

À

NORSK HYDRO BRASIL

Av. Gentil Bittencourt, 549

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 compatibilidade do projeto executivo do depósito DRS1 com a sua efetiva execução, em atendimento à letra “A” 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. 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-RT23-02

RELATÓRIO TÉCNICO DE AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

CLIENTE:



PROJETO:

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

BARCARENA - PA



agosto/2023

AValiação DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1**SUMÁRIO**

GLOSSÁRIO	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVO.....	6
3. DADOS UTILIZADOS	8
4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	9
5. APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA	10
5.1 LOCALIZAÇÃO	13
5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS	19
5.2.1 <i>Histórico de Investigações</i>	21
5.2.2 <i>Geologia Local</i>	22
5.3 DRENAGEM INTERNA	23
5.4 SISTEMA EXTRAVASOR E DRENAGEM SUPERFICIAL	23
5.5 INSTRUMENTAÇÃO	24
5.6 FECHAMENTO DO DEPÓSITO DRS1	24
6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO	27
7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....	29
7.1 TRATAMENTO DE FUNDAÇÃO.....	29
7.2 SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	31
7.2.1 <i>Considerações iniciais</i>	32
7.2.2 <i>Diretrizes estabelecidas em projeto – CL3</i>	36
7.2.3 <i>Interpretação de testes relativos à aplicação de materiais sobre a geomembrana</i>	40
7.2.4 <i>Interpretação dos ensaios para verificação da estanqueidade da geomembrana</i>	42
7.2.5 <i>Considerações relativas à instrumentação e monitoramento piezométrico</i>	45
7.3 CONTROLE DE CONSTRUÇÃO DOS DIQUES DE CONTORNO.....	45
7.4 ESTABILIDADE FÍSICA E ESTRUTURAL	54
7.5 GESTÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS	59
7.5.1 <i>Configuração do DRS1</i>	59
7.5.2 <i>Pluviologia</i>	62
7.5.3 <i>Caracterização da Bacia</i>	65
7.5.4 <i>Curvas cota-volume</i>	68

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

7.5.5	<i>Curvas cota-descargas dos extravasores/rápidos</i>	69
7.5.6	<i>Sistema de bombeamento</i>	71
7.5.7	<i>Resultados das modelagens</i>	71
7.5.8	<i>Recomendações realizadas pela GWS Engenharia</i>	73
7.5.9	<i>Considerações da FONNTES</i>	75
8.	CONCLUSÕES	79
8.1	TRATAMENTO DE FUNDAÇÃO	79
8.2	SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO	80
8.3	CONTROLE DE CONSTRUÇÃO DOS DIQUES DE CONTORNO	81
8.4	ESTABILIDADE FÍSICA E ESTRUTURAL	82
8.5	GESTÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	82
9.	REFERÊNCIAS	85

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, BC2, BC3, BC5 e BC6; 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 e signatária do TAC 3.1.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- MPF – Ministério Público Federal
- MPPA – Ministério Público do Estado do Pará

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

- 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
- RDO – Relatório Diário de Obra
- 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 (DRS1 e DRS2), apresentados na Figura 1.1.

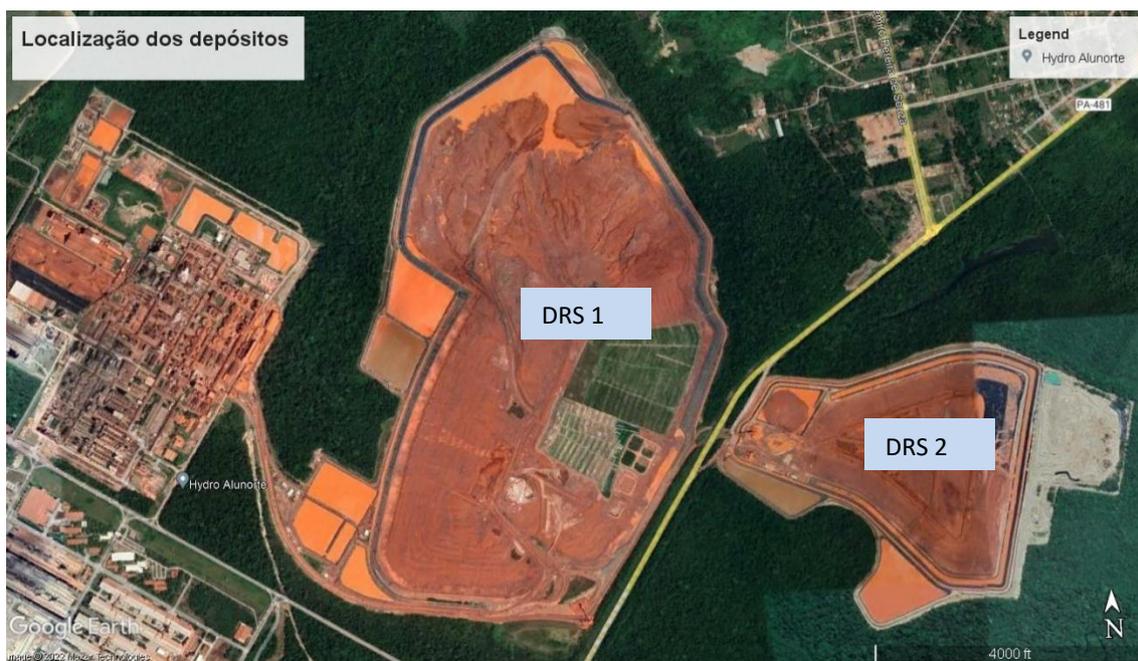


Figura 1.1 – Localização do empreendimento

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 -

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

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.

Os relatórios a serem elaborados pela FONNTES atenderão plenamente 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 nº 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 de 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 COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO 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 COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO 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 **a)**, referido à avaliação da compatibilidade do projeto executivo do depósito de resíduos sólido DRS1 com a sua efetiva execução.

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 **“a) Compatibilidade do projeto executivo dos depósitos (DRS1 e DRS2) com a sua efetiva execução”** para o depósito de resíduos 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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO 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 A)**, objeto desse relatório.

“Essa é o item mais abrangente na autoria. Corresponde uma análise ampla do projeto dos DRS1 e DRS2 em relação ao que de fato foi construído em campo. Os estudos técnicos vão verificar e responder os seguintes pontos, para ambas as estruturas:

- ✓ *Será verificado se o(s) tratamento(s) de fundação foram projetados e executados adequadamente;*
- ✓ *Será verificado se o dimensionamento do sistema de impermeabilização (geomembrana de PEAD) foi realizado conforme critérios consagrados de engenharia. Nota: a verificação dos controles tecnológicos de construção (ensaios de campo e laboratório) será respondido no item O);*
- ✓ *Os Diques de Contorno serão verificados quando os critérios de projetos e boas práticas de engenharia do ponto de vista construtivo e estrutural;*
- ✓ *Será verificado a segurança da estrutura do ponto de vista da estabilidade física e estrutural, através de análise de estabilidade já disponíveis, realizados por outras empresas que auditaram as estruturas ao longo do tempo, considerando as resistências dos materiais dos Diques de Contorno e dos Resíduos sólidos armazenados. Na ausência de uma normatização específica no Brasil para esse tipo de estrutura, será verificada a experiência internacional e os resultados de estabilidade serão avaliados ao que recomenda as normas ABNT NBR 13.028 e ABNT NBR 13.029, naquilo que for aplicável, em relação aos critérios geotécnicos. Nota: Nessa resposta não serão conduzidas novas análises de estabilidade, o parecer será realizado através das análises já realizadas ao longo do tempo por outras empresas que auditaram as estruturas. No item I) está prevista uma verificação mais detalhada e exclusiva aos modelos computacionais elaborados para se calcular a estabilidade;*

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

- ✓ *Será verificado se a solução hidráulica para as águas superficiais são adequadas, conforme critérios consagrados de engenharia, para suportar eventos chuvosos extremos sem que ocorram trasbordamentos. Esse aspecto necessitará também da verificação dos critérios operacionais, constante nos manuais de operação das bacias utilizadas para armazenamento e bombeamento das águas de chuva para estação de tratamento. A capacidade volumétrica das baias e a capacidade de bombeamento serão verificadas quanto sua adequação técnica. Na ausência de uma normatização específica no Brasil para esse tipo de estrutura, será verificada a experiência internacional e as normas ABNT NBR 13.028 e ABNT NBR 13.029, naquilo que for aplicável, em relação os critérios hidrológicos e hidráulicos”*

3. DADOS UTILIZADOS

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

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
D1-3540-54-G-1103 R01	ÁREA 54A-DEPÓSITO DE RESÍDUOS SÓLIDOS - DRS1 – PROJETO AS IS – EXPANSÕES DO DEPÓSITO - PLANTA	PIMENTA DE AVILA	02/06/21
D1-3540-54-G-022 R09	DEPÓSITO DE RESÍDUOS SÓLIDOS - ÁREA 54A - PROJETO EXECUTIVO - CÉLULA LESTE CL3 - PLANTA DE LOCAÇÃO DOS EIXOS	PIMENTA DE AVILA	01/07/12
MD-3540-54-G-091 R04	Memorial Descritivo do Projeto de Expansão do DRS Célula Leste	PIMENTA DE AVILA	01/07/10
D1-3540-54-G-096 R01	DEPÓSITO DE REJEITOS SÓLIDOS - ÁREA 54A - EXPANSÃO DO DRS PARA LESTE - CÉLULA LESTE - CL1/CL2/CL3 - PLANTA GERAL	PIMENTA DE AVILA	01/02/10

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

CÓDIGO	TÍTULO DO DOCUMENTO	ELABORADO POR	DATA
D1-3540-54-G-605 R01	DEPÓSITO DE REJEITOS SÓLIDOS - ÁREA 54A - 3º ALTEAMENTO DAS PAREDES OESTE E NORTE - PLANTA DE LOCAÇÃO DOS EIXOS	PIMENTA DE AVILA	01/07/08
RT-3540-54-G-020	Relatório técnico dos Estudos hidrológicos e hidráulicos - Célula Leste - CL3	PIMENTA DE AVILA	01/03/2013
RT-3540-54-G-881	Sinopse climática	PIMENTA DE AVILA	26/06/2009
FG-2201-NHB-A-BA-RT21-00	Relatório técnico de interpretação de testes relativos à aplicação do material sobre a geomembrana do DRS1	FONNTES GEOTÉCNICA	10/06/2022
FG-2201-NHB-A-BA-RT11-00	Relatório técnico de avaliação dos ensaios destrutivos e não destrutivos no DRS1	FONNTES GEOTÉCNICA	29/04/2022
FG-2201-NHB-A-BA-RT07-00	RELATÓRIO TÉCNICO DE AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS1	FONNTES GEOTÉCNICA	25/04/2022
FG-2201-NHB-A-BA-RT25-00	RELATÓRIO TÉCNICO DE ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS1	FONNTES GEOTÉCNICA	29/06/22
RT-469137-54-G-0003-rev02	Relatório de Inspeção de Segurança Regular	GEO CONSULTORIA	22/06/2022
AN-201-RL-4964-0A	Alteamento das paredes – 7ª Fase de expansão	PIMENTA DE AVILA	26/02/2004
AN-201-NT-7668-0A	Resultados dos ensaios de controle de construção das Paredes Norte e Oeste realizada em 2004	PIMENTA DE AVILA	03/09/2005
RT-3540-54-G-194	Resultado dos ensaios de controle da construção da Célula Sul	PIMENTA DE AVILA	28/03/2008
RT-3540-54-G-869	Relatório “As Built” de ensaios de controle da construção da Célula Leste-CL1/ Acesso/ BC3/ BC4	PIMENTA DE AVILA	10/05/2010
RT-3540-54-G-235	Relatório “As Built” de ensaios de controle da construção da célula leste CL2 e estruturas associadas	PIMENTA DE AVILA	25/02/2011
RT-3540-54-G-423	Relatório técnico “As Built” das obras de 2011 da Célula Leste CL3 – 1ª fase	PIMENTA DE AVILA	27/07/2012
RT-469133-54-G-004_R02	Avaliação da segurança do DRS1 frente á passagem de cheias no período chuvoso 2021/2022 – Resultados das modelagens	GWS Engenharia	14/12/2021
RT-469133-54-G-003 R01	Área 54A/B – depósito de resíduos sólidos – DRS1 e DRS2. Atualização dos estudos de chuvas intensas	GWS Engenharia	11/11/2021

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

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 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).

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

O relatório acrescenta que, até novembro de 2018, o sistema utilizado pela ALUNORTE para desaguamento dos resíduos era por filtro tambor, obtendo-se um resíduo com 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 das Célula 3 em etapa única;
- 1999 – Implantação das Células 4 e 5 em etapa única;
- 2000 – Implantação das Célula 6 em etapa única;
- 2003 – Implantação das 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 COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

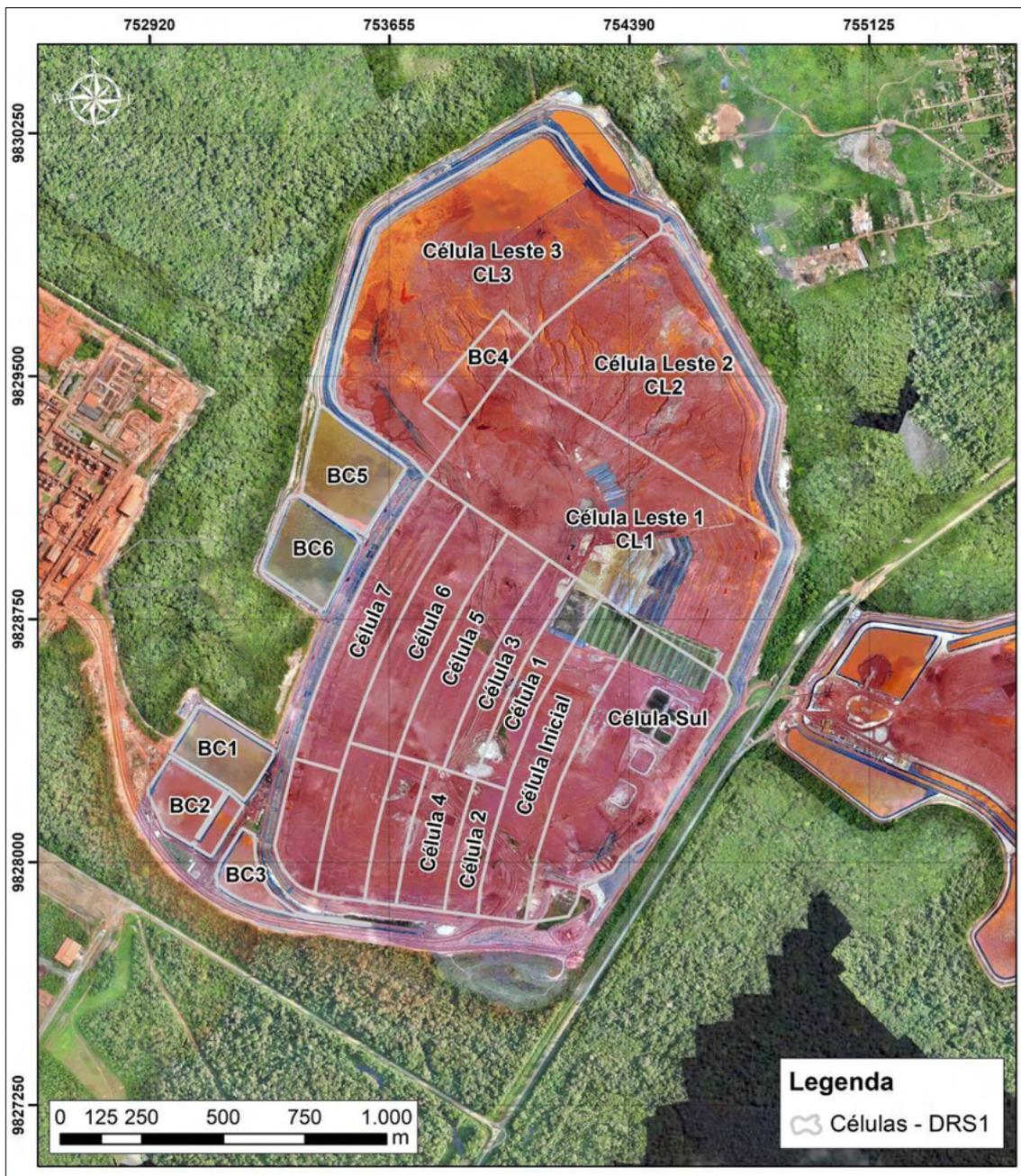


Figura 5.1 – Identificação das células e bacias de contribuição do DRS1 (Pimenta de Avila, 2021).

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO 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 DRS1 e DRS2 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.

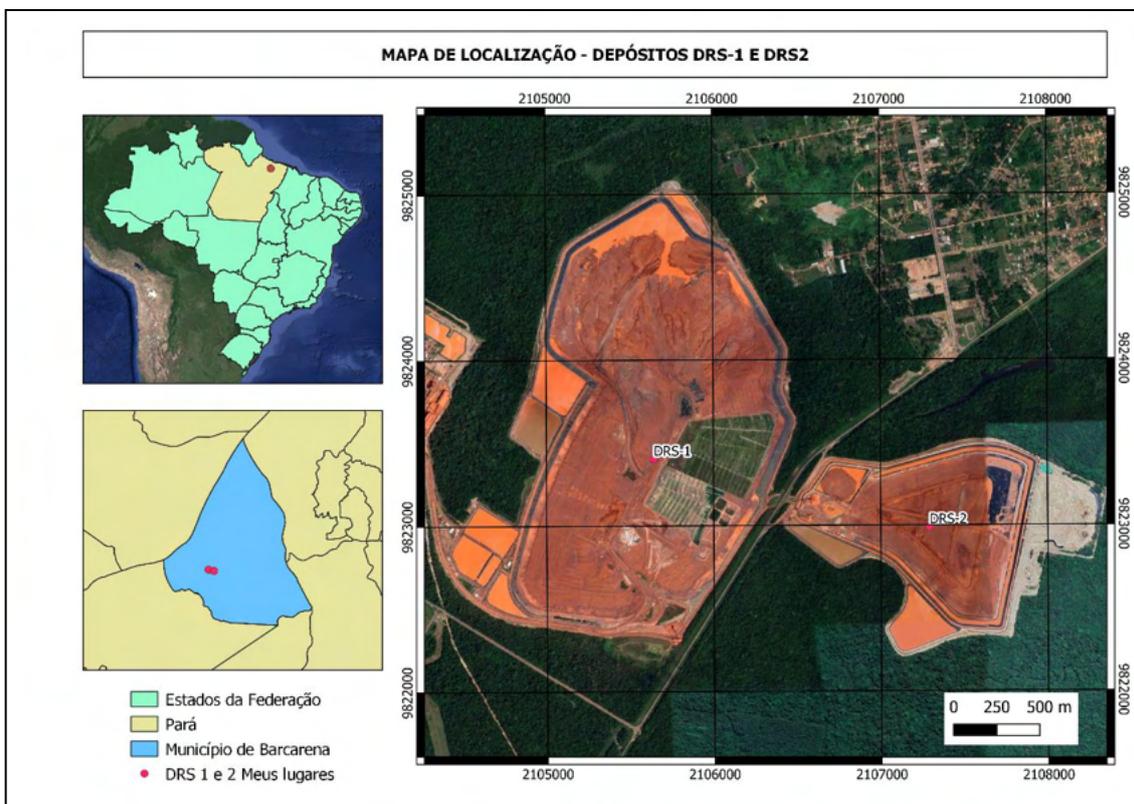
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1


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 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, identificam-se as comunidades Água Verde, Boa Vista, Bom Futuro, Itupanema, J. Cabanos, J. Independência, J. Paraíso, Jardim das Palmeiras, Laranjal,

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

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.

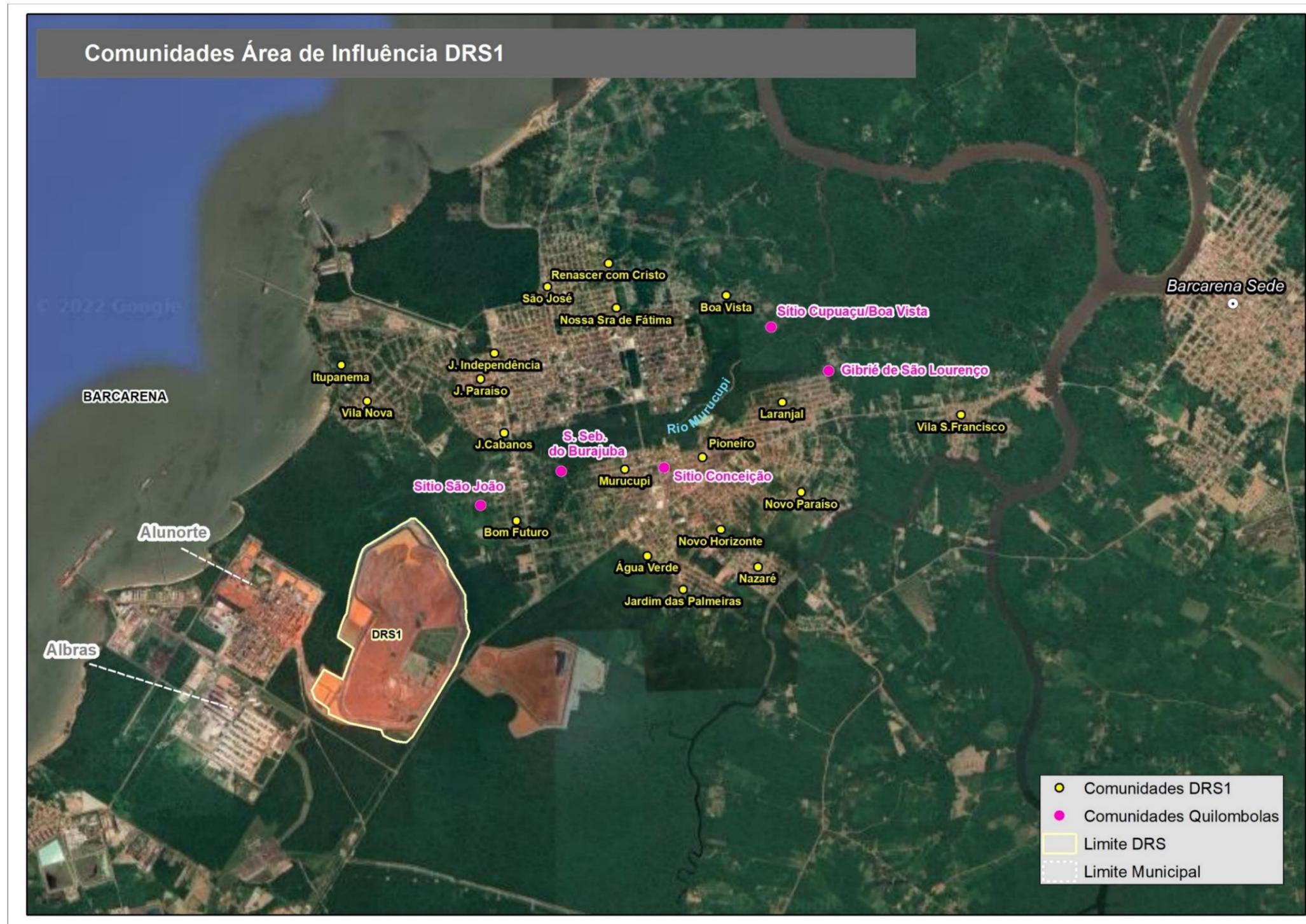


Figura 5.3 – Localização das comunidades próximas aos depósitos DRS1 e DRS2 (Imagem fornecida pela equipe técnica da HYDRO/ALUNORTE)

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO 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 COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

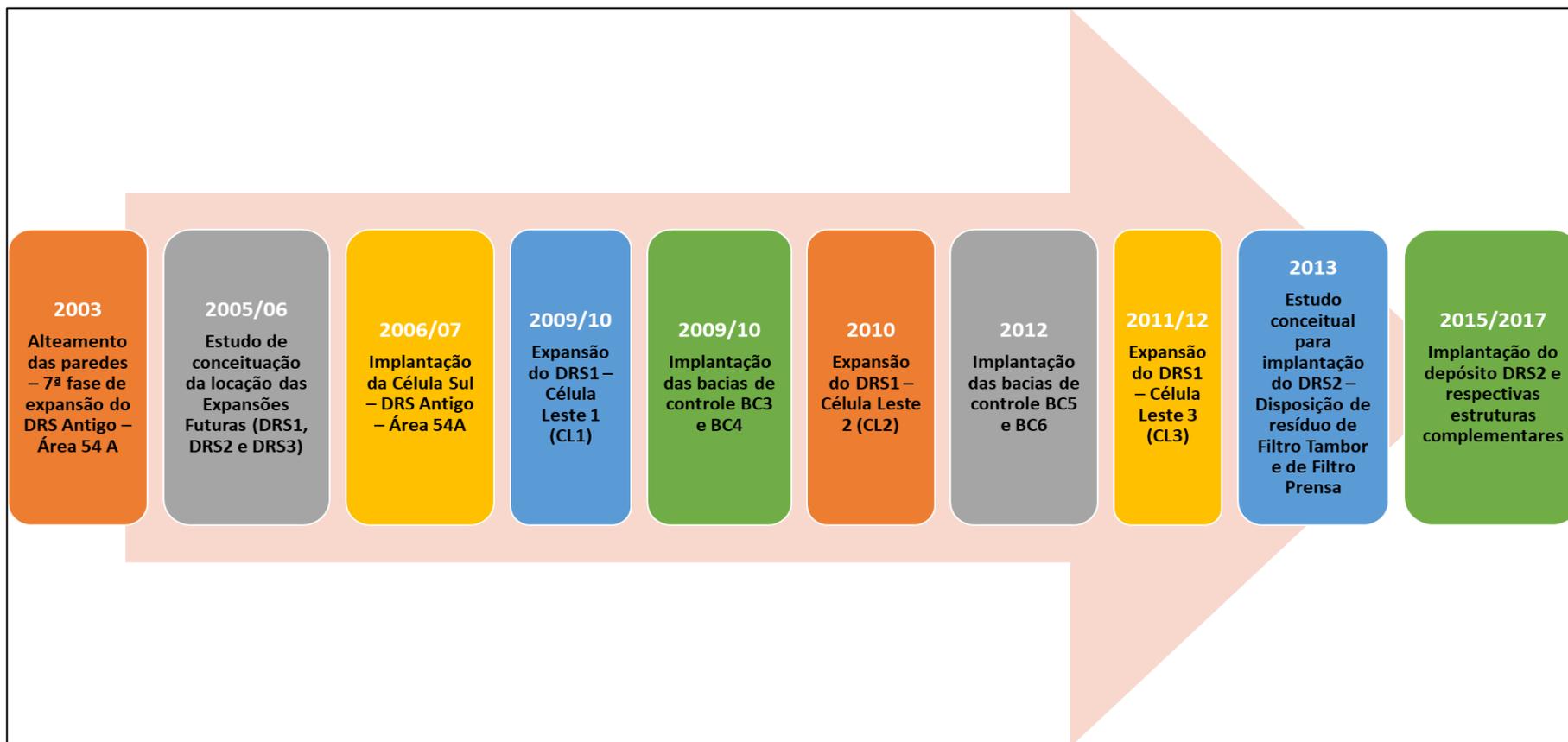


Figura 5.4 – Histórico de expansão do DRS1 e DRS2

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 COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO 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.

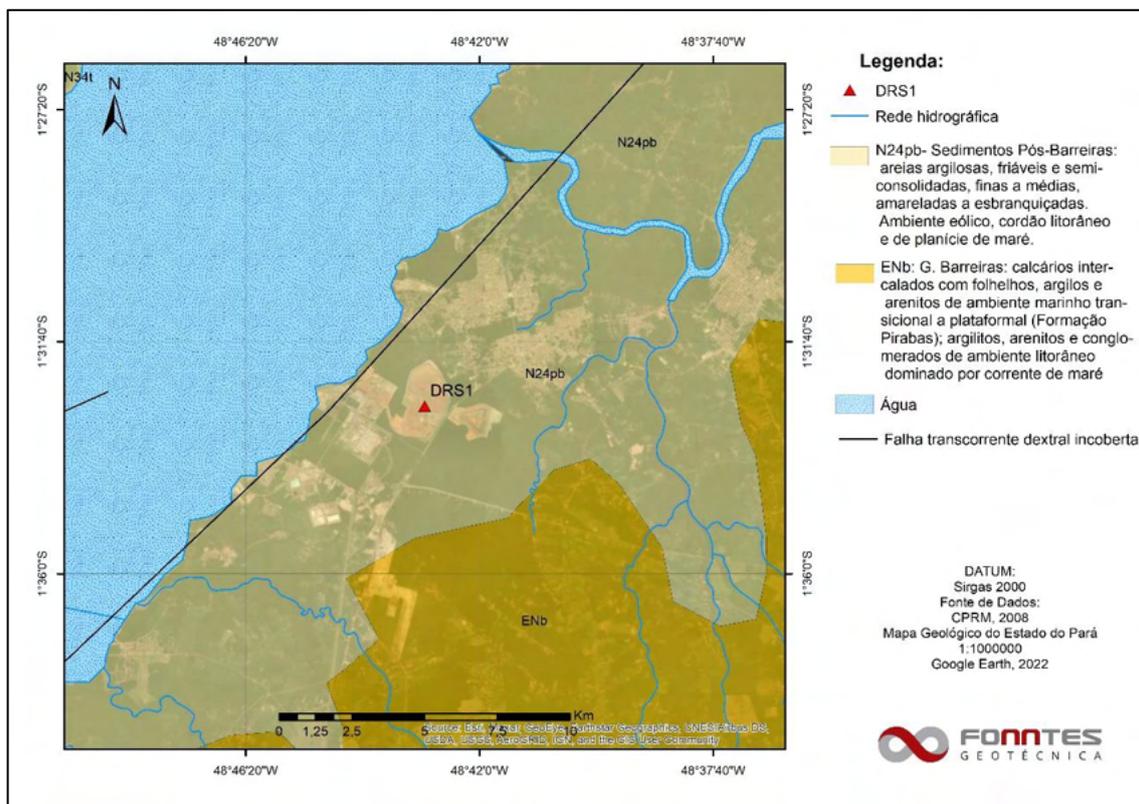


Figura 5.5 – Mapa geológico regional da estrutura DRS1

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 a Figura 5.5 indica que as duas estruturas estão inseridas sobre 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 COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO 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 COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

CAMPANHA	EMPRESA	ANO	DOCUMENTO
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 bota fora, 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.

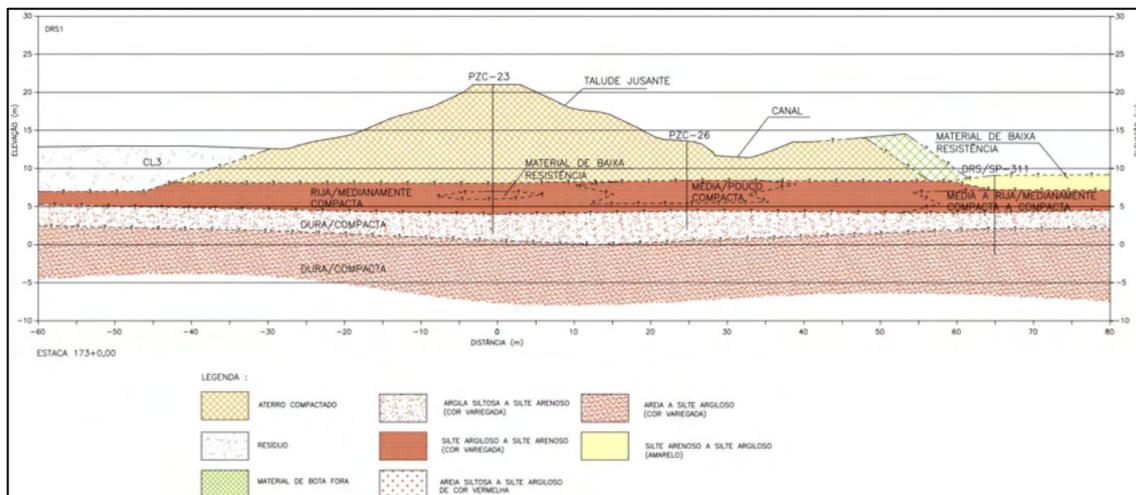
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1


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 Extravisor e Drenagem Superficial

Conforme indicado no doc. RT-3540-54-G-570-R01, elaborado pela PIMENTA DE AVILA (2021), o sistema extravisor 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 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 resíduo filtro prensa densificado assente sobre perfil estabilizado da superfície do depósito;
- uma camada de areia ou geossintético drenante de bloqueio/ sistema de drenagem subsuperficial;
- 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;

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

- 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 resíduo de filtro prensa ao DRS1 por ano.

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

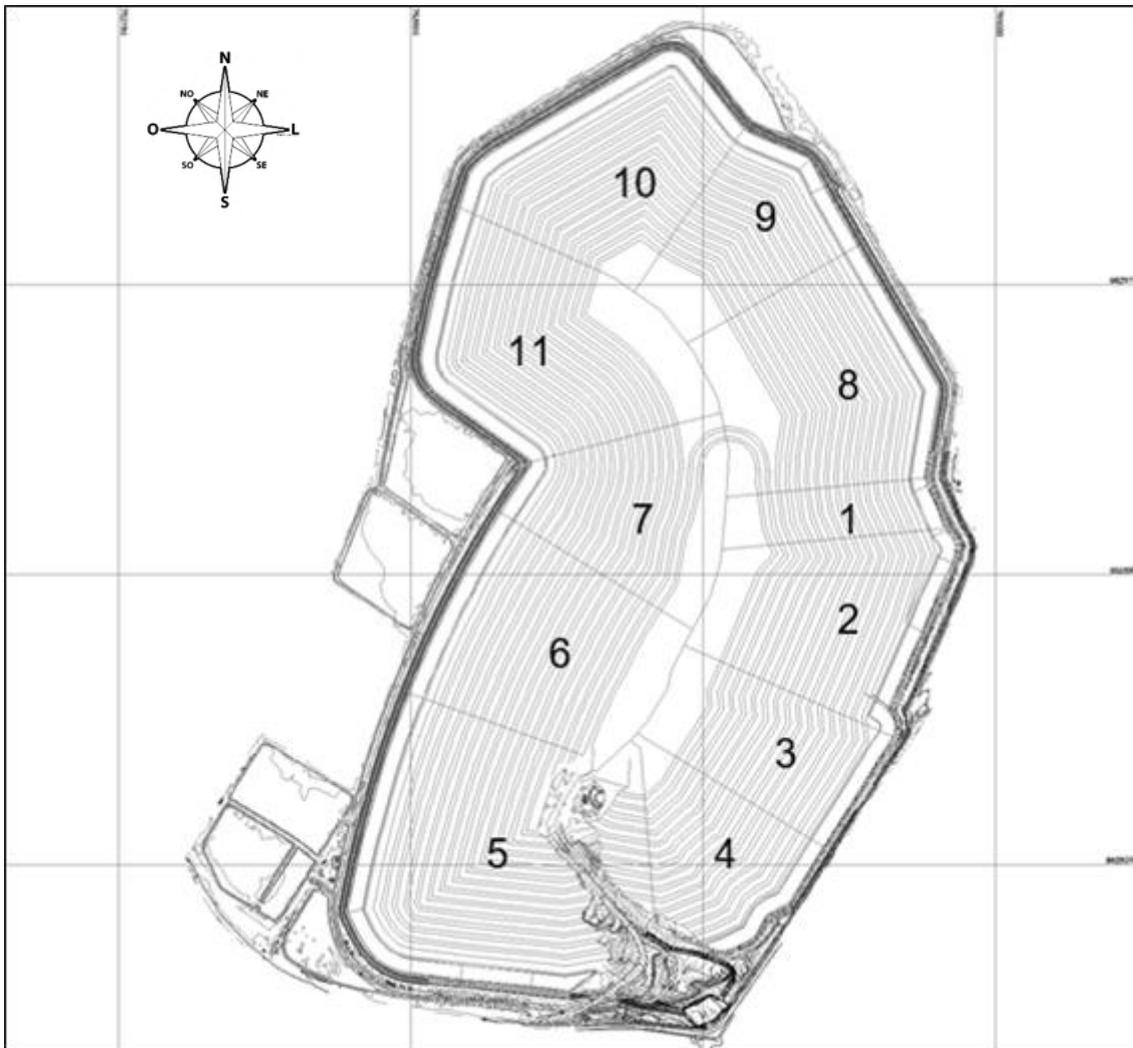


Figura 5.7 – Faixas de reabilitação do DRS1 (Doc. OM-8400-54-G-069 R01)

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 seguira para caixa de passagem instrumentada, estando dentro dos parâmetros físico químicos CONAMA, seguirão através de uma comporta automática para uma segunda caixa onde os parâmetros definidos são novamente medidos e confirmando a conformidade poderão ser enviados ao corpo receptor, meio ambiente (após licença da SEMAS), em qualquer situação de desvio serão lançados no canal periférico que segue para tratamento na estação de tratamento de efluentes.

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

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

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

A letra “A” da TAC 3.1 (Compatibilidade do projeto executivo dos depósitos com a sua efetiva execução) corresponde ao item mais abrangente da auditoria. Representa uma análise ampla do projeto do DRS1 em relação ao que de fato foi construído em campo. O presente relatório irá verificar e responder aos seguintes pontos, para o depósito:

- *Será verificado se o(s) tratamento(s) de fundação foram projetados e executados adequadamente;*
- *Será verificado se o dimensionamento do sistema de impermeabilização (geomembrana de PEAD) foi realizado conforme critérios consagrados de engenharia. Nota: a verificação dos controles tecnológicos de construção (ensaios de campo e laboratório) será respondido no item O);*
- *Os Diques de Contorno serão verificados quando os critérios de projetos e boas práticas de engenharia do ponto de vista construtivo e estrutural;*
- *Será verificado a segurança da estrutura do ponto de vista da estabilidade física e estrutural, através de análise de estabilidade já disponíveis, realizados por outras empresas que auditaram as estruturas ao longo do tempo, considerando as resistências dos materiais dos Diques de Contorno e dos Resíduos sólidos armazenados. Na ausência de uma normatização específica no Brasil para esse tipo de estrutura, será verificada a experiência internacional e os resultados de estabilidade serão avaliados ao que recomenda as normas ABNT NBR 13.028 e ABNT NBR 13.029/2017, naquilo que for aplicável, em relação aos critérios geotécnicos. Nota: Nessa resposta*

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

não serão conduzidas novas análises de estabilidade, o parecer será realizado através das análises já realizadas ao longo do tempo por outras empresas que auditaram as estruturas. No item I) está prevista uma verificação mais detalhada e exclusiva aos modelos computacionais elaborados para se calcular a estabilidade;

Será verificado se a solução hidráulica para as águas superfícies são adequadas, conforme critérios consagrados de engenharia, para suportar eventos chuvosos extremos sem que ocorram trasbordamentos. Esse aspecto necessitará também da verificação dos critérios operacionais, constante nos manuais de operação das bacias utilizadas para armazenamento e bombeamento das águas de chuva para estação de tratamento. A capacidade volumétrica das baias e a capacidade de bombeamento serão verificadas quanto sua adequação técnica. Na ausência de uma normatização específica no Brasil para esse tipo de estrutura, será verificada a experiência internacional e as normas ABNT NBR 13.028 e ABNT NBR 13.029/2017, naquilo que for aplicável, em relação os critérios hidrológicos e hidráulicos.

7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

7.1 Tratamento de fundação

De acordo com Memorial Descritivo do Projeto do 3º alteamento das paredes norte e oeste, elaborado pela PIMENTA DE AVILA em 30/04/2009, doc. RT-3540-54-G-601, os resultados das investigações de campo mostram que o maciço terroso de fundação apresenta condições satisfatórias para a implantação das obras em apreço no que se refere às condições de deformabilidade e resistência, desde que seja removida a camada superficial com solo fofo (0,70m), sendo que essa espessura será adaptada no campo em função das características do maciço terroso de fundação.

De acordo com Memorial Descritivo do Projeto da Célula Leste – CL2 e CL3 / Volume I/II, elaborado pela PIMENTA DE AVILA em 01/07/2010, doc. MD-3540-54-G-091, a partir dos dados das sondagens e mapeamento de campo, o projeto de escavação das Células

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

Leste CL2 e CL3 foram concebidos considerando a remoção de toda a camada de solo fofo na área de assentamento do aterro das paredes. Foi considerada a remoção de uma camada com espessura média de 1,50m sendo: 0,70m de solo superficial com matéria orgânica e 0,80m de solo fofo.

O Relatório Descritivo do Projeto Executivo da Célula Leste CL3, emitido pela PIMENTA DE AVILA em 11/07/2012, doc. RT-3540-54-G-016, apresenta que os resultados das investigações de campo realizadas no terreno de fundação indicam condições satisfatórias para a implantação das obras, desde que seja removida a camada superficial de solo fofo e o reservatório seja protegido para não permitir a migração de contaminantes para o lençol freático.

Portanto, no Projeto Executivo da Célula Leste CL3 foi considerada a remoção de uma camada superficial, de aproximadamente 1,10 m (0,60 m camada de solo vegetal e 0,50 m de solo fofo). Essa espessura seria adequada no campo em função das características do maciço terroso de fundação. No caso de ocorrer área com solo saturado, todo o material deveria ser removido e a fundação liberada pela fiscalização.

O Relatório Técnico “As Built” das Obras de 2011 da Célula Leste CL3 – 1ª Fase, elaborado pela PIMENTA DE AVILA em 27/07/2012, doc. RT-3540-54-G-423, indica que para a preparação do terreno de fundação foram removidas a camada superficial de solo vegetal e eventuais camadas de solo solto ou fofo, até ser alcançado um material com características geotécnicas aceitáveis para assentamento do aterro compactado.

O relatório acrescenta que a superfície de fundação dos aterros das paredes e canal de contorno foi tratada e compactada (correção de umidade, escarificação, acerto de espessura). Nas áreas de encontro com o maciço existente, a região de contato foi escalonada e tratada para receber o novo aterro.

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

Os desenhos do “As Built” (D1-3540-54-G-416 a D1-3540-54-G-422), associados ao relatório RT-3540-54-G-423, indicam a região da fundação do dique de contorno da CL3 no qual foi realizado o tratamento / escavação do terreno da fundação. A Figura 7.1 indica o trecho da fundação escavada para implantação do aterro compactado da CL3 na locação da Estaca 4, que apresenta uma espessura de escavação de 1,08 m.



Figura 7.1 – Seção do “As Built” do Aterro Compactado da CL3 com indicação do tratamento / escavação da fundação (AN-443-DS-28850-00, PIMENTA DE AVILA, junho/2012).

A Célula Leste CL3 corresponde a fase mais recente de implantação do aterro compactado do dique de contorno do DRS1, apresentando, portanto, um maior volume de documentos disponíveis. Por outro lado, Nos desenhos do projeto As Is do DRS1 (RT-3540-54-G-1014 R02), para as seções de terraplenagem das células mais antigas consta a nota 7, em que a linha de escavação da fundação foi definida a partir dos documentos de projeto, e adequada com base em resultados de investigação de campo realizadas.

7.2 Sistema de impermeabilização

A avaliação do sistema de impermeabilização do DRS1 foi abordada nas letras “N” e “O” da TAC 3.1. Portanto, neste item serão apresentados, de forma sucinta, as análises e considerações da FONNTES.

7.2.1 Considerações iniciais

Pelo fato de o DRS1 ser uma estrutura mais antiga, com mais de 30 anos, tendo passado por diferentes normativos de aplicação e controle de qualidade da impermeabilização por geomembrana, o histórico do controle tecnológico de instalação de cada célula construída em diversos períodos apresenta diferentes níveis de detalhe e profundidade. As células mais antigas dispõem de menos registros históricos, tais como documento *As Built*, ensaios destrutivos e não destrutivos, enquanto as células mais novas apresentam com maior nível de detalhes das especificações técnicas do material aplicado e os testes de avaliação da qualidade de soldas e reparos realizados durante a instalação.

Neste sentido, é importante contextualizar e esclarecer que durante toda década de 90 o tema técnico relacionado aos geossintéticos ainda era incipiente no Brasil, principalmente em termos de normatização. No início dos anos 2000 iniciaram os grupos de trabalho da ABNT para publicação das primeiras normas brasileiras relacionadas ao tema. As obras àquela época acabavam por adotar normas de outros países como referência. Ainda hoje, há muito o que ser desenvolvido, tanto em termos de estudos técnicos como normatização no Brasil. Logo, a não existência ou limitação de dados mais antigos em estruturas desse tipo acaba sendo algo comum no Brasil. A eficiência da estanqueidade da geomembrana nesses casos é avaliada de forma indireta, através do acompanhamento da instrumentação e qualidade da água dos poços ambientais.

A primeira norma brasileira que trata de instalação de geomembranas poliméricas foi a ABNT NBR 16.199, válida a partir de agosto de 2013. A mesma norma apresentou sua segunda edição publicada em março de 2020. Antes delas, era comum se usar no Brasil os padrões internacionais estabelecidos pela *American Society for Testing and Materials*, quais sejam:

- i. ASTM D 4545 (1986) “Standard Practice for Determining the Integrity of Factory Seams Used in Joining Manufactured Flexible Sheet Geomembranes”

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

Estabelece práticas padrões para determinação da integridade de soldas fabricadas para junção de painéis de geomembranas flexíveis manufaturadas.

- ii. ASTM D 4437 (1999) "Standard Practice for Determining the Integrity of Field Seams Used in Joining Flexible Polymeric Sheet Geomembranes"

Estabelece práticas padrões para determinação da integridade de soldas usadas para junção de painéis de geomembranas poliméricas.

- iii. ASTM D 6392 (1999): "Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams produced using Thermo-Fusion Methods"

Estabelece metodologia de teste padrão para determinação da integridade de soldas de geomembranas não reforçadas pelos métodos de termo fusão.

- iv. ASTM D 6693 (2001): "Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Nonreinforced Polyethylene and Nonreinforced Flexible Polypropylene Geomembranes"

Estabelece metodologia de teste padrão para determinação de propriedades de tração de geomembranas de polietileno e polipropileno não reforçadas.

O projeto mais antigo do DRS1 que trata da aplicação de geocélula identificado durante a auditoria é o "Design criteria_Area 54" (doc. CD-BALN-54-P-002), elaborado pela ALCAN INTERNATIONAL LIMITED, em junho de 1984. Este documento definiu critérios iniciais para projetar o depósito de resíduos sólidos provenientes do beneficiamento da bauxita e já instruíra que seriam necessários testes com o solo e com os resíduos para avaliar a necessidade de implantação de geomembranas impermeabilizantes sob o as células do DRS1.

Visando consolidar os registros históricos de aplicação de geomembrana sobre cada célula do DRS1 foi elaborada a Tabela 7.1, onde é apresentada a existência dos

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

documentos, data de instalação da geomembrana em cada célula, empresa projetista e empresa executora.

Nos itens a seguir, são apresentados os documentos identificados de cada célula do DRS1 e no item final são apresentadas as análises e considerações da FONNTES.

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1
Tabela 7.1 – Registros históricos da geomembrana aplicada por célula/expansão do DRS1 identificados durante a elaboração da auditoria

LOCAL	PERÍODO DE INSTALAÇÃO DA GEOMEMBRANA	EXISTÊNCIA DE PROJETO	EXISTÊNCIA DE AS BUILT	ESPECIFICAÇÕES DA GEOMEMBRANA	ENSAIOS DESTRUTIVOS	ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	EMPRESA PROJETISTA	EMPRESA EXECUTORA
Célula inicial	Janeiro/1994 ¹	Sim	N.I.	Sim ²	N.I.	N.I.	LPS Consultoria e Engenharia	NORSAN Impermeabilização e comércio LTDA
Célula 1 (expansão 1)	1996	Sim	N.I.	Sim ²	N.I.	N.I.	ALUNORTE	N.I.
Célula 2 (expansão 2)	1996	Sim	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	ALUNORTE	N.I.
Célula 3 (expansão 3)	1997	Sim	N.I.	Sim ²	N.I.	N.I.	ALUNORTE	N.I.
Célula 4 (expansão 4)	1998	Sim	N.I.	Sim	N.I.	N.I.	ALUNORTE	N.I.
Célula 5 (expansão 5)	1999	Sim	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	ALUNORTE	N.I.
Célula 6 (expansão 6)	2001	Sim	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	ALUNORTE	JC - TOPOGRAFIA
Célula 7 (expansão 7)	2002	Sim	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	ALUNORTE	N.I.
Célula Sul	2007 a 2008	Sim	N.I.	Sim	N.I.	N.I.	Pimenta de Ávila Consultoria	RECORD ENGENHARIA
CL1	2009 a 2010	Sim	Sim	Sim	N.I.	Sim	Pimenta de Ávila Consultoria	MS TERRAPLANAGEM
CL2	2011 a 2012	Sim	N.I.	Sim ¹	N.I.	N.I.	Pimenta de Ávila Consultoria	N.I.
CL3	2013 a 2014	Sim	Sim	Sim	N.I.	Sim	Pimenta de Ávila Consultoria	MELO Equipamentos e Serviços de Construção

N.I. = Documento Não Identificado

¹Data referente a disponibilização do projeto "para compra"

² A especificação da geomembrana identificada dessas células diz respeito a espessura e o material utilizado.

7.2.2 Diretrizes estabelecidas em projeto – CL3

Conforme indicado no Projeto *As Is* do Depósito DRS1, elaborado pela PIMENTA DE AVILA em 29/07/21, doc. RT-3540-54-G-1014, todo o reservatório do DRS1 é impermeabilizado com geomembrana PEAD. Os documentos de projeto indicam que foi previsto o lançamento de uma camada de 7 cm de areia após a regularização do fundo do reservatório e das bacias de controle. Nos taludes de montante do reservatório da célula CL3 foi aplicado geotêxtil de 400g/m² antes da geomembrana PEAD.

O Projeto *As Is* indica que foi informado pela HYDRO via e-mail no dia 23/04/2021 as espessuras de geomembrana empregadas no DRS1 em função do estaqueamento do dique do depósito apresentado na Figura 7.2:

- EST. 0+0,00 a EST. 99+0,00 – 1,0 mm de espessura nas regiões de jusante, canal de contorno, montante e fundo do reservatório;
- EST. 99+0,00 a EST. 200+0,00 – 1,0 mm de espessura na região de jusante, e 1,5 mm de espessura nas regiões do canal de contorno, montante e fundo do reservatório;
- EST. 200+0,00 a EST. 316+0,00 – 1,0 mm de espessura nas regiões de jusante, canal de contorno, montante e fundo do reservatório;
- Na crista dos diques do DRS1 a ancoragem das geomembranas de montante e jusante se dá por meio de solda simples a uma distância de 1 m a partir do bordo de montante;
- Na crista dos canais de contorno, onde a montante tem-se a impermeabilização do DRS1, a geomembrana dos canais é soldada na geomembrana do DRS1 a uma distância de 1 m do bordo do canal;
- A ancoragem se dá por meio de trincheiras nos bordos externos dos canais de contorno e bacias de controle;
- BC1, BC2 e BC3 – 1,0 mm de espessura na região dos taludes e no fundo. A região entre a BC1 e a BC2 não se encontra impermeabilizada com geomembrana;

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

- BC5 e BC6 – 1,5 mm de espessura na região dos taludes e no fundo. A região entre a BC5 e a BC6 não se encontra impermeabilizada com geomembrana, contando com uma camada de laterita;
- A região entre os canais oeste e canal sul não se encontra impermeabilizada com geomembrana;
- São colocados sacos de areia nas bermas dos diques do DRS1, sobre a geomembrana, ao longo de todo seu perímetro.

A geomembrana é ancorada nas estruturas a um offset lateral de 1 m a partir dos bordos das estruturas. A Figura 7.3 apresenta seções típicas do dique de contorno e do canal de contorno do DRS1, indicando a aplicação da geomembrana. Conforme o desenho D1-3540-54-G-1155 R01 (PIMENTA DE AVILA, 2021), a linha vermelha representa a Geomembrana PEAD de 1,50 mm, a linha verde representa a Geomembrana PEAD de 1,00 mm e a linha azul representa o Geotêxtil não tecido de 400 g/m².

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1



Figura 7.2 – Estaqueamento do dique do DRS1 (D1-3540-54-G-1113 R01, PIMENTA DE AVILA, 2021).

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

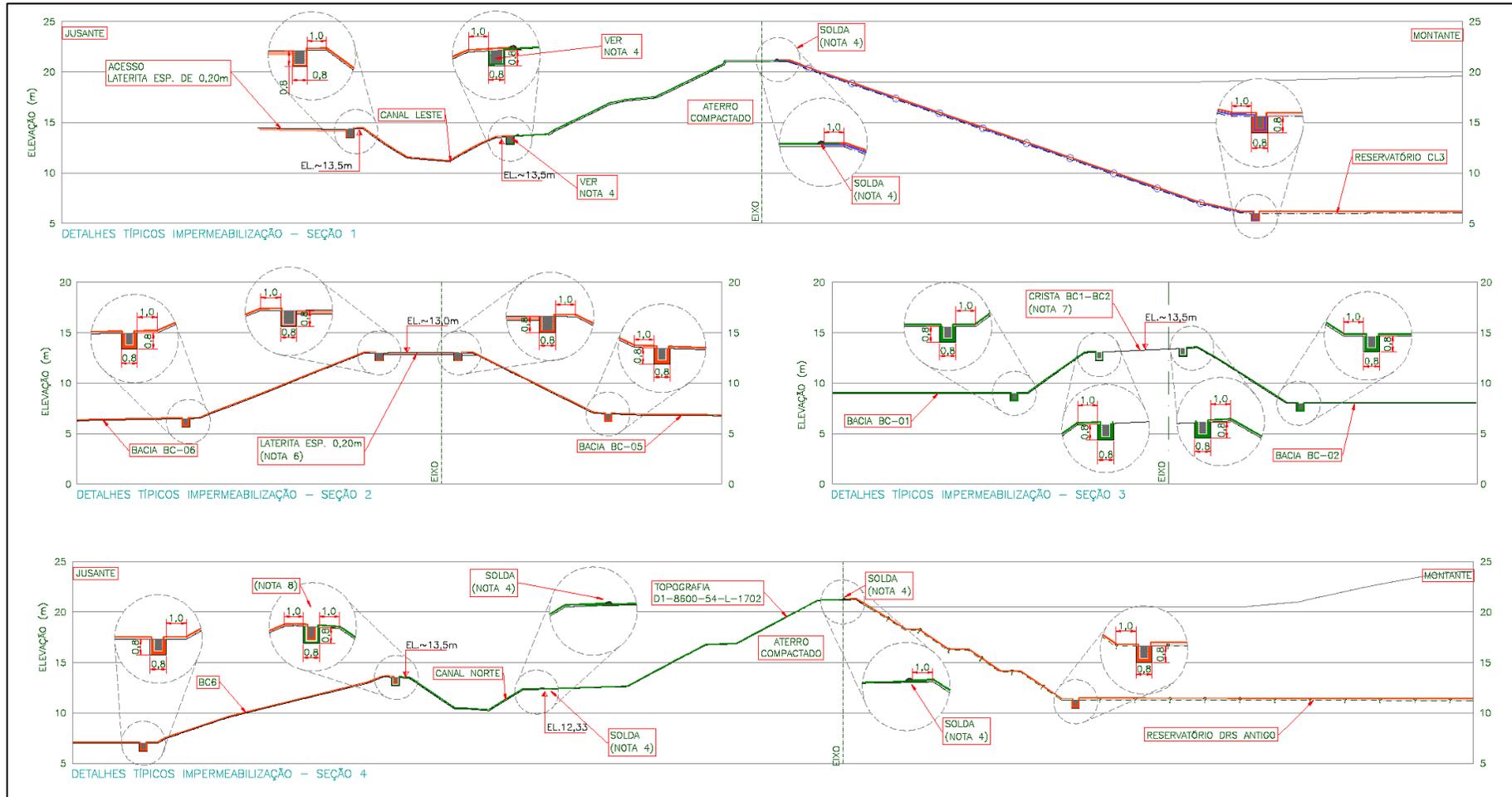


Figura 7.3 – Seções típicas da impermeabilização do dique e dos canais do DRS1 (D1-3540-54-G-1155 R01, PIMENTA DE AVILA, 2021).

7.2.3 Interpretação de testes relativos à aplicação de materiais sobre a geomembrana

O documento FG-2201-NHB-A-BA-RT21, emitido pela FONNTES, avaliou a escolha da geomembrana para o DRS1 levando em consideração a interação da mesma com o solo de cobertura, ou seja, se foi considerado para essa escolha o ângulo de atrito entre o solo e a geomembrana e se para tanto foram necessários ensaios com o material. Além disso, o documento avaliou e verificou se foram considerados de forma adequada para escolha do modelo a espessura das geomembranas, assim como na determinação dos seus critérios de instalação, como comprimento de soldas e valas de ancoragem.

Ressalta-se que conforme apresentado no relatório FG-2201-NHB-A-BA-RT21 as células mais antigas não dispunham de alguns dados essenciais para revisão dos testes relativos à aplicação dos materiais sobre a geomembrana, por isso, o estudo realizado se concentrou naquelas células que dispunham de dados (CL 1, 2 e 3). Entretanto, o que é possível afirmar é que o carregamento exercido pelos resíduos do DRS 1 pode ser considerado baixo (altura de resíduo de 44,85m) para os padrões de resistência típicos de geomembranas comerciais. Se as fundações tiverem recalques similares aqueles calculados DRS 2 (premissa muito conservadora) as geomembranas antigas estarão com boa performance. Uma avaliação indireta de eventual mal funcionamento da camada impermeabilizante ocorre por meio dos poços de monitoramento de águas superficiais e subterrâneas. Essa avaliação é apresentada com detalhes no relatório FG-2201-NHB-RT07, que compreende a letra D do TAC 3.1.

O documento apresenta inicialmente as características físicas dos materiais geossintéticos envolvido na solução de projeto e posteriormente foi realizado um cálculo a partir dos dados de projetos e da metodologia proposta por VETERMATTI (2015), disponível no “Manual Brasileiro de Geossintéticos” para avaliação dos materiais projetados para impermeabilização.

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

Conforme relatório técnico do projeto executivo da CL3 (documento RT-3540-54-G-016), toda a CL3 é revestida com geomembrana PEAD. Sendo que no fundo dos reservatórios da CL3, BC5 e BC6, foi colocada geomembrana com PEAD com 1,5mm de espessura e uma camada de 7 cm de areia sob a mesma para proteção mecânica.

Nos taludes de montante, em contato com os resíduos essa proteção foi realizada por meio de geotêxtil de 400g/m². Nos taludes de jusante, que não há contato com os resíduos, foi projetado uma geomembrana PEAD 1,0mm visando prevenir processos erosivos sobre o talude.

As propriedades da geomembrana PEAD utilizadas na célula 3 (CL3) do DRS1 foram apresentadas na Especificação Técnica de recebimento, aceitação e instalação do sistema de impermeabilização da CL3 (documento ES-3540-54-G-222).

De acordo com o documento FG-2201-NHB-A-BA-RT21-00, emitido pela FONNTES em 10/06/2022, após verificação das propriedades da geomembrana e geotêxtil utilizado, foi possível realizar uma verificação de sua adequabilidade. Para tanto, foram utilizados parâmetros disponíveis no projeto e aplicada a metodologia de dimensionamento proposta por VERTERMATTI (2015) para avaliação dos materiais geossintéticos propostos no projeto.

Após a análise, conclui-se que foi adotado valor de espessura da geomembrana adequado sob os resíduos para atender aos esforços que o DRS 1 irá exercer ao final de sua implantação para as células CL 1, 2 e 3, lembrando que sob os resíduos é utilizada geomembrana de 1,5mm de espessura. Além disso, no presente relatório também foi identificado que a gramatura do geotêxtil de proteção ao puncionamento está dimensionada de forma conservadora e a vala de ancoragem da geomembrana está adequada.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

Para as células cujos cálculos foram verificados, foi possível concluir que o dimensionamento proposto em projeto está adequado.

7.2.4 Interpretação dos ensaios para verificação da estanqueidade da geomembrana

No documento FG-2201-NHB-A-BA-RT11, emitido pela FONNTES em 29/04/22, foram avaliados os boletins de campo dos ensaios que atestaram a qualidade, integridade e estanqueidade da geomembrana durante a sua instalação no Depósito DRS1. Se foram aplicadas as melhores práticas de engenharia e executados os ensaios de controle conforme critérios consagrados de engenharia e na frequência recomendada.

Também foram verificados os ensaios de laboratório disponibilizados, conduzidos para avaliação da qualidade da geomembrana fornecida conforme critérios técnicos do catálogo do fabricante e do projeto. Foram verificados se os ensaios de laboratório resultaram na rejeição de algum lote de geomembrana devido a suas características estarem incompatíveis com as recomendações de projeto, possivelmente relacionados a problemas fabris.

Conforme documentos consultados, o relatório FG-2201-NHB-A-BA-RT11 conclui que nas diferentes células do DRS1 foi aplicada geomembrana com espessura variável, de 0,75mm a 1,50mm. Sendo que nas células mais antigas, diante de uma regulamentação menos restritiva e as vezes até inexistente, foi aplicado geomembrana, entretanto, sem um registro de documentos de engenharia como nas células mais novas. Todavia, é destacada a preocupação em garantir a estanqueidade do DRS1, uma vez que já em 1984 foi prevista a análise da aplicação de camada impermeabilizante com geossintéticos sob o depósito.

Conforme indicado no Projeto *As Is* do Depósito DRS1, elaborado pela PIMENTA DE AVILA em 29/07/21, doc. RT-3540-54-G-1014, todo o reservatório do DRS1 é

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

impermeabilizado com geomembrana PEAD. Os documentos de projeto indicam que foi previsto o lançamento de uma camada de 7 cm de areia após a regularização do fundo do reservatório e das bacias de controle. Nos taludes de montante do reservatório da célula CL3 foi aplicado geotêxtil de 400g/m² antes da geomembrana PEAD.

A Especificação Técnica de Recebimento, Aceitação e Instalação do Sistema de Impermeabilização da CL3, elaborado pela PIMENTA DE AVILA em 10/05/2012, doc. ES-3540-54-G-222, define as condições e critérios a serem seguidos na instalação das geomembranas de PEAD - Polietileno de Alta Densidade – lisas, para o sistema simples de barreira impermeabilizante da Célula Leste CL3 e estruturas associadas.

A HYDRO disponibilizou os Relatórios de Serviços de Impermeabilização com Geomebrana PEAD do Depósito DRS1, referente às estruturas Célula Leste CL3 (fundo do reservatório e taludes internos e externos), Bacias de Controle BC5 e BC7, Rápidos 5 e 11, junções e Canais de Contorno, elaborados pela empresa MELO Equipamentos e Serviços de Construção. Nestes relatórios são apresentados os registros de lançamento de geomembrana, solda de geomembrana, ensaios não destrutivos de pressurização e reparos referente aos meses de outubro, novembro e dezembro/2013 e janeiro, fevereiro, março, abril, agosto, setembro e novembro/2014.

Conforme indicado no documento FG-2201-NHB-A-BA-RT11-00, emitido pela FONNTES em 29/04/22, os registros dos Relatórios de Serviços de Impermeabilização com Manta PEAD do Depósito DRS1 indicam o lançamento de Geomembrana PEAD com espessura de 1,50 mm na Célula Leste CL3, nas Bacias de Controle BC5 e BC7, nos canais de contorno e nos Rápidos 5 e 11 indicam a execução das soldagens dos painéis com o equipamento COMET. Os relatórios indicam a execução de ensaios não destrutivo de pressurização, utilizando-se o equipamento Agulha de Teste e aplicando uma pressão de 2 Bar, sendo possível verificar que não houve perda de pressão em nenhum dos ensaios realizados, indicando resultados adequados. Por fim, os relatórios apresentam

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

a execução de reparos na geomembrana PEAD devido a danos mecânicos, através da execução de “manchão” e, na sequência, executando ensaio de vácuo, obtendo-se resultados adequados.

O relato histórico de danos mecânicos, com o registro de que foram reparados e testados quanto a qualidade do reparo é um fato importante, indica que ocorreu uma avaliação de fato quanto à qualidade de instalação.

O Relatório *As Built* da Impermeabilização da Célula Sul do DRS1, realizado pela RECORD ENGENHARIA em abril/2008, disponibilizado à FONNTES, apresentou registros fotográficos das obras de aplicação, instalação e soldagem da geomembrana PEAD, incluindo a retirada de amostras de Geomembrana PEAD para avaliação em laboratório, a execução de solda por extrusão, de testes para verificação da qualidade da solda e a execução de solda dupla a cunha quente.

Por fim, para investigar a estanqueidade da camada impermeabilizante, se fazem necessários outros instrumentos além dos registros históricos de aplicação da geomembrana. A eficiência da estanqueidade da geomembrana precisa ser sempre avaliada ao longo do tempo através da instrumentação de controle, em especial por meio dos piezômetros, INA's e poços ambientais. Além disso, ainda que tenham sido adotadas premissas conforme a regulamentação internacional e nacional quando existentes, apenas com base nos registros documentais existentes não é possível comprovar a estanqueidade da geomembrana aplicada sob o DRS1, mas sim a instalação dentro de critérios e padrões que tem sua evolução técnica ocorrendo ao longo do tempo na engenharia brasileira.

7.2.5 Considerações relativas à instrumentação e monitoramento piezométrico

Com base no documento FG-2201-NHB-A-BA-RT07, em relação aos instrumentos de monitoramento do nível freático / piezométrico dos diques de controle, observa-se que, de modo geral, os INA'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.

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 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.

7.3 Controle de construção dos diques de contorno

As características geométricas do maciço compactado do dique de contorno do Depósito DRS1 é apresentada no Projeto *As Is*, elaborado pela PIMENTA DE AVILA em 29/07/21, doc. RT-3540-54-G-1014, e indicada a seguir.

- DRS1 Células 1 a 7:
 - Crista – dique de contorno possui crista variando da El. 23,5 m a El. 21,3 m das estacas Est. 0+00 a Est. 36+00 (Parede Oeste do DRS antigo), mantendo-se numa elevação relativamente constante a partir disso até a Est. 100+00 (El. 21,1 m), onde há o encontro com o dique da CL3;
 - Talude de montante – como o dique de contorno do DRS Antigo é constituído por um dique de partida seguido de alteamentos posteriores,

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

o talude de montante nessa região é composto pelas cristas e taludes dos alteamentos anteriores, apresentando-se na forma de escada. Entre as estacas Est. 0+00 a Est. 36+00 possui inclinação média de 1V:1,8H, e até a Est.100+00 apresenta uma inclinação média de 1V:2,1H;

- Talude de jusante – o talude de jusante possui inclinação média de 1V:2,2H, sendo que, quando apresenta altura total superior a 4,5/5,0m, possui uma berma intermediária;
- Berma – sua elevação varia entre as El. 18,9 m a El. 16,7 m das estacas Est. 0+00 a Est. 36+00, mantendo-se relativamente constante até a Est. 100+00 (El. 16,6 m), onde há o encontro com o dique da CL3.
- Célula Leste 3 (CL3):
 - Crista – o dique de contorno possui crista na El. 21,0 m;
 - Talude de montante – os taludes de montante possuem inclinação variável a depender do trecho observado, variando entre as inclinações 1V:2,8H a 1V:3,9H;
 - Talude de jusante – o talude de jusante é composto por uma berma intermediária e possui inclinação média variando entre de 1V:2,4H a 1V:2,7H;
 - Berma – sua elevação varia entre as El. 17,0 m a El. 17,5 m.
- Célula Leste 2 (CL2):
 - Crista – o dique de contorno possui crista variando entre as El. 22,0 m e El. 22,9 m;
 - Talude de montante – os taludes de montante possuem inclinação variável entre as inclinações 1V:2,5H a 1V:2,8H;
 - Talude de jusante – o talude de jusante é composto por uma berma intermediária e possui inclinação média de 1V:2,6H, sendo que em alguns trechos chega a atingir uma inclinação de 1V:2,0H;
 - Berma – sua elevação varia entre as El. 16,1 m a El. 17,3 m.

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

- Célula Leste 1 (CL1):
 - Crista – o dique de contorno possui crista variando entre as El. 23,3 m e El. 24,2 m;
 - Talude de montante – os taludes de montante possuem inclinação média de 1V:2,8H;
 - Talude de jusante – o talude de jusante é composto por uma berma intermediária e possui inclinação média de 1V:2,4H;
 - Berma – sua elevação varia entre as El. 17,4 m a El. 18,7 m.

- Célula Sul:
 - Crista – o dique de contorno possui crista variando entre as El. 25,0 m e El. 26,0 m;
 - Talude de montante – os taludes de montante possuem inclinação variável entre 1V:2,3H a 1V:2,8H, sendo que na região em que o dique da célula sul foi alteado a jusante da célula A existente na época, o talude de montante atinge uma inclinação média de 1V:1,7H;
 - Talude de jusante – o talude de jusante é composto por uma berma intermediária, na maioria das seções, e possui inclinação média variando entre de 1V:2,3H e 1V:2,8H. A partir da Est. 310+00 ele assume uma inclinação média de 1V:3,4H;
 - Berma – sua elevação varia entre as El. 22,8 m a El. 21,7 m.

Os Ensaios de Controle de Construção do aterro compactado dos diques de contorno do Depósito DRS1 são apresentados em relatórios elaborados pela PIMENTA DE AVILA com base nas fases de projeto. Os relatórios disponibilizados de controle de construção são listados a seguir:

- AN-201-RL-4964-0A - Alteamento das paredes – 7ª Fase de expansão – 26/02/2004;

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

- AN-201-NT-7668-0A - Resultados dos ensaios de controle de construção das Paredes Norte e Oeste realizada em 2004 – 03/09/2005;
- RT-3540-54-G-194 - Resultado dos ensaios de controle da construção da Célula Sul – 28/03/2008;
- RT-3540-54-G-869 - Relatório “As Built” de ensaios de controle da construção da Célula Leste-CL1/ Acesso/ BC3/ BC4 – 10/05/2010;
- RT-3540-54-G-235 - Relatório “As Built” de ensaios de controle da construção da célula leste CL2 e estruturas associadas – 25/02/2011;
- RT-3540-54-G-423 - Relatório técnico “As Built” das obras de 2011 da Célula Leste CL3 – 1ª fase – 27/07/2012.

Os ensaios de campo foram realizados pela PIMENTA DE ÁVILA no laboratório de solos instalado no canteiro de obras. Os ensaios de controle tecnológico realizados foram densidade “*in situ*” pelo método do frasco de areia e *Hilf* e compactação Proctor Normal dos materiais de empréstimo.

No relatório AN-201-RL-4964-0A, foram considerados os seguintes critérios para o controle de cada camada:

- Grau de compactação superior a 98%; e
- Desvio de umidade com valores entre +2% e –2%.

Para avaliar a dispersão dos parâmetros foram elaboradas curvas de distribuição de frequência do grau de compactação, mostrando a média, desvio padrão e o número de determinações. O relatório AN-201-RL-4964-0A indica que em termos médios, para os ensaios de controle, obteve-se um grau de compactação conforme especificado, com desvio padrão sempre menor do que 2,0%, indicando uma boa eficiência do controle de compactação.

No relatório AN-201-NT-7668-0A, foram considerados os seguintes critérios para o controle de cada camada:

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

- A compactação com grau de compactação de 100% na média, com mínimo de 98%, em relação ao Proctor Normal;
- A umidade do material entre 1% acima e 2% abaixo da umidade ótima do Proctor Normal.

O relatório apresenta os resultados dos ensaios de compactação realizados em cada trecho da obra. Com base nos resultados, foram determinados o grau de compactação médio e o desvio padrão de cada trecho. A Figura 7.4 apresenta o gráfico de frequência de grau de compactação da parede norte e os valores obtidos de média e desvio padrão.

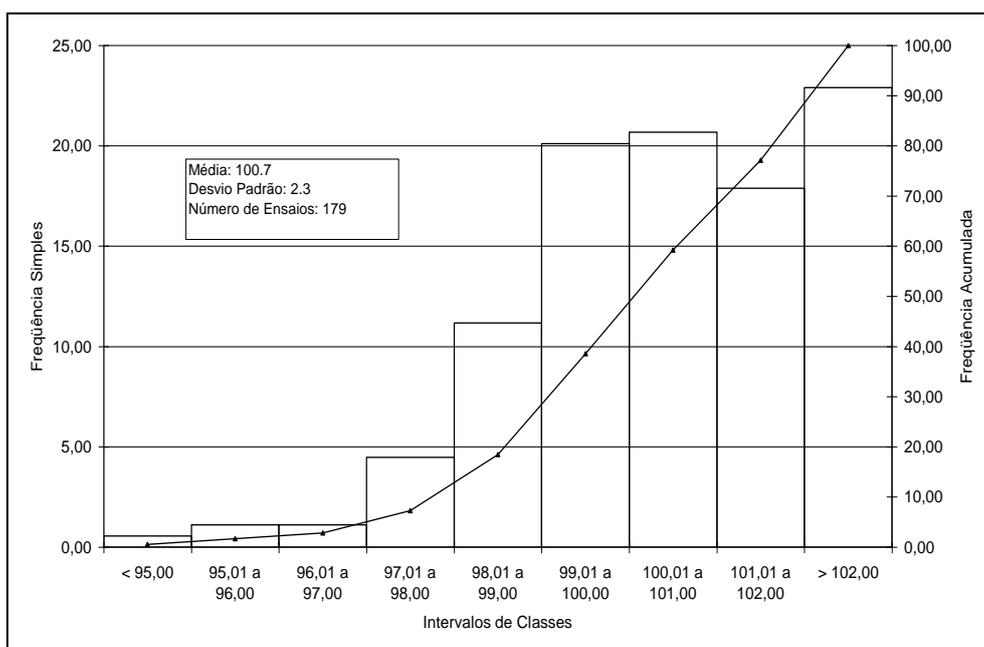


Figura 7.4 - Gráfico de Frequência de Grau de compactação – Parede NORTE (PIMENTA DE AVILA, 2005)

O relatório AN-201-NT-7668-0A conclui que os resultados dos ensaios apresentados mostram que o trabalho de compactação das camadas (homogeneização e compactação) proporcionou grau de compactação e desvio de umidade conforme critérios estabelecidos no projeto.

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

Nos relatórios AN-105-RL-13094, RT-3540-54-G-869 e RT-3540-54-G-235, foram considerados os seguintes critérios para o controle de cada camada:

- Camadas de 20,0 cm de espessura;
- Grau de compactação igual a 100% na média, com mínimo de 98%, em relação ao Proctor Normal;
- Umidade na faixa entre 1% acima e 2% abaixo da umidade ótima do Proctor Normal.

Os relatórios apresentam os resultados dos ensaios de compactação realizados em cada trecho da obra. Com base nos resultados, foram determinadas a distribuição de frequência relativa e acumulada para os desvios de umidade e grau de compactação. A Figura 7.5 e a Figura 7.6 apresentam o histograma de distribuição de frequência do grau de compactação e do desvio da umidade da parede leste da Célula Sul, respectivamente.

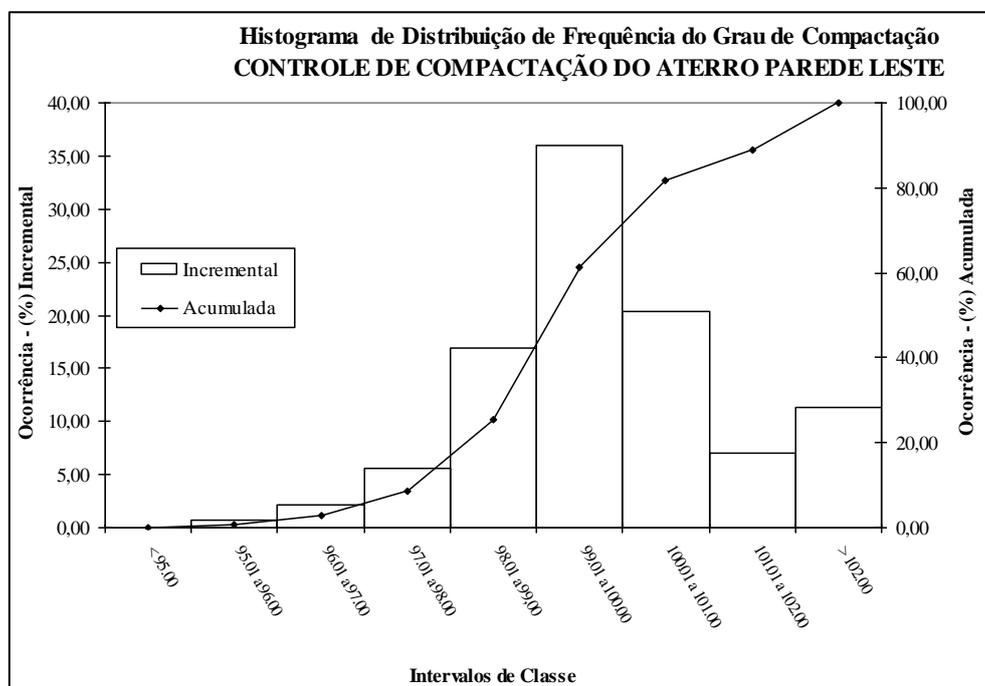


Figura 7.5 - Controle do Grau de Compactação (GC) do aterro da parede leste da Célula Sul - Número de determinações = 142 / Média: GC= 99,92 / Desvio Padrão: 1,63 (PIMENTA DE AVILA, 2008)

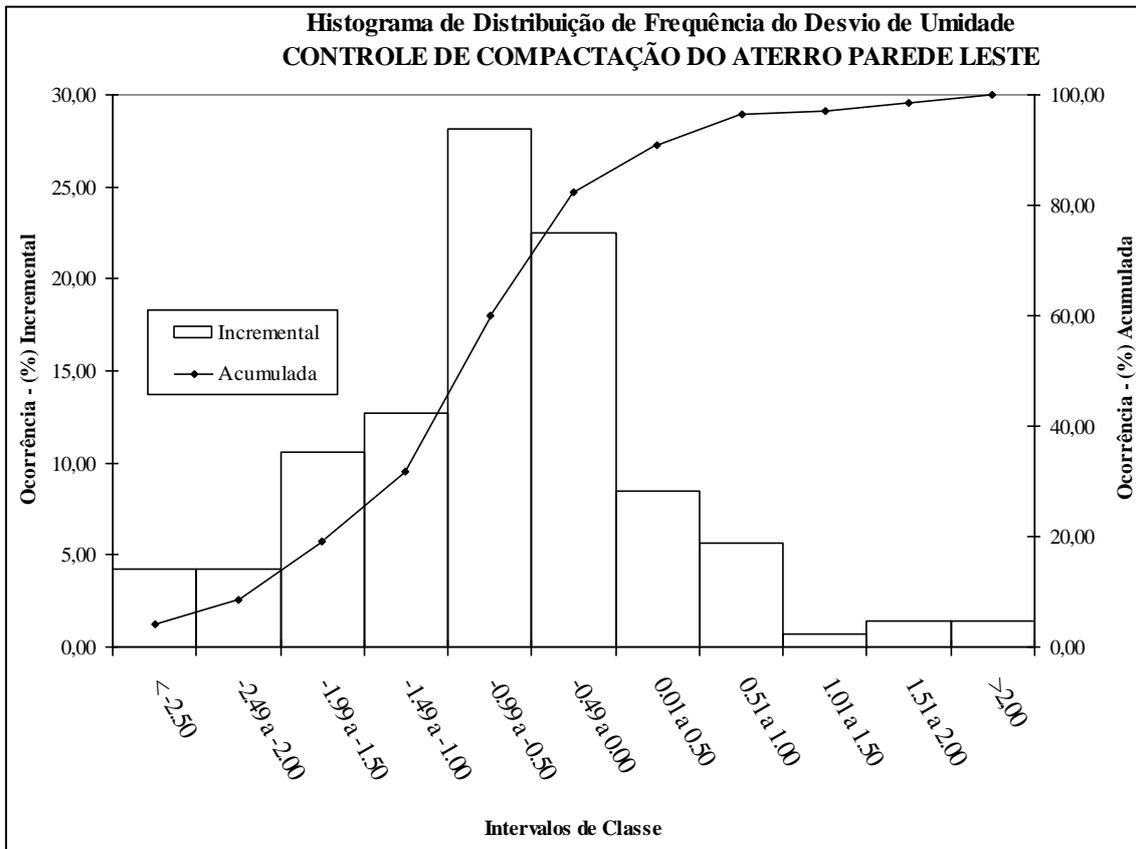
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1


Figura 7.6 – Controle do Desvio de Umidade (DU) do aterro da parede leste – Célula Sul – Número de Determinações = 142 / Média: DU= -0,34 / Desvio Padrão: 1,41 (PIMENTA DE AVILA, 2008)

Com base nos resultados dos ensaios realizados no aterro compactado, apresentados nos doc. AN-105-RL-13094, RT-3540-54-G-869 e RT-3540-54-G-235, a PIMENTA DE AVILA conclui que os serviços estão de acordo com os critérios estabelecidos no projeto.

No relatório RT-3540-54-G-423, foram considerados os seguintes critérios para o controle de cada camada:

- Camadas de 20,0 cm de espessura;
- Grau de compactação igual a 100% em relação ao Proctor Normal;
- Umidade na faixa entre 2% acima e 2% abaixo da umidade ótima do Proctor Normal.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

Em todas as camadas do aterro foram executados ensaios para o controle da compactação. Os seguintes ensaios de campo e de laboratório foram executados:

- Ensaios de caracterização (granulometria e limites de consistência) dos materiais utilizados na construção dos maciços;
- Ensaios de compactação - Proctor Normal para determinação da densidade seca máxima e da umidade ótima dos materiais utilizados na construção dos maciços;
- Ensaios para determinação da densidade “in situ” do aterro compactado pelos métodos da cravação do cilindro e do frasco de areia.

O relatório indica que para o controle e liberação de cada camada de aterro compactado foi verificado o desvio de umidade e grau de compactação. As camadas em que os ensaios não apresentaram resultados conforme o especificado foram recompactadas e realizado novos ensaios, conforme descrito no RDO dos Técnicos de Laboratório.

Os relatórios apresentam os resultados dos ensaios de compactação realizados em cada trecho da obra. Com base nos resultados, foram determinadas a distribuição de frequência relativa e acumulada para os desvios de umidade e grau de compactação. A Figura 7.5 e a Figura 7.6 apresentam o histograma de distribuição de frequência do grau de compactação e do desvio da umidade da parede leste da Célula Sul, respectivamente.

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

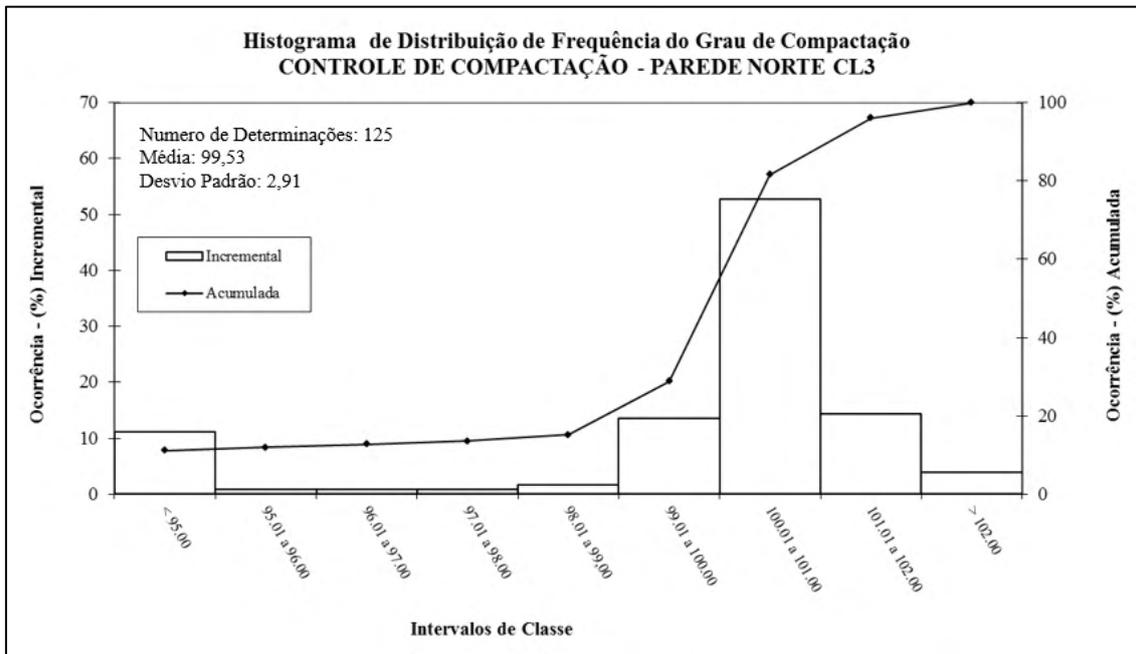


Figura 7.7 - Histograma de frequência do Grau de Compactação do aterro da parede Norte da CL3 (PIMENTA DE AVILA, 2012)

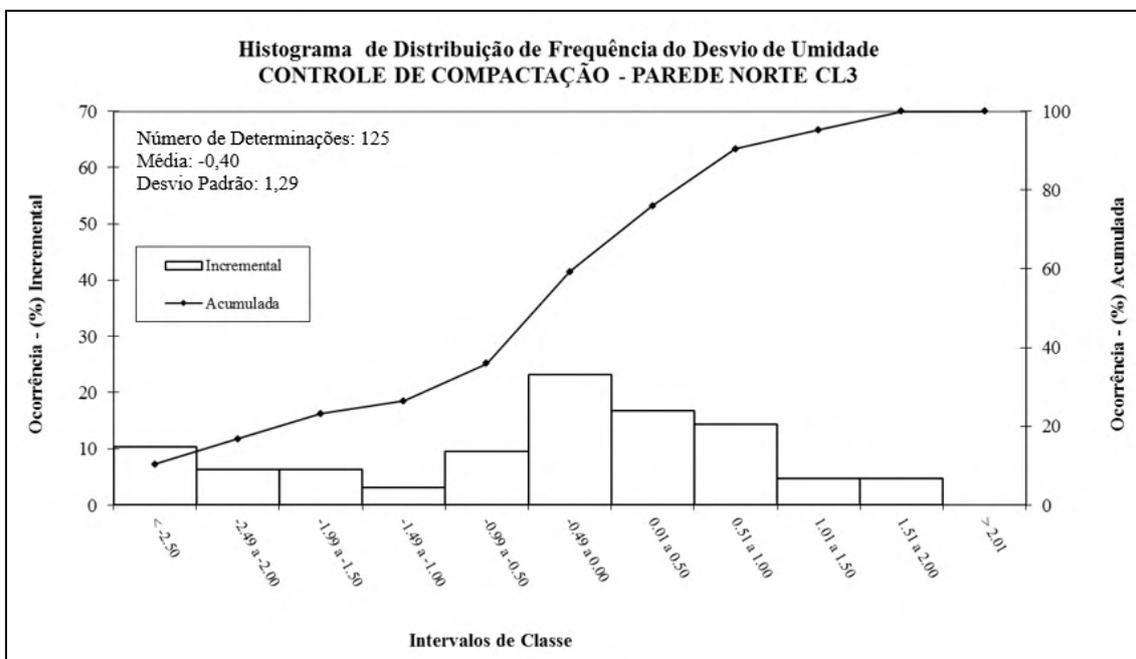


Figura 7.8 – Histograma de frequência do Desvio de Umidade do aterro da Parede Norte da CL3 (PIMENTA DE AVILA, 2012)

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

Com base nos resultados dos ensaios de controle de construção, a PIMENTA DE AVILA concluiu no relatório RT-3540-54-G-423 que os resultados gerais estão de acordo com os critérios estabelecidos no projeto. Em termos médios, foram obtidos grau de compactação conforme especificado com desvio padrão menor que 2%, indicando uma boa eficiência da compactação.

7.4 Estabilidade física e estrutural

A avaliação da estabilidade física e estrutura do Depósito DRS1 foi avaliada no documento FG-2201-NHB-A-BA-RT25-00, emitido pela FONNTES em 29/06/22. Neste documento, os estudos foram conduzidos considerando como referência as análises de estabilidade elaboradas no último relatório de auditoria técnica da estrutura, elaborado pela GEOCONSULTORIA em junho de 2022, documento RT-469137-54-G-0003-rev02.

Inicialmente, foram verificados os parâmetros de resistência ao cisalhamento adotados para os materiais, em conformidade com o banco de dados de ensaios e projeto anteriores. Posteriormente, foi verificada a geometria das seções de análise, utilizada na auditoria técnica, e verificação de possíveis alterações na estrutura a partir de uma base topográfica atualizada. Posteriormente, os modelos de análises foram recalculados pela FONNTES utilizando o software Slide2 da fabricante Rocscience e os resultados foram comparados com as referências normativas (Norma ABNT NBR 13.028/2017 e Norma ABNT NBR 13.029/2017).

A reavaliação dos parâmetros de resistência modelados para os materiais no último relatório de auditoria elaborado pela GEOCONSULTORIA (Doc. RT-469137-54-G-0003-rev01) resultou em uma atualização do relatório e emissão do documento revisado pela GEOCONSULTORIA em 22/06/2022 (Doc. RT-469137-54-G-0003-rev02). Com o documento atualizado e parâmetros de resistência dos materiais verificados, foi dado prosseguimento aos serviços de modelagem das seções.

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

Os modelos geológico-geotécnicos foram realizados a partir de seções de controle, tradicionalmente utilizadas para essa verificação. As seções modeladas no último relatório de auditoria elaborado pela GEOCONSULTORIA foram comparadas com a geometria atualizada, obtida através da base topográfica do Depósito DRS1 atualizada em janeiro/2022 (doc. D1-8600-54-L-2316-R0), sendo necessária a revisão geométrica da superfície dos resíduos para as seções A e D. Destaca-se que a revisão na superfície do resíduo foi pequena.

Em sequência os modelos geológico-geotécnicos das seções de avaliação foram recalculados com auxílio do software Slide 2. O modelo numérico foi construído com a hipótese de fluxo permanente com poropressões atribuídas por meio de uma superfície freática na fundação e uma linha piezométrica na superfície do resíduo. De forma conservadora, a linha freática foi atribuída à fundação levando em consideração os registros máximos históricos dos piezômetros e medidores de nível d'água instalados no maciço, além dos poços de monitoramento em proximidade das seções de referência, com exceção de leituras de pico anômalas possivelmente atribuídas à recarga superficial.

As análises de estabilidade foram realizadas em 6 (seis) seções geotécnicas, representativas do DRS1, sendo estas as seções A, D, H, K, N, Q. A Figura 7.9 apresenta a locação das seções de análises do DRS1, conforme indicado no Relatório da Inspeção de Segurança Regular do DRS1, documento RT-469137-54-G-0003, elaborado pela GEOCONSULTORIA, em janeiro de 2022.

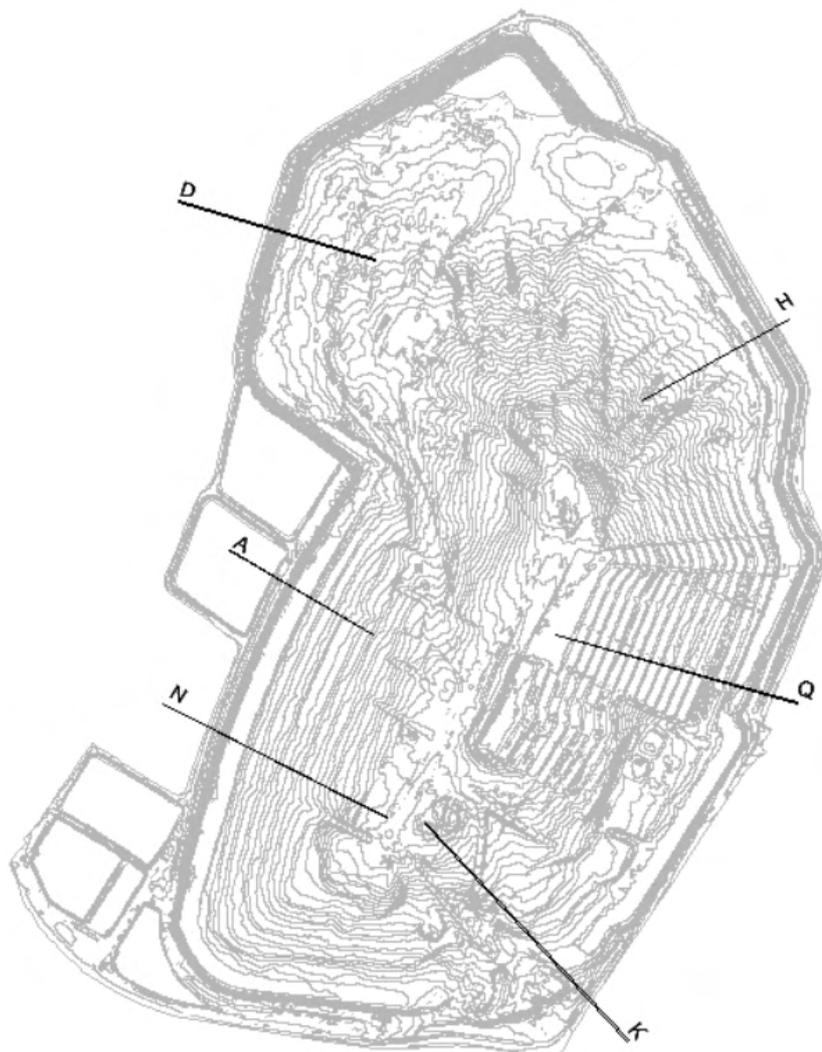


Figura 7.9 – Planta de locação das seções de análises

Os resultados das análises de estabilidade para condição atual estática, pseudoestática e não drenada do Depósito DRS1 ao longo das seções analisadas são apresentados no documento FG-2201-NHB-A-BA-RT25-00 elabora pela FONNTES. Um resumo dos resultados obtidos nas análises é apresentado na Tabela 7.2, a seguir.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

Tabela 7.2 – Resumo das análises de estabilidade do DRS1 (Fonte: FG-2201-NHB-A-BA-RT25-00)

SEÇÃO	FATOR DE SEGURANÇA OBTIDO		
	CONDIÇÃO ESTÁTICA	CONDIÇÃO PSEUDOESTÁTICA	CONDIÇÃO NÃO DRENADA DE PICO
A-A	1,88	1,38	1,78
D-D	2,00	1,75	2,00
H-H	2,08	1,82	2,08
K-K	2,11	1,26	2,10
N-N	1,71	1,38	1,71
Q-Q	2,22	1,57	1,97

Os resultados foram comparados com àqueles obtidos no último relatório de auditoria (Doc. RT-469137-54-G-0003-rev02) e com a Norma ABNT NBR 13.028/2017. Deve-se destacar que para a condição não drenada a norma efetivamente não define o valor do fator, deixando a critério da projetista. No entanto, sugere-se pelo auditor o valor estabelecido na Resolução Nº. 95, de 07/02/2022, da Agência Nacional de Mineração (ANM), como boa prática de engenharia e considerando o princípio da precaução.

Os cálculos realizados pela FONNTES e pela GEOCONSULTORIA resultaram em valores similares de fatores de segurança na maioria das seções (ver Tabela 7.3). Na seção A e K foram observadas divergências, geralmente os fatores de segurança calculados pela FONNTES foram menores que aqueles calculados pela GEOCONSULTORIA. Esse fato está relacionado com os limites adotados nas análises. O modelo matemático elaborado pela GEOCONSULTORIA limitou a busca na região mais a montante (sobre os resíduos), nessas duas seções. Contudo, a FONNTES realizou a busca da superfície potencial de ruptura mais ampla, também na região do aterro compactado do Dique, encontrando menores fatores de segurança (Tabela 7.3).

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

Tabela 7.3 – Comparação entre os fatores de segurança calculados pela FONNTES e o estudo mais recente disponível

SEÇÃO	FATORES DE SEGURANÇA OBTIDOS					
	CONDIÇÃO ESTÁTICA		CONDIÇÃO PSEUDOESTÁTICA		CONDIÇÃO NÃO DRENADA DE PICO	
	FONNTES (2022)	GEO CONSULTORIA (2022)	FONNTES (2022)	GEO CONSULTORIA (2022)	FONNTES (2022)	GEO CONSULTORIA (2022)
A-A	1,88	3,10	1,38	1,20	1,78	1,60
D-D	2,00	2,00	1,75	1,80	2,00	2,00
H-H	2,08	2,10	1,82	1,80	2,08	2,10
K-K	2,11	4,10	1,26	1,80	2,46	3,20
N-N	1,71	3,00	1,38	1,40	1,71	2,10
Q-Q	2,22	2,20	1,57	1,50	1,97	1,90

A partir dos fatores de segurança obtidos, conforme resumo apresentado na Tabela 7.4, foi possível concluir que para todas as seções os cenários de simulação estudadas do DRS1 (condição estática, condição pseudoestática e condição não drenada de pico), foram obtidos fatores de segurança satisfatórios, ou seja, superiores aos recomendados pela Norma ABNT NBR 13.028/2017 e Resolução Nº 95, de 7 de fevereiro de 2022. Ressalta-se que a FONNTES sugere as normas supracitadas como referência apenas em função de boas práticas da engenharia, uma vez que as estruturas da ALUNORTE são fiscalizadas pela SEMAS e não necessariamente devem seguir estas normas.

Tabela 7.4 – Comparação entre os fatores de segurança obtidos para o DRS1 e os mínimos estipulados por norma

SEÇÃO	FATOR DE SEGURANÇA OBTIDO		
	CONDIÇÃO ESTÁTICA FS mín = 1,50 ¹	CONDIÇÃO PSEUDOESTÁTICA FS mín = 1,10 ¹	CONDIÇÃO NÃO DRENADA DE PICO FS mín = 1,30 ²
A-A	1,88	1,38	1,78
D-D	2,00	1,75	2,00
H-H	2,08	1,82	2,08
K-K	2,11	1,26	2,46
N-N	1,71	1,38	1,71
Q-Q	2,22	1,57	1,97

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

Nota 1: De acordo com a ABNT NBR 13.028/2017.

Nota 2: De acordo com Resolução nº 95, de 7 de fevereiro de 2022.

7.5 Gestão de águas superficiais

Neste item será verificado se a solução hidráulica para as águas superficiais do DRS1 são adequadas, conforme critérios consagrados de engenharia, para suportar eventos chuvosos extremos sem que ocorram transbordamentos. Esse aspecto necessitará também da verificação dos critérios operacionais, constante nos manuais de operação das bacias utilizadas para armazenamento e bombeamento das águas de chuva para estação de tratamento. A capacidade volumétrica das baias e a capacidade de bombeamento serão verificadas quanto sua adequação técnica. Na ausência de uma normatização específica no Brasil para esse tipo de estrutura, será verificada a experiência internacional e as normas ABNT NBR 13.028/2017 e ABNT NBR 13.029, naquilo que for aplicável, em relação os critérios hidrológicos e hidráulicos.

Os estudos hidrológicos e hidráulicos para dimensionamento dos sistemas extravasores, dispositivos de drenagem e bombeamento da célula leste CL3 são apresentados no documento RT-3540-54-G-020, elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria LTDA, tendo sido sua última versão emitida em 01/03/2013. Além deste, foi realizada a avaliação da segurança do DRS1 frente à passagem de cheias no período chuvoso 2021/2022 pela GWS Engenharia, relatório RT-469133-54-G-004_R02, emitido em 14/12/2021. Abaixo são descritas as premissas e considerações realizadas neste estudo

7.5.1 Configuração do DRS1

As estruturas do DRS1 conforme documento As Is são apresentadas na Figura 7.10.

AValiação da compatibilidade do projeto executivo do DRS1

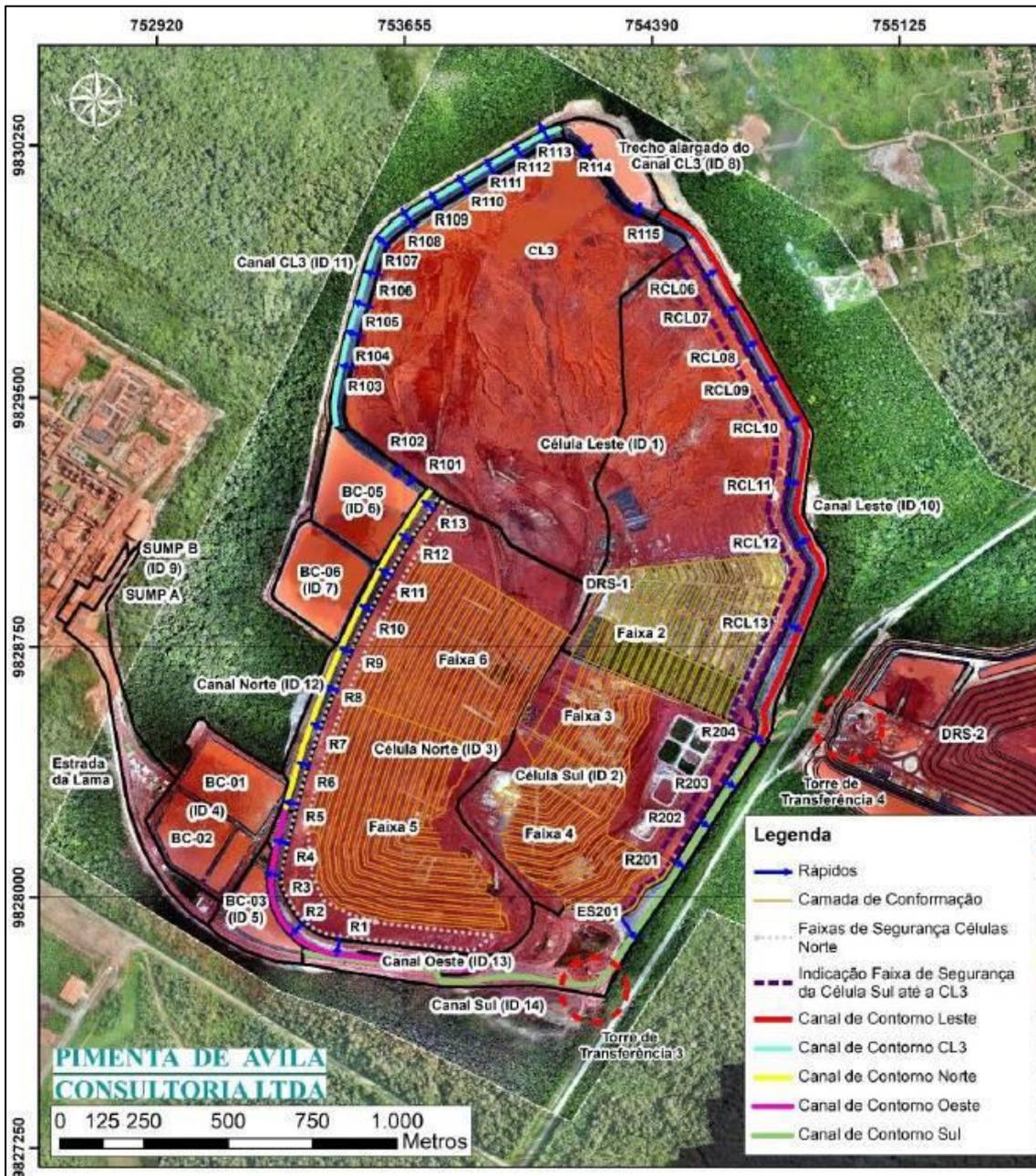


Figura 7.10 – Estruturas da configuração atual do DRS1 (RT-3540-54-G-1014 R02)

O modelo hidrológico empregado no estudo foi o modelo HEC-HMS. Este *software* contempla uma solução multimodelo composta por diferentes alternativas de modelagem da precipitação de projeto, da precipitação efetiva, da concentração dos escoamentos por modelagem do escoamento superficial e da propagação de hidrogramas de cheia em cursos d’água, reservatórios e outras áreas de

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

armazenamento, como a Célula CL3. Trata-se de um modelo semi-distribuído de simulação por evento.

Devido à complexidade do sistema de contribuição superficial do DRS1 é importante compreender como funciona cada uma das estruturas relevantes do sistema. Essa pode ser uma tarefa difícil devido aos diversos sistemas de armazenamento, canais de contorno, Bacias de Controle, e outras peculiaridades. O relatório de avaliação da segurança do DRS1 frente à passagem de cheias no período chuvoso 2021/2022 (RT-469133-54-G-004) apresenta o diagrama com os principais sentidos de fluxo e dispositivos do sistema hidráulico DRS1

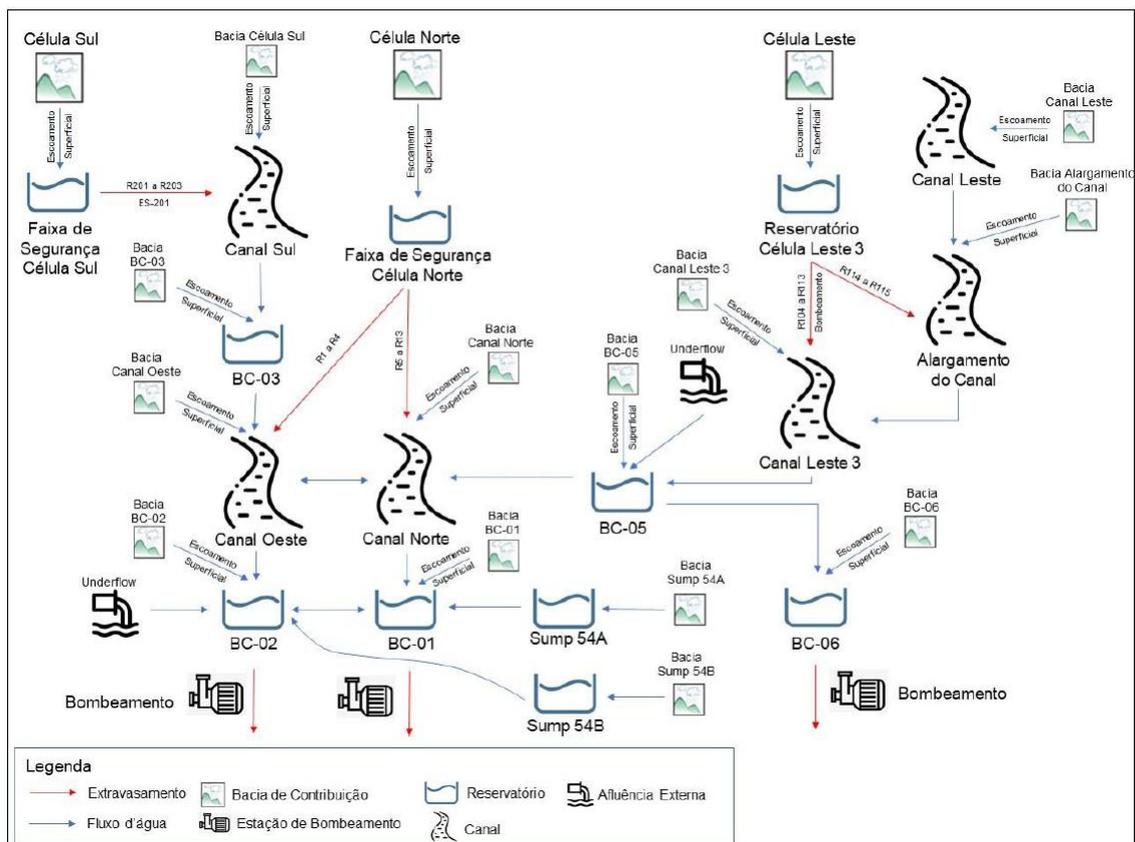


Figura 7.11 – Fluxograma dos dispositivos e fluxos constituintes do DRS1 (RT-469133-54-G-004)

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

7.5.2 Pluviologia

Na avaliação da segurança do DRS1 frente à passagem de cheias no período chuvoso 2021/2022 (RT-469133-54-G-004) foram utilizados os quantis de precipitação obtidos no documento de atualização dos estudos de chuvas intensas (RT-469133-54-G-003), os mesmos são replicados na Tabela 7.5.

Adicionalmente às vazões de entrada relativas à precipitação direta e vazões advindas do escoamento superficial, ainda é computada uma parcela de vazão referente ao underflow proveniente das bacias da Área 82. Segundo relatório RT-469133-54-G-004, o monitoramento médio mensal dos anos de 2020 e 2021 realizado pela ALUNORTE foi utilizado como base para definição da vazão de underflow na avaliação hidrológica.

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1
Tabela 7.5 – Quantis pontuais de precipitação de projeto: Estação pluviométrica Vila do Conde (RT-469133-54-G-003)

Duração	Tempo de Retorno (anos)										
	2	5	10	25	50	100	200	500	1.000	5.000	10.000
5 min	14,2	17,4	19,2	21,2	22,6	23,9	25,2	26,6	27,7	29,7	30,4
10 min	21,0	25,7	28,4	31,6	33,8	36,0	38,0	40,6	42,4	46,2	47,6
15 min	26,8	33,9	38,1	43,0	46,4	49,5	52,4	56,0	58,6	63,7	65,6
20 min	30,6	38,9	43,9	49,8	53,9	57,7	61,4	65,9	69,1	75,8	78,4
25 min	33,7	43,1	48,8	55,6	60,3	64,9	69,3	74,8	78,7	87,0	90,3
30 min	36,3	46,7	53,1	60,7	66,2	71,5	76,6	83,0	87,7	97,9	101,9
45 min	42,8	56,1	64,4	74,5	81,8	88,8	95,7	104,4	110,8	124,9	130,6
1 hora	47,9	63,9	74,2	86,8	96,0	104,9	113,5	124,7	132,9	151,4	159,0
1,5 horas	54,4	72,9	84,9	99,8	110,7	121,4	131,9	145,5	155,7	178,7	188,4
2 horas	59,2	79,7	93,2	110,1	122,5	134,8	146,9	162,8	174,8	202,3	214,0
3 horas	66,1	89,3	104,7	124,1	138,5	152,8	167,0	185,8	200,0	233,0	247,2
4 horas	71,3	96,6	113,5	135,1	151,2	167,2	183,3	204,7	221,0	259,0	275,6
6 horas	78,6	106,7	125,4	149,4	167,3	185,2	203,1	227,0	245,2	287,9	306,5
8 horas	84,1	114,2	134,4	160,2	179,6	198,9	218,4	244,3	264,0	310,5	330,8
10 horas	88,5	120,1	141,3	168,3	188,6	208,8	229,1	256,1	276,7	325,1	346,2
12 horas	92,3	125,2	147,2	175,2	196,2	217,1	238,1	266,0	287,3	337,2	358,8
14 horas	95,6	129,6	152,3	181,2	202,8	224,3	245,9	274,6	296,4	347,5	369,7
18 horas	101,3	137,2	161,0	191,3	213,8	236,3	258,7	288,5	311,0	363,7	386,5
24 horas	108,5	146,5	171,7	203,6	227,2	250,6	274,0	304,8	328,1	382,1	405,4
2 dias	122,0	161,7	187,4	219,3	242,7	265,9	289,1	319,8	343,4	399,2	423,8

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

Duração	Tempo de Retorno (anos)										
	2	5	10	25	50	100	200	500	1.000	5.000	10.000
3 dias	148,5	196,3	227,2	265,5	293,6	321,5	349,2	386,1	414,3	481,0	510,5
5 dias	191,4	251,5	290,1	337,8	372,7	407,2	441,5	487,0	521,7	603,7	639,8
7 dias	223,3	290,6	333,6	386,5	425,0	462,9	500,5	550,3	588,1	677,1	716,2
10 dias	271,8	351,5	402,2	464,2	509,3	553,6	597,4	655,3	699,2	802,3	847,5
15 dias	336,8	438,6	507,4	596,1	663,1	730,7	799,2	891,2	962,0	1130,7	1205,3
20 dias	393,0	502,4	574,8	666,3	734,2	801,6	868,8	957,3	1024,3	1179,7	1246,6
25 dias	444,9	564,9	639,9	731,0	796,6	860,6	923,7	1006,3	1068,7	1214,1	1277,3
30 dias	493,2	635,2	729,2	848,0	936,2	1023,6	1110,8	1225,8	1312,7	1514,4	1601,2
45 dias	637,7	825,5	949,9	1107,0	1223,6	1339,2	1454,5	1606,6	1721,5	1988,3	2103,1
60 dias	754,2	968,7	1110,7	1290,2	1423,3	1555,4	1687,1	1860,8	1992,1	2296,7	2427,9

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

7.5.3 Caracterização da Bacia

A delimitação das áreas de drenagem conforme relatório de avaliação da segurança do DRS1 frente à passagem de cheias no período chuvoso 2021/2022 (RT-469133-54-G-004) é apresentada na Figura 7.12 e Tabela 7.6.

A delimitação do uso e ocupação do solo considerada para o estudo é apresentada na Figura 7.13. Ressalta-se que o grupo hidrológico de solos adotado foi o tipo B, apesar de se tratar de um resíduo oriundo do processamento da bauxita e outros minerais. Também foi adotado a condição antecedente de umidade II, seguindo padrão adotado em diversos trabalhos similares. As áreas de drenagem de cada bacia de contribuição são apresentadas na Tabela 7.6

Tabela 7.6 – Relação de áreas de drenagem obtidas para o DRS1 (RT-469133-54-G-004)

Bacia Hidrográfica	Área de Drenagem (km²)
Célula Leste	1,43
Célula Sul	0,35
Célula Norte	0,76
Bacias de Controle 01 e 02	0,13
Bacia de Controle 03	0,05
Bacia de Controle 05	0,08
Bacia de Controle 06	0,08
Canal de Contorno Leste 3	0,06
Alargamento do Canal Leste	0,04
Canal de Contorno Leste	0,11
Canal de Contorno Sul	0,16
Canal de Contorno Norte	0,06
Canal de Contorno Oeste	0,04
<i>Sump 54A</i>	0,08
<i>Sump 54B</i>	0,01
Total	3,43

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

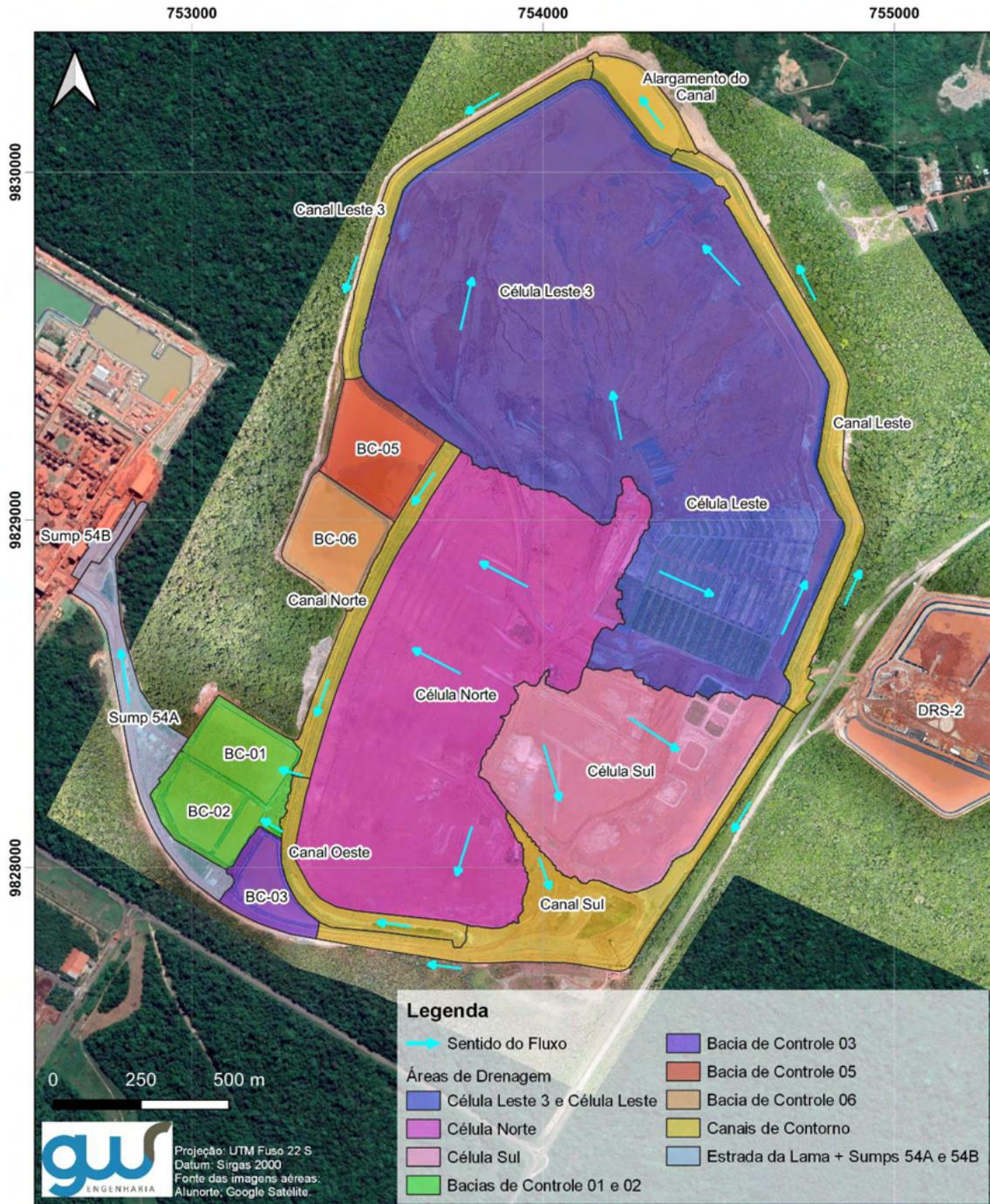


Figura 7.12 – Áreas de drenagem consideradas no DRS1 (RT-469133-54-G-004)

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

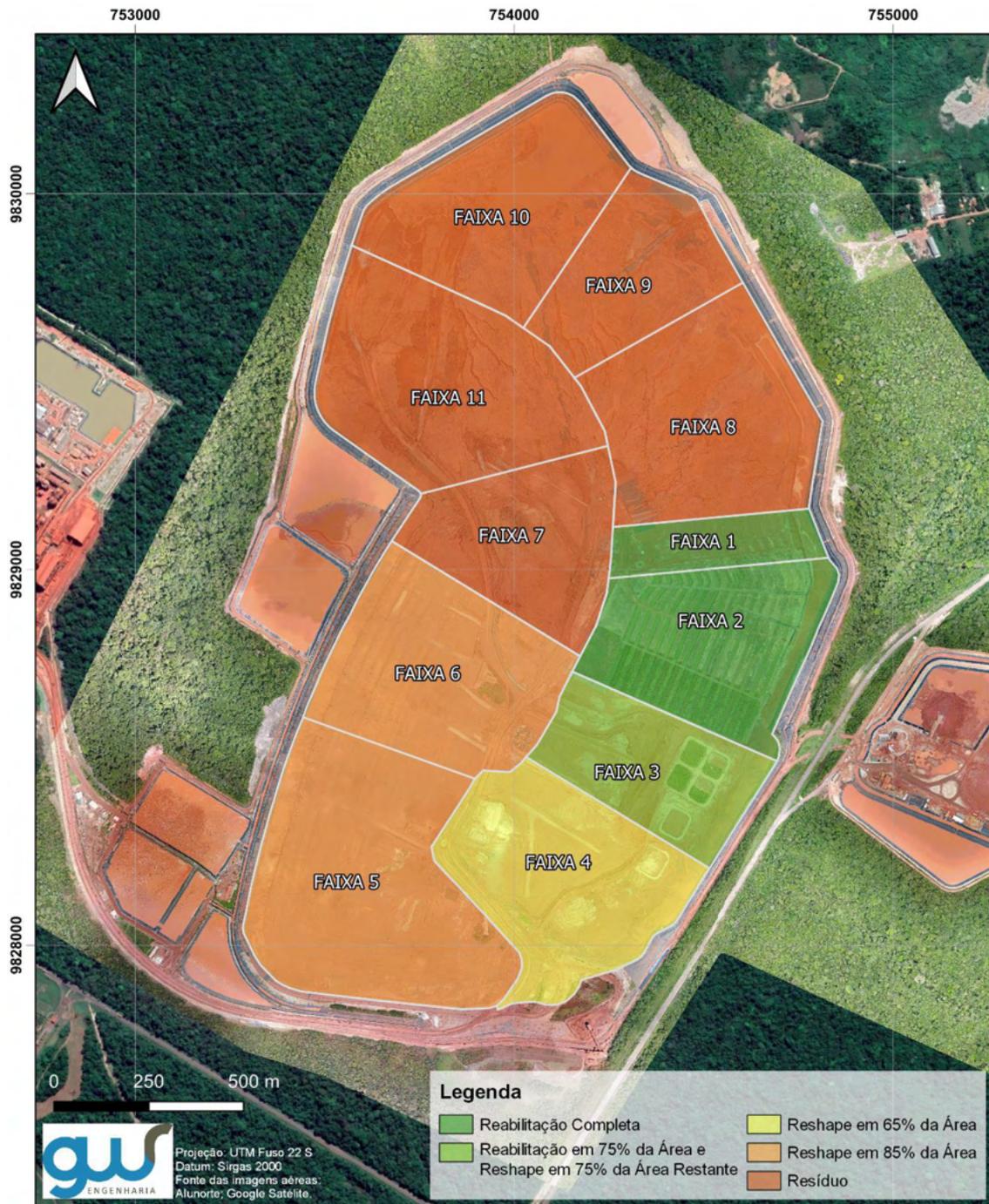


Figura 7.13 – uso e ocupação do solo do DRS1 adotado para a avaliação da segurança do DRS1 frente à passagem de cheias no período chuvoso 2021/2022 (RT-469133-54-G-004)

O resumo do CN ponderado por sub-bacia é apresentado na Tabela 7.7.

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1
Tabela 7.7 – Resultado do CN ponderado calculada para cada sub-bacia do DRS1 (RT-469133-54-G-004)

Sub-bacia	Porcentagem da Área Impermeável	CN Ponderado
Célula Leste	11,29%	80,7
Célula Sul	8,20%	72,4
Célula Norte	9,72%	79,2
Bacias de Controle 01 e 02	80,95%	86,1
Bacia de Controle 03	65,03%	86,9
Bacia de Controle 05	94,08%	85,8
Bacia de Controle 06	88,65%	86,3
Canal de Contorno Leste 3	85,63%	89,5
Alargamento do Canal Leste	100,0%	100
Canal de Contorno Leste	64,88%	81,1
Canal de Contorno Sul	14,78%	83,1
Canal de Contorno Norte	94,42%	90,2
Canal de Contorno Oeste	93,07%	58,0
<i>Sump 54A</i>	10,00%	83,3
<i>Sump 54B</i>	80,00%	86,0

7.5.4 Curvas cota-volume

Os volumes notáveis para as bacias de controle, canais de contorno, CL3, Célula norte, sul e sumps 54A e 54B são apresentados na Tabela 7.8 e Tabela 7.9.

Tabela 7.8 – Volumes notáveis para as bacias de controle e canais de contorno do DRS1 (RT-469133-54-G-004)

Estrutura de Armazenamento	Volume Máximo (m ³) Crista na El. 14,00 m	Volume Máximo (m ³) Crista na El. 13,50 m	Volume Disponível para o Trânsito de Cheias (m ³) até a El.14,00 m Considerando Assoreamento2
BC-01	224.578	204.595	183.659 (20% de Assoreamento)
BC-02	261.637	240.798	213.478 (20% de Assoreamento)
BC-03	128.861	118.806	93.220 (30% de Assoreamento)
BC-05	467.890	433.824	337.743 (30% de Assoreamento)
BC-06	410.070	378.465	296.531 (30% de Assoreamento)

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

Canal Oeste/Norte	74.960	57.180	57.774 (30% de Assoreamento)
Canal Sul	4.355	3.218	3.390 (30% de Assoreamento)

Tabela 7.9 – Volumes notáveis para as células CL3, Norte, Sul e os sumps 54A e 54B (RT-469133-54-G-004)

Estrutura de Armazenamento	Volume Máximo Disponível (m³)
Célula Leste 3	1.034.680 (entre as El. 16,50 m e El. 21,00 m)
Faixa de Segurança (Sul)	28.062 (entre as El. 24,40 m e El. 25,50 m)
Faixa de Segurança (Norte)	84.850 (entre as El. 19,80 m e El. 21,00 m)
<i>Sump 54A</i>	3.927 (entre as El. 8,10 m e 11,60 m)
<i>Sump 54B</i>	1.709 (entre as El. 8,10 m e 11,60 m)

7.5.5 Curvas cota-descargas dos extravasores/rápidos

Conforme relatório de avaliação da segurança do DRS1 frente à passagem de cheias no período chuvoso 2021/2022 (RT-469133-54-G-004), os sistemas extravasores do DRS1 são constituídos basicamente pelos rápidos e pelo extravasor de superfície (ES) da Célula Sul, sendo que também serão consideradas as condições relativas à restrição do fluxo no caso dos emboques das Bacias de Controle. Em alguns rápidos há controle de soleira via stop-logs, que imprimem inicialmente o regime de canal dentro dos rápidos, todavia com o aumento da vazão vertida, estes funcionam como controle de bueiro/orifício e por vezes avançando para regime de conduto forçado.

A descrição e localização de cada um dos rápidos é apresentada na Tabela 7.10. A apresentação gráfica das curvas cota-descarga dos sistemas extravasores/rápidos é exibida no relatório RT-469133-54-G-004.

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1
Tabela 7.10 – perfis de referência dos extravasores (RT-469133-54-G-004)

Perfis Típicos Referenciais	Breve Descrição	Localização	Quant.
R1 a R4	Emboque: Seção retangular 0,6 – 0,8 x 0,57 – 0,65 m Descida com ranhuras: Seção variável retangular Declividade variável	Célula Norte Desemboque: Canal de Contorno Oeste	4
R5 a R13	Emboque: Seção retangular 0,6 – 0,8 x 0,5 – 0,65 m Descida com ranhuras: Seção variável retangular Declividade variável	Célula Norte Desemboque: Canal de Contorno Norte	9
R201	Emboque: Seção retangular 0,8 x 1,30 m Descida em degraus: Seção variável retangular Declividade variável	Célula Sul Desemboque: Canal de Contorno Sul	1
R202 a R203	Emboque: Seção retangular 0,6 x 0,98 – 1,12 m Descida em degraus: Seção variável retangular Declividade variável	Célula Sul Desemboque: Canal de Contorno Sul	2
Extravasador de Superfície (ES-201)	Emboque livre de soleira espessa Emboque: Seção retangular bruta de 2,70 x 1,05 m, possuindo uma divisória de 0,30 m, resultando em duas galerias de 1,20 x 1,05 m	Célula Sul Desemboque: Canal de Contorno Sul	1
R104 a R113	Emboque: Seção retangular 0,8 x 0,8 Descida: Tubo em concreto com DN 0,80 m Declividade variável	Célula Leste Desemboque no Canal de Contorno da CL3	10
R114 e R115	Emboque: Seção retangular 0,8 x 0,8 Descida: Tubo em concreto com DN 0,80 m Declividade variável	Célula Leste Desemboque no Alargamento do Canal (Antiga BC07)	2

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1**7.5.6 Sistema de bombeamento**

Conforme relatório de avaliação da segurança do DRS1 frente à passagem de cheias no período chuvoso 2021/2022 (RT-469133-54-G-004), as vazões de bombeamento a serem utilizadas no presente estudo correspondem a capacidade máxima de projeto do sistema, sendo que, para o caso da Célula Leste 3, os valores utilizados correspondem a 3.000 m³/h, conforme informado pela ALUNORTE. Essas vazões correspondem aos valores apresentados no fluxograma do bombeamento, no qual são apresentadas as vazões de projeto dos sistemas de bombeamento do DRS1.

Segundo o relatório, atualmente existe regra operativa registrada no documento “#25312 PRO-17-003-004-022” na qual é informado que para os Sumps 54A e 54B e para a BC-06 as bombas iniciam o funcionamento quando atingem o nível de 30%, ao passo que as BC-01 e BC-02 iniciam o bombeamento quando atingem o nível de 20%. Todavia, por meio da análise realizada pelo relatório de avaliação da segurança do DRS1 frente à passagem de cheias no período chuvoso 2021/2022, a regra poderia ser reavaliada.

7.5.7 Resultados das modelagens

Os resultados apresentados no relatório de avaliação da segurança do DRS1 frente à passagem de cheias no período chuvoso 2021/2022 (RT-469133-54-G-004) são apresentados resumidamente pela Tabela 7.11.

Tabela 7.11 – Resumo dos resultados do trânsito de cheias do DRS1 (RT-469133-54-G-004)

Resultados	BC01/02	BC03	BC05/06	CL3	Célula Sul	Célula Norte
Chuva de Projeto	TR 10.000 anos					
Duração crítica da chuva de projeto [1]	24 h	8 h	15 dias	30 dias	4 h	3 h
Altura da chuva de projeto (mm)	405,4	330,8	1205,3	1601,2	275,6	247,20

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

Vazão máxima afluente (m ³ /s)	14,92	10,88	3,19	4,26	11,72	33,56
Vazão máxima efluente (m ³ /s)	1,806 (Bombeamento 6.500 m ³ /h)	-	0,972 (Bombeamento 3.500 m ³ /h)	2,51 (Rápidos) + 0,694 (Bombeamento 2.500 m ³ /h)	8,29	17,29
Elevação da crista do reservatório (m)	14,00 [2]	14,00 [2]	14,00 [2]	21,00	25,50	21,00
Elevação da soleira do sistema extravasor (m)	-	11,86	-	19,00	24,40	19,80
Volume do hidrograma afluente (1000 m ³)	-	146,11	-	2205,04	67,47	142,35
NA assoreamento (m)	9,98 (BC01) e 9,28 (BC02)	9,98	8,81 (BC05) e 9,00 m (BC06)	16,50	-	-
NA no início da simulação (m)	9,47	9,98	9,00	16,50	24,40	19,80
NA Máximo <i>Maximorum</i> (m)	13,41	13,25	13,45	19,32	25,41	20,78
Volume disponível para amortecimento de cheias (1.000 m ³)	396,31	85.416,92	568,60	1.034,58	30,41	84,85
<u>Borda Livre remanescente (m)</u>	<u>0,59</u>	<u>0,75</u>	<u>0,55</u>	<u>1,68</u>	<u>0,09</u>	<u>0,22</u>

[1] A chuva de projeto corresponde àquela cuja duração gerou a maior sobrelevação do nível de água (NA) no interior dos reservatórios, correspondente a duração crítica. Em outras palavras, foram simuladas diferentes durações de chuvas, a fim de encontrar a duração crítica, ou seja, aquela que produz a maior sobrelevação em cada um dos reservatórios. Com isso, o sistema do DRS1 foi simulado de forma integrada/interligado, mas cada elemento/reservatório foi avaliado de forma individualizada.

[2] De acordo com o relatório AS IS (2021), a ancoragem da geomembrana é feita na El. 13,50 m, sendo que o bordo externo do acesso que circunda as BC's se encontra aproximadamente na El. 14,00 m. Pelos desenhos do AS IS (2021) a crista das Bacias de Controle e dos canais de contorno encontra-se na El. 13,50 m. Desta forma, mesmo em caso de cheias extremas e/ou falhas do sistema de bombeamento, ainda seriam retidos os volumes dentro do DRS1 até a El. 14,00 m. Para fins de trânsito de cheias foi considerado o NA Máximo *Maximorum* atingido nas BC's até a El. 13,50 m.

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1
7.5.8 Recomendações realizadas pela GWS Engenharia

Por meio do relatório de avaliação da segurança do DRS1 frente à passagem de cheias no período chuvoso 2021/2022 (RT-469133-54-G-004), a GWS Engenharia apresenta as seguintes recomendações operacionais para o período chuvoso 2021/2022 (Tabela 7.12).

Adicionalmente, o relatório RT-469133-54-G-004 ressalta que atualmente, o Plano de Disposição de Resíduos da CL-3 tem pouca ou quase nenhuma interface com a avaliação de segurança hidrológica de trânsito de cheias do sistema do DRS1. Desta forma, além da avaliação a curto prazo (entre períodos chuvosos), é necessário prever uma avaliação além do período anual, uma vez que podem existir intervenções a serem implementadas com prazos maiores que 1 ano. Nesse sentido, são necessárias avaliações de médio prazo, atreladas ao Plano de Disposição de Resíduos na CL3 e ao processo de reabilitação/fechamento do DRS1. Por fim, são dadas as recomendações para o período chuvoso 2022/2023 (Tabela 7.13).

Tabela 7.12 – Recomendações e ações da ALUNORTE para o período chuvoso 2021/2022 (RT-469133-54-G-004)

RECOMENDAÇÕES OPERACIONAIS	
Célula Sul	Manter, mesmo durante o período chuvoso, a faixa de segurança limpa, possibilitando utilização do seu volume total disponível, com dimensões de 1,10 m de altura, 40 m de largura e comprimento circundando a Célula Sul.
	Manter a soleira dos rápidos na El. 24,40 m.
	Manter desassoreada a entrada do Extravasador de Superfície ES-201
Célula Norte	Manter, mesmo durante o período chuvoso, a faixa de segurança limpa, possibilitando utilização do seu volume total disponível, com dimensões de 1,20 m de altura, 40 m de largura e comprimento circundando a Célula Norte.
	Manter a soleira dos rápidos na El. 19,80 m.
BC-03	Adicionar sistema de bombeamento móvel na BC-03 a fim de manter o nível do reservatório no máximo na El. 9,98 m
	Manter nível mínimo do reservatório até nomáximo a El. 9,98 m, não permitindo assoreamento acima dessa cota.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

BC-02	Manter sistema de bombeamento com capacidade mínima de 3.250 m ³ /h
	Operar o sistema de bombeamento da BC-02, ligando na El. 9,47 m, e desligando na El. 9,40 m.
	Manter nível mínimo do reservatório até no máximo a El. 9,28 m, não permitindo assoreamento acima dessa cota.
BC-01	Manter sistema de bombeamento com capacidade mínima de 3.250 m ³ /h
	Operar o sistema de bombeamento da BC-01, ligando na El. 10,00 m, e desligando na El. 9,98 m.
	Manter nível mínimo do reservatório até no máximo a El. 9,98 m, não permitindo assoreamento acima dessa cota.
	Manter durante o período chuvoso, a soleira dos rápidos da Célula Leste 3, na El. 19,00 m.
	Manter o fundo do reservatório rebaixado, com NA abaixo da El. 16,50 m.
	Manter 5 das bombas que são atualmente funcionais, resultando em uma vazão total de 2.500 m ³ /h Manter atualmente o septo existente entre a Célula Leste 3 e a Célula Norte, e que impede a comunicação entre ambas.
BC-05	Interromper a conexão da BC-05 com o Canal Norte, a fim de isolar o sistema.
	Manter o fundo do reservatório no máximo até a El. 8,81 m, não permitindo assoreamento acima dessa cota.
BC-06	Manter sistema de bombeamento com capacidade mínima de 3.500 m ³ /h
	Operar o sistema de bombeamento da BC-06, ligando na El. 9,05 m, e desligando na El. 9,01 m.
	Manter nível mínimo do reservatório até no máximo a El. 9,01 m, não permitindo assoreamento acima dessa cota.

Tabela 7.13 – Recomendações e ações da ALUNORTE para o período chuvoso 2022/2023 (RT-469133-54-G-004)

RECOMENDAÇÕES PARA O PERÍODO CHUVOSO DE 2022/2023	
Pluviometria	Atualizar os estudos de chuvas intensas do empreendimento, pelo menos, a cada 3 anos, ou sempre que ocorrer um evento de precipitação mais significativo na região
	Manter os registros de precipitação das demais estações de chuva do empreendimento, visando a checagem das alturas de chuva registradas na estação meteorológica Fábrica.
Topografia	Atualizar a base topográfica sempre que houver atualização significativa na conformação do DRS1

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

	Executar topobatimetria nos reservatórios após o fim do período chuvoso (reservatório assoreado) e com os reservatórios limpos (semelhante a uma primitiva) Execução de topobatimetria dos <i>Sumps</i> 54A e 54B
Reservatórios	Executar aumento da crista das Bacias de Controle para a El. 14,00 m (ancoragem da geomembrana) Aumentar o volume disponível do <i>Sump</i> 54A (A magnitude do aumento será considerada de acordo com os resultados da topobatimetria)
Células e Disposição	Manter plano de reconformação e reabilitação das células do DRS1 Revisar plano de disposição de resíduos do DRS1 em consonância com a redução futura de volume de amortecimento de cheias

7.5.9 Considerações da FONNTES

Por meio das visitas técnicas realizadas ao DRS1 foi possível constatar a existência e implantação de estruturas de drenagem e controle hidráulico citadas em projeto. Como exemplo das estruturas observadas durante a visita apresenta-se os rápidos/extravasores da CL3 (Figura 7.14); Canal 2 e tubos de drenagem do acesso a CL3 (Figura 7.15) e bombeamento das bacias de controle (Figura 7.16).

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1



Figura 7.14 - Rápidos/extravadores da CL3



Figura 7.15 – Canal 2 e tubos de drenagem do Acesso à Célula CL3



Figura 7.16 - Sistema de bombeamento das bacias de controle para a estação de tratamento de efluentes

Nota-se a elevada capacidade de bombeamento existente nas bacias de controle BC1 e BC2, que aduzem as águas em direção à Estação de tratamento na área 82. Nestes termos, na área 82 deve ser garantida a capacidade de tratamento das vazões de pico e/ou estruturas de amortecimento dos picos de vazão de forma a viabilizar o tratamento de todo o volume aduzido das bacias de controle. Esta recomendação visa prevenir eventual insuficiência hidráulica nas estruturas auxiliares e externas aos depósitos.

Os estudos hidrológicos e hidráulicos do DRS1 relativos ao relatório de avaliação da segurança do DRS1 frente à passagem de cheias no período chuvoso 2021/2022 (RT-469133-54-G-004), integrou todos os dispositivos de armazenamento, controle e condução de águas. A verificação adotou critérios e premissas compatíveis com as

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

práticas de engenharia e normas brasileiras (ABNT NBR 13.028/2017 e ABNT NBR 13.029/2017).

Devido à complexidade do sistema de gestão de águas superficiais do DRS1, o relatório de avaliação da segurança do DRS1 (RT-469133-54-G-004), deixa claro que a segurança hidrológica do depósito passa pela operação minuciosa e adequada dos dispositivos (sistema de bombeamento, stop logs), bem como do desassoreamento dos canais e bacias, além da manutenção dos níveis freáticos nas bacias de controle antes do início da chuva de projeto. Como exemplo, o relatório cita que a BC-03 deve apresentar nível d'água inferior a soleira do extravasor antes da chuva de projeto e a BC-02, BC-01 e a Célula Leste 3 devem apresentar vazão de descarga limitada.

Em função da operação complexa da gestão de águas pluviais do DRS1, recomenda-se a automatização do sistema de bombeamento e stop logs existentes nas células, canais e bacias de controle do DRS1. Recomenda-se também a redundância dos sistemas de bombeamento e dos sistemas que alertam caso as condições operacionais e de nível d'água não sejam atendidas.

O projeto do DRS1 passou por diferentes etapas desde o início da implantação do depósito na década de 1990. Atualmente, em função dos estudos apresentados pela GWS Engenharia, entende-se que a mesma segurança hidráulica exigida em normas atuais que regem a elaboração de estruturas similares (ABNT 13028/2017) também existe para o DRS1. Por fim, a FONNTES entende que o projeto está compatível com o que foi previsto inicialmente em nível executivo nas diferentes etapas de implantação do DRS1.

8. CONCLUSÕES

A letra “A” da TAC 3.1 (Compatibilidade do projeto executivo dos depósitos com a sua efetiva execução) corresponde ao item mais abrangente da auditoria. Neste relatório foram verificados: os tratamentos de fundação; o dimensionamento do sistema de impermeabilização (geomembrana de PEAD); o controle construtivo dos diques de contorno; a segurança da estrutura do ponto de vista da estabilidade física e estrutural através de análise de estabilidade; e a solução hidráulica para as águas superfícies conforme critérios consagrados de engenharia, para suportar eventos chuvosos extremos sem que ocorram trasbordamentos.

8.1 Tratamento de fundação

Em relação aos tratamentos da fundação, o Relatório Descritivo do Projeto Executivo da Célula Leste CL3, emitido pela PIMENTA DE AVILA em 11/07/2012, doc. RT-3540-54-G-016, indicou a necessidade da remoção da camada superficial de solo fofo e a proteção do reservatório para não permitir a migração de contaminantes para o lençol freático. Neste projeto, foi indicada a remoção de uma camada superficial, de aproximadamente 1,10 m (0,60 m camada de solo vegetal e 0,50 m de solo fofo).

O Relatório Técnico “As Built” das Obras de 2011 da Célula Leste CL3 – 1ª Fase, elaborado pela PIMENTA DE AVILA em 27/07/2012, doc. RT-3540-54-G-423, indica que para a preparação do terreno de fundação foram removidas a camada superficial de solo vegetal e eventuais camadas de solo solto ou fofo, até ser alcançado um material com características geotécnicas aceitáveis para assentamento do aterro compactado. A superfície de fundação dos aterros das paredes e canal de contorno foi tratada e compactada. Nas áreas de encontro com o maciço existente, a região de contato foi escalonada e tratada para receber o novo aterro. Os desenhos do “As Built” (D1-3540-54-G-416 a D1-3540-54-G-422), indicam a região da fundação do dique de contorno da CL3 no qual foi realizado o tratamento / escavação do terreno da fundação.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

A Célula Leste CL3 corresponde a fase mais recente de implantação do aterro compactado do dique de contorno do DRS1, apresentando, portanto, um maior volume de documentos disponíveis. Nos desenhos do projeto *As Is*, para as seções de terraplenagem das células mais antigas consta a nota 7, em que a linha de escavação da fundação foi definida a partir dos documentos de projeto, e adequada com base em resultados de investigação de campo realizada.

8.2 Sistema de impermeabilização

A avaliação do sistema de impermeabilização do DRS1 foi abordada nas letras “N” e “O” da TAC 3.1. No relatório referente a letra “N” (doc. FG-2201-NHB-A-BA-RT11), a FONNTES concluiu que foi adotado valor de espessura da geomembrana adequado sob os resíduos para atender aos esforços que o DRS1 irá exercer ao final de sua implantação para as células CL 1, 2 e 3. Além disso, no presente relatório também foi identificado que a gramatura do geotêxtil de proteção ao puncionamento está dimensionada de forma conservadora e a vala de ancoragem da geomembrana está adequada.

No relatório referente a letra “O” (doc. FG-2201-NHB-A-BA-RT11), a FONNTES identificou que a HYDRO disponibilizou documentos que comprovam a impermeabilização com Manta PEAD do Depósito DRS1, referente à todas as células do DRS1.

Nestes documentos são apresentados com diferentes níveis de detalhes em função da sua data de elaboração, os registros de lançamento de geomembrana, solda de geomembrana, ensaios não destrutivos de pressurização e reparos.

Conforme apresentado no relatório FG-2201-NHB-A-BA-RT11, as células mais antigas não dispunham de alguns dados essenciais para revisão dos testes relativos à aplicação dos materiais sobre a geomembrana. Entretanto, o que é possível afirmar é que o

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

carregamento exercido pelos resíduos do DRS 1 pode ser considerado baixo (altura de resíduo de 44,85m) para os padrões de resistência típicos de geomembranas comerciais. Se as fundações tiverem recalques similares aqueles calculados DRS2 (premissa muito conservadora) as geomembranas antigas estarão com boa performance. Uma avaliação indireta de eventual mal funcionamento da camada impermeabilizante ocorre por meio dos poços de monitoramento de águas superficiais e subterrâneas. Por fim, pode-se afirmar que para as células cujos cálculos foram verificados, foi possível concluir que o dimensionamento proposto em projeto está adequado.

A avaliação da instrumentação de controle foi realizada na letra “D” desta TAC3.1 (doc. FG-2201-NHB-A-BA-RT07), no qual em relação aos instrumentos de monitoramento do nível freático / piezométrico dos diques de controle, foi observado que, de modo geral, os INA’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. Além disso, ao comparar as seções do Dique de Contorno com as seções traçadas no interior do depósito, foi verificado 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.

8.3 Controle de construção dos diques de contorno

A partir da análise dos Relatórios dos Resultados dos Ensaios de Controle de Construção do Aterro Compactado dos Diques de Contorno do Depósito DRS1, elaborados pela PIMENTA DE AVILA, foi possível concluir que os resultados gerais dos ensaios de controle

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

de construção estão de acordo com os critérios definidos em projeto. Em termos médios, foram obtidos grau de compactação conforme especificado com desvio padrão menor que 2%, indicando uma boa eficiência da compactação.

8.4 Estabilidade física e estrutural

Em relação as análises de estabilidade, foram realizadas em 6 (seis) seções geotécnicas, representativas do DRS1. Os resultados das análises de estabilidade para condição atual estática, pseudoestática e não drenada do Depósito DRS1 ao longo das seções analisadas são apresentados no documento FG-2201-NHB-A-BA-RT25-00. Os resultados foram comparados com àqueles obtidos no último relatório de auditoria (Doc. RT-469137-54-G-0003-rev02) e com a Norma ABNT NBR 13.028/2017 e a Resolução ANM Nº. 95, de 07/02/2022.

Os cálculos realizados pela FONNTES e pela GEOCONSULTORIA resultaram em valores similares de fatores de segurança na maioria das seções analisadas. A partir dos fatores de segurança obtidos, conforme resumo apresentado na Tabela 7.4, foi possível concluir que para todas as seções os cenários de simulação estudadas do DRS1 (condição estática, condição pseudoestática e condição não drenada de pico), foram obtidos fatores de segurança satisfatórios, ou seja, superiores aos recomendados pela Norma ABNT NBR 13.028/2017 e Resolução Nº 95, de 7 de fevereiro de 2022.

8.5 Gestão das águas superficiais

Durante a visita de campo foi possível verificar a elevada capacidade de bombeamento existente nas bacias de controle BC1 e BC2, que aduzem as águas em direção à Estação de tratamento na área 82. Nestes termos, na área 82 deve ser garantida a capacidade de tratamento das vazões de pico e/ou estruturas de amortecimento dos picos de vazão de forma a viabilizar o tratamento de todo o volume aduzido das bacias de controle.

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

Esta recomendação visa prevenir eventual insuficiência hidráulica nas estruturas auxiliares e externas aos depósitos.

Os estudos hidrológicos e hidráulicos do DRS1, relativos ao relatório de avaliação da segurança do DRS1 frente à passagem de cheias no período chuvoso 2021/2022 (RT-469133-54-G-004), integraram todos os dispositivos de armazenamento, controle e condução de águas. A verificação adotou critérios e premissas compatíveis com as práticas de engenharia e normas brasileiras (ABNT NBR 13.028/2017 e ABNT NBR 13.029/2017).

Devido à complexidade do sistema de gestão de águas superficiais do DRS1, o relatório de avaliação da segurança do DRS1 (RT-469133-54-G-004), deixa claro que a segurança hidrológica do depósito passa pela operação minuciosa e adequada dos dispositivos (sistema de bombeamento, *stop logs*), bem como do desassoreamento dos canais e bacias, além da manutenção dos níveis freáticos nas bacias de controle antes do início da chuva de projeto. Como exemplo, o relatório cita que a BC-03 deve apresentar nível d'água inferior a soleira do extravasor antes da chuva de projeto e a BC-02, BC-01 e a Célula Leste 3 devem apresentar vazão de descarga limitada.

Em função da operação complexa da gestão de águas pluviais do DRS1, recomenda-se a automatização do sistema de bombeamento e *stop logs* existentes nas células, canais e bacias de controle. Recomenda-se também a redundância dos sistemas de bombeamento e dos sistemas que alertam caso as condições operacionais e de nível d'água não sejam atendidas.

O projeto do DRS1 passou por diferentes etapas desde o início da implantação do depósito na década de 1990. Atualmente, em função dos estudos apresentados pela GWS Engenharia, entende-se que a mesma segurança hidráulica exigida em normas atuais que regem a elaboração de estruturas similares (ABNT 13028/2017) também

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1		

existe para o DRS1. Por fim, a FONNTES entende que o projeto está compatível com o que foi previsto inicialmente em nível executivo nas diferentes etapas de implantação do DRS1.

9. REFERÊNCIAS

- i. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Resolução n° 95, de 7 de fevereiro de 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-95-de-7-de-fevereiro-de-2022-380760962>.
- ii. ALMARAZ, U. J. S. (1977). Aspectos Geoquímicos e Ambientais dos Calcários do Formação Pirabas, Pará. Tese de Doutorado, UFRS, 272 p.
- iii. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13.028: Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeito, contenção de sedimentos e reservação de água. Rio de Janeiro, 2017.
- iv. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NBR 13.029: Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha, Rio de Janeiro, novembro de 2017.
- v. 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.
- vi. 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.
- vii. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. População. 2010. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- viii. _____. Barcarena/PA. Educação. 2010b. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- ix. _____. Barcarena/PA. Economia. 2019. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- x. _____. Barcarena/PA. Trabalho e Rendimento. 2020. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- xi. _____. Barcarena/PA. Território e ambiente. 2021. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DO PROJETO EXECUTIVO DO DRS1

- xii. MABESOONE, J. M. e CASTRO, C. (1975). Desenvolvimento Geomorfológico do Nordeste Brasileiro. Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, Recife, v.3, p. 05- 35.
- xiii. 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