

FG-2201-NHB-A-BA-RT03-02

À

NORSK HYDRO BRASIL

Avenida Gentil Bitencourt, 549 - Batista Campos

Belém – PA

A/C

CAROLINA VARKALA

Departamento de Suprimentos de Bauxita & Alumina

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

Prezada,

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

À disposição para esclarecimentos julgados necessários,

Belo Horizonte, 03 de agosto de 2023

Atenciosamente,



Michel Fontes
DIRETOR
FONNTES GEOTÉCNICA



FONNTES
G E O T É C N I C A

FG-2201-NHB-A-BA-RT03-02

RELATÓRIO TÉCNICO DE AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA DAS CAMADAS EXECUTADAS NO DRS1

CLIENTE:



PROJETO:

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

BARCARENA - PA



Agosto/2023

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1**SUMÁRIO**

GLOSSÁRIO	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVO.....	6
3. DADOS UTILIZADOS	8
4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	8
5. APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA	9
5.1 LOCALIZAÇÃO	12
5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS	17
5.2.1 <i>Histórico de Investigações</i>	19
5.2.2 <i>Geologia Local</i>	20
5.3 DRENAGEM INTERNA	21
5.4 SISTEMA EXTRAVASOR E DRENAGEM SUPERFICIAL	21
5.5 INSTRUMENTAÇÃO	22
5.6 FECHAMENTO DO DEPÓSITO DRS1	22
6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO	25
7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....	27
7.1 DIRETRIZES ESTABELECIDAS EM PROJETO	27
7.2 AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO.....	29
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
9. REFERÊNCIAS	44

GLOSSÁRIO

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1		

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

1. INTRODUÇÃO

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

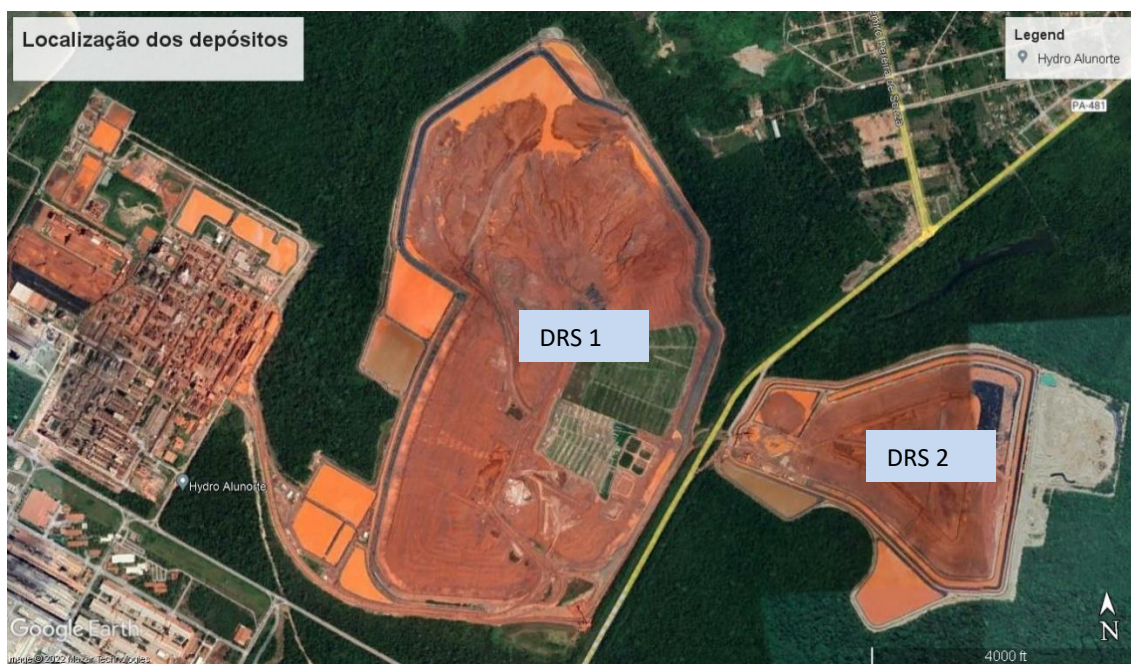


Figura 1.1 – Localização do empreendimento

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1		

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

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

- a) Compatibilidade do projeto executivo dos depósitos (DRS1 e DRS2) com a sua efetiva execução;
- b) Compatibilidade dos Depósitos de Resíduos Sólidos (DRS1 e DRS2) com a Lei Nacional de Segurança de Barragens (Lei n.º 12.334/2010);
- c) Aspectos estruturais Depósitos de Resíduos Sólidos (DRS1 e DRS2), a concepção geral do projeto, o arranjo e dimensionamento das estruturas, além de suas funcionalidades;
- d) Análise qualitativa dos 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 DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

consequente produção dos rejeitos, levando em consideração as condições ambientais locais;

g) Verificação da densidade e teor de umidade ótimo (período chuvoso e período seco) e suas variações, envolvendo valor médio e desvio padrão durante a fase de testes;

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

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – 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 g), referido à verificação da densidade e teor de umidade ótima (período chuvoso e período seco) das camadas executadas no DRS1.

2. OBJETIVO

Em atendimento ao termo de compromisso de ajustamento de conduta, Inquérito Civil - IC nº 001/2018 - MP (SIMP nº000654 -710/2018) MPPA, Inquérito Civil nº 000980 - 040/2018 (Portaria no 12/2018) MPPA, Inquérito Civil no 1.23.000.000498/2018 - 98 MPF, o presente documento abordará o item **“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”**, para o depósito de resíduos sólidos DRS1.

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1		

serviços, porque em alguns casos haviam perguntas com temas que teriam melhor 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 G)**, objeto desse relatório.

Compreendemos que a pergunta se concentra no controle tecnológico utilizado para garantir a qualidade da construção das estruturas, ou se o controle de compactação dos resíduos, especialmente para o DRS2.

Estando correto nosso entendimento, para o DRS2 será realizado um estudo estatístico com o banco de dados de controle tecnológico da construção. Essa avaliação corresponde a verificação dos ensaios de controle de compactação dos resíduos que estão sendo dispostos e compactados conforme critérios previamente estabelecidos em projeto. Eventuais desvios, se existirem, serão apontados, assim como as tratativas em termos de governança dada para que sejam sanados.

No caso do DRS1, por ter sido construído com rejeitos com filtro tambor, a estrutura não foi concebida de forma que os resíduos fossem compactados. Posteriormente, foi elaborado um projeto de fechamento. Nesse projeto é prevista uma cobertura dos rejeitos já dispostos, de maneira controlada (compactados com controle), para posterior recuperação ambiental. Para o DRS1 sugerimos a verificação dos ensaios de controle de campo para garantir os critérios de compactação de projeto para a camada de fechamento.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1		

3. DADOS UTILIZADOS

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

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
OM-3540-54-G-1001 R03	Manual de Operação de Disposição de Resíduos do Filtro Prensa no DRS1	PIMENTA DE AVILA	05/03/21
OM-8400-54-G-069 R01	Manual de Planejamento de Implantação e Operação	LPS	14/12/18
MD-3540-54-G-091 R04	Memorial Descritivo do Projeto de Expansão do DRS Célula Leste	PIMENTA DE AVILA	01/07/10
-	Boletins de Controle de Compactação pelo Método de Hilf entre Jan/2017 a Nov/2021, no total de 1.287 arquivos PDF	MARK'S ENGENHARIA	Jan/2017 a Nov/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 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:

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

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

5. APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA

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

O relatório acrescenta que, até novembro de 2018, o sistema utilizado pela ALUNORTE para 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%.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

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 DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

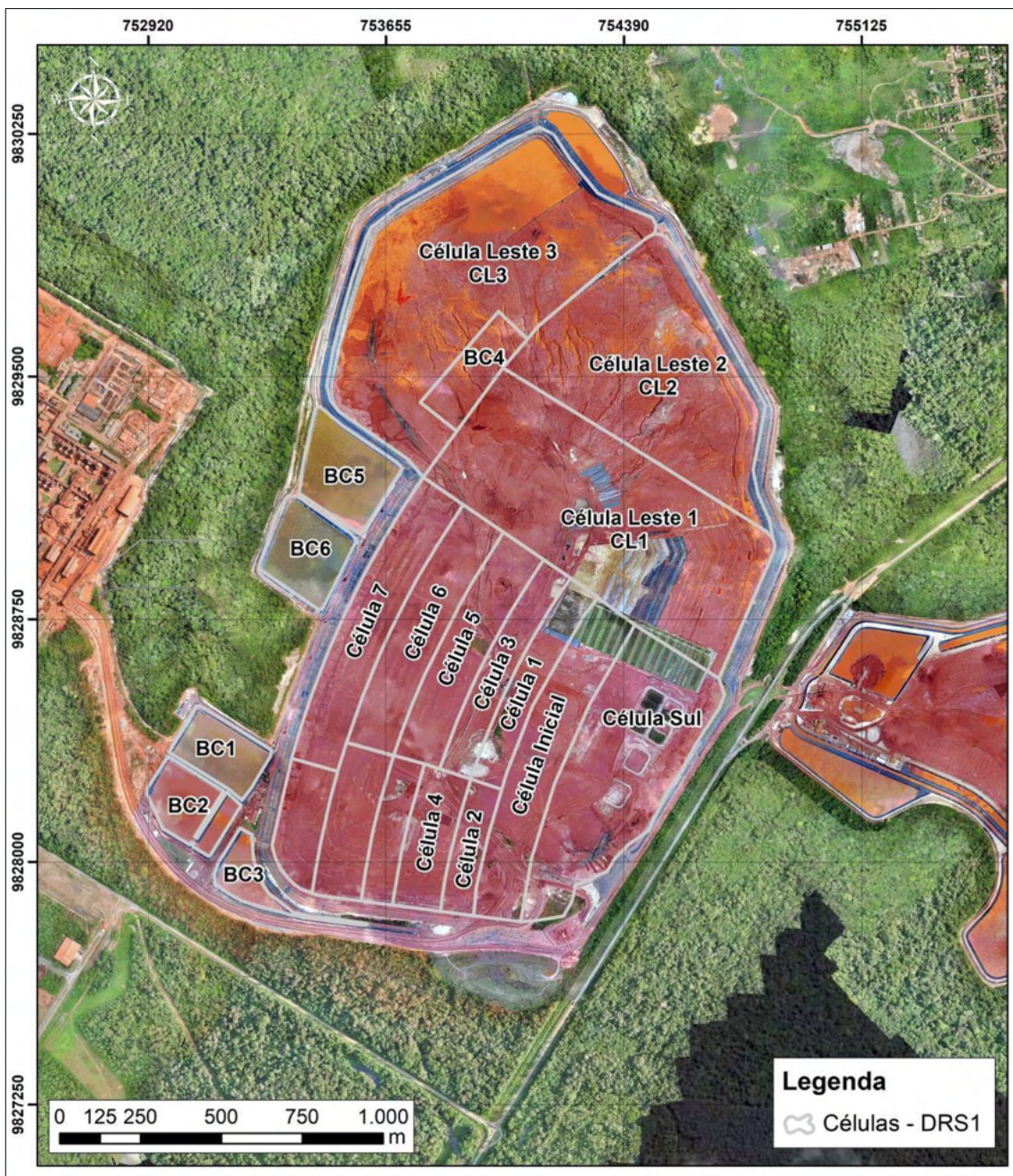


Figura 5.1 – Identificação das células e bacias de contribuição do DRS1 (Pimenta de Avila, 2021).

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 DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1		

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

5.1 LOCALIZAÇÃO

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

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

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

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

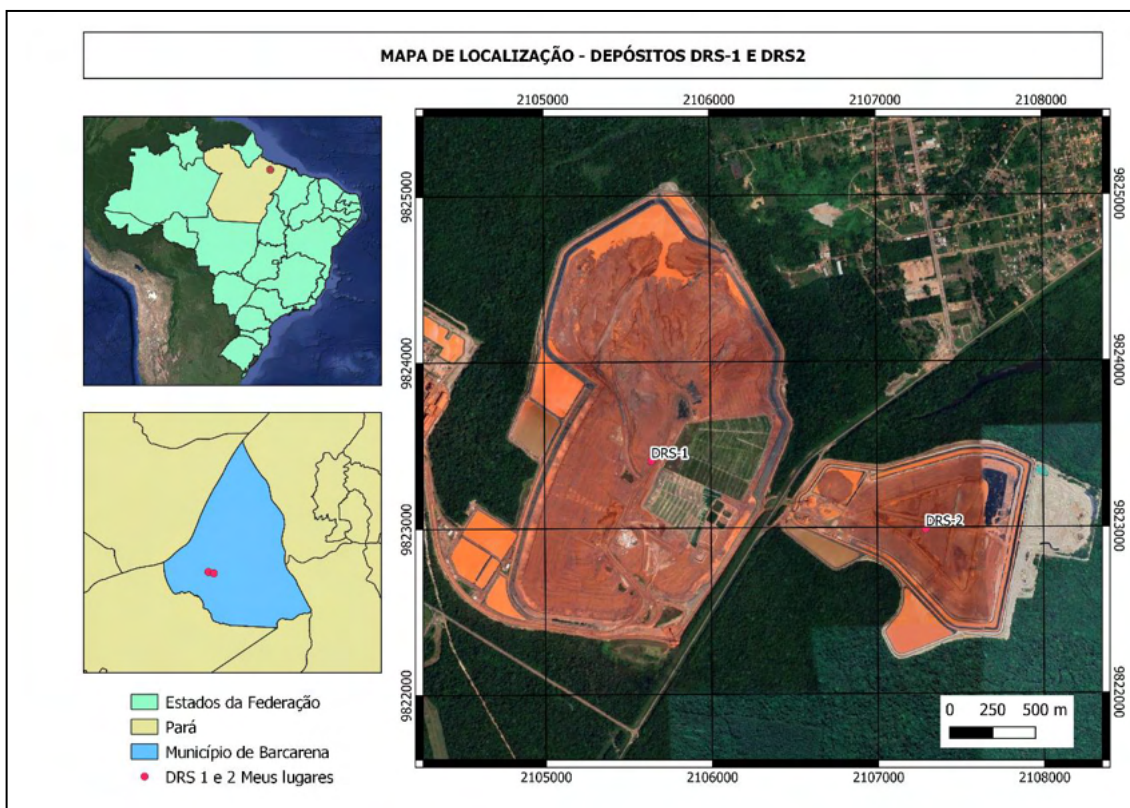
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1


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).

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



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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1		

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

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

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

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

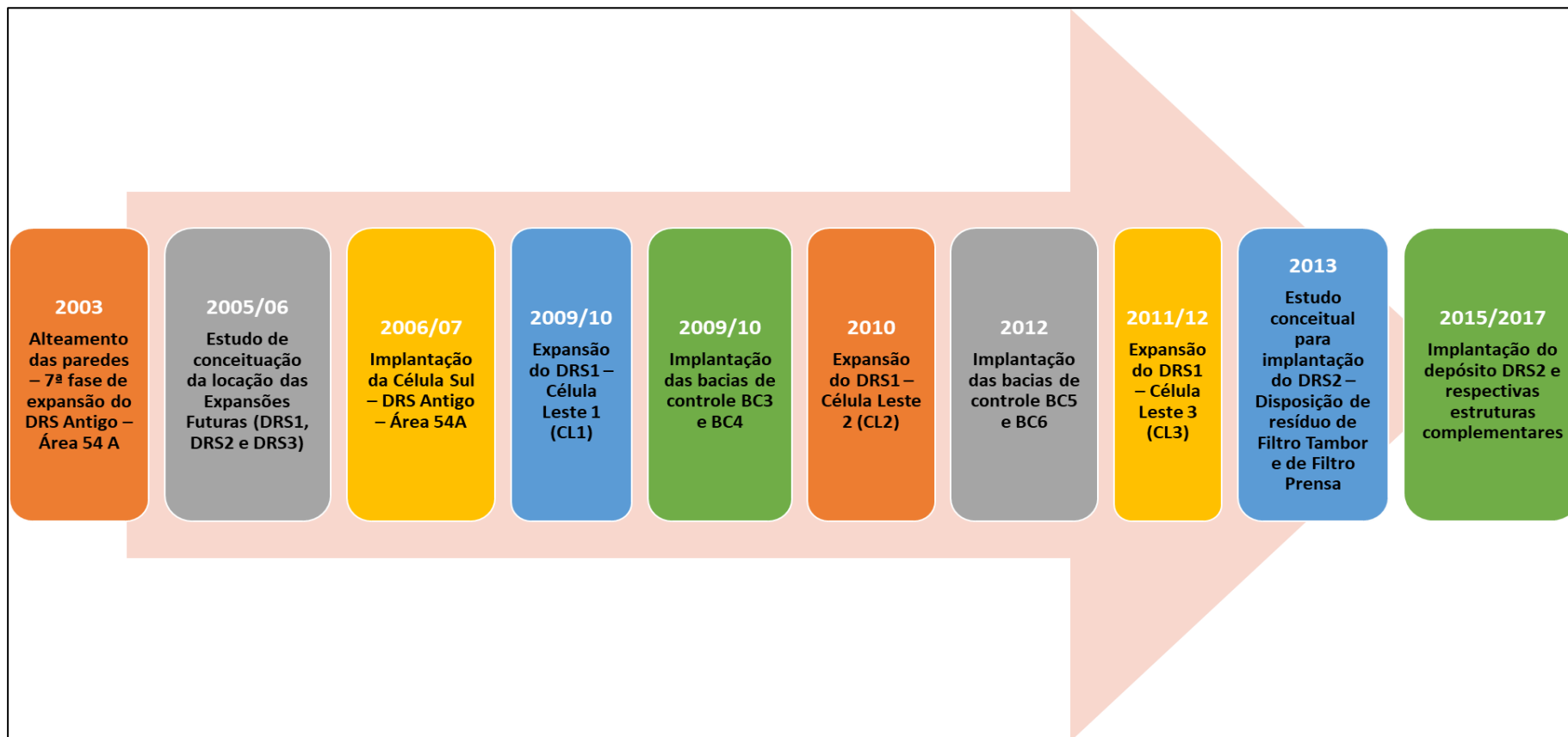


Figura 5.4 – Histórico de expansão do DRS1 e DRS2

5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

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

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

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

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

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

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1**5.2.1 Histórico de Investigações**

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

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

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1		

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

5.2.2 Geologia Local

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

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

Na região de jusante do canal de contorno da estrutura, é possível observar a ocorrência de materiais de 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.

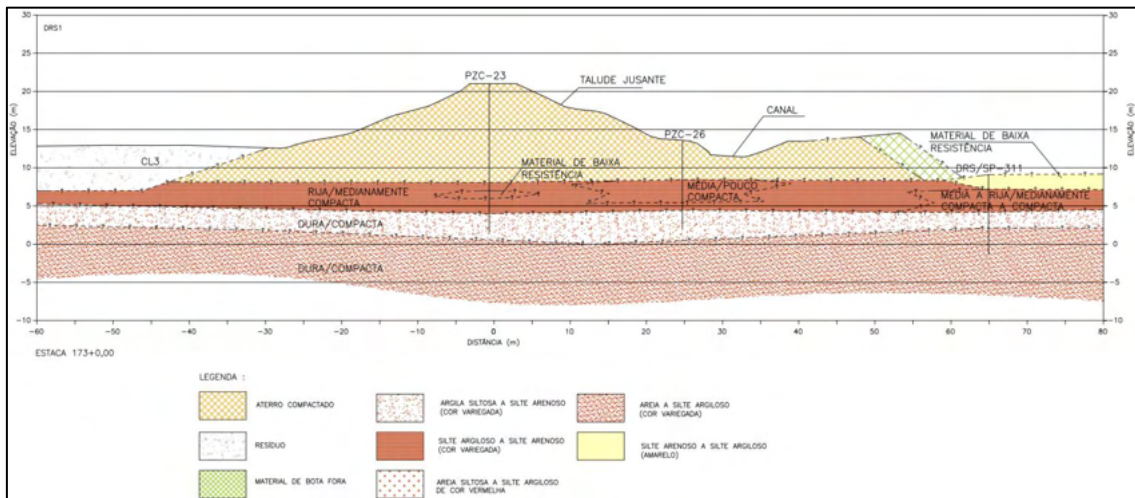
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1


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

5.3 DRENAGEM INTERNA

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

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

5.4 SISTEMA EXTRAVASOR E DRENAGEM SUPERFICIAL

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

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

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

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

5.5 INSTRUMENTAÇÃO

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

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

5.6 FECHAMENTO DO DEPÓSITO DRS1

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

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

AValiação DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

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

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

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

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

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

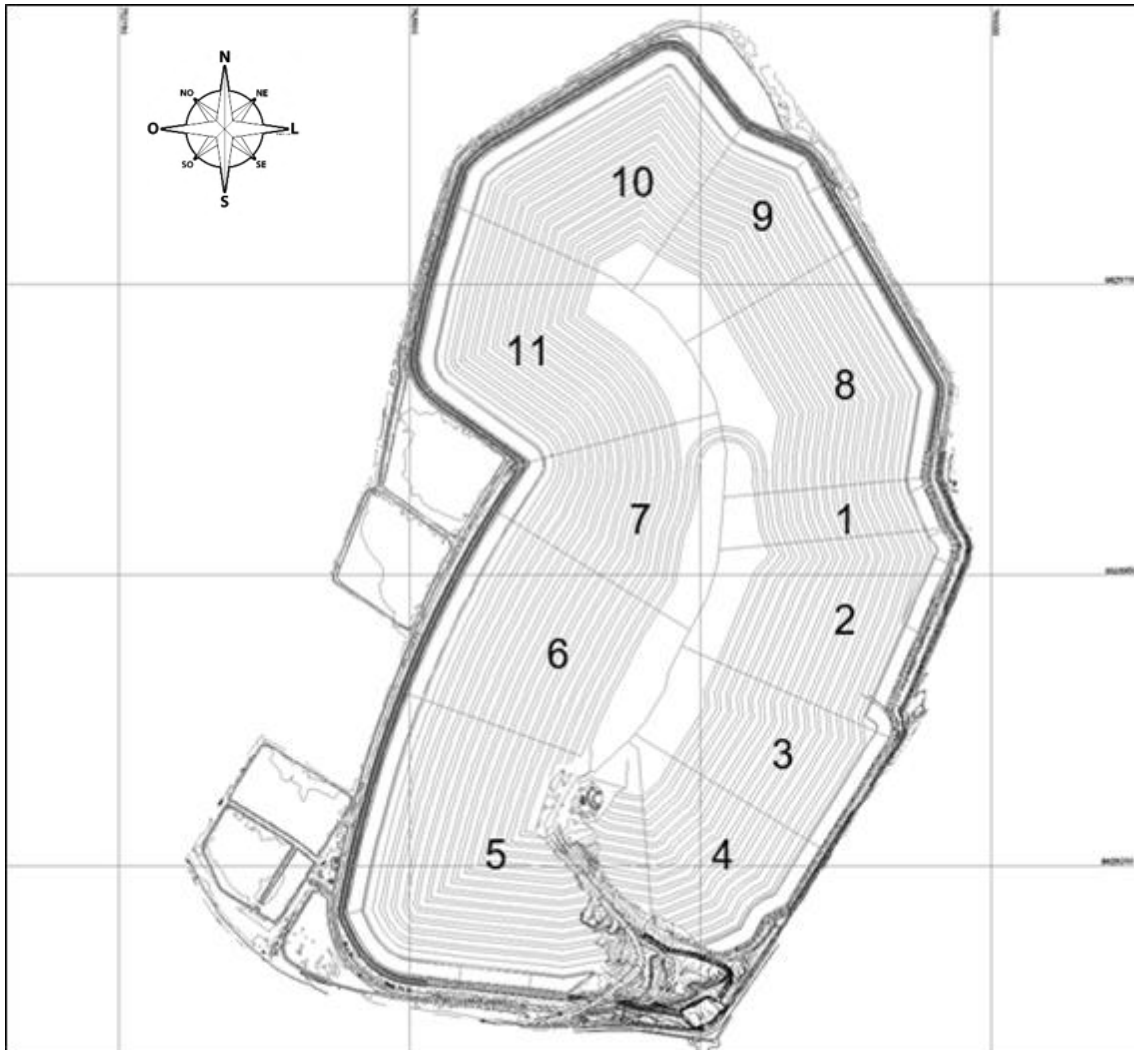


Figura 5.7 – Faixas de reabilitação do DRS1 (Doc. OM-8400-54-G-069 R01)

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 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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1		

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 G), objeto desse relatório, e reproduzida a seguir.

Inicialmente, o DRS1 foi projetado para receber os rejeitos provenientes da filtragem a tambor sem que precisasse ser realizado controle de compactação, pois os resíduos eram dispostos sem declividade (horizontalizados) em bacias compostas por diques de solo impermeabilizados com geomembrana. Assim, não cabe a avaliação da densidade ótima e teor de umidade para o conceito do projeto de construção do DRS1.

No entanto, posteriormente, foi elaborado um projeto específico apenas para fase de fechamento da estrutura com aplicação dos rejeitos do filtro prensa. Assim, para avaliação do teor de umidade e densidade do DRS 1 foi realizada exatamente a avaliação desse projeto de fechamento, que é a única fase dessa estrutura onde é prevista a execução de aterro com compactação controlada. Esse projeto e a execução em campo estão em andamento pela ALUNORTE e foram contratados através da consultoria LPS.

Para a avaliação da densidade e do teor de umidade ótimo das camadas executadas no DRS1, foram consultados os procedimentos especificados do “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, e no “Manual de Operação de Disposição de Resíduos do Filtro Prensa no DRS1”, elaborado pela PIMENTA DE AVILA, em 05/03/21, doc. OM-3540-54-G-1001 R03. Também foi realizada a compilação e a avaliação dos Boletins de Controle de Compactação pelo Método de Hilf do DRS1, referentes ao período entre janeiro/2017 e novembro/2021.

Portanto, a metodologia de avaliação consistiu na verificação dos requisitos técnicos estabelecidos no projeto elaborado pela empresa LPS e manual de operação elaborado

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1		

pela empresa PIMENTA DE ÁVILA, e os ensaios de controle tecnológicos executados em campo nas camadas dos rejeitos compactados.

7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

7.1 DIRETRIZES ESTABELECIDAS EM PROJETO

Conforme detalhado no item 5.6, o “Manual de Planejamento de Implantação e Operação” relativo ao Projeto de Reabilitação do DRS1, elaborado pela L.PS em 14/12/18, doc. OM-8400-54-G-069 R01, apresenta a reabilitação do DRS1. A sequência de reabilitação prevista contempla 11 faixas entre o topo do depósito e a crista do dique periférico, conforme pôde ser observado na Figura 5.7.

Para a camada de conformação com rejeito filtro prensa densificado assente sobre perfil estabilizado da superfície do depósito, o “Manual de Planejamento de Implantação e Operação” indica que as camadas de resíduo devem possuir espessura máxima solta de 0,40 m. Ademais, o grau de compactação deve ser verificado para cada camada através do ensaio compactação pelo Método de Hilf e confirmado com base no ensaio de Proctor Normal, devendo atender ao valor mínimo 92% de grau de compactação em relação ao Proctor Normal.

O teor de umidade não é considerado determinante no processo de aprovação das camadas, devendo-se adotar umidades que permitam a trabalhabilidade dos materiais e a obtenção dos graus de compactação requeridos. No entanto, as camadas que apresentarem plastificação (“borrachudo”) devem ser abertas com escarificador e o processo de espalhamento e densificação destas, refeito.

Em relação aos procedimentos da operação de disposição de resíduos na Célula Leste CL3, estes são apresentados no “Manual de Operação de Disposição de Resíduos do

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

Filtro Prensa no DRS1”, elaborado pela PIMENTA DE AVILA, em 05/03/21, doc. OM-3540-54-G-1001 R03.

A CL3 corresponde a expansão mais recente executada no DRS1 e, nesta célula, os resíduos são advindos do filtro prensa, processo no qual se obtém um resíduo com 78% de teor de sólidos. Os processos necessários para disposição na CL3 são divididos em 6 fases:

- Fase 1 – Serviços preliminares;
- Fase 2 – Construção da Rampa de Acesso à CL3;
- Fase 3 – Preenchimento da CL3 até a El. 14,50 m;
- Fase 4 – Preenchimento da CL3 até a El. 16,00 m;
- Fase 5 – Preenchimento da CL3 até a El. 17,50 m;
- Fase 6 – Reconformação do buffer.

Conforme indicado no “Manual de Operação”, para a execução das camadas iniciais do CL3, o lançamento e espalhamento de resíduo é realizado sobre a superfície de resíduo desaguado por filtros tambor, podendo essa superfície estar saturada. Para viabilizar a trafegabilidade, será realizada a conquista pelo método de “ponta de aterro”, com espessura mínima de 0,70 m, até a obtenção de uma superfície uniforme.

As camadas em que as superfícies se apresentarem muito secas, comprometendo a ligação com a camada sobrejacente, devem ser irrigadas e tratadas até uma profundidade que assegure boas condições de ligação. Caso a superfície do resíduo apresente umidade elevada a ponto de não garantir suporte aos equipamentos, com desvio de umidade superior a 6% com relação à umidade ótima, a camada deve ser tratada até que apresente umidade adequada para compactação.

O resíduo deve ser lançado em camadas aproximadamente horizontais, com inclinação de $1\% \pm 0,5\%$ e espessura solta de no máximo 30 cm. A compactação deve ser realizada

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

de modo a atingir o grau de compactação mínimo de 90% em relação ao ensaio Proctor Normal.

De forma a flexibilizar a disposição de resíduos na CL3, é permitida em dias chuvosos com controle menos rigoroso, ou seja, teor de umidade do resíduo elevado e grau de compactação desejável de 90% em relação ao ensaio Proctor Normal. No entanto, a capacidade de armazenamento da célula é maximizada caso sejam atingidos graus de compactação superiores a 90% do Proctor Normal.

Destaca-se que, para liberação das camadas executadas, será realizado ao menos um ensaio de determinação do grau de compactação pelo Método de Hilf e desvio de umidade por camada, em faixas de aproximadamente 70,0 m de comprimento por 50,0 m de largura.

A estação chuvosa do município de Barcarena é compreendida entre os meses de dezembro de junho, sendo que os meses em que são identificados maiores volumes precipitados se concentram entre janeiro e maio. À luz dessa informação, foi feita avaliação dos ensaios de controle tecnológico da compactação das camadas executadas no DRS1.

7.2 AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO

Para a verificação da densidade e do teor de umidade ótima das camadas executadas do DRS1, na Reabilitação e na CL3, foram avaliados os Boletins de Controle de Compactação pelo Método de Hilf, disponibilizados pela ALUNORTE, referentes ao período entre janeiro/2017 e novembro/2021.

A partir do Método de Hilf, obtém-se o grau de compactação da camada executada, que consiste na razão entre a massa específica *in situ* e a massa específica convertida máxima obtida em comparação com o ensaio Proctor Normal realizado com o mesmo

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

material no laboratório. Desta forma, para simplificar a apresentação do estudo, a avaliação da “densidade” é realizada em função do grau de compactação, por ser o critério técnico para controle da qualidade do aterro. Quanto maior ao grau de compactação, maior será densidade do material compactado.

A seguir, na Figura 7.1, apresenta-se o gráfico com o resultado do grau de compactação dos 3.051 ensaios disponibilizados do DRS1 em função do tempo, no intervalo entre janeiro/2017 e novembro/2021. A Figura 7.2 até a Figura 7.6 apresentam os gráficos com os resultados do ensaios de grau de compactação de cada ano, separando os períodos de chuva e seca conforme a divisão indicada no item 7.1, com meses chuvosos entre janeiro e maio e meses secos no restante do ano. Já a Figura 7.7 apresenta o histograma de frequência do grau de compactação no intervalo entre janeiro/2017 e novembro/2021.

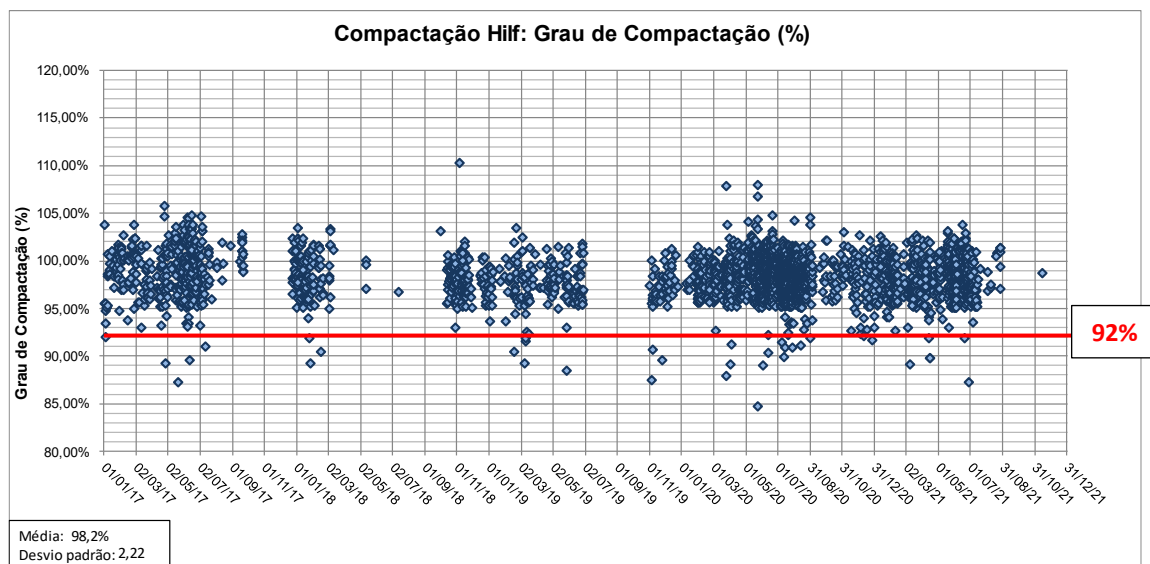


Figura 7.1 – Grau de Compactação pelo Método de HILF (%)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

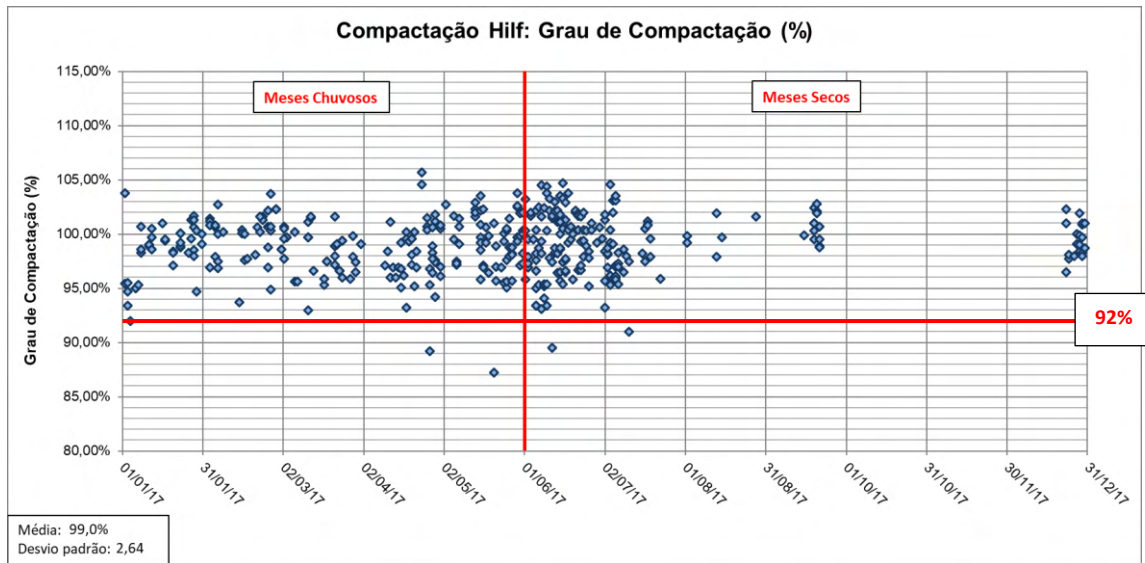


Figura 7.2 – Grau de Compactação pelo Método de HILF (%) realizados em 2017

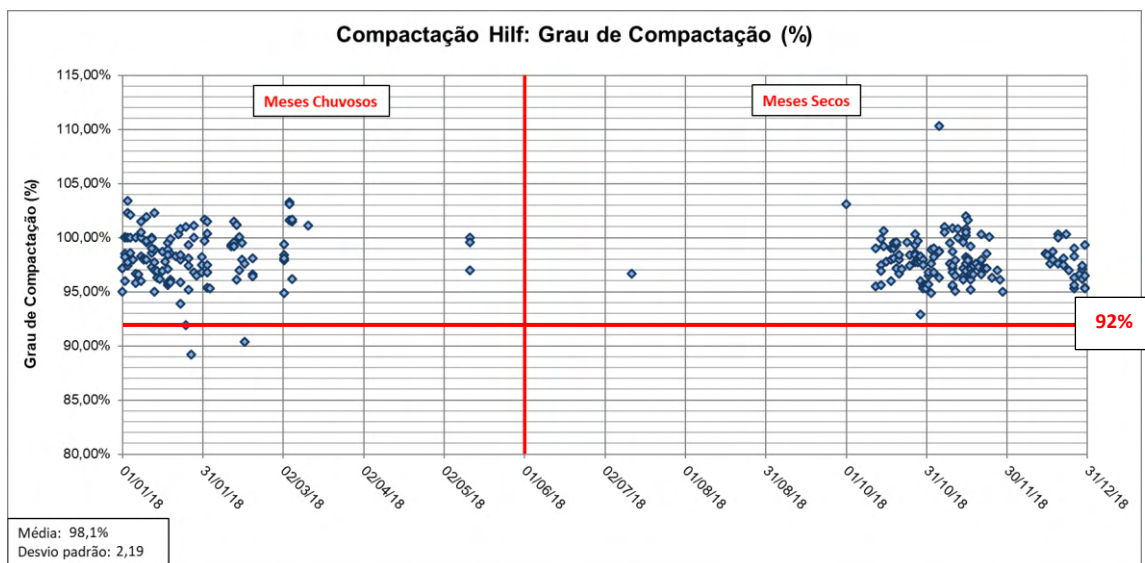


Figura 7.3 – Grau de Compactação pelo Método de HILF (%) realizados em 2018

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

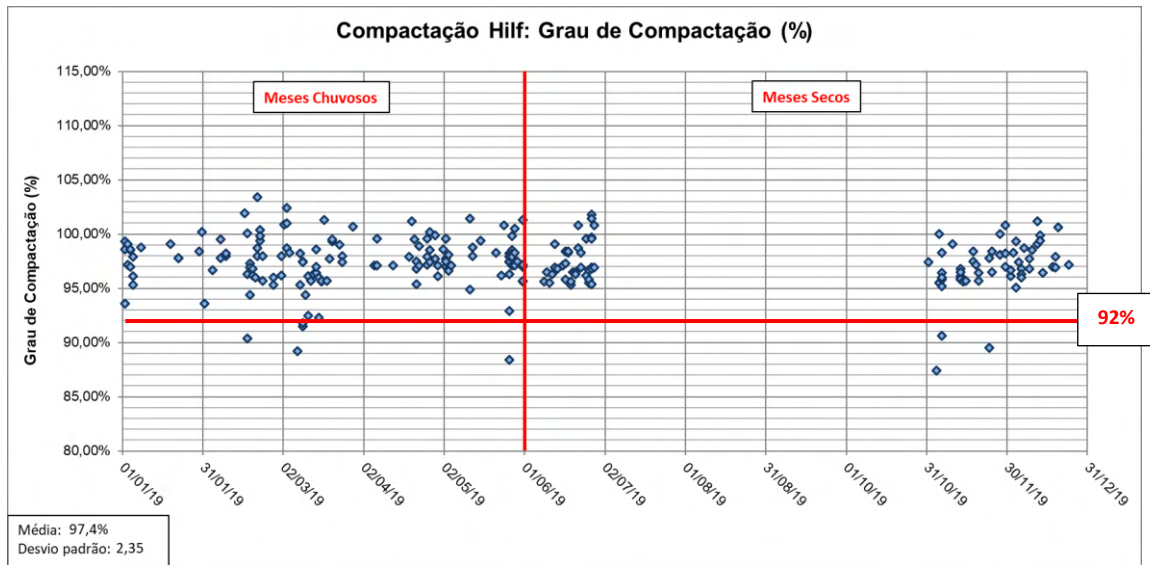


Figura 7.4 – Grau de Compactação pelo Método de HILF (%) realizados em 2019

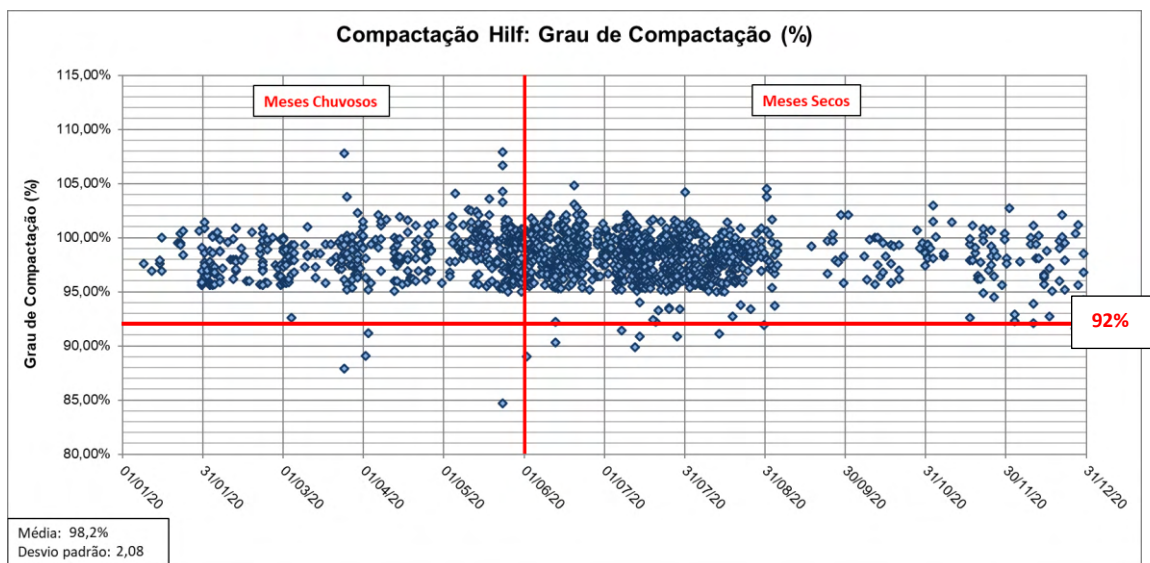
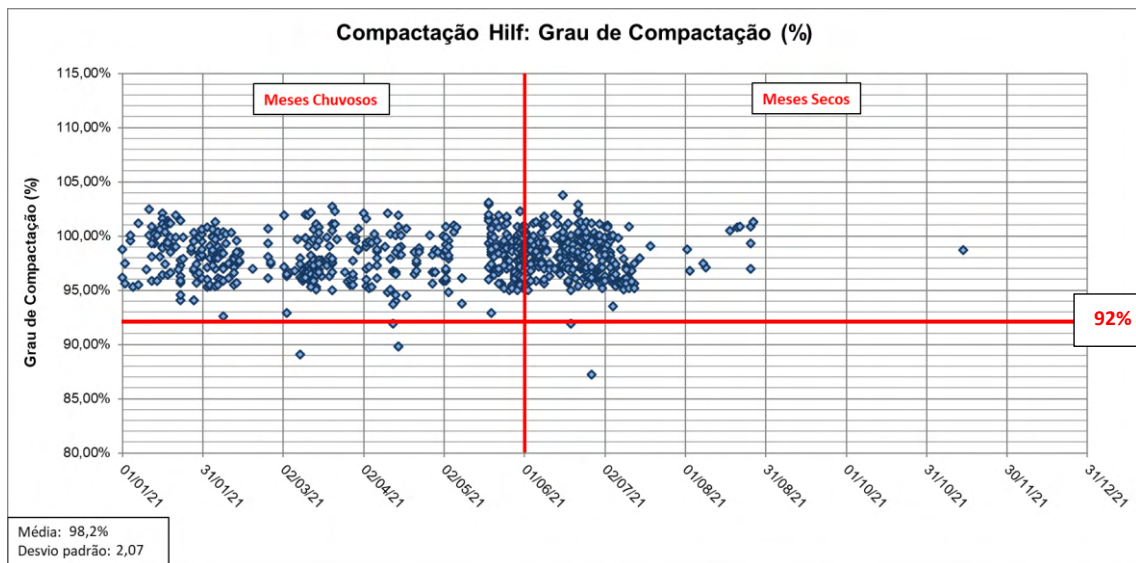
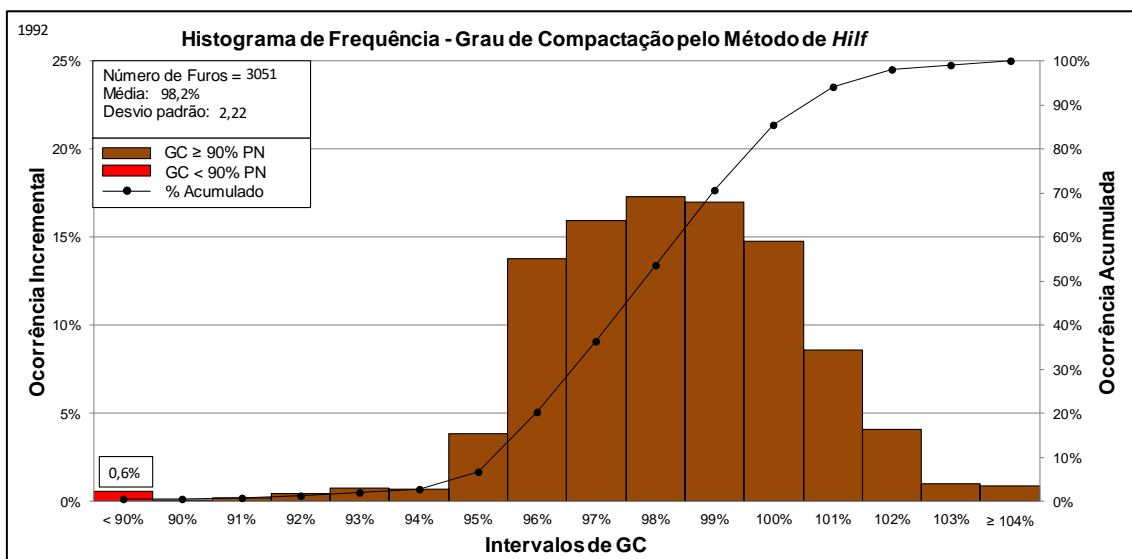


Figura 7.5 – Grau de Compactação pelo Método de HILF (%) realizados em 2020

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

Figura 7.6 – Grau de Compactação pelo Método de HILF (%) realizados em 2021

Figura 7.7 – Histograma de Compactação do Grau de Compactação

Como pode ser observado o grau de compactação médio observado em todo o período analisado foi de 98,2% e desvio padrão foi de 2,22%. Apenas 1,3% das amostras ensaiadas apresentaram grau de compactação inferior ao valor mínimo de 92% em relação ao ensaio Proctor Normal especificado para as camadas da Reabilitação e 0,6% das amostras ensaiadas apresentaram grau de compactação inferior ao valor mínimo de 90% em relação ao ensaio Proctor Normal especificado para as camadas do setor CL3.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1		

Ao analisar os gráficos dos resultados dos ensaios de grau de compactação pelo Método de Hilf por ano, observa-se que, com exceção do ano de 2020, o lançamento e a compactação das camadas de resíduos foram realizados majoritariamente nos meses mais chuvosos, compreendidos entre os meses de janeiro e maio. O lançamento e a compactação dos resíduos nos meses chuvosos podem contribuir para o aumento da umidade no material, o que afastaria a umidade do material da umidade ótima (w_{ot}) aumentando a probabilidade de não se conseguir atender as especificações de projeto. No entanto, conforme indicado nas diretrizes do projeto (item 7.1), o teor de umidade não é considerado determinante no processo de aprovação das camadas, recomendando-se adotar umidades que permitam a trabalhabilidade dos materiais e a obtenção dos graus de compactação requeridos.

Vale ressaltar que nos gráficos são apresentados os resultados dos ensaios aprovados e reprovados. Quando uma camada não atinge o critério estabelecido em projeto, por procedimento padrão, essa camada é aberta novamente e todo o processo de compactação é refeito. Isso garante que 100% das camadas estejam compactadas de acordo com o critério de projeto.

De modo a exemplificar a recompactação de uma camada reprovada, apresenta-se na Figura 7.8 o Boletim do Controle de Compactação realizado no Lado Sul, na faixa 3, banqueta 50,20, praça 15, no dia 09/03/21, que forneceu um grau de compactação de 89,1% em relação ao ensaio Proctor Normal. Consequentemente, foi preenchido o Relatório de Não conformidade de Terraplenagem (vide Figura 7.9), indicando a necessidade de refazer todo o processo de compactação para essa região. Após esse “resserviço”, um novo ensaio de compactação foi realizado para verificação da qualidade do aterro, obtendo um grau de compactação de 98,0% do Proctor Normal (vide Figura 7.10).

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

		CONTROLE DE COMPACTAÇÃO MÉTODO DE HILF CONFORME NORMA (NBR-12102) (ABNT-1991)					
TRECHO:		DRS 1 - LADO SUL - FAIXA 03 - ELEVÇÃO ATUAL				49,962	REGISTRO:
SUB TRECHO:		BANQUENTA 50,200 PRAÇA 15				49,952	3084
CAMADA LANÇADO:		CAM. COMPACTADO:		LABORATORISTA:		FISCAIS - SECULOS / HYDRO:	
25,0 cm		± 20,0 cm		JAMYS MENDES		AFONSO / SEBASTIAO	
MATERIAL:		OPERADOR:		TURMA:		PESO DA AMOSTRA (g):	
ARGILA VERMELHA		ELVIS		D		2.500	
						SOQUETE (Lb): Nº. DE CAM.: Nº. GOLPES:	
						5 03 26	
COMPACTAÇÃO CAMPO				COMPACTAÇÃO LABORATÓRIO			
Nº FUROS	5728	5729		ML	100	0	50
NORTE	9828565,402	9828565,145		%	4,0	0,0	2,0
ESTE	754257,369	754257,054		Nº CILINDRO	02	02	02
COTA (m)	49,962	49,952		P.AMOSTRA	4420	4342	4440
Nº DO CILINDRO	32	8		P. CILINDRO	2470	2470	2470
PS SOLO + CIL. (g)	2679	2699		P. SOLO	1950	1872	1970
PS. DO CIL. (g)	1021	960		VOLUME	997	997	997
PESO DO SOLO (g)	1658	1739		MASSA UMID.	1,956	1,878	1,976
VOL. DO CIL. (g)	981	988					
DENS. ESP. (g/cm³)	1,690	1,760		MASSA CONV.	1,881	1,878	1,937
GC (%)	87,2%	90,9%					
TEOR DE UMIDADE DA CAMADA							
CAPSULA N.º	38	55					
SL UM +TR(g)	102,55	89,39					
SL SC +TR (g)	83,77	73,25					
TR. DA CAP.	13,70	10,89					
ÁGUA	18,78	16,14					
SOLO SECO	70,07	62,36					
UMIDADE (%)	26,8%	25,9%					
MÉDIA (%)	26,3%						28,8%
RESUMO DOS RESULTADOS							
MÉDIA IN-SITU	1,725						
M. ESPECÍF. DO LABOR. DO PONTO 0%(g/cm³)	1,878						
MASSA ESPECÍFICA CONVERTIDA MÁXIMA(g/cm³)	1,937						
EFICIÊNCIA DE COMPACTAÇÃO(%)	91,9						
MÉDIA GRAU DE COMPACTAÇÃO (%)	89,1%						
GRAU DE COMPACTAÇÃO MÍNIMO ESPECIFICADO (%)	95,0%						
DESVIO DE UMIDADE EM RELAÇÃO À ÓTIMA (%)	2,4%						
DESVIO DE UMIDADE ESPECIFICADO (%)	± 4						
Observações: NÃO LIBERADO ABERTA RNC 109							
LABORATORISTA MARKS		ENGENHARIA MARKS		FISCAL LABORATÓRIO		FISCAL HYDRO/ALUNORTE	

Figura 7.8 – Boletim do Controle de Compactação do Ensaio Reprovado (MARK'S, 09/03/21)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1



		RELATÓRIO DE NÃO CONFORMIDADE [RNC] TERRAPLENAGEM	
Contrato Nº. 4600006175		Data: 09/03/2021	RNC Nº. 109
Responsável pelo abrir o Registro: JAMYS DOS SANTOS MENDES		Garantia da Qualidade: DANIEL	
Descrição Não-Conformidade: ENSAIO REALIZADO NO DRS 01, LADO SUL, FAIXA 03 BANQUETA 50,200 PRAÇA 14 e 15 , Á MESMA NÃO ATINGIU O GRAU DE COMPACTAÇÃO PREVISTO. NUMERO DO RG: 3084 CG DE PROJETO: 95% PN GC REAL: FURO: 5728 GC CAMPO: 87,2% COORDENADAS: N: 9828565,402 E:754257,369 C:49,962 FURO: 5729 GC CAMPO: 90,9% COORDENADAS: N: 9828565,145 E:754257,054 C:49,952			
FOI REALIZADO A RECOMPACTAÇÃO DA PRAÇA 14 e 15, ELEVÇÃO 50,200 A 52,200 , Á MESMA VEIO A ATINGIR O GRAU DE COMPACTAÇÃO PREVISTO. NUMERO DO RG: 3085 CG DE PROJETO 95,0% FURO: 5730 GC CAMPO: 97,9% COORDENADAS: N:9828568,243 E:754258,074 C:49,953 FURO: 5731 GC CAMPO: 98,0% COORDENADAS: N:9828568,509 E:754258,267 C:49,933			
Acompanhamento / Fiscalização: <i>Foi FEITO a Recompactação de acordo com Procedimento correto e foi FEITO outro ensaio que ATINGIU O GRAL ESPERADO,</i>			
Encerramento: Responsavel Pelo Fechamento: AMIRALDO MENDONÇA - Data: 09/03/2021 - Fiscal Responsavel: _____			
A Não-Conformidade foi eliminada: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			
<small>Se a Não-Conformidade não foi eliminada, outro formulário deve ser preenchido e seguir a mesma dinâmica estabelecida.</small>			
Assinaturas / Data			
Contratada		HYDRO ALUNORTE	
Responsável da Qualidade	Garantia da Qualidade	Fiscalização	Hydro
		Marcos Farias DRS Hydro Alunorte <i>12/03/2021</i>	

Figura 7.9 – Relatório de Não conformidade de Terraplenagem (MARK'S, 09/03/21)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

		CONTROLE DE COMPACTAÇÃO MÉTODO DE HILF CONFORME NORMA (NBR-12102) (ABNT-1991)					
TRECHO: DRS 1 - LADO SUL - FAIXA 03 - ELEVÇÃO ATUAL		49,953 49,933		REGISTRO: 3085			
SUB TRECHO: PRAÇA 15 BANQUETA 50,200		DATA: 09/03/2021		HORA: 17:00			
CAMADA LANÇADO: 25,0 cm	CAM. COMPACTADO: ± 20,0 cm	LABORATORISTA: AMIRALDO	FISCAIS - SECULOS / HYDRO: LEONARDO / MARCOS		ÁREA DE EMPRESTIMO: TORRE 3		
MATERIAL: ARGILA VERMELHA	OPERADOR: YURI	TURMA: E	PESO DA AMOSTRA (g): 2.500	SOQUETE (Lb): 5	Nº DE CAM.: 03	Nº GOLPES: 26	
COMPACTAÇÃO CAMPO			COMPACTAÇÃO LABORATÓRIO				
Nº FUROS	5730	5731	ML	100	0	50	
NORTE	9828568,243	9828568,509	%	4,0	0,0	2,0	
ESTE	754258,074	754258,267	Nº CILINDRO	02	02	02	
COTA (m)	49,953	49,933	P.AMOSTRA	4420	4342	4440	
Nº DO CILINDRO	15	7	P. CILINDRO	2470	2470	2470	
PS SOLO + CIL. (g)	2824	2858	P. SOLO	1950	1872	1970	
PS. DO CIL. (g)	950	970	VOLUME	997	997	997	
PESO DO SOLO (g)	1874	1888	MASSA UMID.	1,956	1,878	1,976	
VOL. DO CIL. (g)	988	994					
DENS. ESP. (g/cm³)	1,897	1,899	MASSA CONV.	1,881	1,878	1,937	
GC (%)	97,9%	98,0%					
			TEOR DE UMIDADE DA CAMADA				
			CAPSULA N.º	20	15	UMIDADE ÓTIMA	
			SL UM + TR (g)	102,55	98,54		
			SL SC + TR (g)	83,91	81,62		
			TR DA CAP.	13,70	16,25		
			ÁGUA	18,64	16,92		
			SOLO SECO	70,21	65,37		
			UMIDADE (%)	26,5%	25,9%		
			MÉDIA (%)	26,2%	28,6%		
			RESUMO DOS RESULTADOS				
			MÉDIA IN-SITU	1,898			
			M. ESPECÍF. DO LABOR. DO PONTO 0%(g/cm³)	1,878			
			MASSA ESPECÍFICA CONVERTIDA MÁXIMA(g/cm³)	1,937			
			EFICIÊNCIA DE COMPACTAÇÃO(%)	101,1			
			MÉDIA GRAU DE COMPACTAÇÃO (%)	98,0%			
			GRAU DE COMPACTAÇÃO MÍNIMO ESPECIFICADO (%)	95,0%			
			DESVIO DE UMIDADE EM RELAÇÃO À ÓTIMA (%)	2,4%			
			DESVIO DE UMIDADE ESPECIFICADO (%)	± 4			
Observações: LIBERADO							
LABORATORISTA MARKS Amiraldo Conceição Laboratorista Matrícula: 5489		ENGENHARIA MARKS Leonardo Silva da Costa Engenheiro Civil Matr. 5671		FISCAL LABORATÓRIO Marcos Farías Sécúlos Serv. e Administração Ltda Laboratorista III Matrícula: 47771		FISCAL HYDRO/ALUNORTE Marcos Farías DRS Hydro Alunorte	

Figura 7.10 – Boletim do Controle de Compactação do Ensaio Aprovado (MARK'S, 09/03/21)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

Na Figura 7.11, é apresentado o gráfico com o resultado do desvio da umidade em relação a umidade ótima dos 3.051 ensaios de compactação disponibilizados do DRS1 em função do tempo, no intervalo entre janeiro/2017 e novembro/2021. A Figura 7.12 à Figura 7.16 apresentam os gráficos com os resultados de desvio da umidade em relação a umidade ótima de cada ano, separando os períodos de chuva e seca conforme a divisão indicada no item 7.1, com meses chuvosos entre janeiro e maio e meses secos no restante do ano. Já a Figura 7.17 apresenta o histograma de frequência do desvio de umidade no intervalo entre janeiro/2017 e novembro/2021.

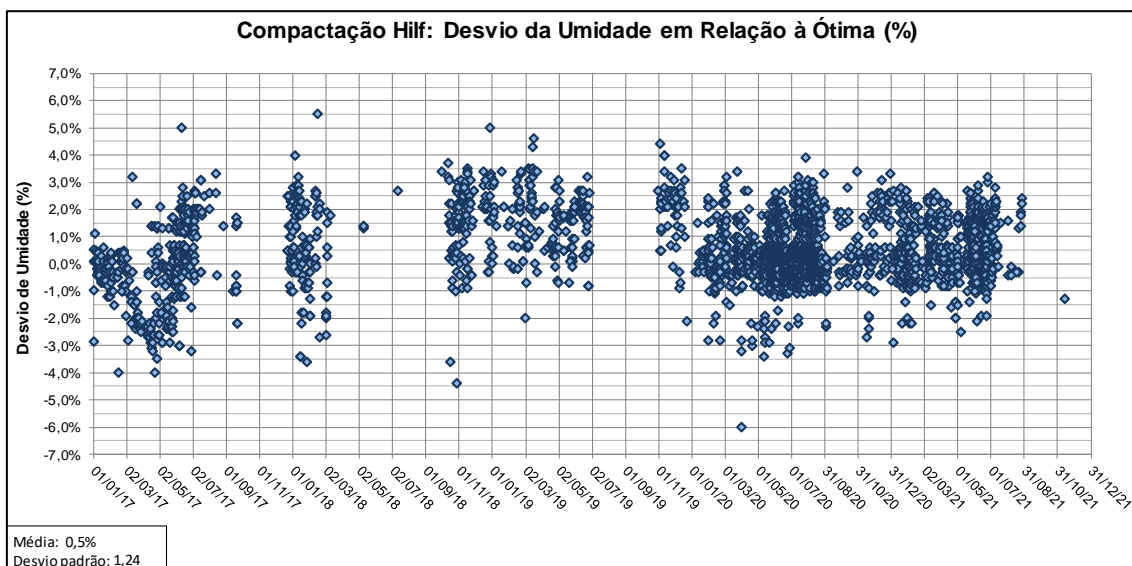


Figura 7.11 – Desvio da umidade em relação à Ótima (%)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

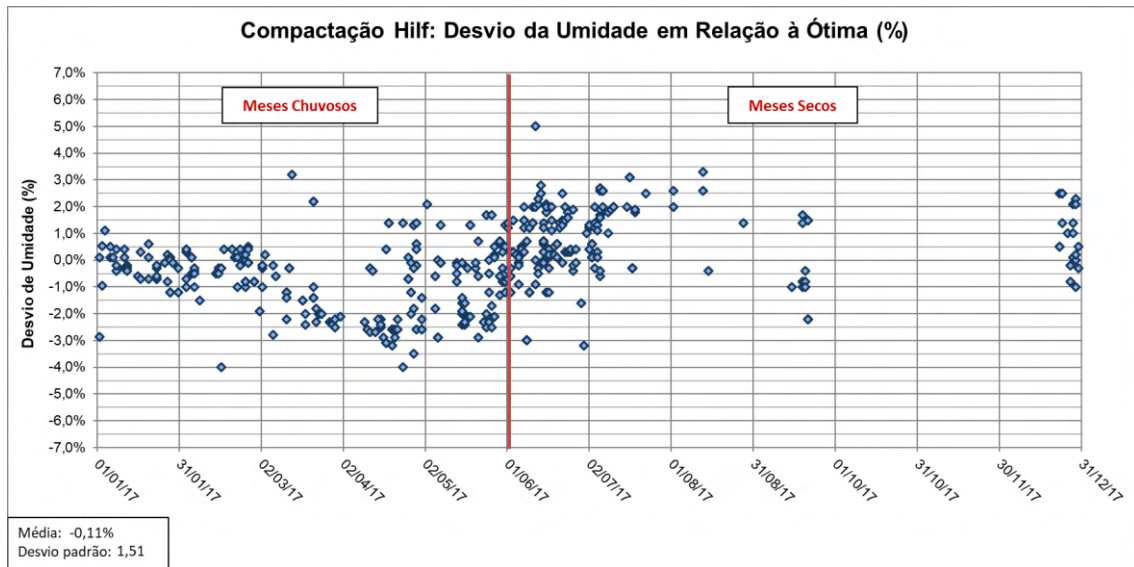


Figura 7.12 – Desvio da umidade em relação à Ótima dos ensaios de 2017 (%)

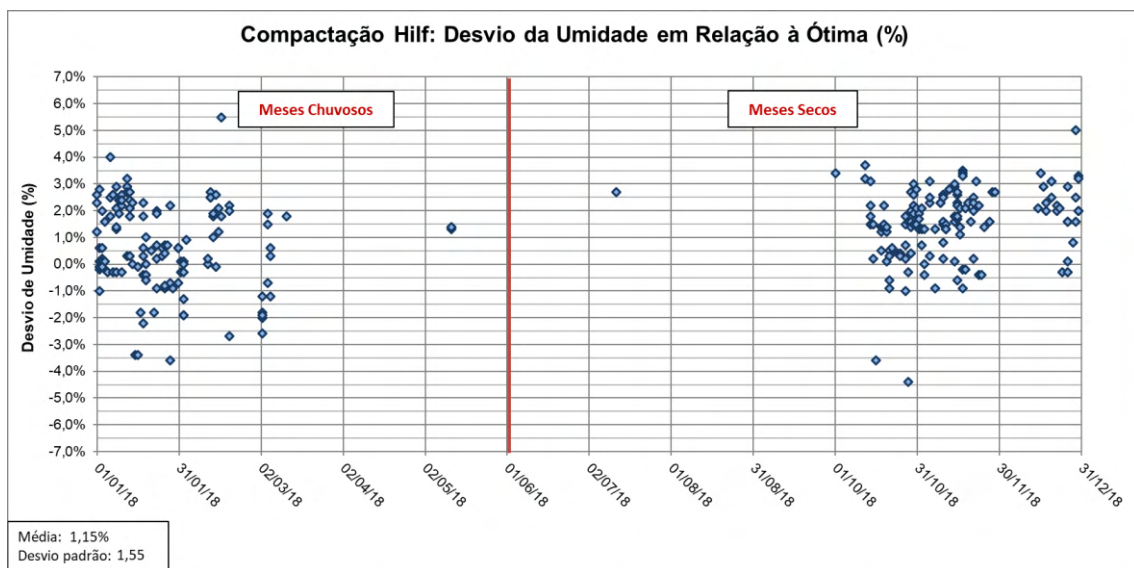


Figura 7.13 – Desvio da umidade em relação à Ótima dos ensaios de 2018 (%)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

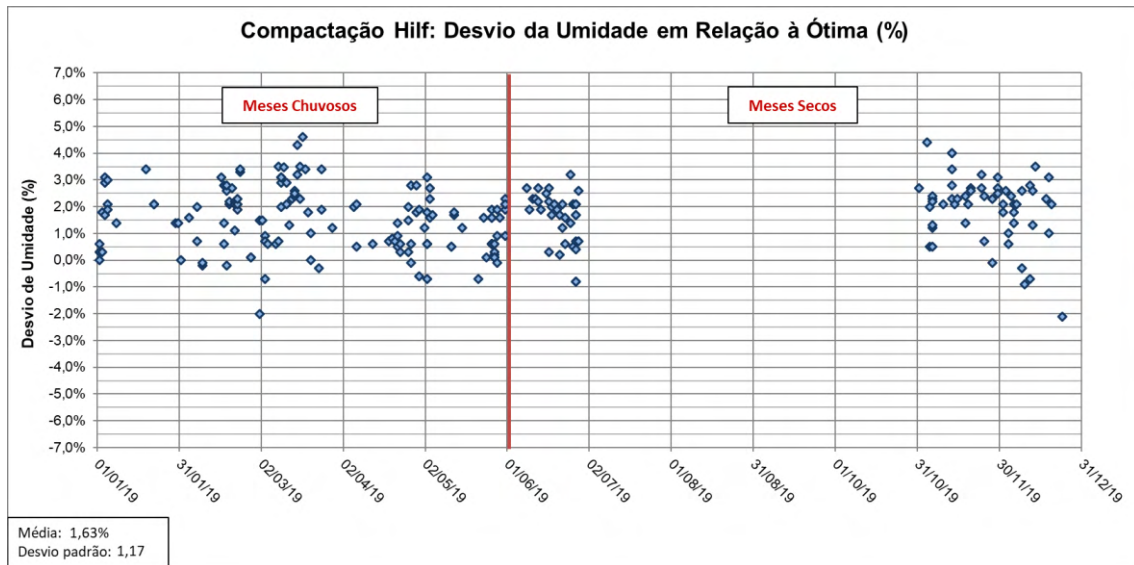


Figura 7.14 – Desvio da umidade em relação à Ótima dos ensaios de 2019 (%)

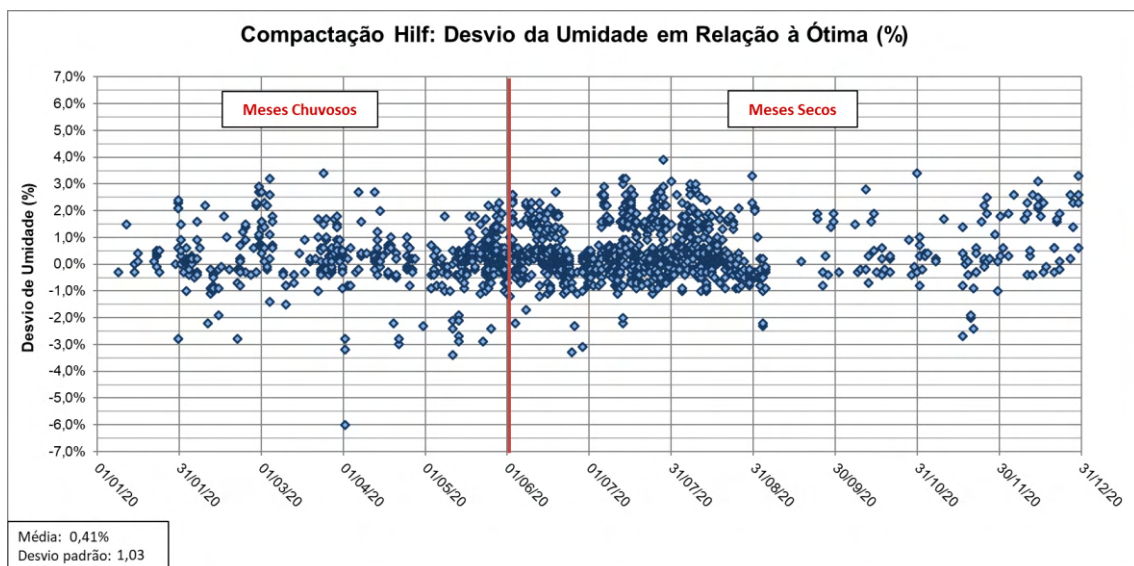


Figura 7.15 – Desvio da umidade em relação à Ótima dos ensaios de 2020 (%)

AValiação da Densidade e Teor de Umidade Ótima – DRS1

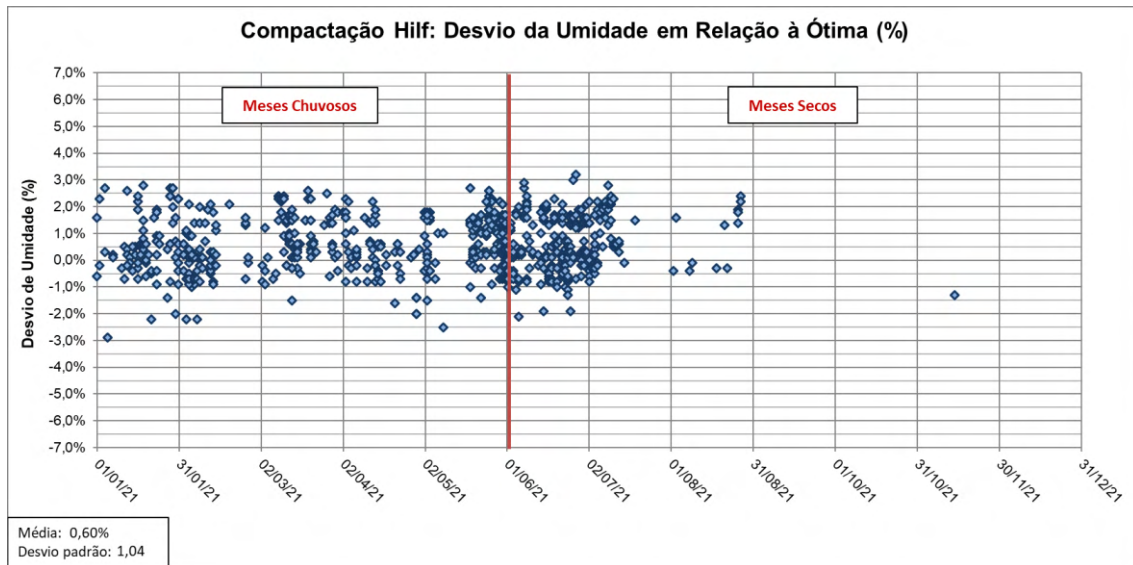


Figura 7.16 – Desvio da umidade em relação à Ótima dos ensaios de 2021 (%)

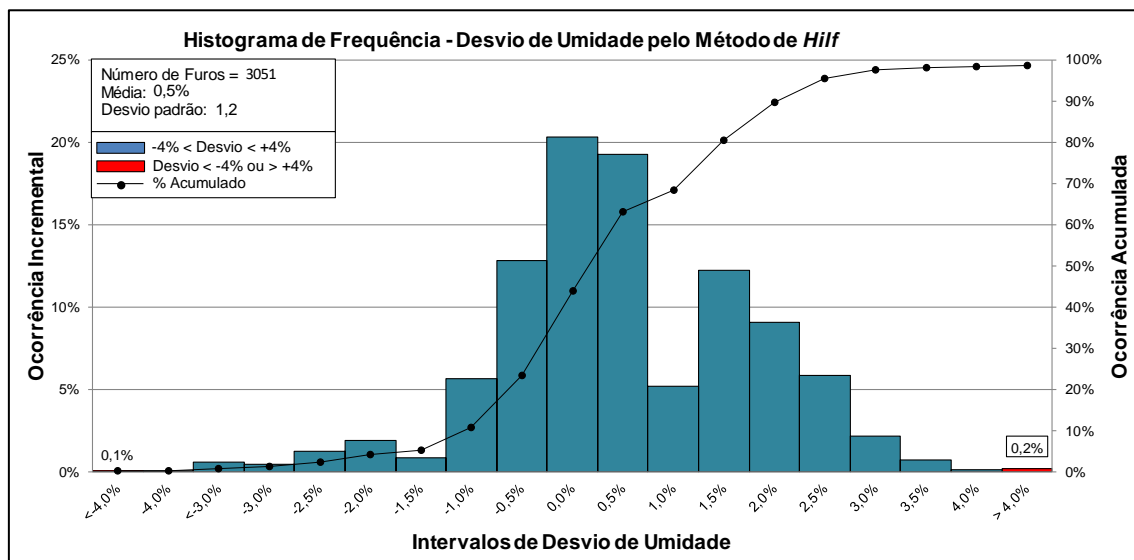


Figura 7.17 – Histograma de desvio da umidade em relação à Ótima (%)

Como pode ser verificado, a média do desvio da umidade foi igual a $w_{ót}+0,5\%$ e o desvio padrão foi de 1,24%. Apenas 0,1% das amostras ensaiadas apresentaram desvio de umidade abaixo de $w_{ót}-4,0\%$ e 0,2% das amostras apresentaram desvio de umidade acima de $w_{ót}+4,0\%$.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

Ao analisar os gráficos dos desvios de umidade em relação à umidade ótima separados por ano e pela precipitação, não se verifica uma relação evidente entre os meses chuvosos e secos com os resultados dos desvios de umidade. A título de exemplo, o maior desvio de umidade em relação à ótima foi observado no furo 1646, realizado no dia 02/04/2020, que apresentou umidade 6% abaixo da umidade ótima, em um mês considerado chuvoso.

Vale lembrar que não foram definidos limites inferior e superior para o desvio de umidade pelo projetista, pois o Manual de Planejamento de Implantação e Operação (doc. OM-8400-54-G-069 R01) não considera o teor de umidade determinante no processo de aprovação das camadas, devendo-se adotar umidades que permitam a trabalhabilidade dos materiais e a obtenção dos graus de compactação requeridos.

Em relação a esse aspecto, é importante lembrar que o distanciamento da umidade no campo em relação a ótima significa que podem ser necessárias mais passadas do rolo compactador para se atingir o grau de compactação especificado. O critério de compactação ainda pode ser respeitado, porém será necessário um maior gasto de tempo e de recursos econômicos. Por isso, quanto menor o desvio da umidade de campo em relação a ótima mais otimizado e eficiente será o processo de compactação.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na avaliação do “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, do “Manual de Operação de Disposição de Resíduos do Filtro Prensa no DRS1”, elaborado pela PIMENTA DE AVILA, em 05/03/21, doc. OM-3540-54-G-1001 R03, e dos Boletins de Controle de Compactação pelo Método de Hilf do DRS1, referentes ao período entre janeiro/2017 e novembro/2021, foi possível concluir que o controle

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

tecnológico de compactação das camadas executadas para os serviços de fechamento do DRS1 estão adequadas. Além disso, observou-se que a equipe técnica da ALUNORTE dispõe de toda a documentação referente ao controle tecnológico de compactação devidamente arquivado em seu banco de dados. Esse é um aspecto de governança importante e deve ser continuado.

O grau de compactação médio obtido nos ensaios de compactação foi de 98,2% e apenas 1,3% das amostras ensaiadas apresentaram grau de compactação inferior ao valor mínimo de 92% em relação ao ensaio Proctor Normal especificado para as camadas da Reabilitação e 0,6% das amostras ensaiadas apresentaram grau de compactação inferior ao valor mínimo de 90% em relação ao ensaio Proctor Normal especificado para as camadas do setor CL3. Para esses casos de desvio foi possível verificar que ocorreu a identificação e o retrabalho de compactação da camada até se atingir o critério estabelecido.

A média do desvio da umidade foi igual a $w_{ót}+0,5\%$. Apenas 0,1% das amostras ensaiadas apresentaram desvio de umidade abaixo de $w_{ót}-4,0\%$ e 0,2% das amostras apresentaram desvio de umidade acima de $w_{ót}+4,0\%$. No entanto, vale lembrar que não foram definidos limites inferior e superior para o desvio de umidade, pois o “Manual de Planejamento de Implantação e Operação” não considera o teor de umidade determinante no processo de aprovação das camadas, devendo-se adotar umidades que permitam a trabalhabilidade dos materiais e a obtenção dos graus de compactação requeridos.

Conclusivamente, foi possível constatar através da documentação consultada que os critérios de projeto em relação a compactação, densidade e umidade, têm sido aferidos em campo através de ensaios de controle com objetivo de seguir as diretrizes de projeto. Para o caso do DRS1 as camadas de recobrimento para descaracterização não possuem uma finalidade estrutural determinante para o desempenho da estrutura,

diferentemente do DRS2 que possui outro conceito de projeto. Desse modo, está claro tecnicamente porque os critérios de compactação estabelecidos para as duas estruturas são diferentes, principalmente por serem depósitos com conceitos de projeto totalmente distintos.

9. REFERÊNCIAS

- i. ALMARAZ, U.J.S. (1977). Aspectos Geoquímicos e Ambientais dos Calcários do Formação Pirabas, Pará. Tese de Doutorado, UFRS, 272 p.
- ii. FARIAS, E.S.; NASCIMENTO, F.S., FERREIRA, M.A.A. (1992). Estágio de Campo III: relatório final. Área Belém - Outeiro. Belém: Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará. 247 p.
- iii. HAQ, B.V.; HARDENBOL, J.; VAIL, P.R. (1987). Chronology of Fluctuating Sea Levels Since the Triassic (250 million years ago to present). Science, 235 : 1156-1167 p.
- iv. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. População. 2010. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- v. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. Educação. 2010b. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- vi. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. Economia. 2019. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- vii. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. Trabalho e Rendimento. 2020. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- viii. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. Território e ambiente. 2021. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE ÓTIMA – DRS1

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