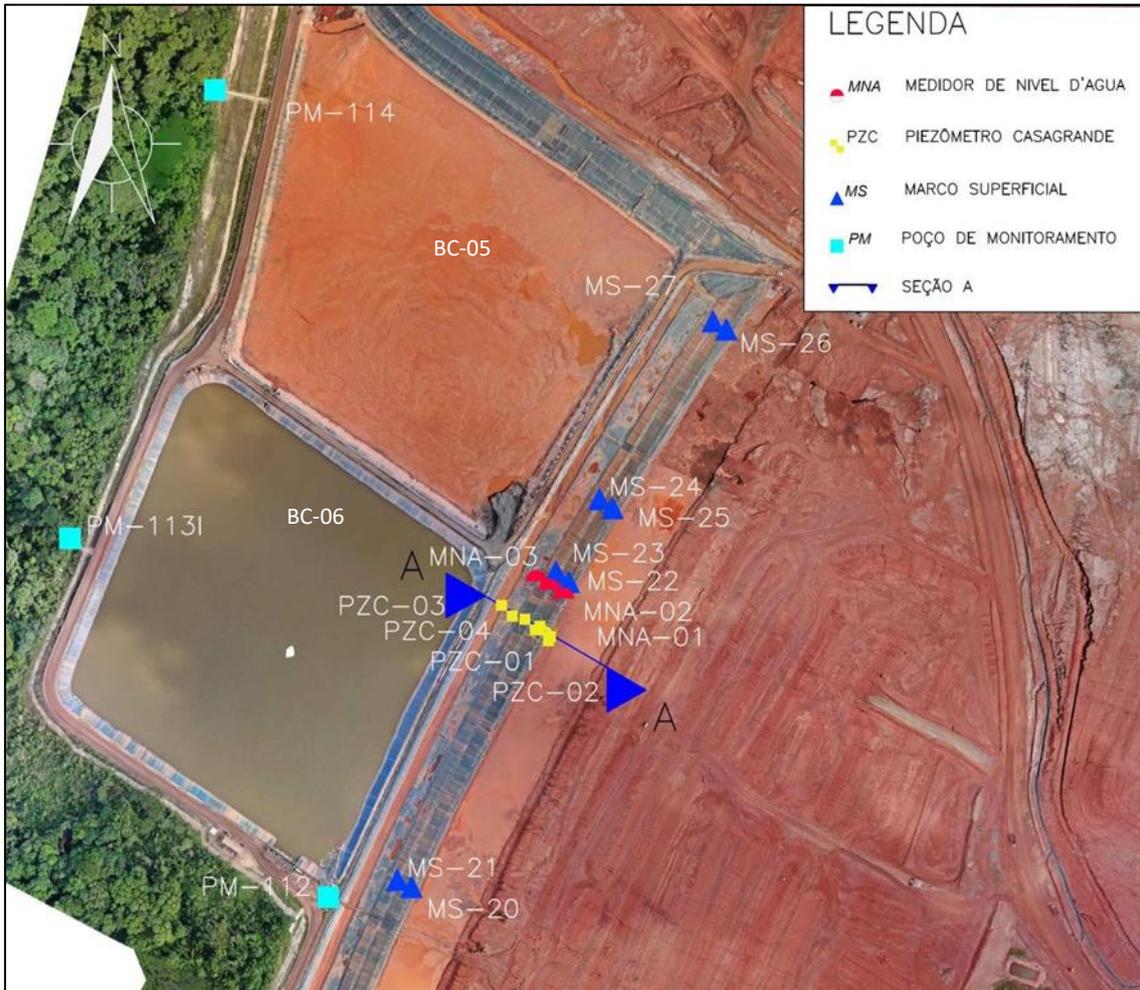


Figura 7.4 – Locação em planta da instrumentação instalada na Seção A (PIMENTA DE AVILA, 2022)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

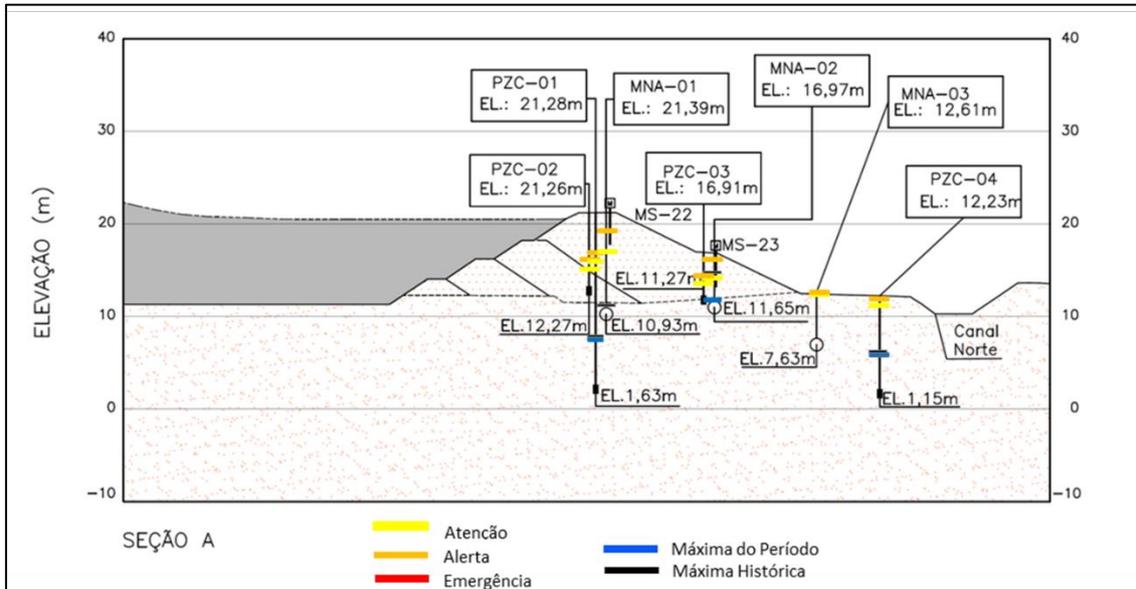


Figura 7.5 – Seção A com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

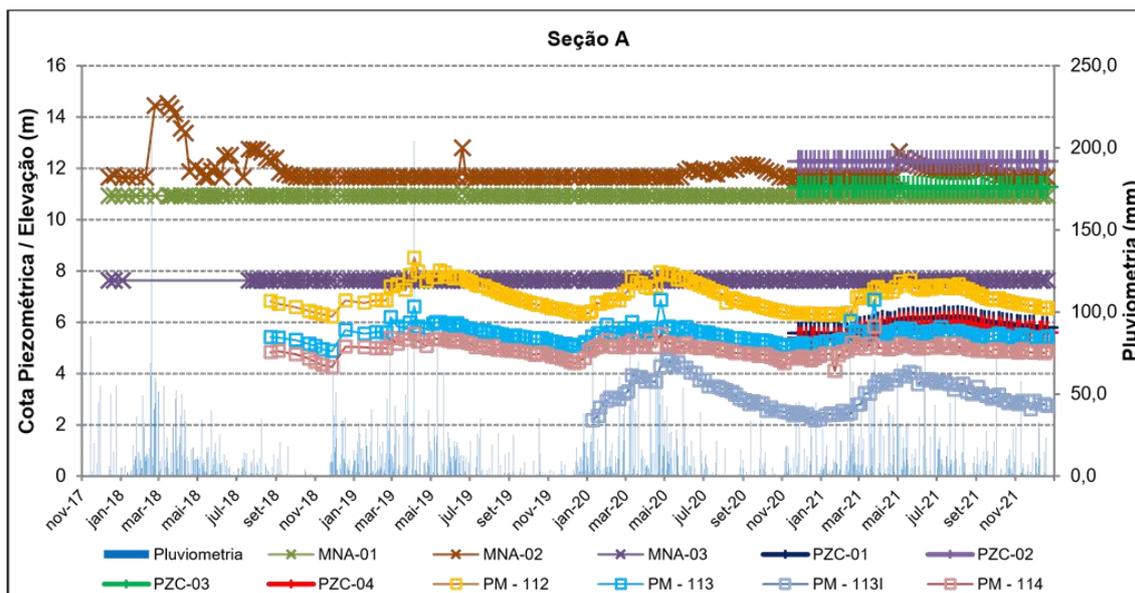


Figura 7.6 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção A (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Como se pode observar na Figura 7.6, os níveis dos MNA's e PZ's da Seção A se mantiveram abaixo do nível do terreno natural no período analisado (a partir de 2018), exceto MNA-02 que apresentou leituras um pouco mais elevadas em fevereiro e abril de 2018, porém desde então suas leituras se mantem abaixo da cota do terreno.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

Os piezômetros PZC-01 e PZC-04, instalados na fundação, apresentam comportamento simétrico e compatíveis com as oscilações dos poços de monitoramento instalados a jusante. A oscilação desses instrumentos está relacionada à oscilação do lençol freático devido à sazonalidade. Por outro lado, os piezômetros PZ-02 e PZ-03, instalados acima da geomembrana, mantiveram-se secos em todo o período de análise, confirmando a eficiência da geomembrana como sistema de impermeabilização do depósito nessa região.

Vale ressaltar que o PZC-04 é o instrumento localizado mais a jusante da seção, aproximando-se da BC-06, e o nível piezométrico máximo nele foi na El. 6,03 m em 03/08/21. Neste dia, o nível d'água da BC-06 foi medido na El. 9,94 m. Essa diferença superior a 4,0 m indica a eficiência da Geomembrana PEAD que impermeabiliza os Diques, os Canais e a Bacia BC-06.

Próximo a Seção A, está localizada a seção Norte do Projeto de Reabilitação do DRS1. Nesta seção, estão instalados dois poços de monitoramento PM-05 e PM-06, conforme Figura 7.7, e seus históricos de leituras são indicados na Figura 7.8. Observa-se que no dia 28/12/2021, o PM-05 apresenta leitura na El. 23,42 m, o PM-06 na El. 18,43 m, o MNA-01, instalado na crista com cota de fundo na El. 10,99 m, se encontra seco, o PZC-01, também instalado na crista, porém com cota de fundo na El. 1,36 m, apresenta leitura na El. 5,79 m, e a Bacia 06, localizada a jusante do dique, apresentou leitura na El. 8,64 m. Tendo em vista que o nível d'água se encontra consideravelmente mais elevado no interior do depósito e na Bacia 06 do que no Dique de Contorno, é constatada evidência de estanqueidade da geomembrana PEAD que reveste a estrutura.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

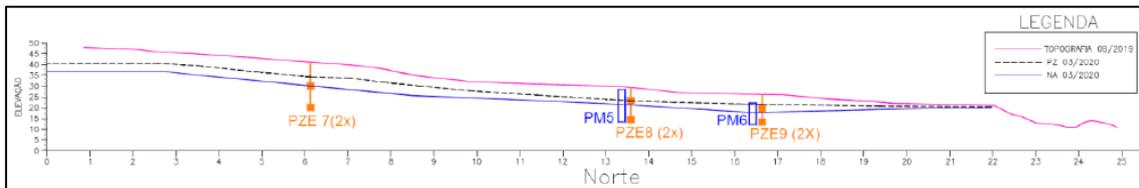


Figura 7.7 – Seção Norte com indicação da instrumentação (LPS, 2022)

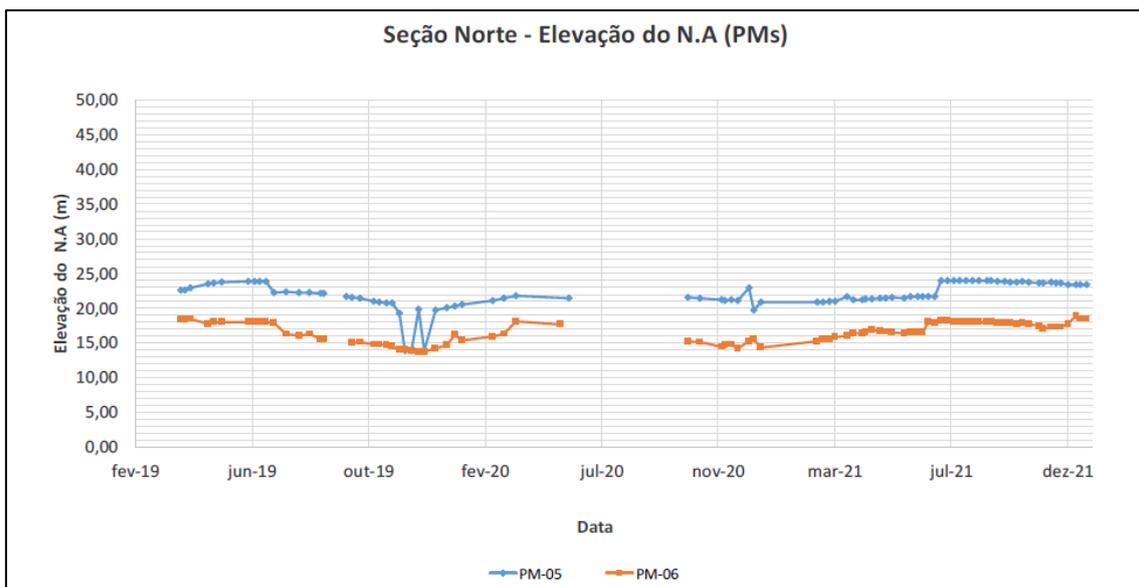


Figura 7.8 – Histórico de leituras dos PM's da Seção Norte (LPS, 2022)

Seção B:

A Figura 7.9 apresenta a locação em planta dos instrumentos próximos à Seção B. A Figura 7.10 apresenta a Seção B com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). Já a Figura 7.11 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção B.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

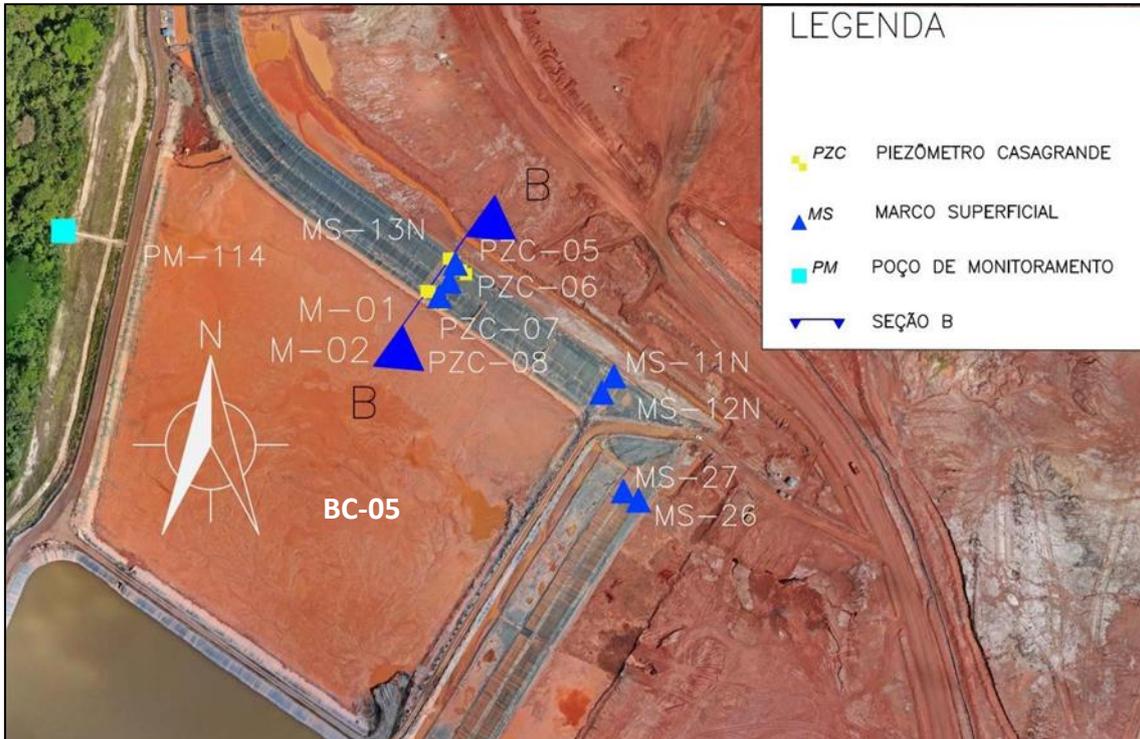


Figura 7.9 – Localização em planta da instrumentação instalada na Seção B (PIMENTA DE AVILA, 2022)

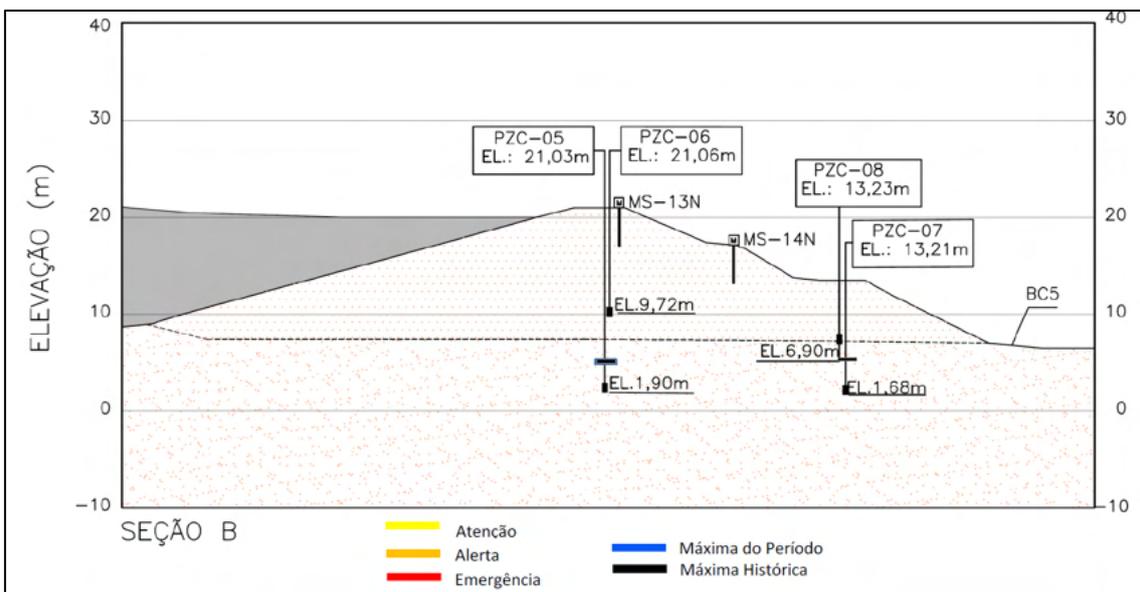


Figura 7.10 – Seção B com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

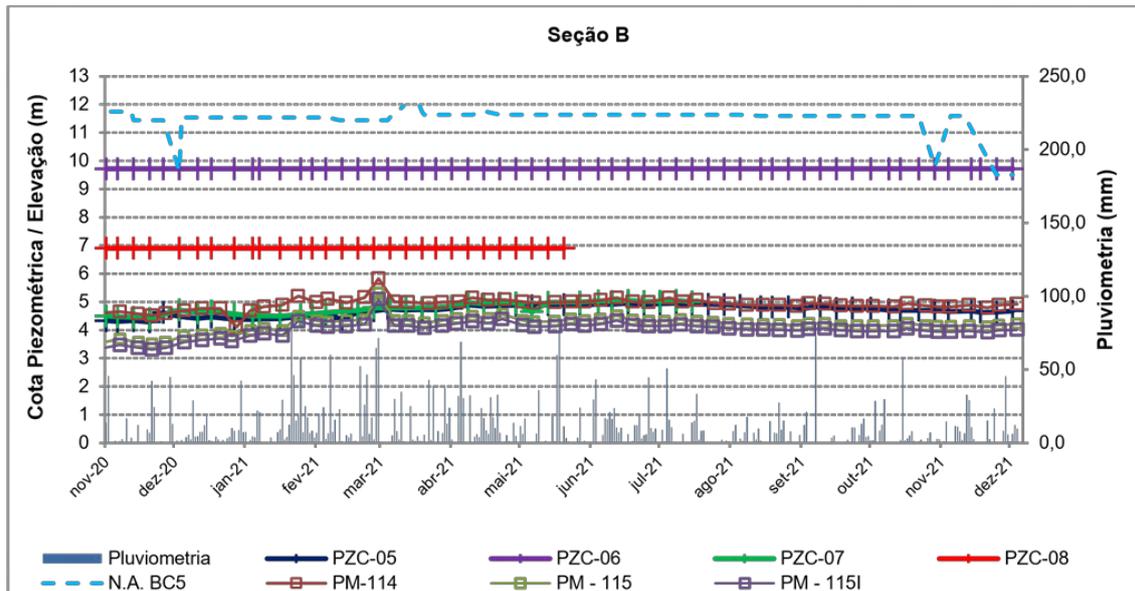


Figura 7.11 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção B (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Como se pode observar na Figura 7.11, as leituras do piezômetro se mantiveram abaixo da cota do terreno natural durante o período analisado (a partir de novembro/2020), mesmo nos meses que registraram precipitações elevadas.

Observa-se que as leituras do PZC-05 e PZC-07, instalados na fundação do dique, são coerentes com as leituras do poço de monitoramento PM-114, localizado a jusante da BC-05, e se encontram em torno da El. 5,0 m. Por outro lado, o nível d'água da Bacia 05 se encontra em torno da El. 12,0 m, ou seja, cerca de 7 m acima do nível d'água na fundação. Essa diferença indica a eficiência da Geomembrana PEAD que impermeabiliza a Bacia BC-05.

Conforme indicado no documento RT-3540-54-G-581-01, as leituras dos piezômetros PZC-07 e PZC-08 foram interrompidas em junho de 2021, pois esses instrumentos foram danificados devido ao deslocamento decorrente da ancoragem da geomembrana à base de concreto, em virtude de forte rajada de ventos reportada na região da CL3 no dia 11/06/2021. De acordo com o Data Book da Instrumentação da Carta de Controle do

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

DRS1 (doc. DK-3044436-54-Z-002 01), emitido pela GEOPROJETOS em 10/08/22, os piezômetros PZC-07 e PZC-08 foram reinstalados no dia 26/05/22.

Seção C:

A Figura 7.12 apresenta a locação em planta dos instrumentos próximos à Seção C. A Figura 7.13 apresenta a Seção C com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). A Figura 7.14 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção C.

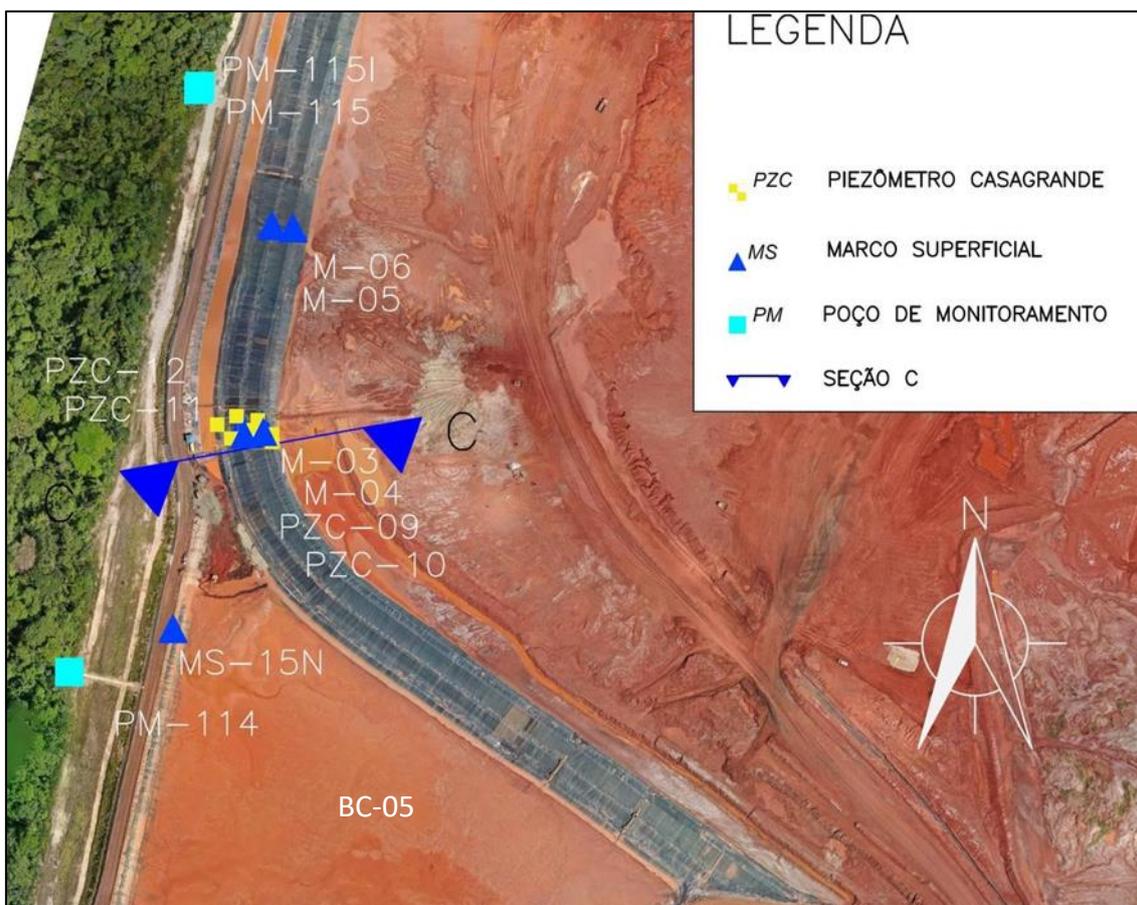


Figura 7.12 – Locação em planta da instrumentação instalada na Seção C (PIMENTA DE AVILA, 2022)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

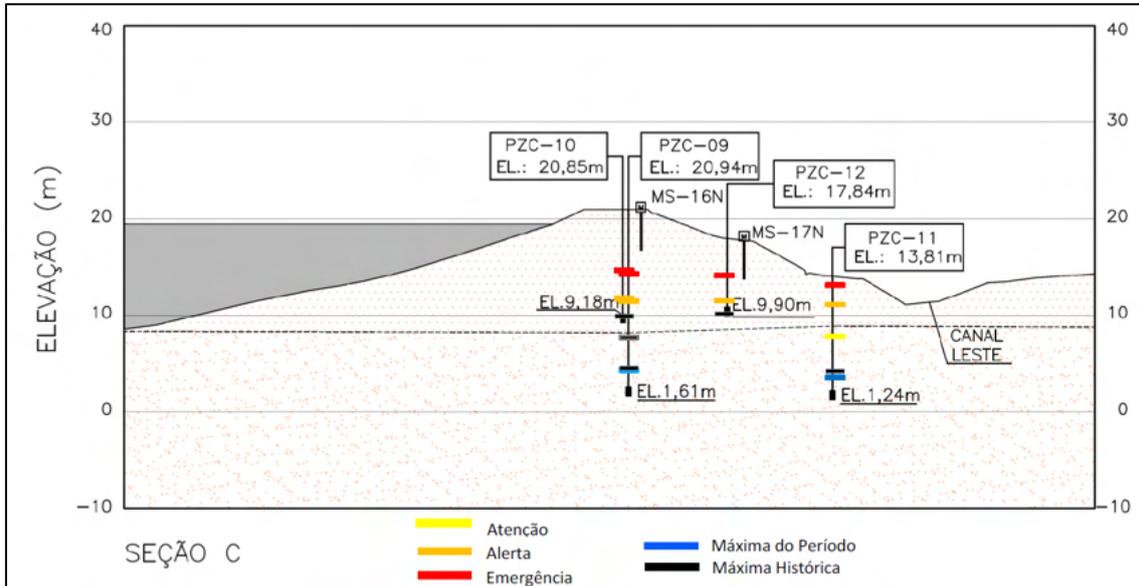


Figura 7.13 – Seção C com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

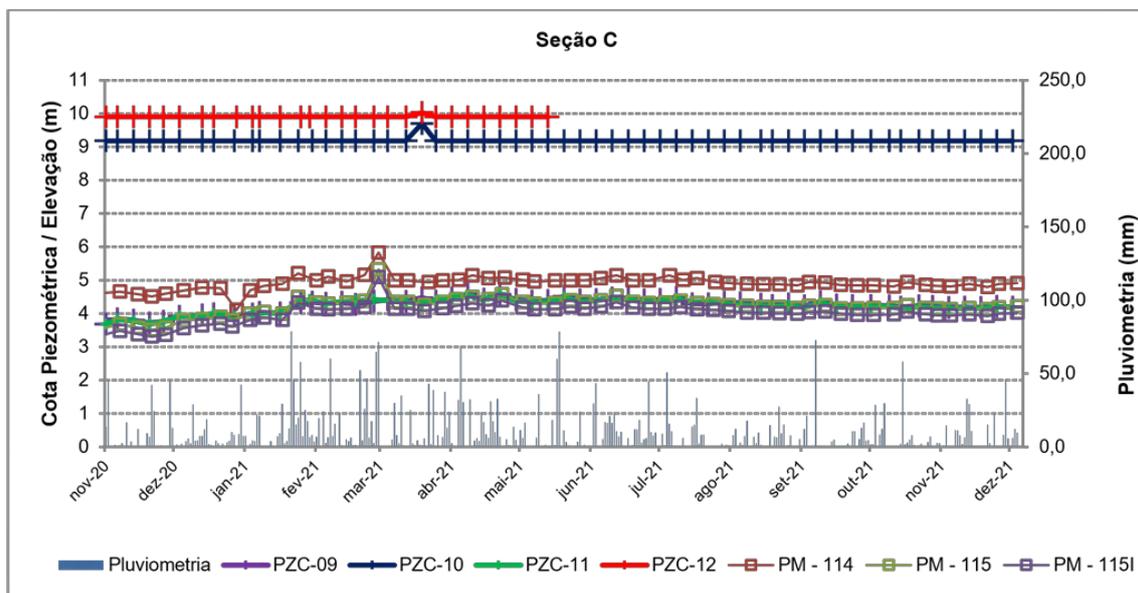


Figura 7.14 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção C (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Como se pode observar na Figura 7.14, as leituras do piezômetro se mantiveram abaixo da cota do terreno natural durante o período analisado (a partir de novembro/2020), mesmo nos meses que registraram precipitações elevadas. Apenas os piezômetros PZC-

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

10 e PZC-12 instalados no maciço do dique apresentaram uma leitura em abril/2021, porém as demais leituras foram secas. Essa leitura indicada pelos piezômetros PZC-10 e PZC-12 se deve a um teste de vida executado nos instrumentos no dia 13/04/21.

Destaca-se que, de acordo com o doc. RT-3540-54-G-581, o PZC-12 foi danificado devido ao deslocamento da geomembrana, em virtude das fortes rajadas de vento, e suas leituras foram paralisadas em 11/06/21. De acordo com o Data Book da Instrumentação da Carta de Controle do DRS1 (doc. DK-3044436-54-Z-002 01), emitido pela GEOPROJETOS em 10/08/22, o piezômetro PZC-12 foi reinstalado no dia 30/05/22.

As leituras dos poços de monitoramento PM-114, PM-115 e PM-115I são coerentes com as leituras dos piezômetros PZC-09 e PZC-11, instalados na fundação do dique. Por outro lado, o nível d'água da Bacia 05 se encontra em torno da El. 12,0 m, ou seja, cerca de 7 m acima do nível d'água na fundação. Tal diferença pode indicar a eficiência da Geomembrana PEAD que impermeabiliza os diques, os canais e as bacias.

Seção D:

A Figura 7.15 apresenta a locação em planta dos instrumentos próximos à Seção D. A Figura 7.16 apresenta a Seção D com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). Já a Figura 7.17 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção D.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

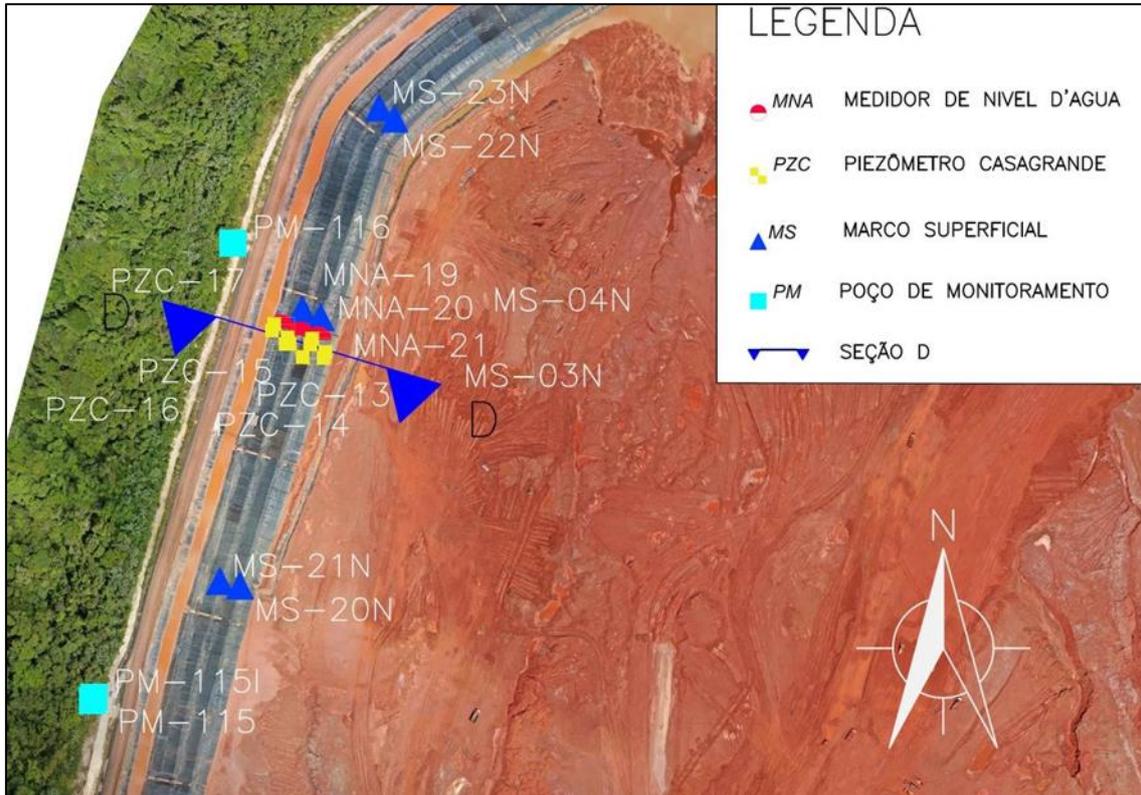


Figura 7.15 – Localização em planta da instrumentação instalada na Seção D (PIMENTA DE AVILA, 2022)

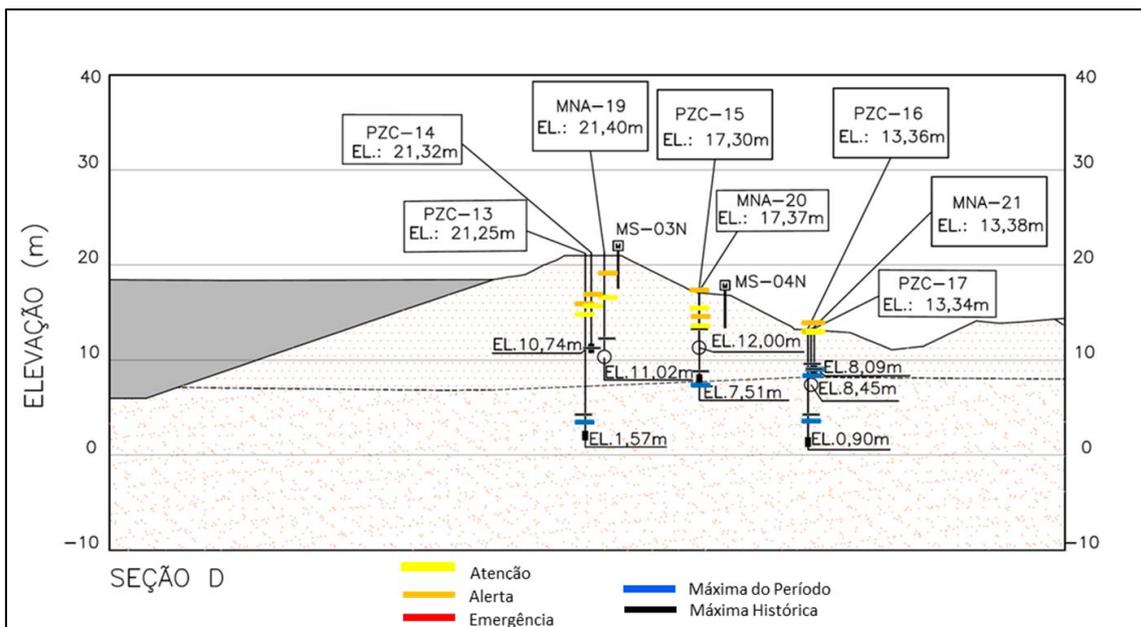


Figura 7.16 – Seção D com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

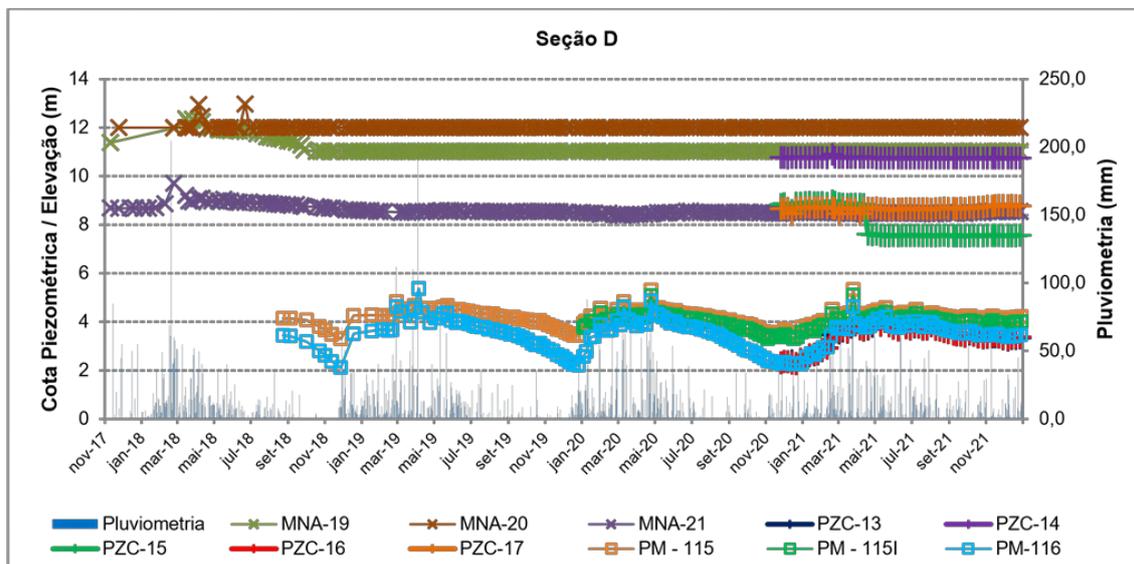
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1


Figura 7.17 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção D (PIMENTA DE AVILA, 2021)

Como se pode observar na Figura 7.17, as leituras dos MNA's e PZS's mais curtos da Seção D foram secas durante o período analisado (a partir de novembro/2017). Verificou-se, entretanto, picos pontuais de leituras no MNA-19 e MNA-20 entre maio e julho/2018, porém após esse período ambos os instrumentos se mantiveram também secos.

Para avaliar o motivo dos picos de leitura observados no MNA-19 e MNA-20, a FONNTES solicitou à ALUNORTE o histórico completo dos Relatórios de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação. Foram recebidos os relatórios elaborados a partir de julho/2018 e nestes relatórios não foram abordados os picos de leitura do MNA-20, possivelmente devido ao caráter pontual dos picos de leituras, não se repetindo no restante do histórico do instrumento que apresenta leitura predominantemente seca.

Em relação ao MNA-19, conforme o relatório de "Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação – Setembro/2018", doc. RT-3540-54-G-532,

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

elaborado pela PIMENTA DE AVILA, o instrumento é sensível à ocorrência de evento chuvosos. Tendo em vista que esse instrumento apresentou nível d'água após as chuvas de fevereiro/2018, a PIMENTA DE AVILA solicitou a execução de testes de recuperação nesse instrumento.

O teste de recuperação consiste em esvaziar todo o instrumento seguido da realização de leituras diárias até que ocorra equalização das mesmas. A partir do teste de recuperação apresentado na Figura 7.18, concomitante às precipitações, o instrumento MNA-19 apresentou recuperação do nível d'água monitorado, embora com tendência de redução nos níveis observados ao longo dos testes. Esse comportamento de redução normalmente indica entrada de água da chuva pelo topo do instrumento, pois quando há de fato um NA estático a tendência é uma estabilização das leituras e não redução. Fato é que posterior a novembro/2018 o instrumento tem leitura seca sem apresentar mais nenhum registro de nível d'água em seu interior.

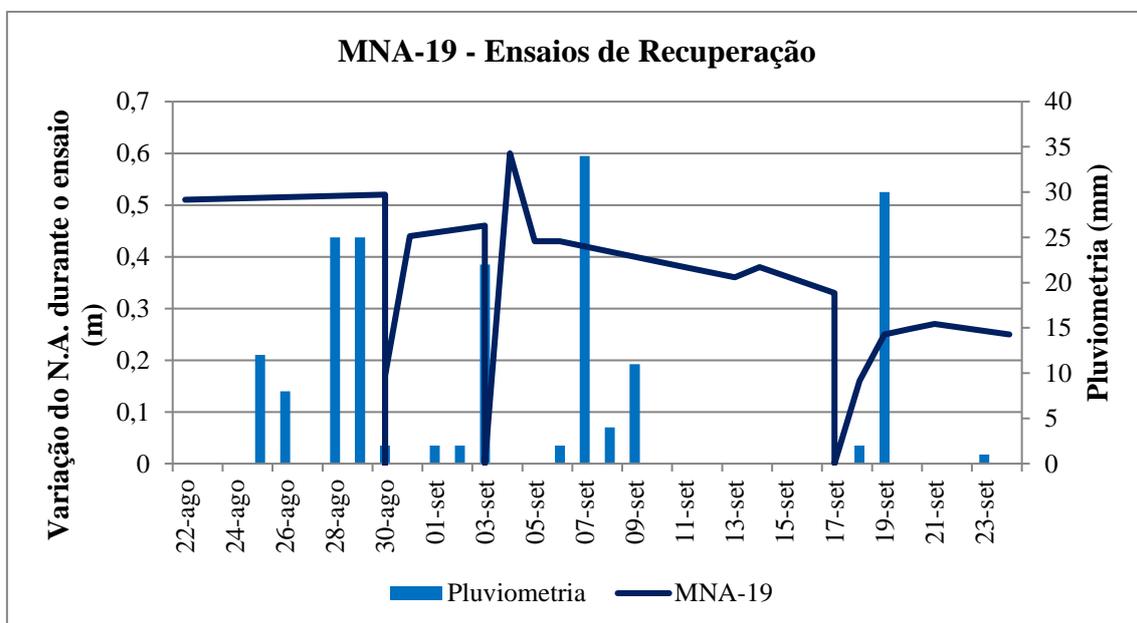


Figura 7.18 – Ensaios de recuperação realizados no MNA-19 (PIMENTA DE AVILA, 2018)

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

Os piezômetros instalados na fundação (PZC-13 e PZC-16) apresentam oscilações em suas leituras em função das precipitações. Suas leituras são coerentes com as registradas no poço de monitoramento PM-116, instalado próximo à Seção D, conforme Figura 7.17.

Conforme já indicado pela PIMENTA DE AVILA (2022), no doc. RT-3540-54-G-581, os instrumentos PZC-15, PZC-17 e MNA-21, apresentaram leituras no interior do maciço, ou seja, acima do nível do terreno natural, com tendência de leituras em torno da El. 7,56 m, El. 8,79 m e El. 8,54 m, respectivamente. No entanto, os piezômetros instalados na fundação (PZC-13 e PZC-16) apresentaram leituras em torno da El. 4,0 m, aproximadamente 4,0 m abaixo desses instrumentos. Para avaliação das leituras dos instrumentos PZC-15, PZC-17 e MNA-21, a PIMENTA DE AVILA solicitou no Relatório Trimestral de Monitoramento da Instrumentação referente aos meses de janeiro a março/2021 a execução de:

- coleta de amostras de efluente no interior dos instrumentos, no canal de contorno e na CL3 para aferição do pH;
- abertura de janelas na geomembrana nas proximidades do MNA-21;
- testes de secagem dos instrumentos;
- furos a trado nas proximidades do MNA-21;

Além disso, a ALUNORTE realizou inspeções visuais, acompanhamento do nível d'água dos furos a trado e avaliação do histórico da construção da CL3, com o intuito de ampliar o entendimento acerca da região.

A partir dessa avaliação, no doc. RT-3540-54-G-581, a PIMENTA DE AVILA (2022), concluiu que:

- o nível d'água observado nos furos de trado e o nível piezométrico dos instrumentos indicam a existência de uma continuidade lateral, aproximadamente na interface aterro-fundação e entre as estacas 120 e 144;

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

- não há contribuição do reservatório da CL3 e dos efluentes do canal de contorno para o nível d'água identificado no dique, uma vez que o pH das amostras de efluente proveniente dos tubos é bem distinto das amostras do canal e CL3;
- a umidade dos instrumentos não se estende para jusante, já que a surgência foi observada em cota superior ao fundo dos instrumentos;

Sendo assim, a PIMENTA DE AVILA (2022) levanta a hipótese de que a situação observada nos instrumentos se dá às dificuldades executivas relativas a primeira fase de construção da CL3, na qual o volume de aterro a se executar era elevado, a incidência de chuvas na região elevada e houve a necessidade de desviar do canal de contorno da CL2 para garantir a continuidade pelo Canal Leste. Conseqüentemente, pontualmente nessa região, o aterro pode não ter sido executado em condições desejáveis, sem controle correção de umidade ou com má compactação.

A PIMENTA DE AVILA (2022) acrescenta que a impermeabilização do maciço ocorreu em duas etapas, na qual a primeira contemplava apenas o canal e a segunda contemplava o aterro após a construção da 2ª fase. Essa execução da impermeabilização somente no canal de contorno na primeira fase do dique pode ter favorecido a infiltração da água de chuva no maciço durante a construção. Além disso, a existência de rasgos na geomembrana e o acúmulo de água observado na antiga valeta de ancoragem podem ainda contribuir para a “recarga” do maciço.

Por fim, a PIMENTA DE AVILA conclui que como o material da fundação possui permeabilidade baixa, o maciço do dique possui lentas condições de dissipação das poropressões ou da frente de saturação. A baixa permeabilidade justificaria as leituras dos instrumentos e as camadas saturadas no meio do maciço do dique observadas durante as sondagens a trado.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

Na sequência, a PIMENTA DE AVILA (2022) solicitou a realização de mais dois furos a trado (ST-L e ST-M), para delimitação preliminar do perfil de umidade na parede. Os furos foram concluídos em 19/08/2021 e seus níveis d'água estão sendo monitorados junto aos demais furos executados anteriormente. A locação de todas as sondagens a trado realizadas é apresentada na Figura 7.19 e as leituras de nível d'água são apresentadas na Figura 7.20.

A partir das leituras dos níveis d'água do ST-L e ST-M, foi identificada a saturação do maciço na região desses trados, confirmando a extensão da mancha de saturação entre as estacas 120 e 144. Foi identificada uma pequena região não saturada próximo ao ST-H.

A PIMENTA DE AVILA solicitou que os furos MNA-ST-A a MNA-ST-E fossem preenchidos com calda de cimento devido a constância das leituras. A ALUNORTE finalizou o preenchimento com calda de cimento dos cinco trados no dia 19/08/2021. Os demais furos permaneceram sendo monitorados semanalmente.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

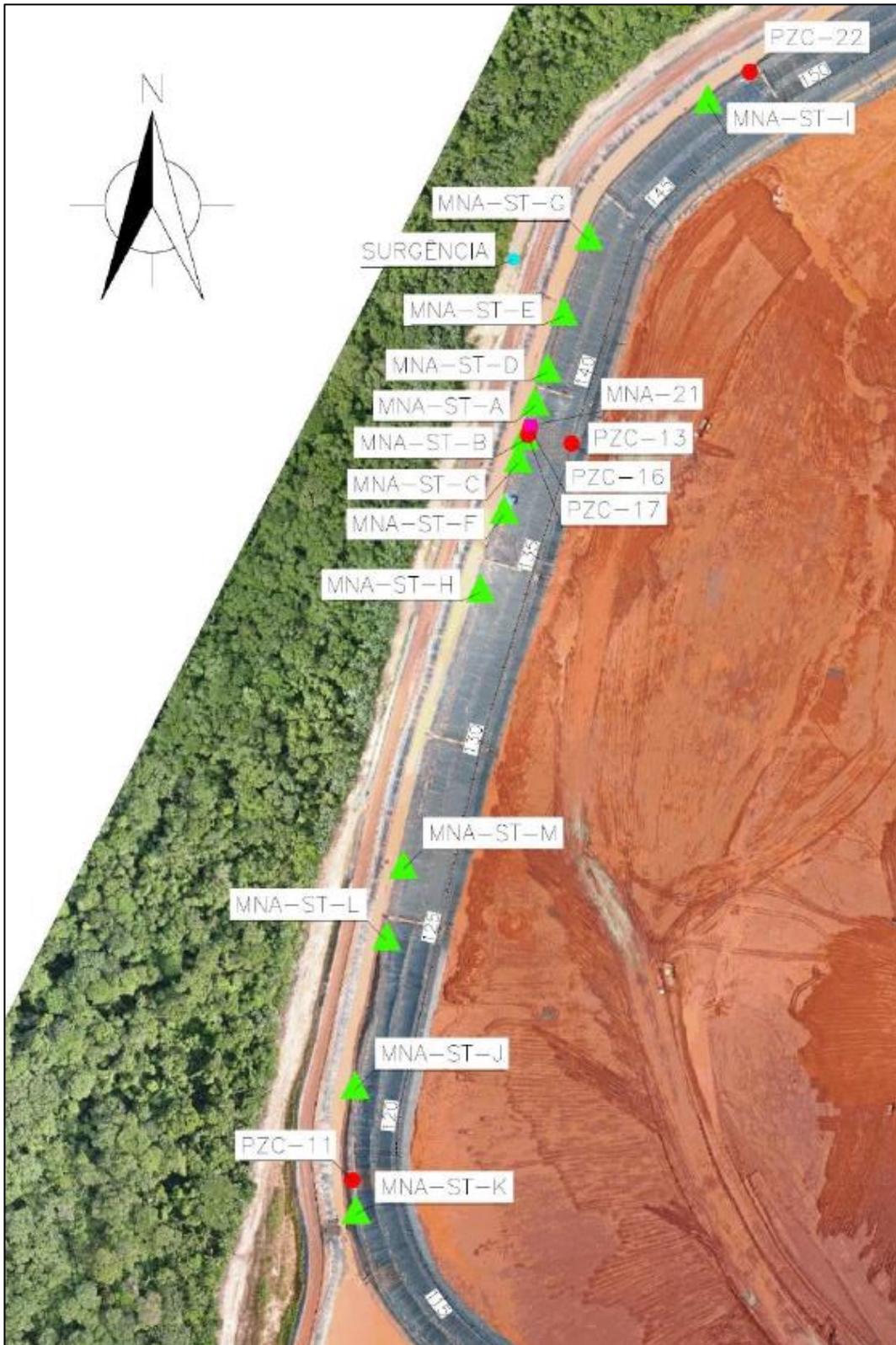


Figura 7.19 – Localização em planta das sondagens a trado instalada no entorno da Seção D (PIMENTA DE AVILA, 2022)

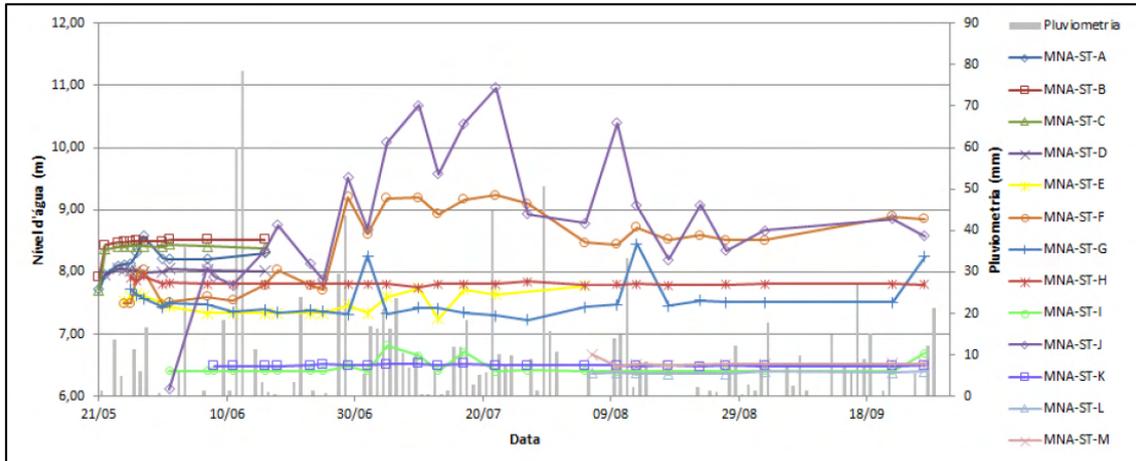
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1


Figura 7.20 – Sondagens a trado com indicação das leituras de nível d'água (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Destaca-se que esta situação permanece sendo monitorada pela ALUNORTE e acompanhada pela PIMENTA DE AVILA. A ALUNORTE possui furos de sondagem a trado abertos para monitoramento do nível d'água na região (Figura 7.19). A PIMENTA DE AVILA recomendou concluir a regularização da superfície das regiões erodidas existentes abaixo da geomembrana e da antiga valeta de ancoragem para reduzir a parcela de contribuição da água que se acumula na berma. Recomendou-se também executar investigações no material saturado do dique, como ensaios SPT e coleta de amostras indeformadas, para analisar as condições de resistência do maciço em profundidade e do perfil de umidade do aterro nas regiões avaliadas, de forma a adotar parâmetros adequados em cada região.

Seção E:

A Figura 7.21 apresenta a locação em planta dos instrumentos próximos à Seção E. A Figura 7.22 apresenta a Seção E com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). Já a Figura 7.23 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção E.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

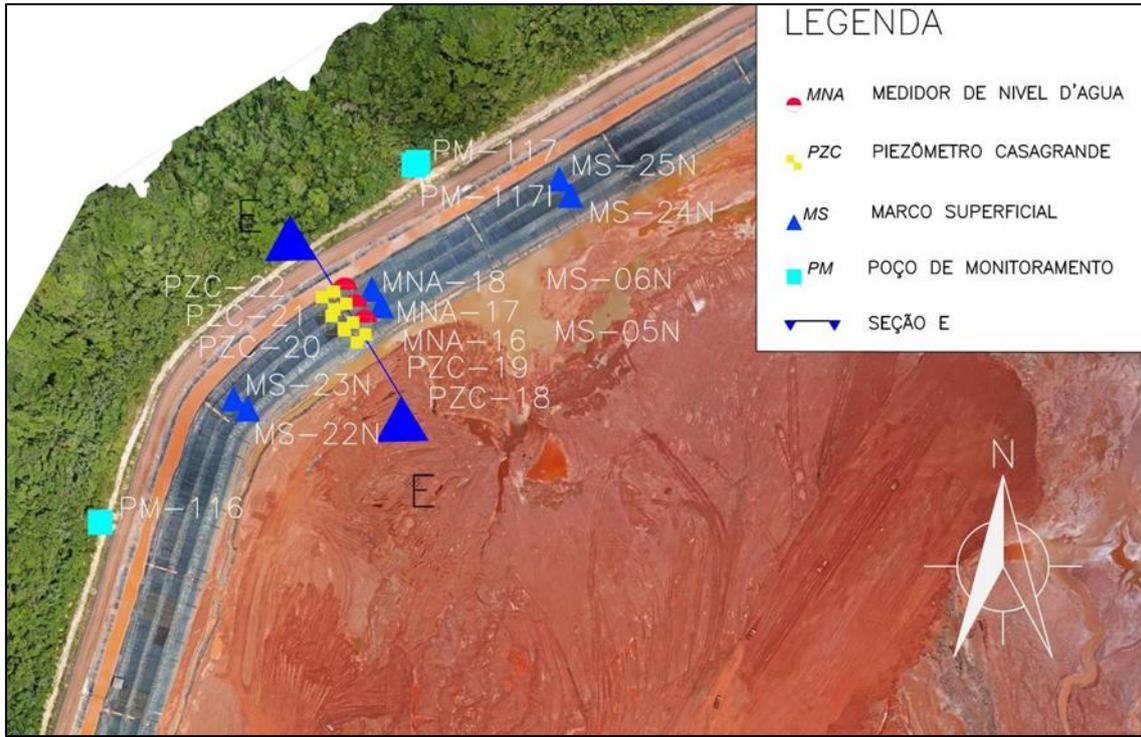


Figura 7.21 – Localização em planta da instrumentação instalada na Seção E (PIMENTA DE AVILA, 2022)

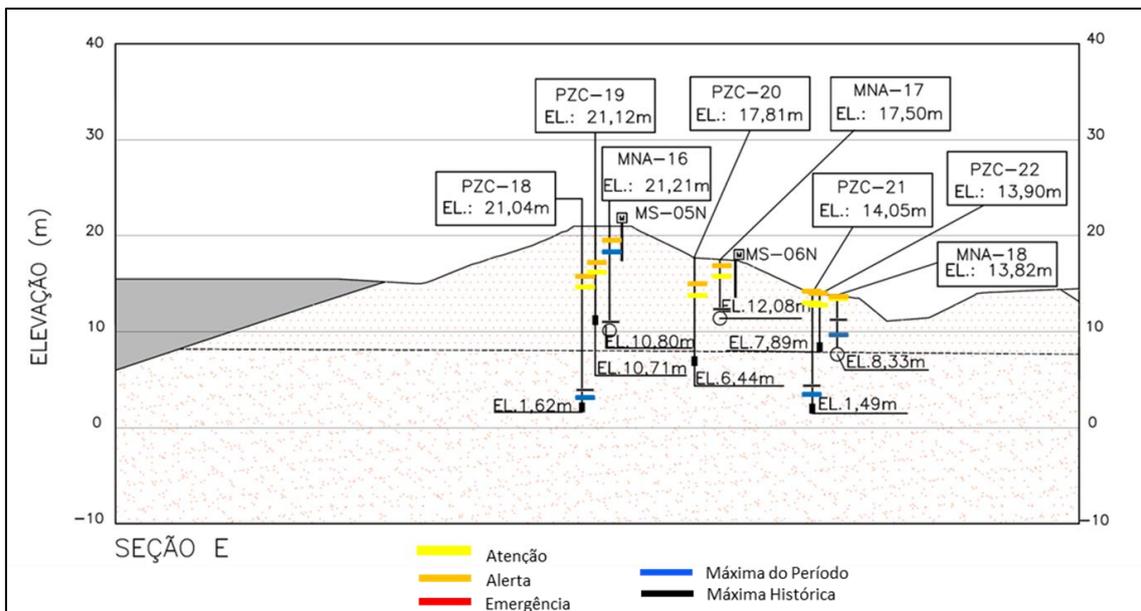


Figura 7.22 – Seção E com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

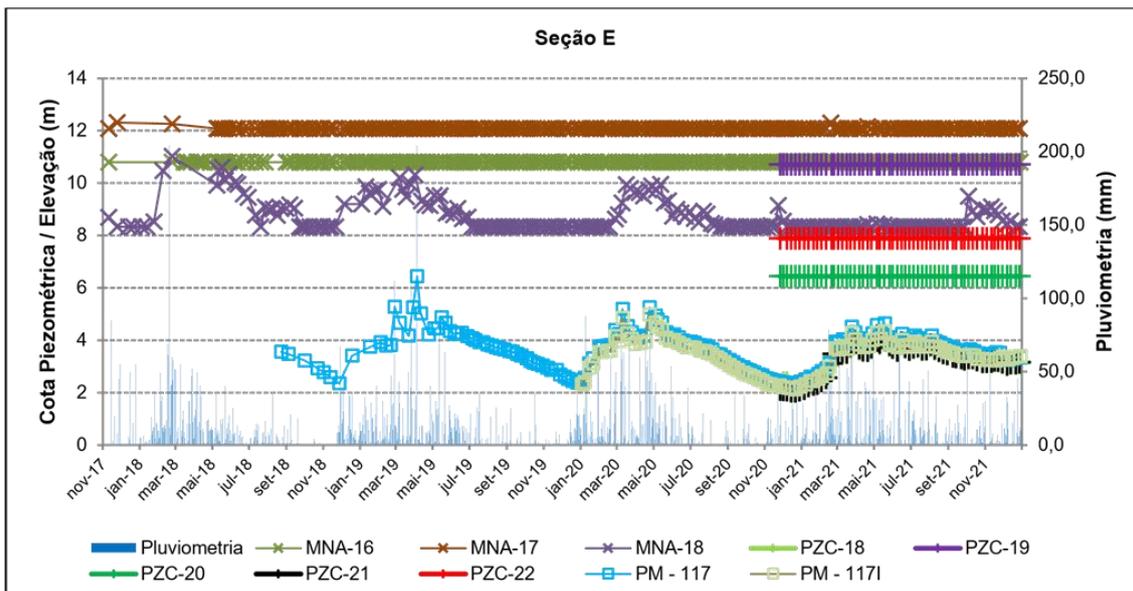
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1


Figura 7.23 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção E (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Como se pode observar na Figura 7.23, as leituras dos MNA's e PZS's da Seção E permaneceram abaixo da cota do terreno natural ou secos durante o período analisado (a partir de novembro/2017), exceto o MNA-18.

Verificou-se a variação das leituras do MNA-18 em função das precipitações, apresentando comportamento “seco” nos meses mais secos do ano. No entanto, o piezômetro PCZ-21, localizado próximo ao MNA-18, se encontra cerca de 4,5 m abaixo do MNA-18. Tal situação, pode indicar a existência de problemas na funcionalidade do MNA-18. Conforme indicado no doc. RT-3540-54-G-581, a ALUNORTE informou a PIMENTA DE AVILA que o nível d'água registrado no último trimestre de 2021 ocorreu devido à troca de geomembrana, entretanto, a FONNTES recomenda realizar teste de vida no indicador de nível d'água MNA-18 e coletar amostra de efluente do interior do tubo para verificação do pH, assim que o nível d'água no interior do instrumento voltar a ser observado.

Os piezômetros PZC-18 e PZC-21, instalados na fundação do dique, apresentaram variações em suas leituras em função das precipitações. As oscilações nas leituras desses

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

piezômetros são coerentes com as leituras dos poços de monitoramento PM-116 e PM-117, instalados próximos a Seção E, que indicaram nível d'água nas El. 3,34 m e 3,38 m, respectivamente, em dezembro/2021.

Seção F:

A Figura 7.24 apresenta a locação em planta dos instrumentos próximos à Seção F. A Figura 7.25 apresenta a Seção F com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). Já a Figura 7.26 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção F.

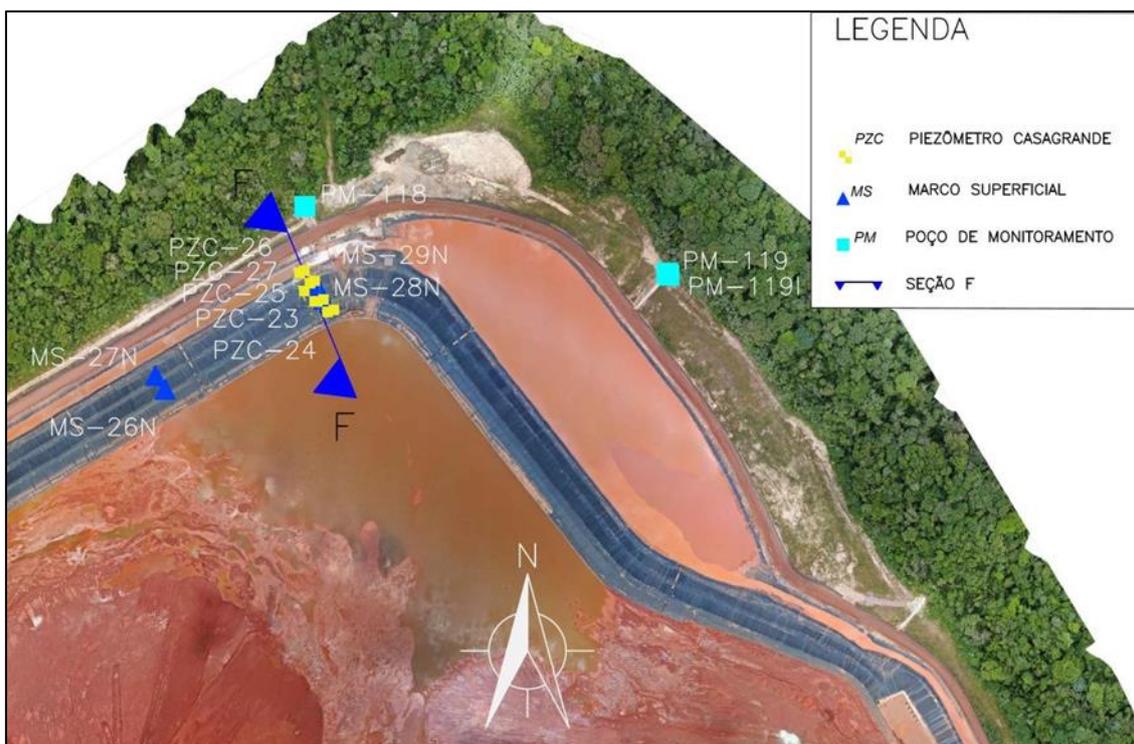


Figura 7.24 – Locação em planta da instrumentação instalada na Seção F (PIMENTA DE AVILA, 2022)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

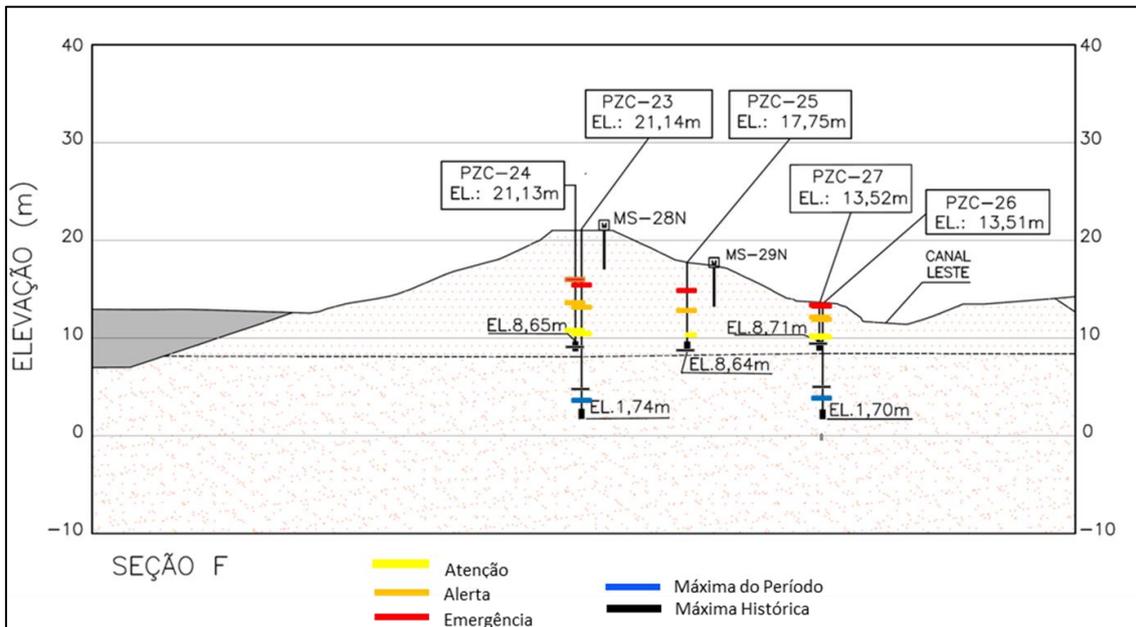


Figura 7.25 – Seção F com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

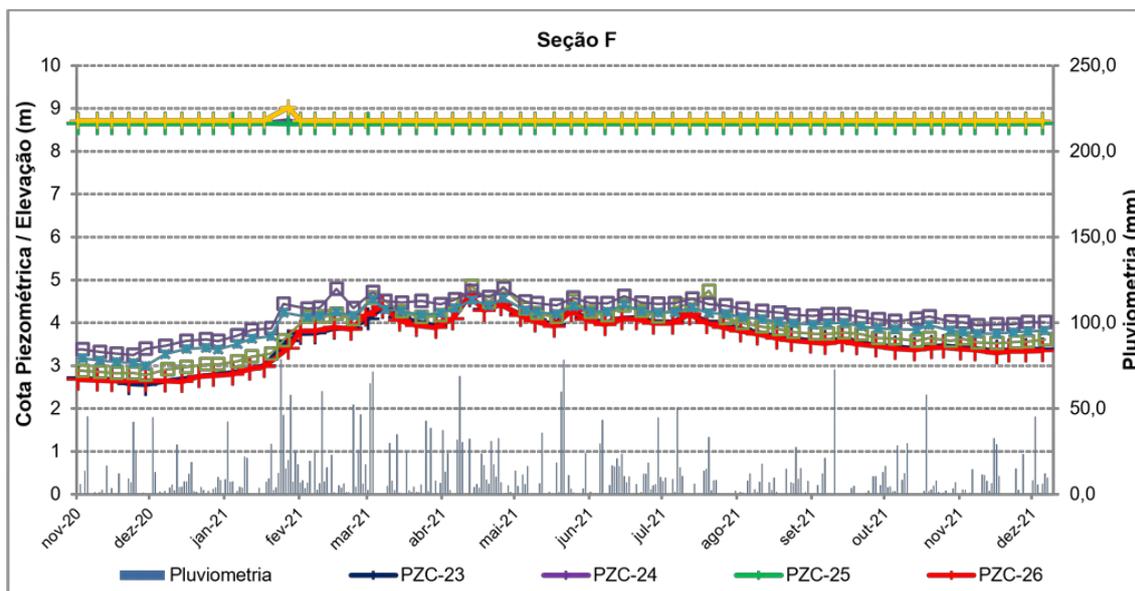


Figura 7.26 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção F (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Como se pode observar na Figura 7.26, as leituras dos PZ's da Seção F instalados acima da cota do terreno natural permaneceram secos durante o período analisado (a partir de novembro/2020), exceto em uma leitura de fevereiro/2021 quando foram registrados picos de 6 cm e 31 cm nos piezômetros PZC-24 e PZC-27, respectivamente.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

Os instrumentos que apresentaram variações em suas leituras foram os piezômetros instalados na fundação (PZC-23 e PZC-26) e suas leituras são coerentes com as leituras dos poços de monitoramento PM-118 e PM-119, instalados próximos a Seção F, conforme Figura 7.24.

Seção G:

A Figura 7.27 apresenta a locação em planta dos instrumentos próximos à Seção G. A Figura 7.28 apresenta a Seção G com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). Já a Figura 7.29 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção G.

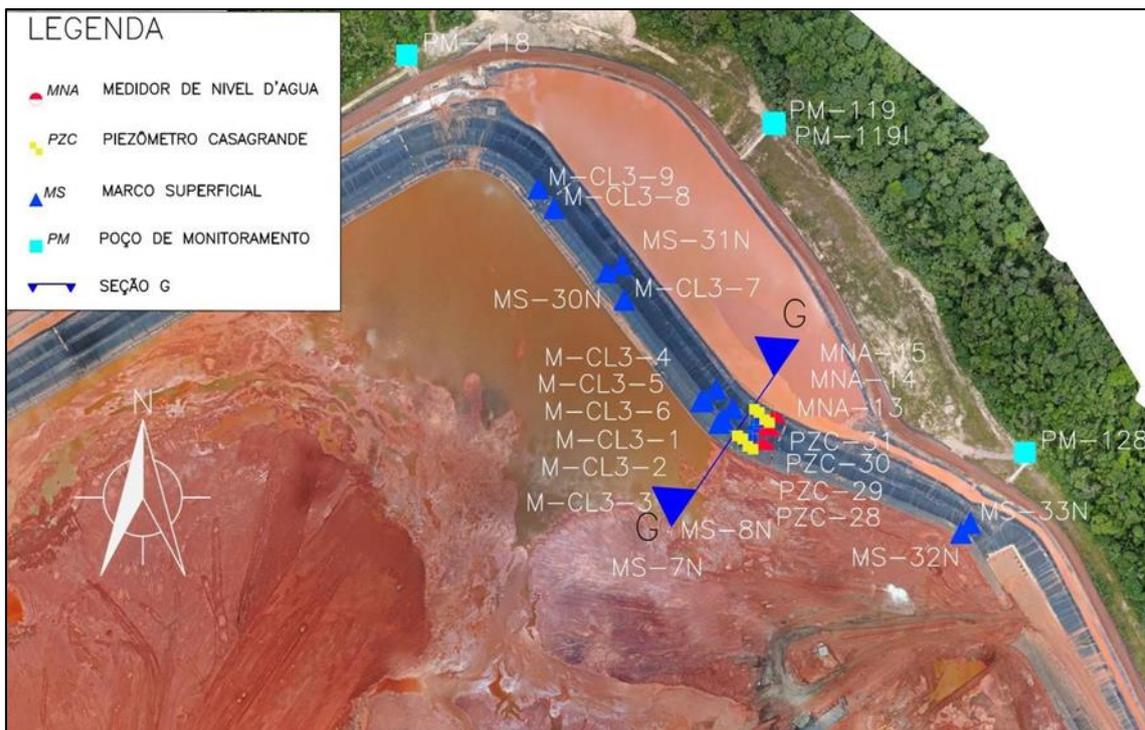


Figura 7.27 – Locação em planta da instrumentação instalada na Seção G (PIMENTA DE AVILA, 2022)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

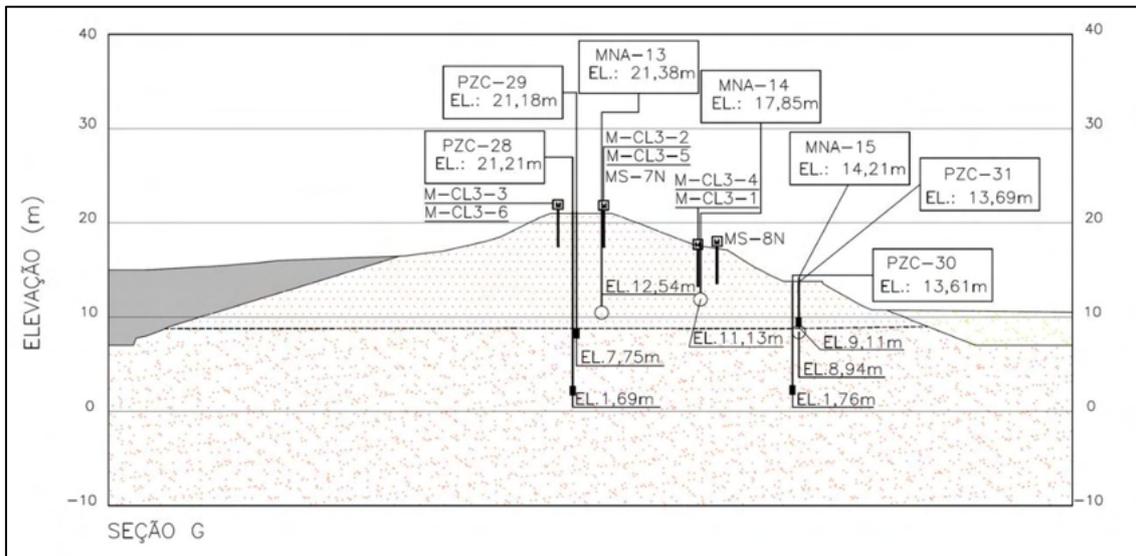


Figura 7.28 – Seção G com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

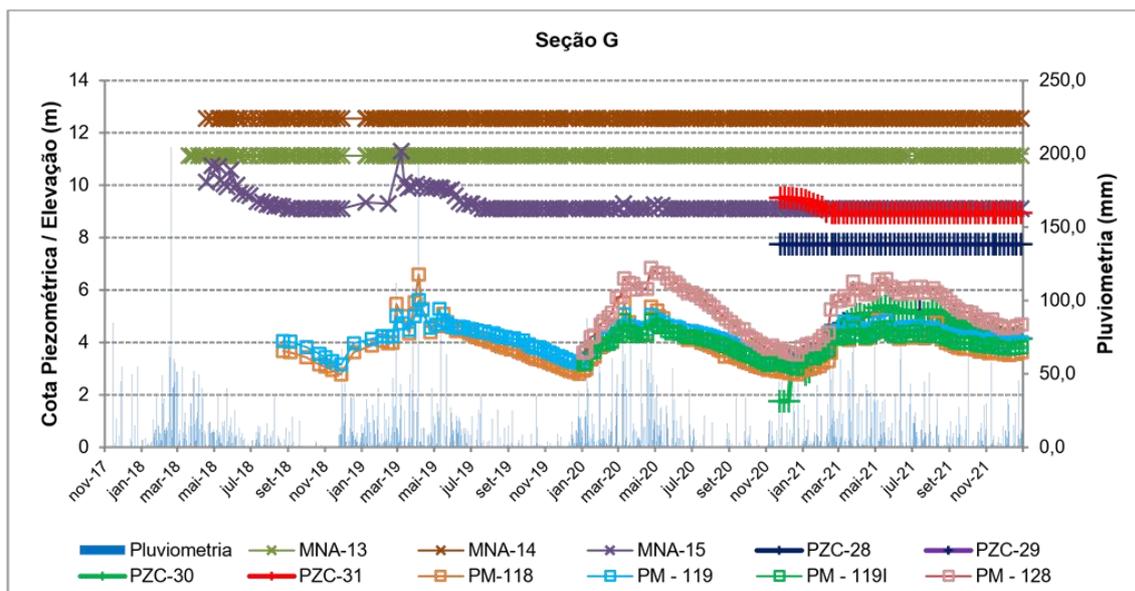


Figura 7.29 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção G (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Como se pode observar na Figura 7.5, as leituras dos MNA's da Seção G instalados acima da cota do terreno natural permaneceram secos durante o período analisado (a partir de março/2018). Já o MNA-15, instalado no contato do dique com o a fundação, apresentou aumento em seu nível d'água nos meses mais chuvosos de 2018 e 2019, porém atualmente se encontra seco.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

Os piezômetros PZC-28 e PZC-30, instalados na fundação, apresentaram variações em suas leituras coerentes com as leituras dos poços de monitoramento PM-128, instalados próximos a Seção G, conforme Figura 7.27.

Seção H:

A Figura 7.30 apresenta a locação em planta dos instrumentos próximos à Seção H. A Figura 7.31 apresenta a Seção H com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). Já a Figura 7.32 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção H.

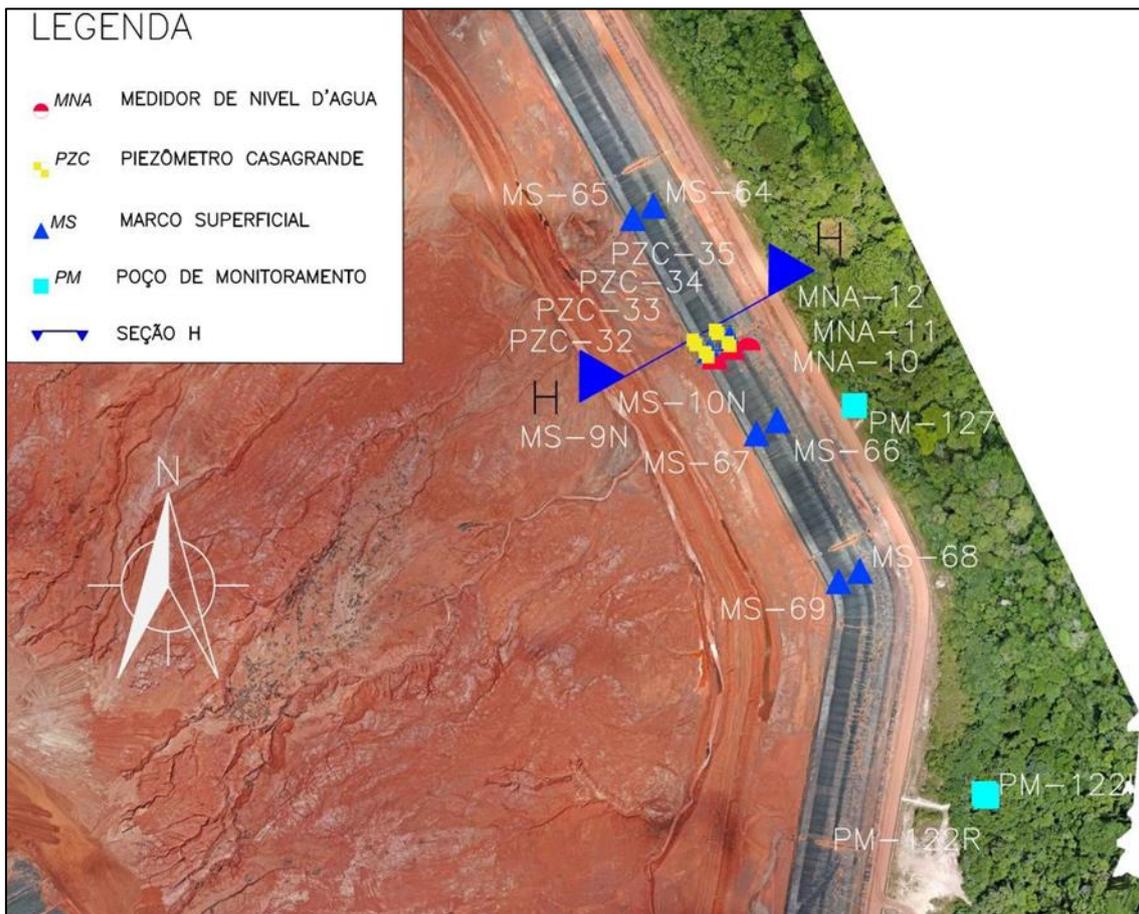


Figura 7.30 – Locação em planta da instrumentação instalada na Seção H (PIMENTA DE AVILA, 2022)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

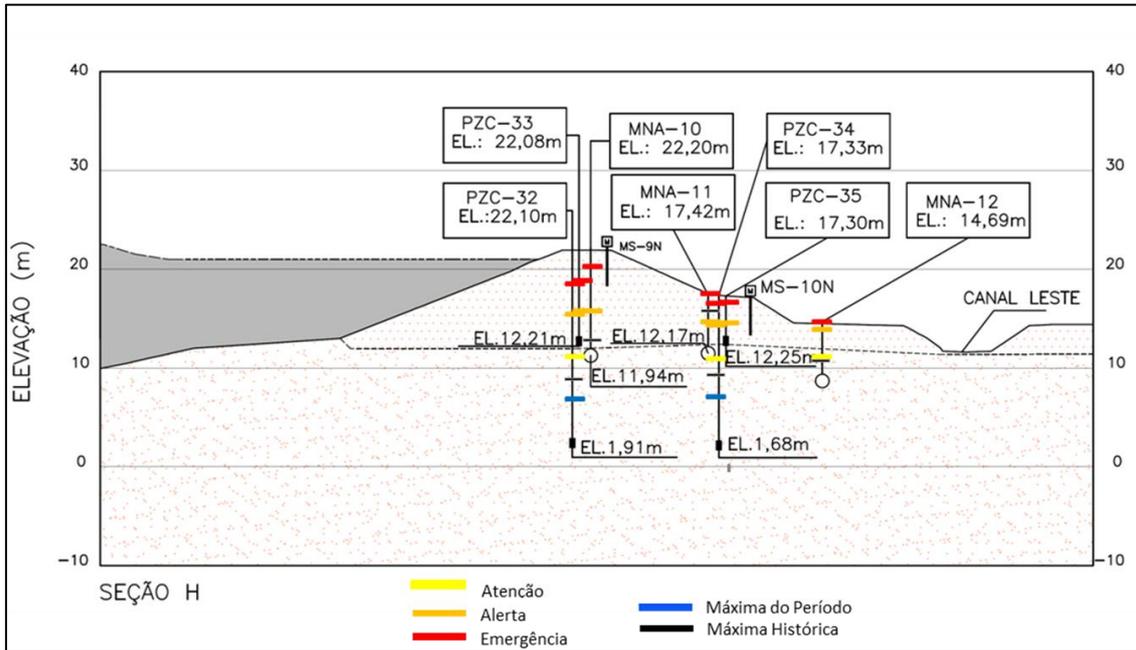


Figura 7.31 – Seção H com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

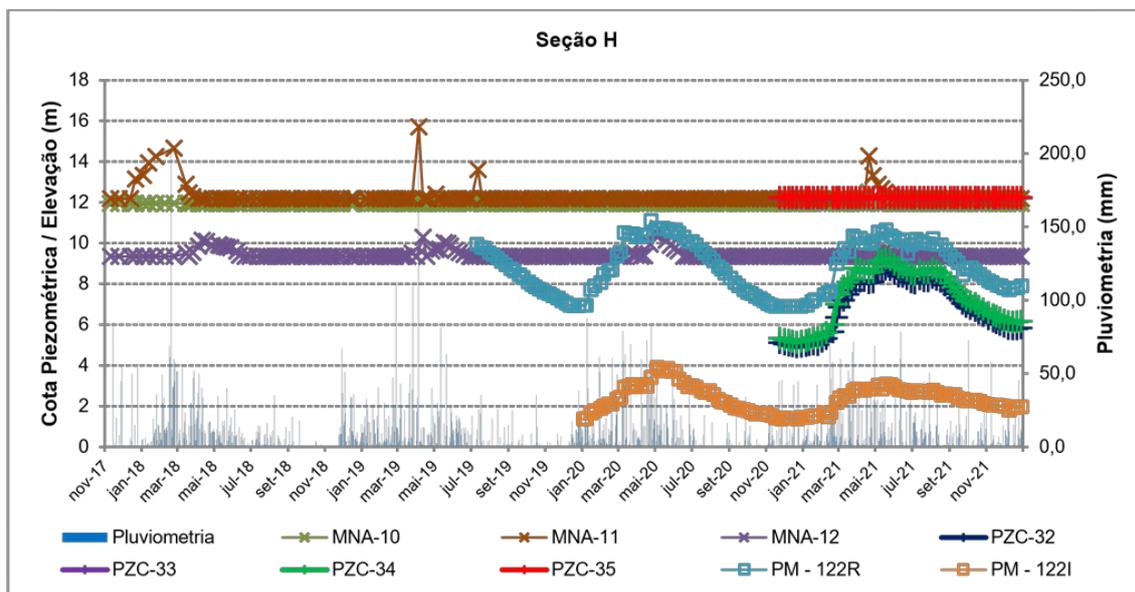


Figura 7.32 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção H (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Como se pode observar na Figura 7.32, as leituras dos MNA's e PZ's da Seção H instalados acima da cota do terreno natural permaneceram secos durante o período

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

analisado (a partir de novembro/2017), exceto o MNA-11 que apresentou picos de leitura nos dias mais chuvosos.

Os piezômetros PZC-32 e PZC-34, instalados na fundação, apresentaram oscilações em suas leituras coerentes com as leituras dos poços de monitoramento PM-122R e com o regime pluviométrico, instalado próximo à seção H (conforme Figura 7.30), sendo que as leituras do poço estão aproximadamente 1,80 m abaixo das leituras dos piezômetros. Observa-se, entretanto, que o poço PM-122I, instalado junto ao PM-122R, apresenta leituras aproximadamente 6,50 m abaixo do PM-122R. De acordo com o documento RT-3540-54-G-581, elaborado pela PIMENTA DE AVILA (2022), a diferença entre as leituras dos PM-122R e PM-122I é proveniente da existência de lençol suspenso na região.

Próximo a Seção H está localizada a Seção Leste do Projeto de Reabilitação do DRS1 (LPS, 2022, doc. RT-8400-54-G-180). Nesta seção, estão instalados dois poços de monitoramento PM-03 e PM-04, conforme Figura 7.33, e seus históricos de leitura são indicados na Figura 7.34. Observa-se que no dia 28/12/2021, o PM-03 apresenta leitura na El. 32,19 m, o PM-04 na El. 23,50 m, o MNA-10, instalado na crista com cota de fundo na El. 11,25 m, se encontra seco, e o PZC-32, também instalado na crista, porém com cota de fundo na El. 1,91 m, apresenta leitura na El. 6,16 m. Tendo em vista que o nível d'água se encontra consideravelmente mais elevado no interior do depósito do que no Dique de Contorno, é possível comprovar a estanqueidade da geomembrana PEAD que reveste as estruturas.

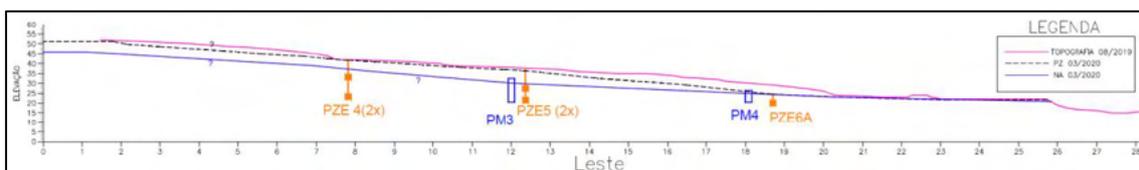


Figura 7.33 – Seção Leste com indicação da instrumentação (LPS, 2022)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

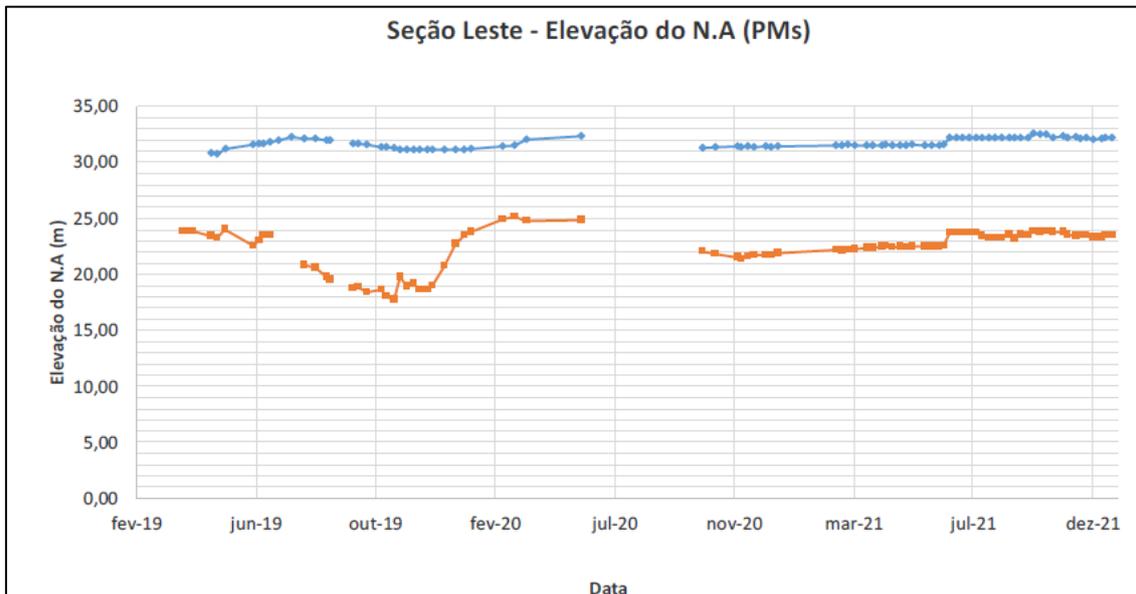


Figura 7.34 – Histórico de leituras dos PM's da Seção Leste (LPS, 2022)

Seção I:

A Figura 7.35 apresenta a locação em planta dos instrumentos próximos à Seção I. A Figura 7.36 apresenta a Seção I com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). Já a Figura 7.37 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção I.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

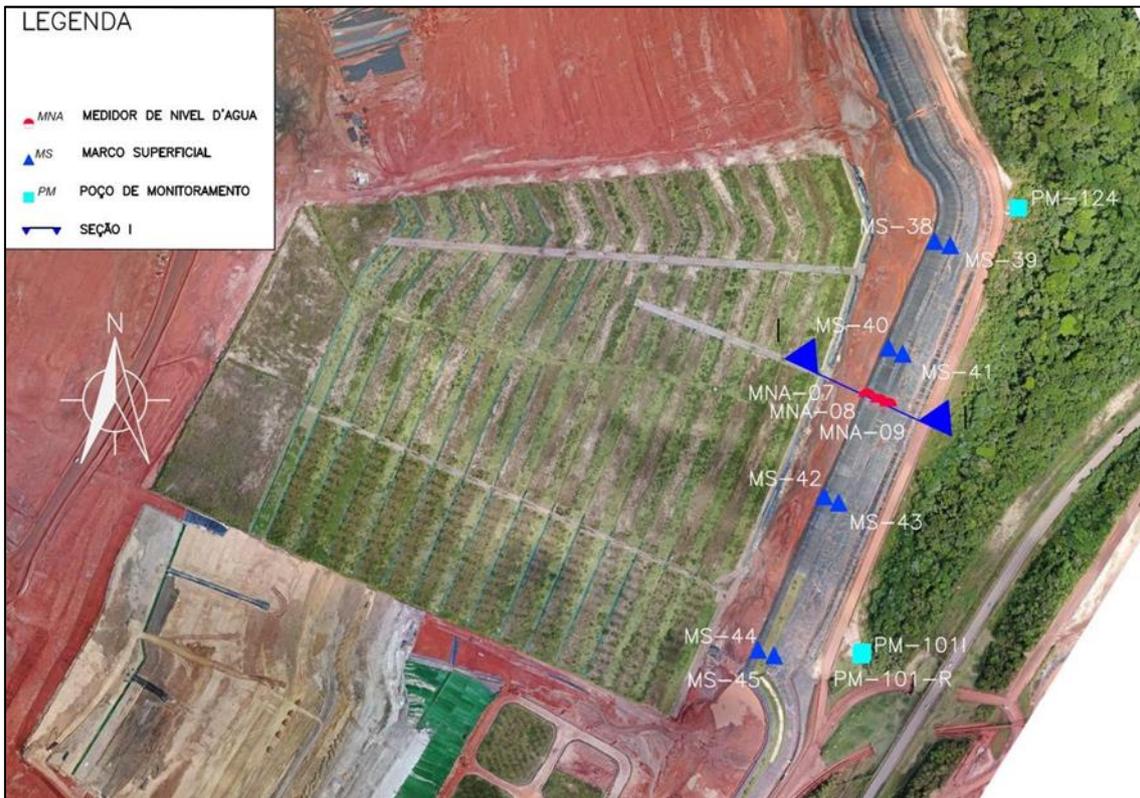


Figura 7.35 – Localização em planta da instrumentação instalada na Seção I (PIMENTA DE AVILA, 2022)

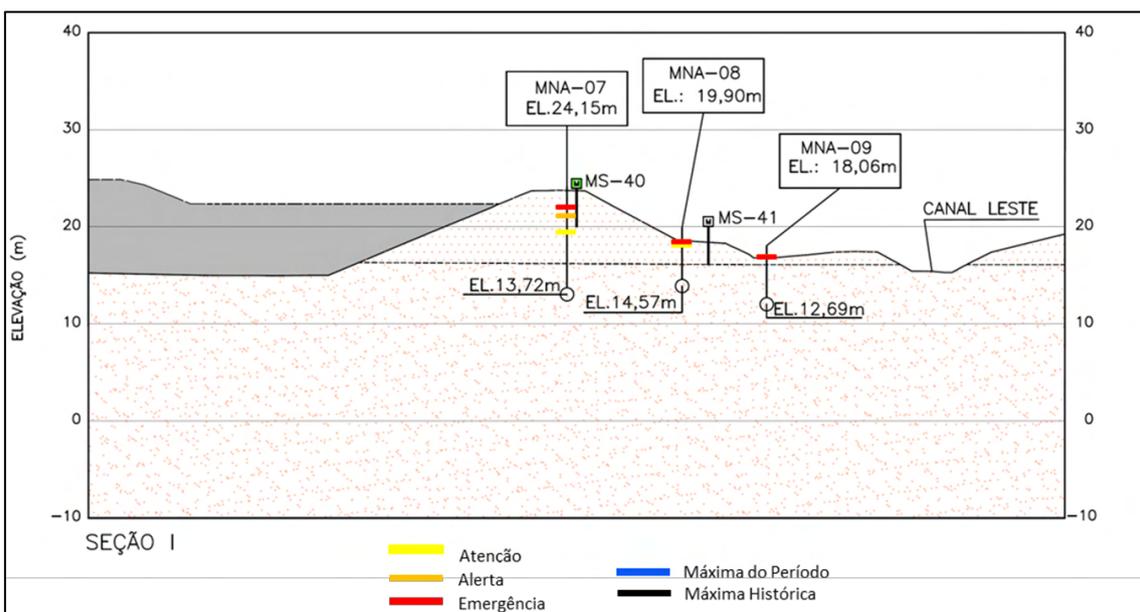
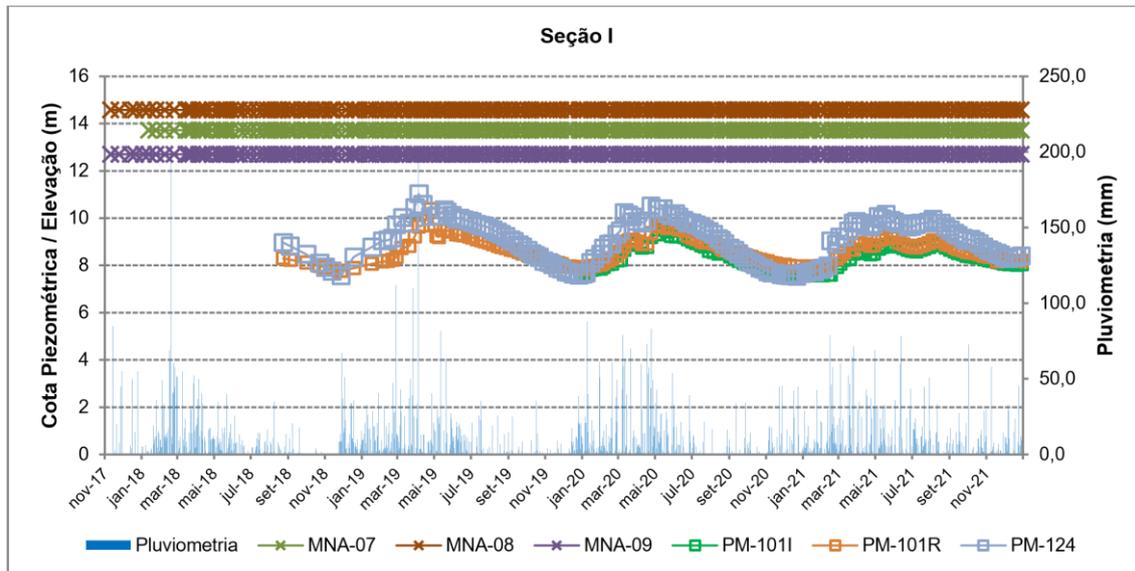


Figura 7.36 – Seção I com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

Figura 7.37 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção I (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Como se pode observar na Figura 7.37, as leituras dos MNA's da Seção I, instalados na fundação do dique, permaneceram secos durante o período analisado (a partir de novembro/2017). Os poços de monitoramento apresentaram oscilações em suas leituras coincidentes com o regime pluviométrico.

Seção J:

A Figura 7.38 apresenta a locação em planta dos instrumentos próximos à Seção J. A Figura 7.39 apresenta a Seção J com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). Já a Figura 7.40 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção J.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

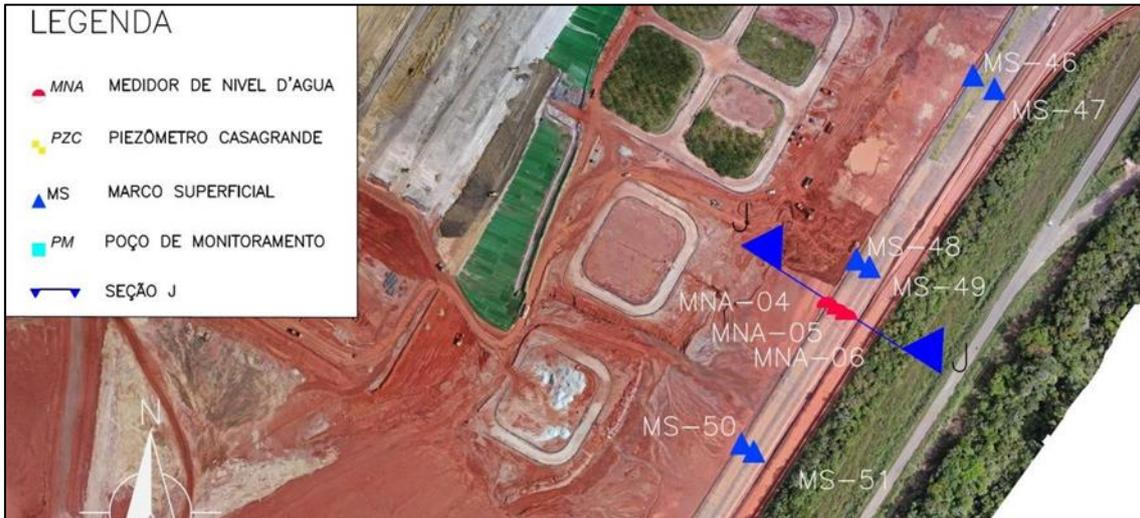


Figura 7.38 – Localização em planta da instrumentação instalada na Seção J (PIMENTA DE AVILA, 2022)

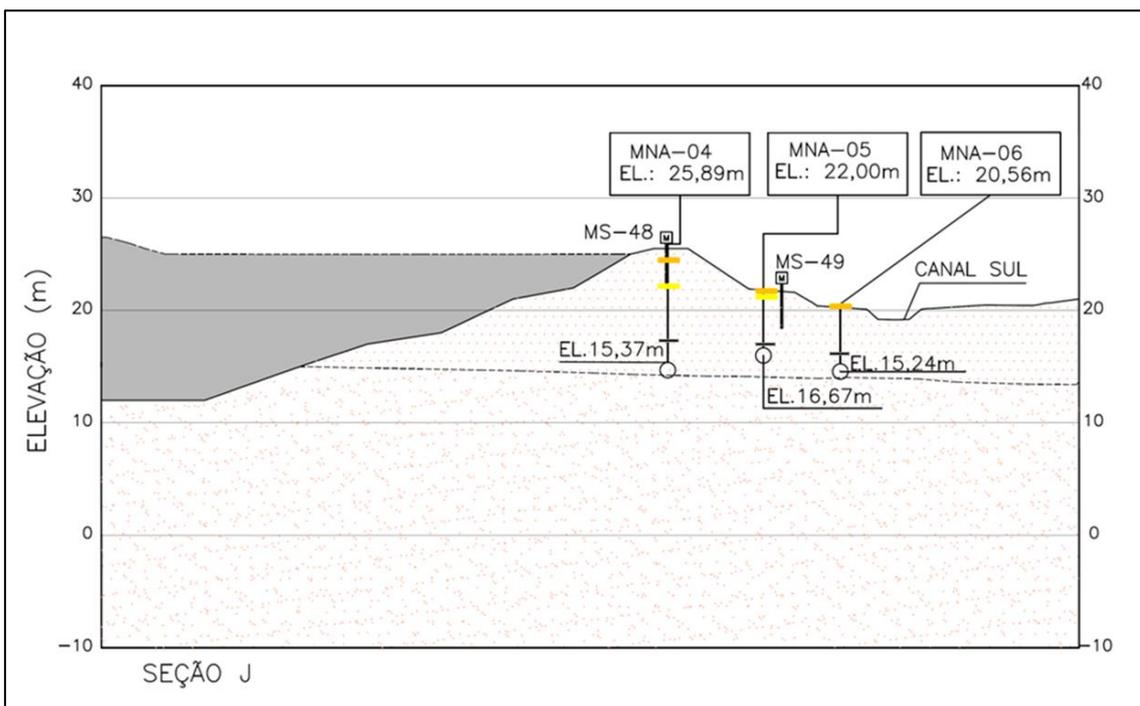


Figura 7.39 – Seção J com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

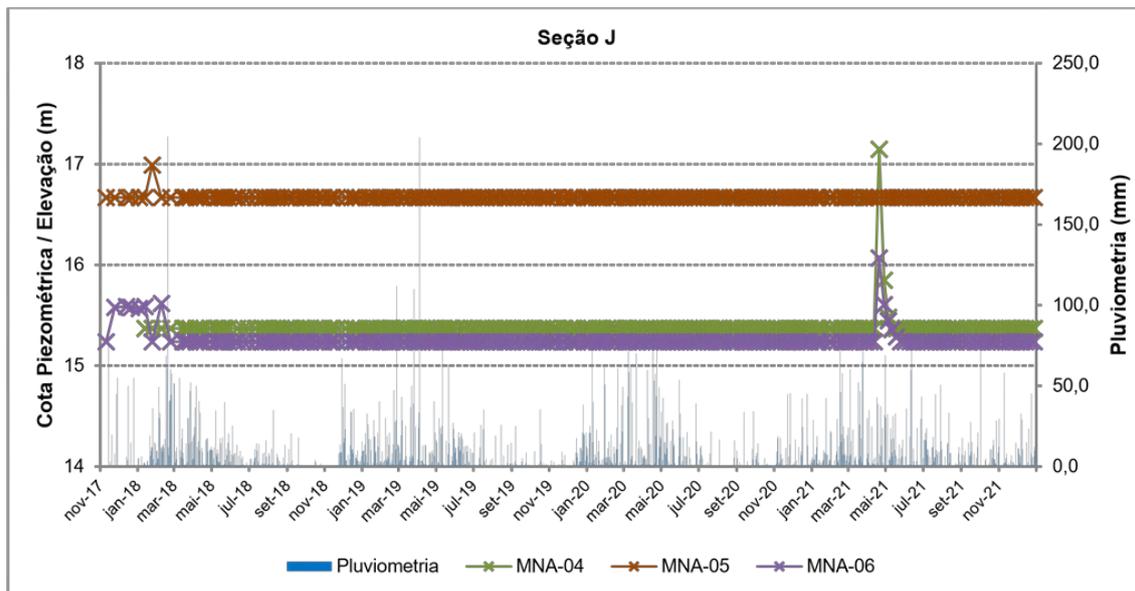
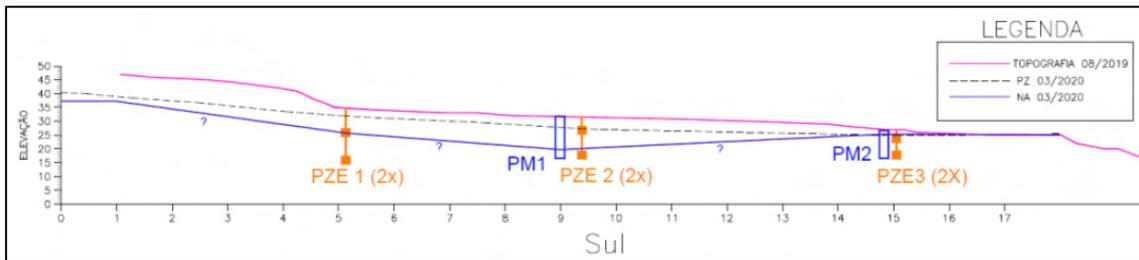
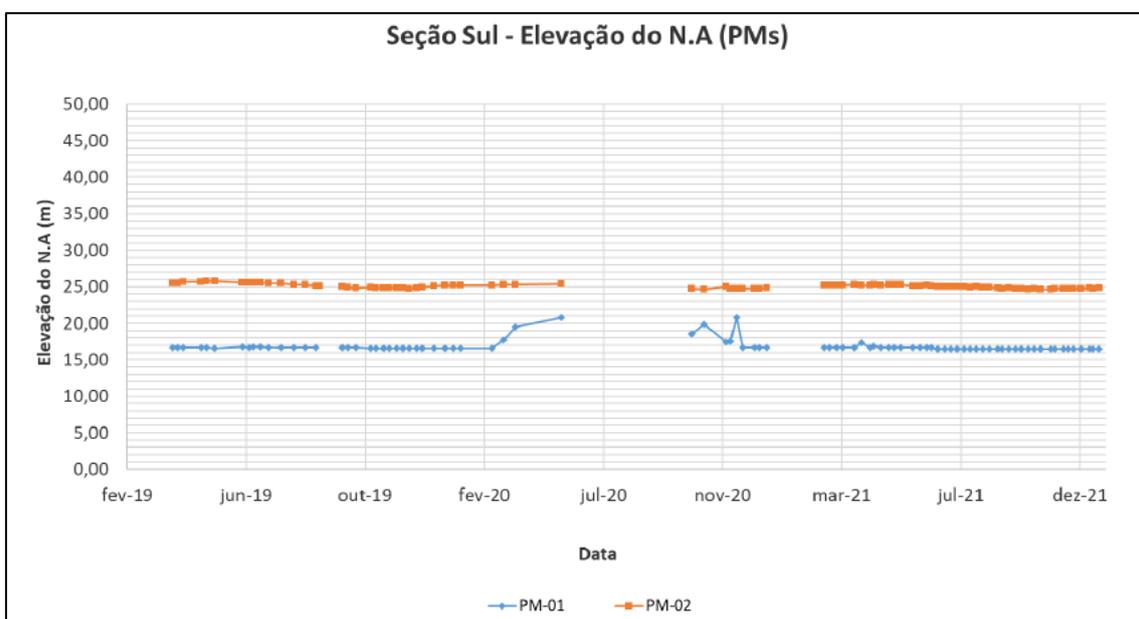
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1


Figura 7.40 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção J (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Como se pode observar na Figura 7.5, as leituras dos MNA's instalados na Seção J, no maciço do dique, permaneceram secos desde fevereiro/2018, exceto em abril/2021 quando foi realizado teste de vida nos instrumentos, conforme indicado no documento RT-3540-54-G-581, elaborado pela PIMENTA DE AVILA (2022).

Próximo a Seção J está localizada a Seção Sul do Projeto de Reabilitação do DRS1 (LPS, 2022, doc. RT-8400-54-G-180). Nesta seção, estão instalados dois poços de monitoramento PM-01 e PM-02, conforme Figura 7.41, e seus históricos de leitura são indicados na Figura 7.42. Observa-se que no dia 28/12/2021, o PM-01 apresenta leitura na El. 16,65 m, o PM-02 na El. 19,50 m, o MNA-04, instalado na crista com cota de fundo na El. 11,25 m, no contato entre o maciço e o terreno natural, se encontrava seco. Tendo em vista que o nível d'água se encontra mais elevado no interior do depósito do que no Dique de Contorno, é possível comprovar a estanqueidade da geomembrana PEAD que reveste as estruturas nessa região.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

Figura 7.41 – Seção Sul com indicação da instrumentação (LPS, 2022)

Figura 7.42 – Histórico de leituras dos PM's da Seção Sul (LPS, 2022)
7.3 MONITORAMENTO DAS BACIAS DE CONTROLE

A seguir é apresentada uma breve descrição das bacias de controle e a capacidade instalada de bombeamento em cada uma delas, segundo o Manual de Operação de disposição de resíduo de filtro prensa no DRS1 (documento OM-3540-54-G-1001). Ressalta-se que apenas a bacia 01, 02 e 06 apresentam bombeamento e direcionam as águas para a Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI), fora das dependências do DRS1:

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

Bacias de Controle 01 e 02:

As Bacias de Controle 01 e 02 recebem o efluente de todo o sistema que compõe o DRS1. **Possuem um sistema de bombeamento com capacidade nominal de 6.510 m³/h**, que direciona o efluente para a Estação de Tratamento de Efluentes Industriais ETEI (Área 82). Possui cota de fundo e crista nas elevações 8,00 m e 14,00 m, respectivamente.

Bacia de Controle 03:

A BC-03 por não possuir sistema de bombeamento, após o seu enchimento até a cota de vertimento (El. 11,69 m) para o canal de contorno, deixa de ter função de bacia e passa a operar como um canal de transferência. A cota de fundo está na El. 8,00 m, enquanto a cota de crista está na El. 14,00 m. O sistema extravasor opera a partir da El. 11,69 m e direciona o efluente para as BC's 01 e 02 (conforme doc. Ref. D1-3515-54-G-006-R01).

Bacia de Controle 05:

Recebe a contribuição dos rápidos que compõem a Célula Leste. A cota de fundo está na El. 5,50 m, enquanto a cota de crista está na El. 14,00 m. Possui dois sistemas extravasores, direcionando o efluente inicialmente para a BC-06, por possuir soleira vertente na El. 10,25 m, e na sequência para o canal de contorno norte com soleira vertente na El. 10,50 m, que direcionará o efluente para as BC's 01 e 02. Salienta-se que, a partir da El. 10,50 m, ambos os extravasores entram em operação.

Bacia de Controle 06:

A BC-06 recebe o efluente da BC-05, possui cota de fundo na El. 6,00 m e crista na El. 14,00 m. **Conta com um sistema de bombeamento com capacidade nominal de 3.500 m³/h**, direcionando o efluente para a Estação de Tratamento de Efluentes Industriais – ETEI na Área 82.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

Bacia de Controle 07:

Recebe a contribuição do Canal de Contorno Leste (Trecho 1) e de parte da CL3 (rápidos R114 e R115). Atualmente a bacia encontra-se aterrada, com cota de fundo na El. 10,50 m, e a cota de crista na El. 14,00 m, passando a operar como uma extensão do canal de contorno. A saída da BC-07 para o canal de contorno está localizada na El. 11,70 m. Seu efluente é drenado para o Canal de Contorno Leste (Trecho 2), que direciona o fluxo para a BC-05.

Para operação do sistema de bombeamento das bacias de controle, a Alunorte utiliza como critério de monitoramento, o valor em percentual, definido pela relação entre a altura do nível de água e a altura total de cada reservatório.

Para classificação dos níveis de risco de falha do sistema, foram definidos 3 níveis de controle, associados ao nível de água máximo atingido durante as simulações, em função da existência de uma borda livre remanescente mínima de 0,5 m. A Tabela 7.5 apresenta a definição de cada um desses níveis de risco.

Tabela 7.5 –Níveis de risco considerados para avaliação do sistema

Nível	Definição
Verde	Ocupação final do reservatório inferior a correspondente a uma altura de 1,5m em relação a crista
Amarelo	Ocupação final do reservatório correspondente entre 1,5 m e 1,0 m em relação a crista
Vermelho	Ocupação final do reservatório superior a borda livre mínima de 1,0 m, durante o evento chuvoso (risco de transbordo)

O Relatório de avaliação periódica dos resultados de monitoramento da Instrumentação (PIMENTA DE ÁVILA, 2022), apresenta uma análise do monitoramento do nível das bacias de controle e CL3 entre setembro de 2020 e janeiro de 2022. Os resultados do monitoramento são apresentados na Figura 7.43.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

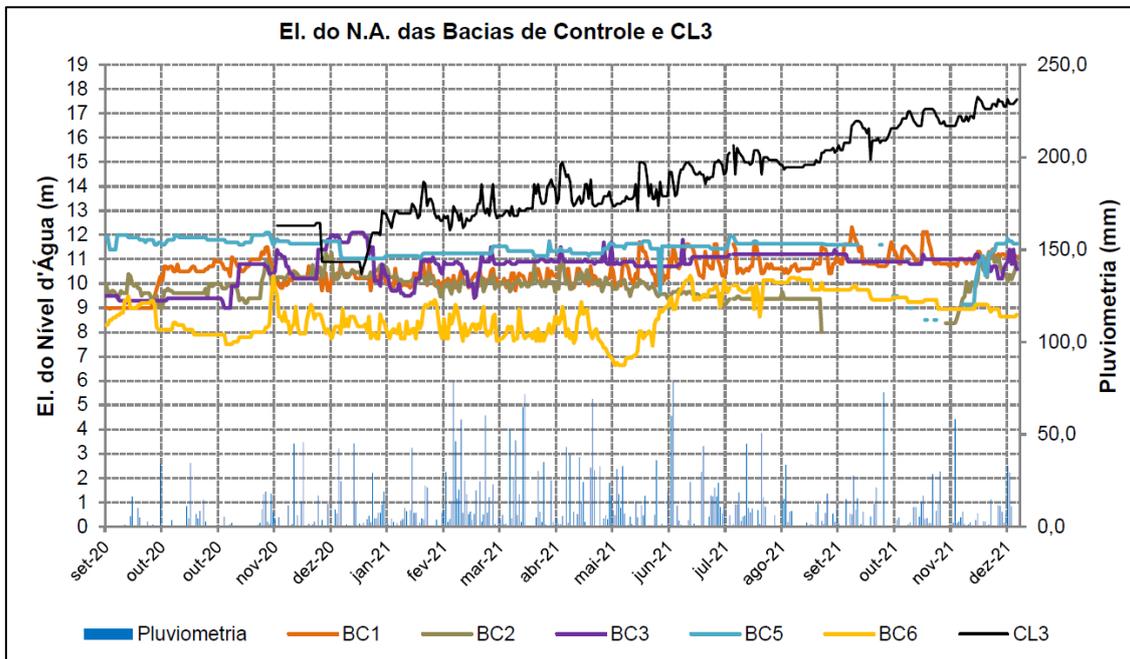


Figura 7.43 – Histórico de leituras do nível das bacias de controle (PIMENTA DE AVILA, 2022)

De acordo com os documentos consultados, elaborados pela consultoria PIMENTA DE ÁVILA, houve a manutenção da borda livre de 1,0m mesmo nos dias de maior incidência pluviométrica. Ademais, nota-se o aumento gradual do nível da CL3 nos últimos meses, atingindo a El. 17,60 m na sua leitura mais recente, tendo alcançado a cota da soleira dos rápidos (El. 17,50 m), isto é esperado devido à contínua deposição de resíduos sobre o depósito, mais especificamente na CL3.

Apesar de a crista do bordo externo das bacias de controle e do CL3 terem sido alteadas para a elevação 14,00m, segundo o Manual de Operação de disposição de resíduo de filtro prensa no DRS1 (documento OM-3540-54-G-1001), existem pontos de transbordos para regiões internas ao empreendimento, e, na hipótese de cheias decamilenares, existem áreas potencialmente alagáveis dentro da área do DRS1.

7.4 MONITORAMENTO DE POÇOS AMBIENTAIS

Os poços ambientais atuam como sistemas de controle de qualidade das águas subterrâneas e indicadores de percolação de material contaminante a partir da planta de beneficiamento da bauxita em especial dos DRS's.

Existem 31 poços de monitoramento do nível freático próximos ao DRS1. A Figura 7.44 apresenta o histórico da elevação do nível d'água observado em todos os poços. Nota-se uma tendência de decréscimo gradual entre os meses de outubro e novembro, seguido de um leve acréscimo ou estabilização nas leituras durante o mês de dezembro.

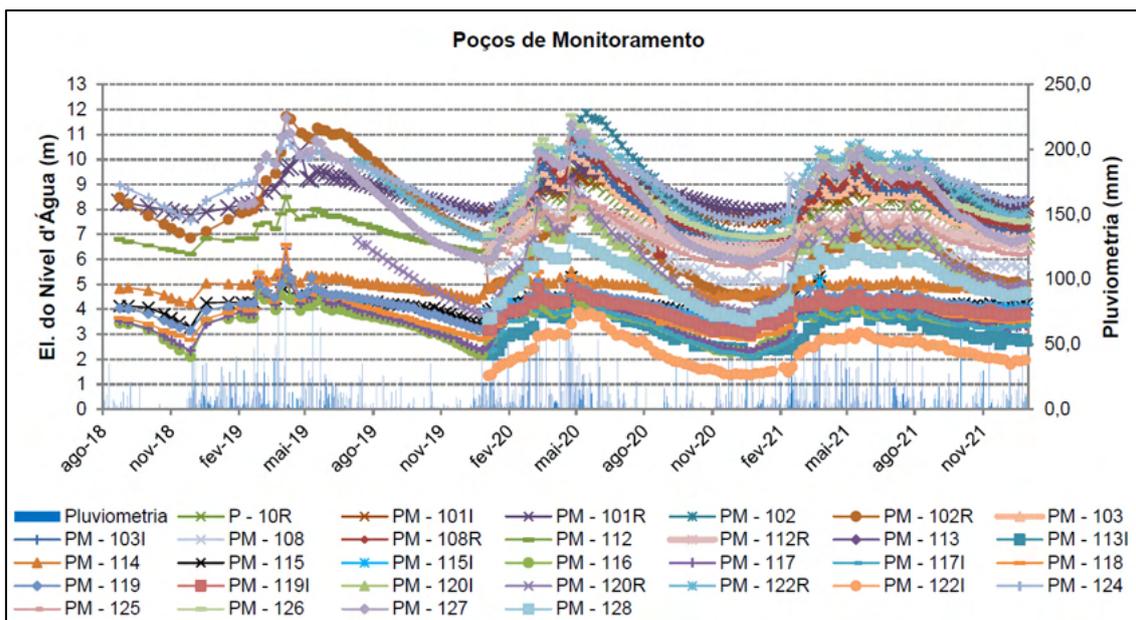


Figura 7.44 – Histórico de leituras do nível dos poços de monitoramento (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Os níveis de água observados nos poços de monitoramento são condizentes com a pluviometria como era de se esperar em uma situação normal. Entretanto, a análise apenas do nível freático não é capaz de indicar se ocorre contaminação devido a falha do sistema de impermeabilização. Por este motivo é realizado também o

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

monitoramento da qualidade das águas subterrâneas por meio de seis poços ao redor do DRS1.

O Relatório de avaliação periódica dos resultados de monitoramento da Instrumentação (PIMENTA DE ÁVILA, 2022), apresenta o monitoramento de parâmetros de qualidade das águas subterrâneas realizados por meio dos seis poços de monitoramento. Nestes poços são monitorados os parâmetros: Sólidos Totais Dissolvidos, Nitrato, Coliformes Termotolerantes, Turbidez, além da medição de nível de água. A localização dos poços em relação ao DRS1 é apresentada na Figura 7.45. Parâmetros estes que foram estabelecidos na condicionante da Licença de Operação da ALUNORTE e que são reportados periodicamente à SEMAS/PA.



Figura 7.45 – Localização dos poços de monitoramento

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

Conforme esclarecimentos enviados por e-mail pela ALUNORTE à FONNTES em 21/04/2022, os poços foram alocados de forma a abranger a influência do depósito de forma geral de acordo com o fluxo freático preferencial, tendo sido condicionante da licença de operação da ALUNORTE. A FONNTES entende que a localização e quantidade de poços está adequada para a finalidade de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas. Entretanto, caso sejam identificados valores atípicos em alguns dos poços, a malha de monitoramento poderá ser complementada.

Os parâmetros de qualidade das águas subterrâneas são analisados bimestralmente e foram disponibilizados à FONNTES por meio do documento “Resultados ALUNORTE Alunorte 2021 a 2022-DRS1-condicionante”. Nota-se que apenas o parâmetro “coliformes termotolerantes” apresenta valores fora dos padrões estabelecidos pela Resolução Conama 396/2008.

Este parâmetro indica contaminação por fezes de animais com sangue quente, como animais selvagens ou por esgotos domésticos. Desta forma, não é esperado que a variação desse parâmetro decorra das atividades essencialmente industriais da ALUNORTE.

Entretanto, recomenda-se monitorar também os parâmetros da lista completa do art. 34 da resolução CONAMA 396/2008 com frequência trimestral, tal como está sendo realizado com os poços de monitoramento adjacentes ao DRS2, conforme indicado pelo documento “Resultados Hydro Alunorte 2021 a 2022 DRS2”. Recomenda-se também que assim como ocorre a avaliação periódica dos resultados de monitoramento da Instrumentação trimestralmente, seja realizada avaliação por especialistas internos ou externos dos parâmetros de qualidade das águas subterrâneas, para detectar possíveis anomalias, com periodicidade a ser acordada entre órgãos fiscalizadores, HYDRO, ALUNORTE e projetistas.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

7.5 FREQUÊNCIA DE MONITORAMENTO

Conforme relatório da Inspeção de Segurança Regular do DRS1 (documento RT-469137-54-G-0003 DRS1 RISR 2021.2) elaborado pela GEOCONSULTORIA no segundo semestre de 2021, a seguinte frequência do monitoramento dos instrumentos e bacias de controle é adotada:

Tabela 7.6 – Frequência das medições dos instrumentos

Instrumento/ medição	Frequência
Níveis das bacias e da CL 3	Diária
Medidores de vazão e volume de bombeamento	Diária
Medidores de nível de água (MNA)	Semanal
Piezômetros tipo Casagrande	Semanal
Marcos topográficos superficiais	Mensal
Poços de monitoramento das águas subterrâneas*	Bimestral*

***Periodicidade obtida a partir do documento Resultados Hydro Alunorte 2021 a 2022-DRS1-
condicionante**

A interpretação dos dados é responsabilidade da PIMENTA DE ÁVILA que recebe as medições, avalia e trimestralmente emite um relatório de consolidação das medições. Segundo o Manual de Operação (documento OM-3540-54-G-1001) estas frequências devem ser entendidas como em situações normais, sendo que sempre que forem identificadas anomalias ou outras ocorrências excepcionais, que resultem em variações acentuadas nas leituras, a frequência deverá ser intensificada.

A FONNTES entende que a frequência de medição dos instrumentos de monitoramento é adequada para situações normais e está de acordo com as recomendações da PIMENTA DE ÁVILA, indicando que as mesmas deverão ser intensificadas ao se identificar anomalias. Ademais, recomenda-se que nos relatórios de avaliação periódica dos resultados de monitoramento da Instrumentação, seja contemplada a avaliação dos parâmetros de qualidade das águas subterrâneas ou que seja avaliado por um

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

especialista nessa área, no mesmo padrão que já é feito para o monitoramento da estrutura.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1 MONITORAMENTO DA ESTABILIDADE FÍSICA

A avaliação dos medidores de nível d'água, piezômetros, poços de monitoramento e nível d'água das Bacias de Controle se baseou no Relatório Técnico de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação referente a outubro a dezembro/2021, elaborado pela PIMENTA DE AVILA (2022), doc. RT-3540-54-G-581 e no Relatório de Acompanhamento da Instrumentação da Linha freática referente a novembro e dezembro/2021, elaborado pela LPS (2022). Também, foi analisado o banco de dados de leitura dos instrumentos disponibilizados pela ALUNORTE, em fevereiro/2022, nos arquivos "Níveis, Bordas Livres e Elevação das Bacias DRS1_DRS2_82F_2021" e "NK03.01 - PM01-R0 - DRS1". Além disso, foram utilizadas informações do relatório da Inspeção de Segurança Regular do DRS1 (documento RT-469137-54-G-0003 DRS1 RISR 2021.2) e do monitoramento da qualidade das águas subterrâneas do DRS1 e DRS2 (respectivamente documentos "Resultados Hydro Alunorte 2021 a 2022-DRS1-condicionante" e "Resultados Hydro Alunorte 2021 a 2022 DRS2".).

Com base na avaliação dos documentos supracitados, verifica-se que a densidade de instrumentação para monitoramento do nível freático / piezométrico do Depósito DRS1 é adequado e suficiente para avaliar a capacidade da Geomembrana PEAD em impermeabilizar o contato do depósito, dos diques, dos canais e das bacias com o terreno natural.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

Em relação aos instrumentos de monitoramento do nível freático / piezométrico dos diques de controle, observa-se que, de modo geral, os MNA's e PZ's instalados acima da cota do terreno apresentam leituras secas, ou seja, o nível freático / piezométrico se encontra mais profundo do que a cota de fundo dos instrumentos. Além disso, observa-se que o nível d'água nos poços de monitoramento localizados a jusante do Dique de Contorno apresentam variações em suas leituras coerentes com as leituras dos piezômetros mais profundos, instalados na fundação do Dique de Contorno. **Essas diferenças verificadas entre o nível freático / piezométrico dos instrumentos instalados acima e abaixo da geomembrana PEAD, indicam a eficiência da Geomembrana PEAD que impermeabiliza os diques, os canais e as bacias.**

Além disso, ao comparar as seções do Dique de Contorno com as seções traçadas no interior do depósito DRS1 (LPS, 2022, doc. RT-8400-54-G-180), verifica-se que **o nível d'água se encontra consideravelmente mais elevado no interior do depósito e nas Bacias de Contorno do que no maciço do Dique de Contorno. Com isso, é possível verificar que há estanqueidade da Geomembrana PEAD que impermeabiliza os diques, os canais e as bacias.**

Vale ressaltar que os instrumentos PZC-15, PZC-17 e MNA-21 da Seção D apresentaram leituras no interior do maciço. No entanto, os piezômetros instalados na fundação (PZC-13 e PZC-16) apresentaram leituras aproximadamente 4,0 m abaixo destes instrumentos. Para avaliação das leituras dos instrumentos PZC-15, PZC-17 e MNA-21, a PIMENTA DE AVILA solicitou a coleta de amostras de efluente no interior dos instrumentos, no canal de contorno e na CL3 para aferição do pH, a abertura de janelas na geomembrana nas proximidades do MNA-21, testes de secagem dos instrumentos e furos a trado nas proximidades do MNA-21. A partir desta avaliação, a PIMENTA DE AVILA concluiu que: o nível d'água observado nos furos de trado e o nível piezométrico dos instrumentos indicam a existência uma continuidade lateral, aproximadamente na interface aterro-fundação e entre as estacas 120 e 144; não há contribuição do

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

reservatório da CL3 e dos efluentes do canal de contorno para o nível d'água identificado no dique; e a umidade dos instrumentos não se estende para jusante. Destaca-se que esta situação está sendo monitorada pela ALUNORTE e acompanhada pela PIMENTA DE AVILA.

8.2 MONITORAMENTO DAS BACIAS

Em relação às bacias de controle, estas são monitoradas por régua limnimétrica em tempo real, e seu bombeamento obedece a um procedimento operacional baseado em níveis de controle adotados em função da diferença percentual entre a crista dos reservatórios e o nível d'água atingido com cada evento de precipitação simulado. Durante a visita técnica também pôde ser visto que os canais de contorno e as bacias são monitoradas por câmeras. É possível concluir que **o monitoramento do nível das bacias de controle está adequado.**

Cuidados especiais devem ser mantidos nas Bacias em relação a sua operação. De acordo com o Manual Operacional da (PIMENTA DE ÁVILA, 2021, documento OM-3540-54-G-1001), existem pontos de transbordos para regiões internas ao empreendimento, e, na hipótese de cheias decamilenares, existem áreas potencialmente alagáveis dentro da área do DRS1.

8.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A DENSIDADE DE INSTRUMENTAÇÃO

Em relação a densidade de instrumentos para monitoramento do nível freático / piezométrico, verifica-se que o Dique de Contorno do DRS1 apresenta dez seções instrumentadas, incluindo 21 medidores de nível d'água, 35 piezômetros, 113 marcos superficiais, 31 poços de monitoramento e medidores de nível nas bacias de controle e no CL3. Além disso, o interior do Depósito DRS1 também é monitorado através de oito

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

seções instrumentadas, incluindo 43 piezômetros elétricos de corda vibrante e 08 poços de monitoramento.

Com base na quantidade de instrumentos, locação das seções e interpretação das leituras dos instrumentos, conclui-se que a densidade de instrumentação no Depósito DRS1 é adequada. A exceção está na região sul do Dique de Contorno (ver Figura 7.1), onde o monitoramento é realizado exclusivamente por marcos superficiais. Não há nessa região um monitoramento do Dique de Contorno realizado por INA's e PZ's como em outras regiões da estrutura. Essa questão foi levantada junto da HYDRO e ALUNORTE em reuniões técnicas, que justificou essa questão pelo fato dessa ser a região mais antiga do depósito, onde os resíduos já estão consolidados e não há incremento de umidade por não existir mais disposição, além nunca ter sido uma região de acúmulo de água no histórico operacional do depósito. Assim, o parâmetro de maior relevância a ser monitorado são as deformações. Esse auditor concorda com a posição e justificativa da ALUNORTE.

Entretanto, acrescenta que seria uma boa prática adicionar 1 ou 2 seções de monitoramento do maciço e da fundação nessa região da estrutura com INA's e PZ's, no mesmo padrão das demais regiões que já são monitoradas, especialmente onde o Dique de Contorno que faz fronteira com as Bacias BC-03 e RC-01. É fato que se a geomembrana que impermeabiliza essas bacias falhar os poços ambientais PM-128 e PM-108 irão detectar. Entretanto, se ocorrer uma falha da geomembrana em direção do Dique de Contorno com uma seção monitoramento nessa região seria mais rápida a percepção. De maneira similar, se ocorrer uma falha da geomembrana que impermeabiliza o próprio depósito, a seção monitorada também seria de grande valia nessa detecção.

Em relação à frequência que as leituras são realizadas foi possível concluir como adequadas. A prática de governança em submeter os dados de instrumentação ao crivo

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1		

de uma consultoria externa é extremamente relevante e constitui uma boa prática de engenharia, saudável para a operação e monitoramento, pois permite que uma empresa externa ao ambiente operacional avalie o desempenho da estrutura e realize recomendações de melhorias.

8.4 MONITORAMENTO DOS POÇOS AMBIENTAIS

Em relação ao monitoramento das águas subterrâneas, entende-se que a distribuição dos poços e frequência de medições está adequada para a finalidade de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas. Tendo sido estes parâmetros e frequência estabelecidos na condicionante da Licença de Operação da ALUNORTE e que são reportados periodicamente à SEMAS/PA. Entretanto, caso sejam identificados valores atípicos em alguns dos poços, a malha de monitoramento poderá ser complementada.

Ademais, recomenda-se que sejam avaliados todos os parâmetros da lista completa do art. 34 da resolução CONAMA 396/2008, no mesmo padrão que já é feito no DRS2 por iniciativa da própria ALUNORTE. Por fim, recomenda-se que assim como ocorre a avaliação periódica dos resultados de monitoramento da Instrumentação trimestralmente, seja realizada avaliação por especialistas internos ou externos à HYDRO, ALUNORTE dos parâmetros de qualidade das águas subterrâneas, para detectar possíveis anomalias.

9. REFERÊNCIAS

- i. ALMARAIZ, U.J.S. (1977). Aspectos Geoquímicos e Ambientais dos Calcários do Formação Pirabas, Pará. Tese de Doutorado, UFRS, 272 p.
- ii. FARIAS, E.S.; NASCIMENTO, F.S., FERREIRA, M.A.A. (1992). Estágio de Campo III: relatório final. Área Belém - Outeiro. Belém: Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará. 247 p.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1

- iii. HAQ, B.V.; HARDENBOL, J.; VAIL, P.R. (1987). Chronology of Fluctuating Sea Levels Since the Triassic (250 million years ago to present). Science, 235 : 1156-1167 p.
- iv. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. População. 2010. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- v. _____. Barcarena/PA. Educação. 2010b. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- vi. _____. Barcarena/PA. Economia. 2019. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- vii. _____. Barcarena/PA. Trabalho e Rendimento. 2020. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- viii. _____. Barcarena/PA. Território e ambiente. 2021. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- ix. INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – Normais climatológicas 1991-2020 – Belém/PA.
- x. MABESOONE, J. M. e CASTRO, C. (1975). Desenvolvimento Geomorfológico do Nordeste Brasileiro. Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, Recife, v.3, p. 05- 35.
- xi. ROSSETTI D.F. & VALERIANO M.M. 2007. Evolution of the lowest Amazon basin modeled from the integration of geological and SRTM topographic data. Catena, 70:253-265.



FONNTES
G E O T É C N I C A

WEBSITE

www.fonntesgeotecnica.com

TELEFONES

(31) 3582-9185

(31) 3582-9186

Endereço: Avenida Otacílio Negrão de Lima, 2837
– São Luiz (Pampulha).
Belo Horizonte / MG. CEP: 31365-450