

FG-2201-NHB-A-BA-RT10-02

À

**NORSK HYDRO BRASIL**

Av. Gentil Bittencourt, 549

Belém – PA

A/C

CAROLINA VARKALA

Departamento de Suprimentos de Bauxita &amp; 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 depósito de resíduos sólidos DRS2 com a Lei Nacional de Segurança de Barragens (Lei n.º 12.334/2010), em atendimento à letra “M” 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 DRS2 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

# RELATÓRIO TÉCNICO DE AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL LANÇADO NO DRS2

CLIENTE:



PROJETO:

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

**BARCARENA – PA**



Agosto/2023



**AValiação DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2****SUMÁRIO**

<b>GLOSSÁRIO .....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVO .....</b>	<b>6</b>
<b>3. DADOS UTILIZADOS .....</b>	<b>7</b>
<b>4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO .....</b>	<b>8</b>
<b>5. APRESENTAÇÃO DO PROJETO DA ESTRUTURA.....</b>	<b>9</b>
5.1 LOCALIZAÇÃO .....	11
5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	16
5.2.1 <i>Geologia Regional</i> .....	16
5.2.2 <i>Histórico de Investigações</i> .....	18
5.2.3 <i>Geologia Local</i> .....	19
5.3 PLATAFORMA DA PILHA DE RETOMADA DO RESÍDUO E CÉLULA DE CONTINGÊNCIA .....	20
5.4 CANAIS DE CONTORNO E BACIAS DE CONTROLE (BC 201 E BC 202).....	21
5.5 DIQUE DE CONTORNO .....	23
5.6 DIQUE ENTRE CANAL DE CONTENÇÃO DE SEDIMENTOS E CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE .....	23
5.7 DIQUE EXTERNO DO CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE .....	23
5.8 DIQUE EXTERNO DAS BACIAS DE CONTROLE (BC 201 E BC 202).....	24
5.9 DIQUE DE CONTENÇÃO DA ÁREA ÚMIDA (INFRAESTRUTURA INICIAL) .....	24
5.10 DIQUE CENTRAL E FINGERS (INFRAESTRUTURA INICIAL).....	25
5.11 SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	26
5.12 DRENAGEM INTERNA DA PILHA .....	27
5.13 INSTRUMENTAÇÃO.....	29
5.14 SISTEMA EXTRAVASOR.....	29
5.15 GALERIA DE TRANSPOSIÇÃO DO CANAL DE ADUÇÃO .....	31
5.16 DRENAGEM SUPERFICIAL .....	31
5.17 PROJETO <i>AS BUILT</i> .....	31
<b>6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....</b>	<b>33</b>
7.1 DIRETRIZES ESTABELECIDAS EM PROJETO.....	34
7.2 REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE LABORATÓRIO .....	36

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**

7.3	TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL LANÇADO.....	42
8.	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>44</b>
9.	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>

## 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
- 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
- MPSA – Mineração Paragominas
- MRN – Mineração Rio Norte

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2</b>		

- 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)

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2</b>		

## 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

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2</b>		

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 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 plenamente 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 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;

## AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2

- 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 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;

## AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2

- 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 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 **m)**, referido à avaliação do teor de umidade do material a ser lançado no DRS2.

## 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 **“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”** para o depósito de resíduos DRS2.

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

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2</b>		

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 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 M)**, objeto desse relatório.

*O item discriminado para área úmida e área seca é aplicável apenas para o DRS2, estrutura que foi concebida com esse conceito. Portanto, não é aplicável este item para o DRS1, pois essa estrutura não dispõe de área seca e úmida no seu projeto.*

*Serão verificadas e avaliadas as memórias de cálculo que subsidiaram as decisões técnicas em relação ao teor de umidade e grau de compactação definidos para as áreas secas e área úmida para o projeto do DRS2. Para o DRS1 interpretamos que não teríamos produto a entregar.*

### **3. DADOS UTILIZADOS**

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

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AValiação DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2</b>		

**Tabela 3.1 – Documentos utilizados para elaboração desse relatório**

<b>CÓDIGO</b>	<b>TÍTULO DO DOCUMENTO</b>	<b>ELABORADO POR</b>	<b>DATA</b>
FG-2201-NHB-A-BA-RT04-00	Relatório Técnico de Avaliação da Densidade e Teor de Umidade Ótima das Camadas Executadas no DRS2	FONNTES GEOTÉCNICA	14/04/22
RT-3540-54-G-1014 R02	Relatório Técnico do Projeto “As Is”	PIMENTA DE ÁVILA	29/07/21
OM-3541-54-G-282 R08	Manual de Operação – DRS2 – Fase 1	PIMENTA DE ÁVILA	05/03/21
RT-3541-54-G-451 R01	Considerações sobre o “Como construído” da estrutura inicial do DRS2 – Fase 1	PIMENTA DE ÁVILA	Set/2020
RT-3541-54-G-360 R01	“Como Construído” do sistema de disposição de resíduos DRS2 – Fase 1	PIMENTA DE ÁVILA	Jul/2018
DB-3541-54-G-319	Memória de Cálculo das Análises Geotécnicas – Projeto Detalhado Resíduo de Filtro Prensa – DRS2	PIMENTA DE ÁVILA	Set/2016
RT-3540-54-G-366	Ensaio Geotécnicos de Laboratório no Resíduo do Filtro Tambor	PIMENTA DE ÁVILA	Jun/2015
RJ-5640/020	Ensaio Geotécnicos de Laboratório nas Amostras Coletadas na Pista Experimental – Projeto DRS2	PIMENTA DE ÁVILA	Jun/2015

#### **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 DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2

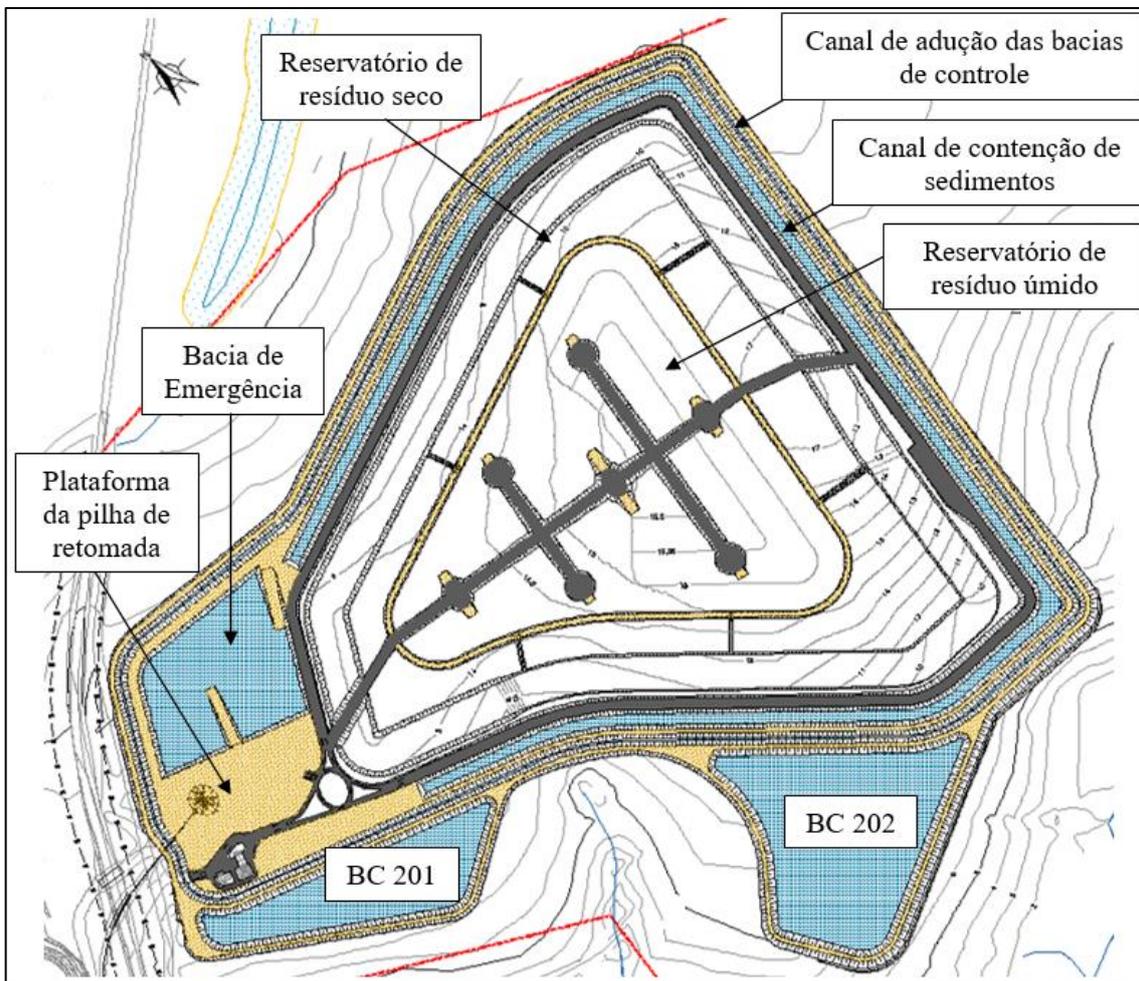
- Introdução, contendo apresentação do documento e do TAC 3.1 que resultou no contrato para auditoria documental;
- Objetivos do presente documento, indicando a letra específica da TAC 3.1 que será atendida;
- Dados utilizados/consultados para o atendimento à letra específica da TAC 3.1;
- Explicações 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 DO PROJETO DA ESTRUTURA

O DRS2 foi projetado para armazenar resíduo da produção de alumina (lama vermelha) (gerado pela refinaria da Alunorte) depois de filtrado por filtros prensa. Na Figura 5.1 é apresentado o Layout da fase 1 (fase atual) do DRS2, o qual é constituído de:

- Reservatório de resíduo úmido;
- Reservatório de resíduo seco (com dique central e *fingers*);
- Plataforma da pilha de retomada;
- Célula de Contingência;
- Canal de contenção de sedimentos;
- Canal de adução das bacias de controle;
- Bacias de controle BC 201 e BC 202

A função de cada estrutura do DRS2 será detalhada mais adiante, neste mesmo capítulo.

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**

**Figura 5.1 – Layout da fase 1 do DRS2 (MD-3541-54-G-096)**

Neste item será apresentada a localização do depósito de resíduos sólidos DRS2 e, em seguida, o mesmo será caracterizado de acordo com o Memorial Descritivo do Projeto Detalhado do DRS2 Fase 01, documento MD-3541-54-G-096, elaborado pela PIMENTA DE ÁVILA, revisão 17 de setembro de 2015. Para caracterização da estrutura também é utilizado o relatório *As Built* do projeto detalhado do DRS2, elaborado pela PIMENTA DE ÁVILA, documento RT-3541-54-G-360 R01, revisão 01 de julho de 2018. Ressalta-se aqui que apenas a fase 01 do DRS2 foi executada até o momento.

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2</b>		

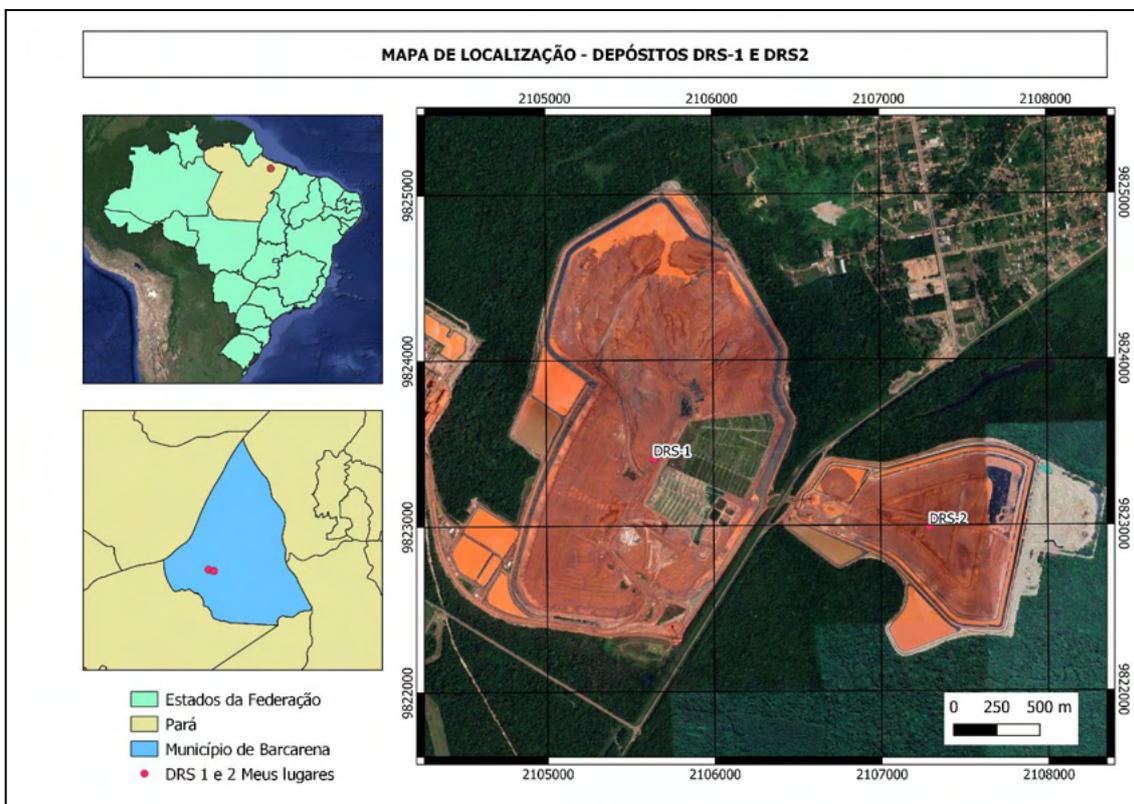
### 5.1 LOCALIZAÇÃO

Localizado 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 754.812m E 9.828.482m 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 DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**


**Figura 5.2 – Localização da Estrutura – DRS1 e DRS2**

O município de Barcarena está localizado no bioma Amazônia, apresentando 1.310,34 km<sup>2</sup> 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 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, identificam-se as comunidades Água Verde, Cabeceira Grande, Caravelas 1, Caravelas 2 Jardim das Palmeiras, Laranjal, Massarapó, Nazaré, Nestor Campos e Vila São Francisco.

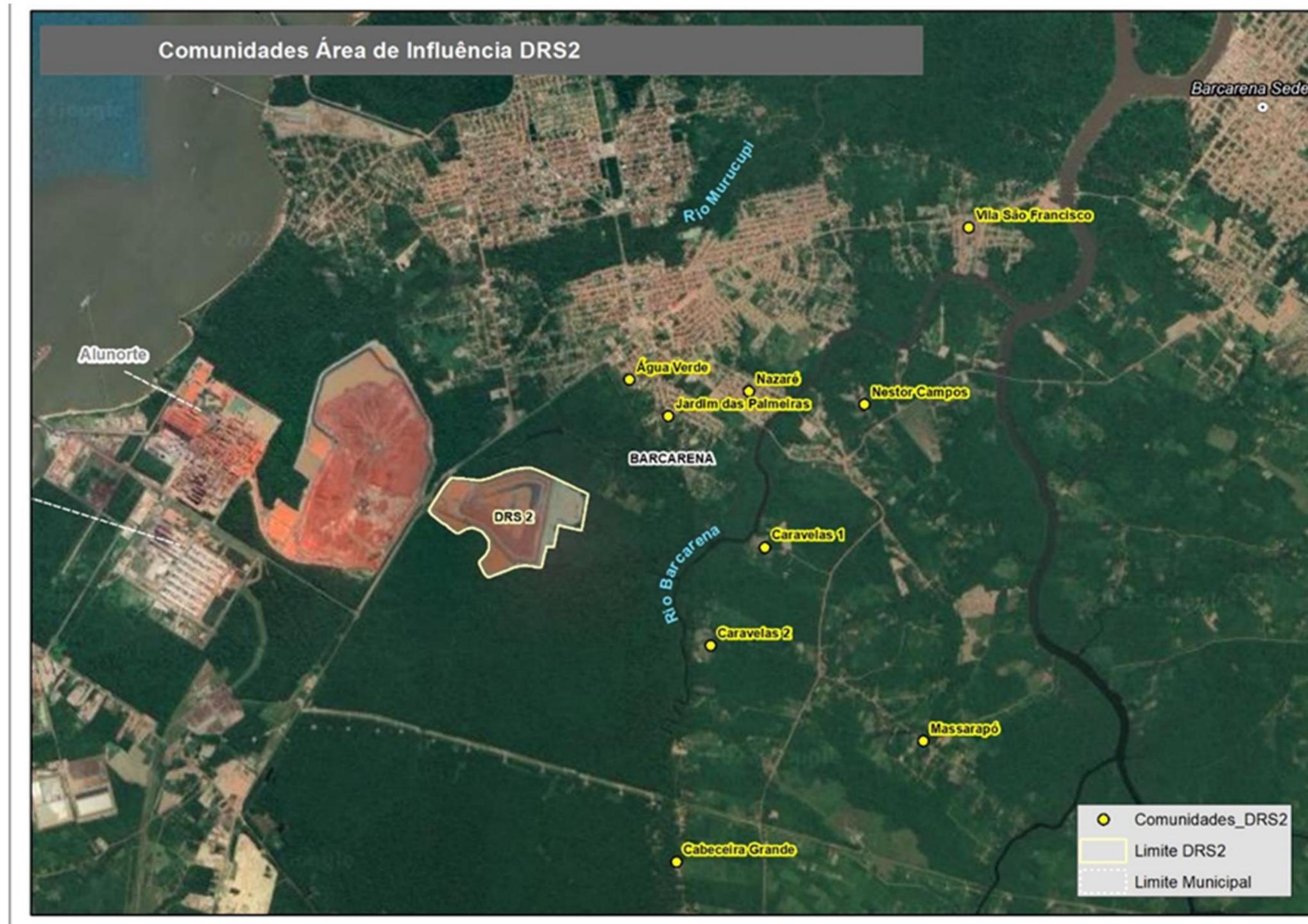


Figura 5.3 – Localização das comunidades próximas ao depósito DRS2 (Imagem fornecida pela equipe técnica da HYDRO/ALUNORTE)

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2</b>		

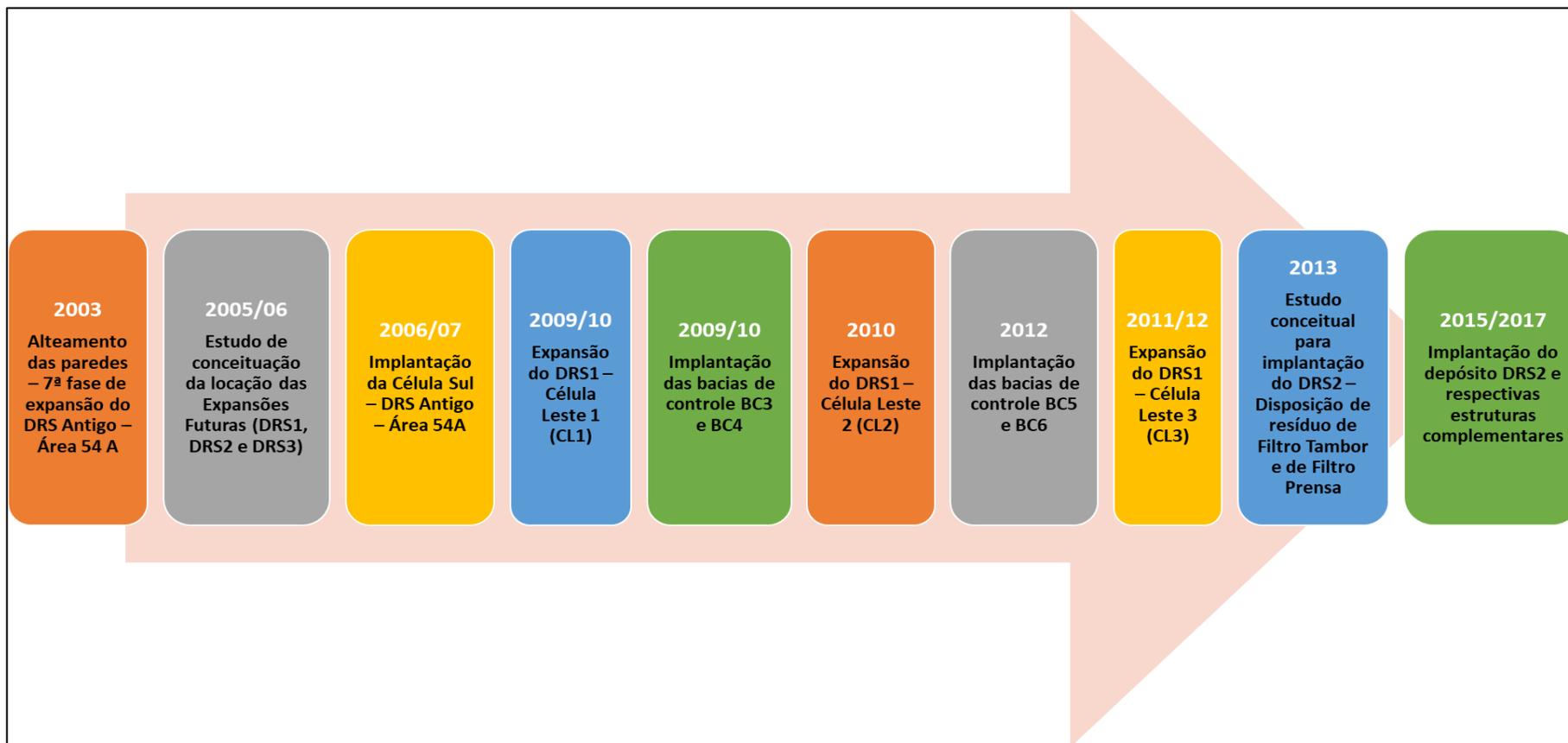
Conforme apresentado por IBGE (2020), no ano de 2020 o salário médio mensal era de 2,8 salários-mínimos, com 22,5% da população com emprego formal. A taxa de escolarização de crianças entre 6 e 14 anos foi de 97,3% (IBGE, 2010b)

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 DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**



**Figura 5.4 – Histórico de expansão do DRS1 e DRS2**

## AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2

A descrição das estruturas do DRS2 é apresentada a seguir com base no memorial descritivo do projeto (MD-3541-54-G-096) e relatório *As Built* (RT-3541-54-G-360 R01\_AN-561-RL-47252-00).

## 5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

### 5.2.1 Geologia Regional

A área de estudo encontra-se inserida no contexto dos sedimentos cenozóicos (< 65,5 milhões de anos) individualizados nas formações: Pirabas e Barreiras, bem como dos 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 DRS2 encontra-se sobre Sedimentos Pós-Barreiras.

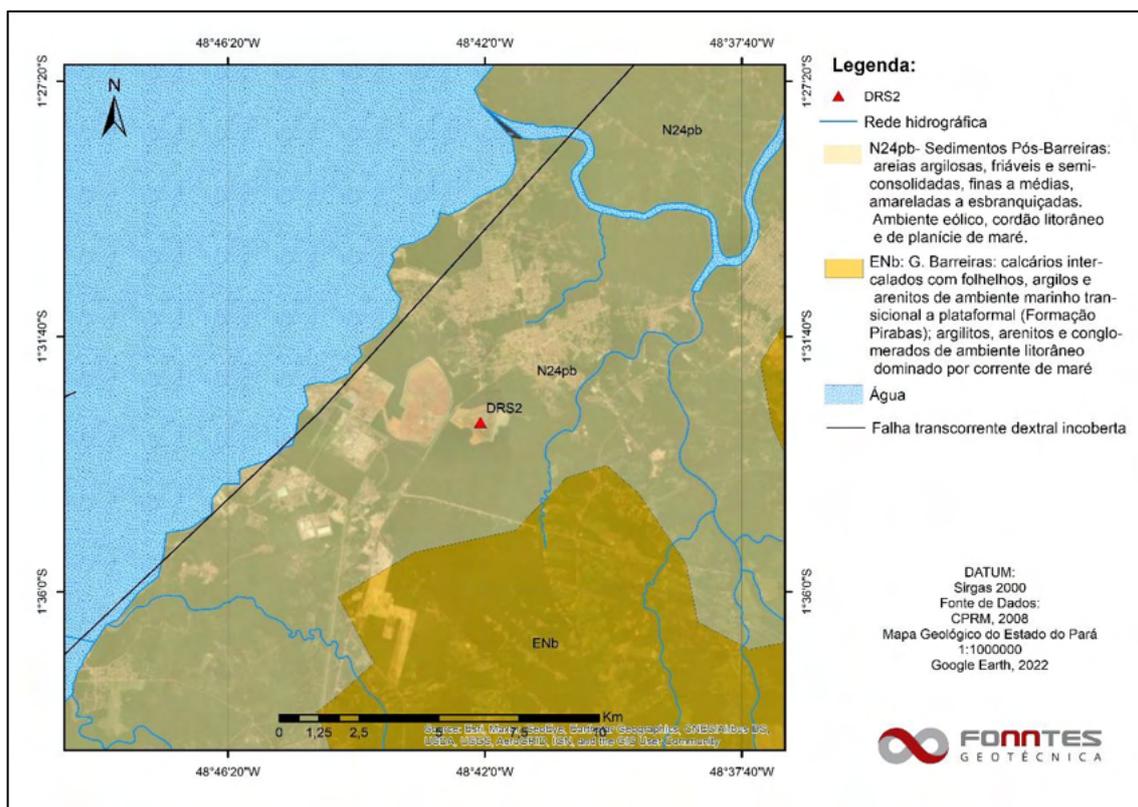
Ocupando uma área de aproximadamente 12000 m<sup>2</sup>, que se estende à faixa litorânea entre as cidades de Bragança e Belém avançando para o interior do Pará, a Formação Pirabas ocorre sobreposta ao embasamento cristalino (*Almaraz, 1977*) e é caracterizada pela composição calcária e conteúdo fossilífero. 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,

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**

conglomeráticos e ferruginosos. Os sedimentos quaternários Pós-Barreiras recobrem discordantemente essas seqüências.

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, 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 DRS2**

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

## AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2

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.

### 5.2.2 Histórico de Investigações

Com base no estudo detalhado elaborado pela Pimenta de Ávila (RT-3541-54-G-095), 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 DRS2**

CAMPANHA	EMPRESA	ANO	DOCUMENTO
Estudos conceituais e de pré viabilidade do sistema de rejeitos	-	2002	desenhos AN-306-DS-8875 a 8882
Estudos de condição de fundação	-	2011	RT-3540-54-G-366-R01
Projeto Detalhado do Desvio da PA-481	Solotécnica Engenharia	2014	Relatório AN-681-RL-38211 e desenhos AN-681-DS-38176 a 38181
Condições de fundação do traçado do <i>pipe conveyor</i>	Sondacil	2014	Anexo 3 do relatório (RT-3541-54-G-095), fornecido pela empresa Hatch

De acordo com a HYDRO, não houve premissas que justificassem a necessidade de execução de sondagens complementares na área próxima à estrutura DRS2, além das executadas para fomentar a execução do projeto.

É de conhecimento que a área de implantação não pode ser perfurada, uma vez que a estrutura é protegida por geomembrana e caso haja necessidade, as investigações deverão ser locadas próximo ao DRS2 em um contexto estratigráfico e geomorfológico semelhante. As investigações geológico-geotécnicas podem ocorrer durante toda a vida

## AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2

útil de uma estrutura, partindo de premissas tais como: necessidade de reavaliação da estratigrafia da fundação e/ou modificações no projeto.

### 5.2.3 Geologia Local

Nesse subitem é apresentada uma síntese do estudo de geologia local desenvolvido no relatório “*As Built*” RT-3541-54-G-095 elaborado pela empresa Pimenta de Ávila.

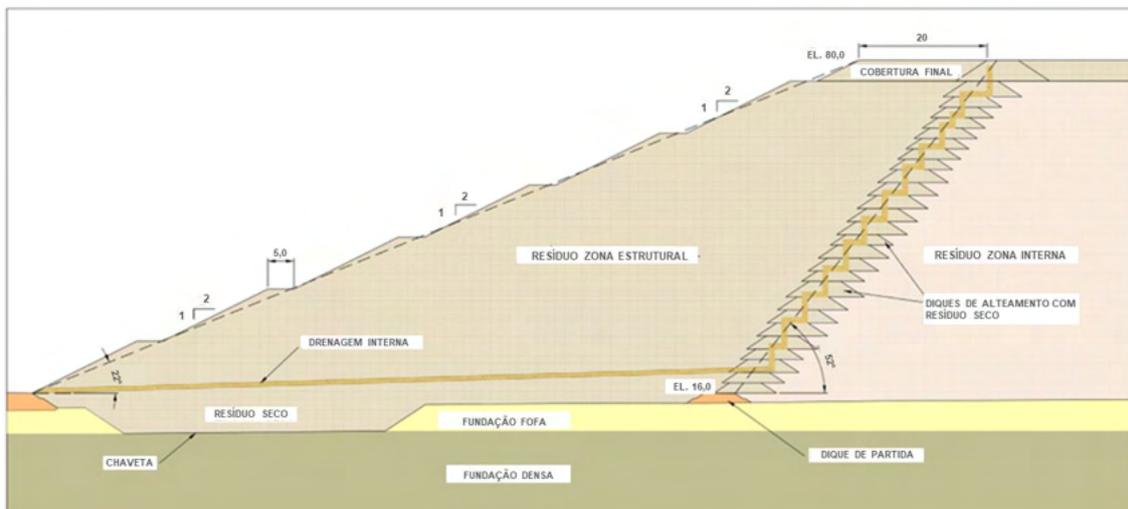
A fundação da estrutura DRS2 pode ser dividida em 3 horizontes distintos, sendo eles: horizonte superior, horizonte intermediário e horizonte inferior.

O horizonte superior é caracterizado por siltes arenosos de coloração variada, e pode ser dividida em subhorizontes superior e inferior, sendo o primeiro constituído por siltes arenosos de compacidade fofa e NSPT menores que 5 golpes. O subhorizonte inferior apresenta características semelhantes ao superior (compacidade fofa e coloração amarelada), porém com valores de NSPT variando entre pouco a medianamente compacto, variando entre 5 a 16 golpes.

O horizonte intermediário é constituído por camada arenosa de coloração variada e NSPT com grande variação, desde 10 golpes até o impenetrável (areias mais finas). Apresenta granulometria variando de fina a grossa e camada com espessura de 5 a 18 metros.

Sotoposto ao horizonte intermediário, encontra-se o horizonte inferior, que se caracteriza por apresentar textura silto-arenosa a areno-siltosa, coloração varada e compacidade rija a dura (NSPT variando entre 47 a 60 golpes).

A Figura 5.6 apresenta a seção típica da área de estudo.

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**


**Figura 5.6 – Seção transversal típica do DRS2 (Fonte: RT-469137-54-G-0002)**

### 5.3 PLATAFORMA DA PILHA DE RETOMADA DO RESÍDUO E CÉLULA DE CONTINGÊNCIA

A plataforma da pilha de retomada de resíduo para disposição no DRS2 foi projetada na EL. 16,0 m, com área em planta de cerca de 49.900 m<sup>2</sup>.

A Célula de Contingência foi projetada para receber resíduo em condições de umidade extremamente elevadas. Tendo em vista que elevada umidade impossibilitaria a sua disposição por meio de espalhamento com trator de esteiras. Foi prevista crista na EL. 16,0 m e fundo com elevação variável em torno da EL. 11,0 m, área em planta de cerca de 48.500 m<sup>2</sup>, taludes de montante com inclinação 1V:1,5H e volume de armazenamento de aproximadamente 199.483 m<sup>3</sup> de resíduo “super úmido”. A Célula de Contingência é apresentada na Figura 5.7.



**Figura 5.7 – Célula de Contingência**

#### **5.4 CANAIS DE CONTORNO E BACIAS DE CONTROLE (BC 201 E BC 202)**

O sistema de proteção e condução das águas pluviais do DRS2 é formado por dois canais de contorno associados a duas bacias de controle denominadas BC 201 e BC 202.

Conforme memorial descritivo (MD-3541-54-G-096), em função dos estudos hidrogeológicos obtidos da área, foi definido que a cota de escavação do fundo das Bacias de Controle (BC 201 e BC 202) seria na El. 9,0 m.

O canal implantado adjacente ao reservatório de resíduos, denominado canal de contenção de sedimentos, apresenta cerca de 15m de largura da base, taludes com inclinação de 1V:1,5H, e fundo na elevação 11,0m (Figura 5.8). Tem como objetivo

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**

conter os sedimentos provenientes da drenagem da pilha, que porventura sejam carreados para o canal.



**Figura 5.8 – Canal de contorno adjacente ao DRS2**

O segundo canal (canal de adução das bacias), adjacente ao canal de contenção de sedimentos, possui cerca de 3m de largura de base, taludes com inclinação de 1V:1,5H, e fundo na elevação 10,5m. Contorna toda a área do depósito e tem como objetivo receber os efluentes a partir do canal de contenção de sedimentos e conduzi-los até as bacias de controle BC 201 e BC 202, de onde o efluente é bombeado para a estação de tratamento.

O controle do fluxo de efluente do depósito para os canais e bacias é feito através de extravasores distribuídos ao longo dos diques de contorno.

**AValiação DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**

A bacia de controle BC 201 tem uma área de cerca de 34.585 m<sup>2</sup> de fundo, taludes 1V:1,5H, crista na elevação 15,50 m e fundo na elevação 9,00 m. Possui um volume total de 258.129 m<sup>3</sup>. Já a BC 202 tem uma área de cerca de 65.301 m<sup>2</sup> de fundo, taludes 1V:1,5H, crista na elevação 15,50 m e fundo na elevação 9,00 m, perfazendo um volume total de 463.201 m<sup>3</sup>.

A partir das bacias de controle o efluente é bombeado para a estação de tratamento.

**5.5 DIQUE DE CONTORNO**

O dique de contorno do reservatório é utilizado como acesso de operação. Apresenta borda interna da crista na El. 16,0 m, largura da crista de 13,0 m, com inclinação para as duas laterais.

**5.6 DIQUE ENTRE CANAL DE CONTENÇÃO DE SEDIMENTOS E CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE**

O dique entre canal de contenção de sedimentos e canal de adução das bacias de controle possui crista na El. 16,0, com 5,8 m de largura e inclinação para dentro do canal de contenção de sedimentos. Taludes de montante e jusante com inclinação de 1V:1,5H. Apresenta revestimento de laterita na crista.

**5.7 DIQUE EXTERNO DO CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE**

O dique externo do canal de adução das bacias de controle possui crista na El. 15,5, com 7,8 m de largura e inclinação para dentro do canal. Taludes de montante e jusante com inclinação de 1V:1,5H. Apresenta revestimento de laterita na crista. A Figura 5.9 indica a localização de cada um dos diques supracitados.



**Figura 5.9 – Identificação do dique externo, dique entre canal de adução e canal de contenção de sedimentos e dique de contorno e acesso de operação.**

### **5.8 DIQUE EXTERNO DAS BACIAS DE CONTROLE (BC 201 E BC 202)**

O dique externo das bacias de controle possui crista na El. 15,5, com 5,8 m de largura e inclinação para dentro das bacias. Taludes de montante e jusante com inclinação de 1V:1,5H.

### **5.9 DIQUE DE CONTENÇÃO DA ÁREA ÚMIDA (INFRAESTRUTURA INICIAL)**

O dique de contenção da área úmida apresenta crista na EL. 16,0 m, com 5,9 m de largura e extensão de cerca de 2.038,37 m. Possui revestimento de laterita na crista, bem como 6 aberturas com 3m de largura na base que servem de extravasores.

### 5.10 DIQUE CENTRAL E FINGERS (INFRAESTRUTURA INICIAL)

Foram projetados dique central e fingers dentro da área destinada à disposição de resíduo úmido, para possibilitar o acesso de caminhões que levarão o resíduo a ser disposto nesta área. Os Fingers foram implantados nos bordos direito e esquerdo do dique central, sendo nomeados 1D e 1E e 2D e 2E. Na ponta dos fingers e em alguns pontos do dique central foram previstas áreas circulares para manobra dos caminhões, posicionamento e lançamento do resíduo para dentro do reservatório. Nestas áreas circulares, foram previstas rampas para a descida de tratores de esteira que promovem o espalhamento do resíduo.

O dique central possui cota de crista variável entre as EL. 16,0m e EL. 20,21 m, com 15,4 m de largura e extensão de cerca de 620,0 m. Os *fingers* possuem cota de crista variável entre a EL. 15,7 m e a EL. 19,8 m, com 15,4 m de largura e extensão total de cerca de 647,0 m. O revestimento na crista do dique central e fingers ficou a cargo da ALUNORTE e não é apresentado no memorial descritivo (MD-3541-54-G-096).

Durante a visita técnica, foi possível identificar a conformação inicial do Dique central e fingers (infraestrutura inicial do DRS2), estando apresentada na Figura 5.10.



**Figura 5.10 – Dique central e fingers – infraestrutura inicial do DRS2**

### **5.11 SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO**

O DRS2 conta com um sistema simples de barreira impermeabilizante, constituído por geomembrana PEAD com espessura de 1,5 mm, nos taludes de montante e fundo do reservatório, canais, bacias, plataforma da pilha de retomada e na crista dos diques de contorno e dique de contenção da área úmida.

Para proteção da geomembrana quanto ao puncionamento por qualquer material pontiagudo que possa existir nas áreas de aterro e de terreno natural que ela cobrirá, nos taludes foi instalado, sob a geomembrana, geotêxtil não tecido de gramatura igual a 400g/m<sup>2</sup> e, no fundo do reservatório, das bacias e do canal de contenção de sedimentos, a geomembrana estará sobre uma camada de 7,0 cm de areia.

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**

Na crista do dique de contorno, que servirá de acesso ao reservatório do DRS2, onde haverá trânsito de veículos, como caminhões carregados de resíduo, foi aplicada geomembrana texturizada nas duas faces, que proporciona maior atrito na interface com o solo, e sobre ela uma camada de 1 m de solo sem pedregulhos, de forma a evitar que o tráfego promova danos à geomembrana. Sobre a camada de solo foi projetado a aplicação de asfalto. Durante a visita técnica esse último ainda não havia sido executado.

De acordo com o memorial descritivo, na crista do dique de contenção da área úmida a configuração é a mesma, exceto que a espessura da camada de solo sem pedregulhos sobre a impermeabilização seria de 0,75 m e logo acima uma camada de 0,25 m de espessura de laterita.

Na área da plataforma da pilha de retomada, também foi utilizada geomembrana texturizada nas duas faces, e sobre ela uma camada de 0,75 m de solo sem pedregulhos, com 0,25 m de laterita por cima, tendo sido delimitada pela ALUNORTE a área asfaltada.

Na área do reservatório do DRS2 onde será disposto o resíduo em período de estiagem também foi prevista a aplicação de geomembrana de 1,5 mm de espessura, texturizada nas duas faces.

Nos taludes de jusante do canal de contorno e bacias poderá ser aplicada geomembrana de 1,0 mm ou vegetação de grama em placa, a ser definido pela ALUNORTE

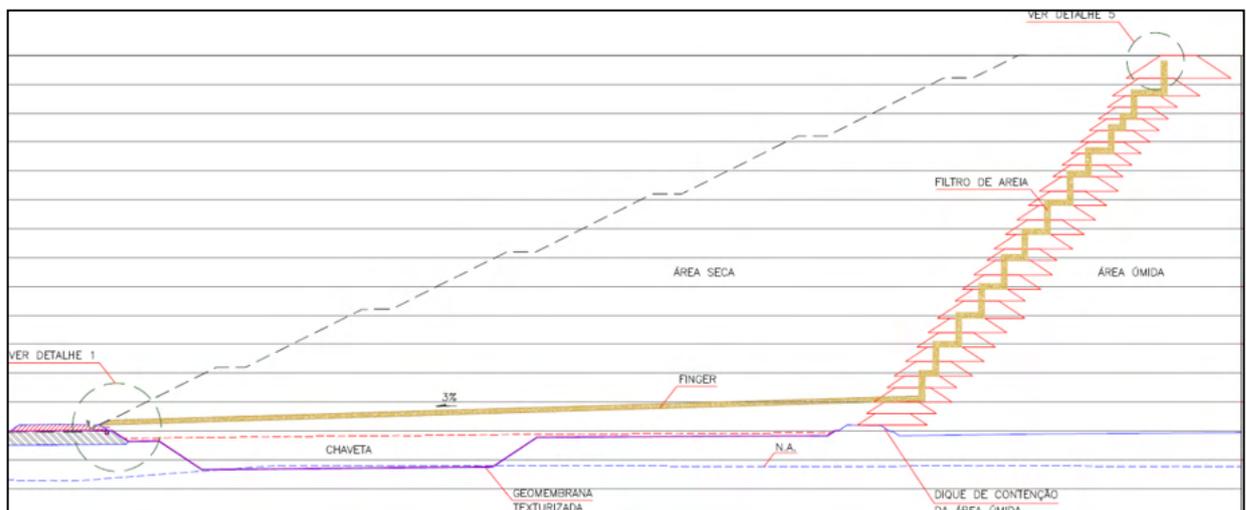
## **5.12 DRENAGEM INTERNA DA PILHA**

Segundo o memorial descritivo, o sistema de drenagem interna foi previsto ser implantado quando a pilha de resíduo atingir a elevação 16 m, ou seja, a borda do dique de contorno. Consiste em drenos transversais, espaçados de 10 m entre si, de seção retangular de 0,60 m por 0,40 m de seixo rolado, envolto por geotêxtil e uma camada

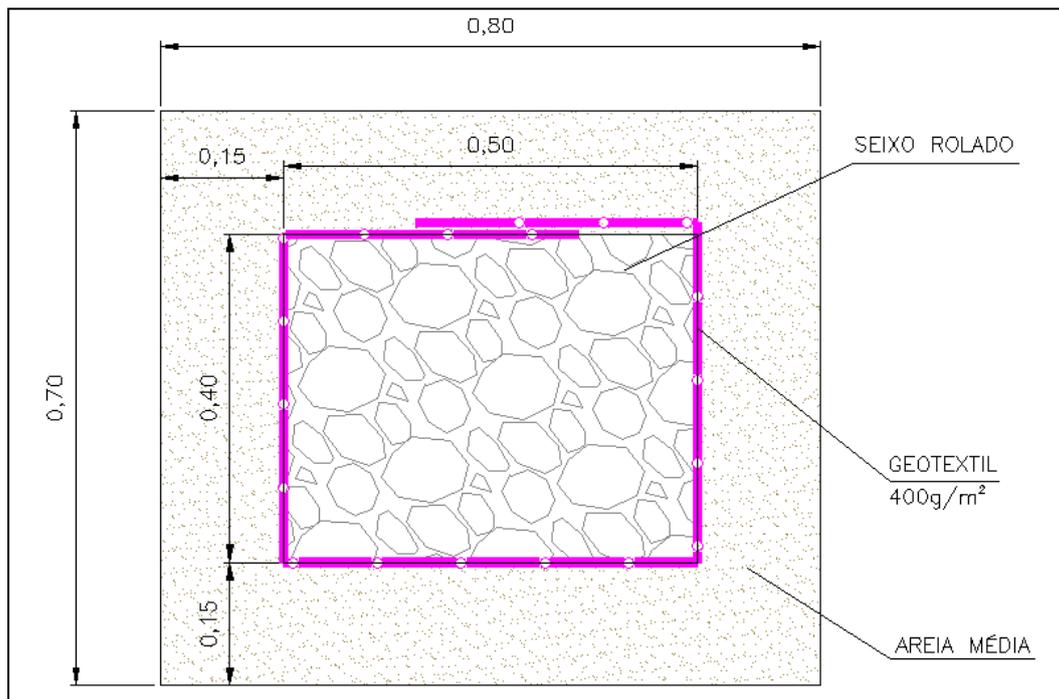
**AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**

de 0,15 m de areia média. A função dos drenos é conduzir o fluxo de água interno da pilha, da área úmida até a crista do dique de contorno da área seca, com declividade de 2%, evitando assim a saturação da zona estrutural da pilha. A água proveniente dos drenos é coletada pela canaleta do dique de contorno, de onde segue o fluxo de efluentes até as bacias de controle.

A Figura 5.11 e Figura 5.12 ilustram a seção e detalhe típicos dos drenos.



**Figura 5.11 – Seção Típica – Drenagem interna da pilha (documento D1-3541-54-G-163)**

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**


**Figura 5.12 – Detalhe Típico – Drenos (D1-3541-54-G-163)**

### 5.13 INSTRUMENTAÇÃO

Para permitir o monitoramento das condições geotécnicas da pilha de resíduo filtrado do DRS2, foi prevista a instalação de instrumentação geotécnica, a saber:

- 20 Inclinômetros: aplicável para medição de deslocamentos horizontais em profundidade;
- 07 Piezômetros Casagrande e 19 piezômetros elétricos de corda vibrante: medição da poropressão na fundação e no interior da pilha durante a construção da mesma;
- 10 Marcos superficiais: monitoramento dos deslocamentos horizontais e verticais na superfície.

### 5.14 SISTEMA EXTRAVASOR

O sistema de controle das águas no interior do DRS2, até a El. 16m (Fase 1) é desenvolvido de 2 maneiras distintas, a saber:

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**

1. Por meio de sistema de bombeamento – corresponde ao controle das águas no interior do DRS2 abaixo da El. 14,0 m (elevação da soleira dos extravasores), ou seja, no trecho em que não é possível o escoamento das águas do interior do depósito pelos extravasores para os canais/bacias;
2. Por meio de extravasores – corresponde ao controle das águas no interior do DRS2 entre a El. 14,0 m a 16,0 m.

No DRS2 - Fase 1, foram projetados 22 extravasores em concreto armado no dique de contorno, com soleira na El. 14,00 m (planta de locação dos extravasores: D1-3541-54-C-039).

Entre o canal de contenção de sedimentos e o canal de adução é prevista a implantação 4 extravasores tipo galeria, controlado por stop-logs

Entre o canal de adução e as bacias de controle foram previstos 2 extravasores tipo galeria, controlado por stop-logs, localizados nos seguintes pontos:

- Canal de adução ligando à BC 201;
- Canal de adução ligando à BC 202;

Para facilitar a operação dos stop logs nos extravasores (soleira El. 14,00 m), foram projetados pórticos com dispositivo de içamento a serem instalados em cada extravasor.

O controle do Nível de água na Célula de Contingência é feito por meio de bombeamento, abaixo da elevação 14 m, e por meio de extravasor em concreto dotado de stop logs entre as elevações 14 m e 16 m.

### 5.15 GALERIA DE TRANSPOSIÇÃO DO CANAL DE ADUÇÃO

Na região da entrada para o DRS2 de acordo com descritivos documentos consultados, foi implantada uma galeria em concreto com dimensões internas de 3,0 x 4,0m para transposição do canal de adução.

### 5.16 DRENAGEM SUPERFICIAL

Na concepção do sistema de drenagem superficial foram utilizadas canaletas retangulares em concreto, sendo designadas por CR (canaleta retangular), na área da plataforma, e por CRP (canaleta retangular periférica) no pé da pilha a ser construída.

A drenagem superficial periférica da pilha de resíduo desemboca nos extravasores (rápidos), enquanto a drenagem superficial da plataforma desemboca na Célula de Contingência ou no canal de adução, em função da localização do dispositivo de drenagem.

### 5.17 PROJETO AS BUILT

O relatório As Built/Como Construído elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria LTDA (RT-3541-54-G-360 R01, revisão 01 de julho de 2018) foi elaborado após a implementação da primeira fase do DRS2 e apresenta pequenas divergências entre o projeto e o que foi executado. Ressalta-se que até o presente momento, apenas a primeira fase do DRS2 foi implementada. Segundo o relatório *As Built* (documento RT-3541-54-G-360 R01), não foram identificados documentos que evidenciem as seguintes ações durante a execução do projeto:

- Escavação e remoção de material fofo, nas áreas que posteriormente receberam o aterro dos diques;
- Escavação e remoção de material fofo, na região da chaveta.
- Ensaios de caracterização de resistência do concreto moldado in loco, e atualização de cotas, medidas etc., das estruturas de concreto dos extravasores.

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**

- Execução de camada de geotêxtil e tapete de areia sob a geomembrana.

Entretanto, no documento “considerações sobre o ‘Como Construído’ da infraestrutura inicial do DRS2- Fase 1” (RT-3541-54-G-451 R01), é informado que as mudanças do projeto foram ajustes de execução por decorrência de necessidades identificadas durante a implantação, concluindo que “As obras executadas para a construção da estrutura inicial de disposição do DRS2 – Fase 1 atendem às exigências e premissas estabelecidas em projeto, tornando o depósito apto para disposição de resíduos”.

## **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 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 B), objeto desse relatório é reproduzida a seguir.

De modo a verificar o 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, foram avaliadas as memórias de cálculo que subsidiaram as decisões técnicas em relação ao teor de umidade e grau de compactação definidos para as áreas seca e úmida para o projeto do DRS2.

As memórias de cálculos apresentam o histórico de estudos realizados que subsidiaram as decisões de projeto. De maneira sucinta, na fase de projeto foram conduzidos

**AValiação DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**

estudos técnicos pela HYDRO com o auxílio de empresas projetistas e laboratórios de mecânica dos solos. Esses estudos foram divididos em testes de laboratório e testes de campo. Nos testes de laboratório foram realizados ensaios simulados a compactação de 90% e 95%PN com diferentes teores de umidade. Nessa fase, ainda estava em operação o filtro tambor, e seria necessário testar diferentes umidade também para subsidiar a decisão da faixa de operação de um novo filtro prensa a ser operado para construção do DRS2. Em fase posterior foram realizados teste de campo (aterros experimentais) com uso de equipamentos de compactação convencional. Nesses testes foram avaliados 2 tipos de equipamentos de compactação, variado o número de passadas e umidade. Em sequência foram coletados blocos indeformados de cada pista experimental para ensaios de laboratório, especialmente para verificação da resistência ao cisalhamento através de ensaios triaxiais. Por fim, esses ensaios foram o subsídio para se conhecer a umidade de trabalho, especialmente para a zona com função estrutural e a resistência ao cisalhamento do material compactado. Esses ensaios de resistência subsidiaram a geometria definida pelo projetista.

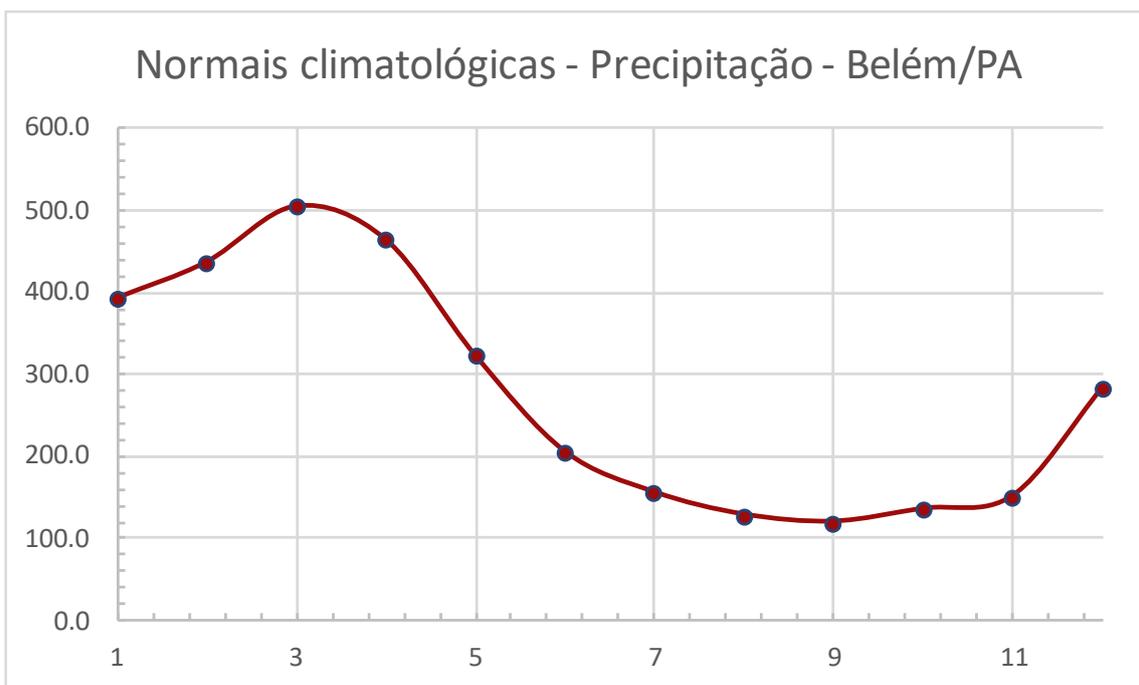
É apresentado a seguir as diretrizes estabelecidas para o projeto, uma verificação dos ensaios que subsidiaram as decisões e os ensaios que estão sendo realizado em campo na operação para garantir a qualidade a partir das diretrizes de projeto.

## **7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO**

Inicialmente é importante apresentar o regime de precipitação local para avaliar junto dos registros dos instrumentos de monitoramento da estrutura. Conforme indicado no item 5.1, a estação chuvosa do município de Barcarena é compreendida entre os meses dezembro e junho, sendo que os meses em que são identificados maiores volumes precipitados se concentram entre janeiro e maio. Visando ilustrar o regime pluviométrico local, são apresentados os dados da normal climatológica para Belém

**AValiação DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**

conforme INMET (1991-2020). Nota-se que o mês mais chuvoso é março com a precipitação média mensal de 506 mm e o menos chuvoso é setembro com a precipitação de 120 mm.



**Figura 7.1 – Normais climatológicas – precipitação – Belém/PA (INMET, 2020)**

### 7.1 DIRETRIZES ESTABELECIDAS EM PROJETO

Conforme indicado no Manual de Operação, elaborado pela PIMENTA DE AVILA, em 05/03/21, doc. OM-3541-54-G-282 R08, os resíduos são dispostos no depósito DRS2 em duas áreas distintas, em função das condições de densidade e umidade. Nos dias secos, os resíduos são dispostos na Zona Estrutural e, nos dias chuvosos, os resíduos são depositados na Zona Interna. Tais zonas foram indicadas na Figura 5.6.

De acordo com o documento, o zoneamento do DRS2 foi estabelecido levando em consideração as seguintes faixas de precipitação diária (P):

- $P < 4 \text{ mm}$  – não afeta significativamente o teor de umidade final do resíduo. Portanto, 100% do resíduo pode ser lançado na Zona Estrutural do DRS2;

## AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2

- $4 \text{ mm} < P < 10 \text{ mm}$  – 50% do resíduo não teria o teor de umidade significativamente afetado, apresentando condições de ser lançado na Zona Estrutural do DRS2. 50% dos resíduos teriam que ser depositados na Zona Interna do DRS2;
- $10 \text{ mm} < P < 25 \text{ mm}$  – afeta o teor de umidade final do resíduo. Portanto, 100% do resíduo deve ser lançado na Zona Interna do DRS2;
- $P > 25 \text{ mm}$  – afeta o teor de umidade final do resíduo. Portanto, 100% do resíduo deve ser lançado na Zona Interna do DRS2 ou temporariamente depositado na Célula de Emergência do DRS2.

Além disso, os resíduos deverão ser lançados na Zona Interna quando:

- Desvio de umidade do resíduo na frente de retomada das pilhas de transferência fora da faixa especificada (entre  $w_{ót}-3\%$  e  $w_{ót}+4\%$ .);
- Problemas nos acessos em direção à Zona Estrutural, tais como, de trafegabilidade, visibilidade ou qualquer outro, que prejudique, ou impossibilite, o transporte do resíduo até a Zona Estrutural;
- Problemas de excesso de umidade do resíduo (Desvio de umidade  $\geq 4\% w_{ót}$ ), trafegabilidade, visibilidade, ocorrência de chuva forte ou qualquer outro problema, a critério do supervisor de área, que prejudique, ou impossibilite, a disposição na Zona Estrutural.

O Manual de Operação (doc. OM-3541-54-G-282 R08) indica que a compactação deve ser realizada de modo sistemático, ordenado e contínuo, de modo a garantir, na zona estrutural, o grau de compactação de 95% em relação ao ensaio Proctor Normal e, na zona úmida, o grau de compactação de 90% em relação ao ensaio Proctor Normal.

De acordo com o Manual de Operação (doc. OM-3541-54-G-282 R08), o controle de compactação é realizado pelo método de “Hilf”, com execução Topo e Base, de modo a ensaiar toda a profundidade da camada compactada, e o controle de umidade é

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**

realizado com a retirada de cápsulas em todos os pontos de ensaios de compactação, registrando também a espessura da camada.

Na zona Estrutural, o controle de execução deve atender aos seguintes critérios:

- Espessura de material solto de 0,30 m;
- Grau de Compactação mínimo de 95% do Proctor Normal;
- Desvio de umidade do material entre  $w_{ót}-3\%$  e  $w_{ót}+4\%$ .

Nesta zona, deve-se realizar pelo menos um ensaio para determinação do grau de compactação e o desvio de umidade para cada praça incorporando duas faixas, por camada compactada. Também se deve realizar ensaios nas junções entre zonas compactadas manualmente e por rolo, como nas proximidades dos instrumentos de monitoramento, e demais locais onde seja necessário, a critério do Supervisor de Área.

Na Zona Interna, o controle de execução é menos rigoroso e o critério para a rejeição das camadas dispostas é a trafegabilidade dos equipamentos envolvidos na disposição. Neste sentido, os resultados dos ensaios não são determinantes para a reprovação de camadas executadas. Nesta zona, deve-se realizado ao menos 1 ensaio de determinação do grau de compactação e desvio de umidade para cada setor, por camada compactada.

## **7.2 REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE LABORATÓRIO**

No ano de 2015, a GEOMECÂNICA ENGENHARIA realizou ensaios geotécnicos de laboratório realizados sobre as amostras de resíduo de bauxita, coletadas na saída do filtro tambor procedentes da Mineração Paragominas (MPSA) e da Mineração Rio do Norte (MRN), com o objetivo de determinar as características e parâmetros geotécnicos do resíduo oriundo do filtro tambor, simulando diferentes condições de grau de compactação e umidade esperadas de se obter em campo na compactação do resíduo desaguado por filtro prensa na área do Depósito de Resíduos DSR2.

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**

De acordo com o Relatório de Ensaios Geotécnicos de Laboratório no Resíduo do Filtro Tambor, elaborado pela GEOMECÂNICA em 2015, doc. RT-5186-54-G-001, os ensaios de caracterização e compactação foram realizados sobre amostras deformadas, de procedência da MPSA e MRN, e sobre uma amostra resultante da sua mistura. A mistura foi realizada na proporção de 72,3% de resíduo gerado pela bauxita proveniente da MPSA com 27,7% de resíduo identificado como MRN. A Tabela 7.1 apresenta as misturas e grau de compactação de cada amostra.

**Tabela 7.1 – Condição da moldagem das amostras (RT-5186-54-G-001, GEOMECÂNICA, 2015)**

<b>MISTURA 72,3% MPSA + 27,7%MRN</b>	<b>UMIDADE</b>	<b>GRAU DE COMPACTAÇÃO (GC)</b>
1	wót	95%
2	wót + 6%	90%
3	wót + 2%	95%
4	wót + 4%	90%
5	wót + 2%	90%
6	wót	90%
7	wót - 2%	95%
8	wót + 4%	95%

Nesta campanha, foram realizados os seguintes ensaios geotécnicos de laboratório:

- 02 – Determinações de umidade natural;
- 06 – Determinações de Densidade Real dos Grãos;
- 06 – Ensaios de Granulometria completa com uso de defloculante;
- 06 – Ensaios de Granulometria completa sem uso de defloculante;
- 06 – Determinações de Limites de consistência;
- 07 – Compactação Proctor Normal;
- 08 – Ensaios de Adensamento Oedométrico;
- 08 – Ensaios de permeabilidade de carga variável;
- 08 – Envoltórias para o ensaio Triaxial CIU saturado (4 cp's);
- 08 – Envoltórias para o ensaio Triaxial CIU não saturado (4 cp's);
- 08 – Envoltórias para o ensaio Triaxial UU saturado (3 cp's);

## AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2

- 08 – Envoltórias para o ensaio Triaxial UU não saturado (4 cp's);
- 06 – Envoltórias para o ensaio Triaxial CID saturado (4 cp's);
- 48 – Ensaios de Cisalhamento Direto;
- 08 – Ensaios Triaxiais PN;
- 06 – Ensaios DSS (*Direct Simple Shear*) Estático.

Para a execução dos ensaios triaxiais não drenados, saturados e não saturados, ensaios de permeabilidade, ensaios de adensamento e ensaios PN foi necessário moldar corpos de prova a partir da mistura das amostras nas proporções indicadas, simulando oito condições de grau de compactação e umidade. No caso dos ensaios de cisalhamento direto (DSS) e triaxial drenado, foram moldados corpos de prova apenas para seis condições de grau de compactação e umidade, sendo excluídas as condições referentes à umidade  $w_{ót}-2\%$  e  $w_{ót}+6\%$ . Conforme indicado no relatório da GEOMECÂNICA (2015), o laboratorista teve dificuldade em realizar a moldagem dos corpos de prova para condição referente à umidade e  $w_{ót}+6\%$ .

Além desta campanha, a GEOMECÂNICA realizou ensaios geotécnicos de laboratório em amostras deformadas e indeformadas, coletadas na pista experimental construída por meio de compactação do resíduo do filtro tambor do DRS1, para a simulação da disposição no DRS2. O objetivo desses ensaios foi determinar as características e parâmetros geotécnicos do resíduo oriundo do filtro tambor, simulando as condições de disposição do resíduo do filtro prensa na área do Depósito de Resíduos DSR2.

De acordo com o Relatório de Ensaios Geotécnicos de Laboratório nas Amostras Coletas na Pista Experimental, elaborado pela GEOMECÂNICA EM 2015, doc. RJ-5640/020 foi construída uma pista experimental sob oito condições de compactação. Para cada uma delas, foram coletas duas amostras indeformadas e duas amostras deformadas. A Tabela 7.2 apresenta as amostras coletadas para cada uma das pistas experimentais.

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AValiação DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2</b>		

**Tabela 7.2 – Condição da moldagem das amostras (RJ-5640/020, GEOMECÂNICA, 2015)**

TESTE	CONDIÇÃO DE COMPACTAÇÃO	Nº DE PASSADAS	DATA DA COLETA	IDENTIFICAÇÃO DO BLOCO
1	Wót, com rolo compactador pé de carneiro VAP-70	10	12/12/14 13/12/14	1, 1A
2	Wót, com trator de esteira D-61 da Komatsu	12	13/12/14 14/12/14	2, 2A
3	Wót-2%, com rolo compactador pé de carneiro VAP-70	12	16/12/14 17/12/14	3, 3A
4	Wót-2%, com trator de esteira D-61 da Komatsu	8	17/12/14	4, 4A
5	Wót+2%, com trator de esteira D-61 da Komatsu	8	18/12/14	5, 5A
6	Wót+2%, com rolo compactador pé de carneiro VAP-70	6	17/12/14 18/12/14	6, 6A
7	Wót+4%, com trator de esteira D-61 da Komatsu	12	19/12/14	7, 7A
8	Wót+6%, com trator de esteira D-61 da Komatsu	12	20/12/14	8, 8A

Nesta campanha, foram realizados os seguintes ensaios geotécnicos de laboratório:

- 16 – Determinações de umidade natural;
- 08 – Determinações de Densidade Real dos Grãos;
- 08 – Ensaios de Granulometria completa com uso de defloculante;
- 08 – Ensaios de Granulometria completa sem uso de defloculante;
- 08 – Determinações de Limites de consistência;
- 08 – Compactação Proctor Normal;
- 08 – Ensaios de Adensamento Oedométrico;
- 08 – Ensaios de permeabilidade de carga variável;
- 08 – Envoltórias para o ensaio Triaxial CIU saturado (4 cp's);
- 08 – Envoltórias para o ensaio Triaxial CIU não saturado (4 cp's);
- 08 – Envoltórias para o ensaio Triaxial UU saturado (3 cp's);
- 08 – Envoltórias para o ensaio Triaxial UU não saturado (4 cp's);
- 08 – Ensaios Triaxiais PN.

Os parâmetros geotécnicos dos resíduos das zonas seca e úmida adotados nas análises de estabilidade, realizadas pelo Método dos Elementos Finitos e pelo Método do

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**

Equilíbrio Limite, foram estimados com base nos resultados dos ensaios de laboratório realizados pela GEOMECÂNICA em 2015, no doc. RT-5186-54-G-001. A partir dos ensaios realizados, a PIMENTA DE AVILA (2015) definiu no documento DB-3541-54-G-319 os parâmetros de resistência totais e efetivos, módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e permeabilidade saturada, resumidos na Tabela 7.3 e Tabela 7.4.

**Tabela 7.3 – Parâmetros geotécnicos dos resíduos (DB-3541-54-G-319, PIMENTA DE AVILA, 2015)**

MATERIAL	PESO ESPECÍFICO $\gamma$ (KN/M <sup>3</sup> )	PARÂMETROS EFETIVOS		PARÂMETROS TOTAIS	FONTE DOS DADOS
		COESÃO $c'$ (kPa)	ÂNGULO DE ATRITO $\phi'$ (°)	$S_u/\sigma'_v$	
Resíduo seco	18,50	6	33	0,520	RT-5186-54-G-001 (GEOMECÂNICA, 2015)
Resíduo úmido	17,50	2	32	0,362	RT-5186-54-G-001 (GEOMECÂNICA, 2015)

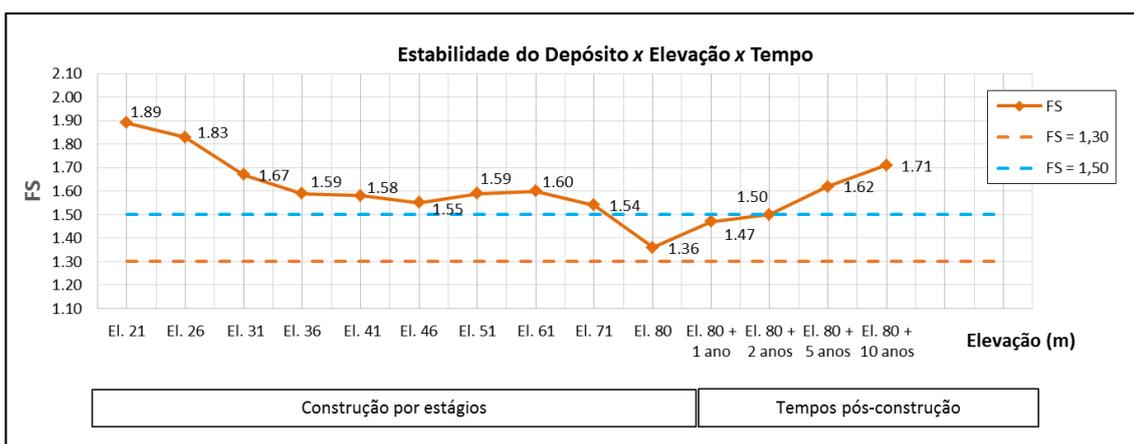
**Tabela 7.4 – Parâmetros geotécnicos dos resíduos (DB-3541-54-G-319, PIMENTA DE AVILA, 2015)**

MATERIAL	MÓDULO DE ELASTICIDADE E (KPA)	COEFICIENTE DE POISSON $\nu$	PERMEABILIDADE SATURADA $K_{SAT}$ (CM/S)	FONTE DOS DADOS
Resíduo seco	$E = 33.25\sigma' + 6636.2$	0,25	$k_v = 3E-06\sigma'_v^{-0.463}$ ( $k_v/k_h=0,1$ )	RT-5186-54-G-001 (GEOMECÂNICA, 2015)
Resíduo úmido	$E = 36.26\sigma' + 898.74$	0,25	$k_v = 2E-05\sigma'_v^{-0.778}$ ( $k_v/k_h=0,1$ )	RT-5186-54-G-001 (GEOMECÂNICA, 2015)

Conforme indicado no relatório DB-3541-54-G-319, elaborado pela PIMENTA DE AVILA em 2015, não existe uma norma brasileira específica para determinação de fatores de segurança mínimos para estruturas como o Depósito DRS2 e, portanto, foi considerado um fator de segurança mínimo operacional de 1,5 para análises com parâmetros totais durante a construção e até 10 anos após o término da construção do DRS2 e parâmetros efetivos para o longo prazo, ou seja, após a dissipação dos excessos de poropressão construtivos. Também foi considerado um fator de segurança mínimo de solicitação sísmica de 1,1 para análises com parâmetros totais.

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**

A Figura 7.2 apresenta o fator de segurança do Depósito DRS2 em função dos estágios de construção, indicando alteamentos de 5 m no depósito até atingir a última etapa construtiva, na El. 80 m. Adotando-se os parâmetros geotécnicos dos resíduos seco e úmido indicados na Tabela 7.3 e Tabela 7.4, a PIMENTA DE AVILA (2015) verificou que durante a construção do depósito, até a El. 71 m, o fator de segurança é superior a 1,5. Somente na última etapa construtiva (El. 80 m) o FS passa a ser igual a 1,36, porém volta a crescer com a dissipação das poropressões ao longo do tempo. Para as análises de solicitação sísmica, o fator de segurança mínimo de 1,1 foi atendido nas análises realizadas.



**Figura 7.2 – Resultado das análises de estabilidade para os alteamentos e após construção (DB-3541-54-G-319, PIMENTA DE AVILA, 2015)**

As análises de estabilidade serão verificadas pela FONNTES no item i) deste TAC 3.1, entretanto, a PIMENTA DE AVILA considera satisfatório o FS da última etapa de construção (EL. 80 m), pois o Depósito DRS2 vem sendo acompanhado e monitorado durante toda sua construção/operação. A PIMENTA DE AVILA (2015) acrescenta que para a condição final de construção, as análises probabilísticas que consideram a variabilidade dos parâmetros de todos os materiais, resultou em probabilidade de ruptura baixa, na ordem de  $10^{-4}$ .

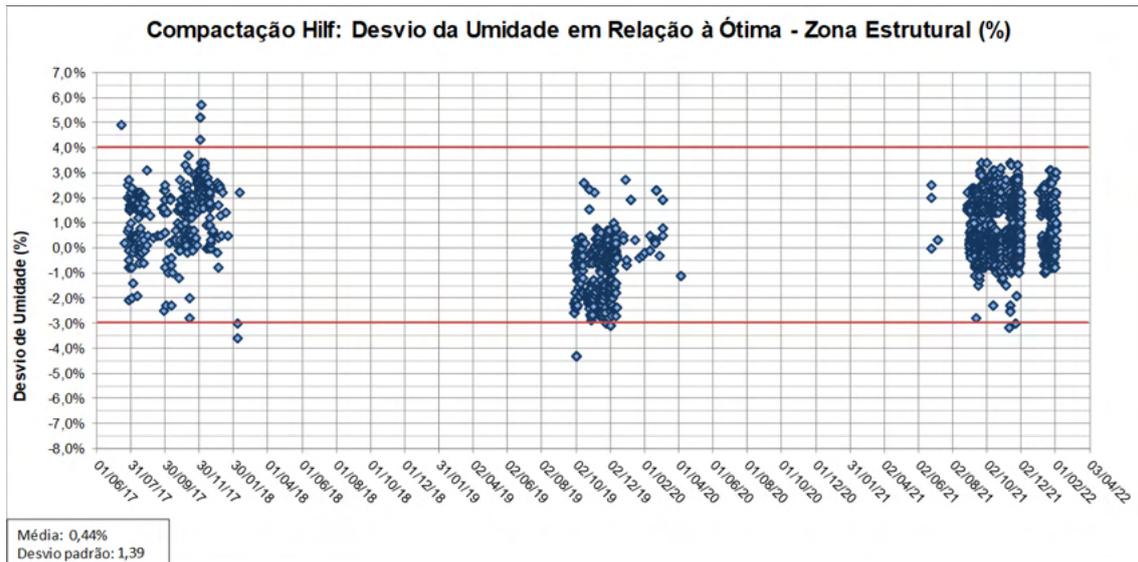
### 7.3 TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL LANÇADO

Conforme discutido no Relatório FG-2201-NHB-A-BA-RT04-00, emitido pela FONNTES em 12/04/22, referente a letra g) deste TAC 3.1, a Figura 7.3 apresenta o gráfico com o resultado do desvio da umidade em relação a umidade ótima dos 2.335 ensaios de compactação disponibilizados para a Zona Estrutural em função do tempo, no intervalo entre julho/2017 e fevereiro/2022. Já a Figura 7.4 apresenta o histograma de frequência do desvio de umidade da Zona Estrutural.

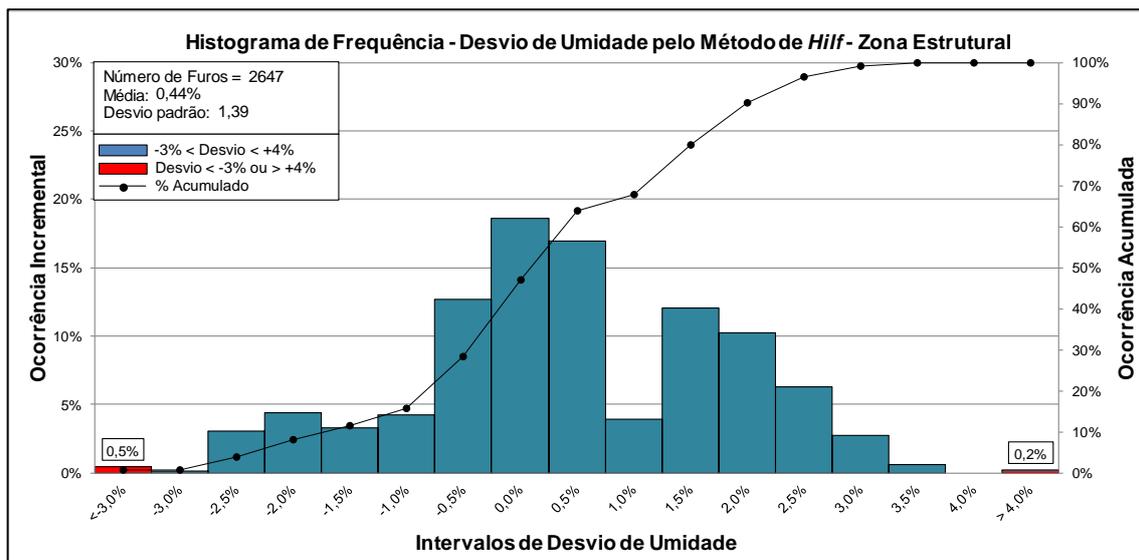
Como pode ser observado a média do desvio da umidade foi igual a  $w_{ót}+0,4\%$  e o desvio padrão foi de 1,39%. Apenas 0,5% das amostras ensaiadas apresentaram desvio de umidade abaixo de  $w_{ót}-3,0\%$  e 0,2% das amostras apresentaram desvio de umidade acima de  $w_{ót}+4,0\%$ , definidos como os limites inferior e superior, respectivamente. A HYDRO forneceu documentos que comprovaram a identificação dos desvios de umidade e retrabalho da camada de resíduo que não atingiu os critérios estabelecidos em projeto. Esses detalhes constam no relatório FG-2201-NHB-A-BA-RT04-00 elaborado pela FONNTES.

Conforme indicado no Manual de Operação, nos casos em que o desvio de umidade se encontra abaixo do que o limite inferior, a umidade deve ser corrigida previamente à compactação, com auxílio de caminhões pipa.

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**



**Figura 7.3 – Desvio da umidade em relação à Ótima – Zona Estrutural (%)**

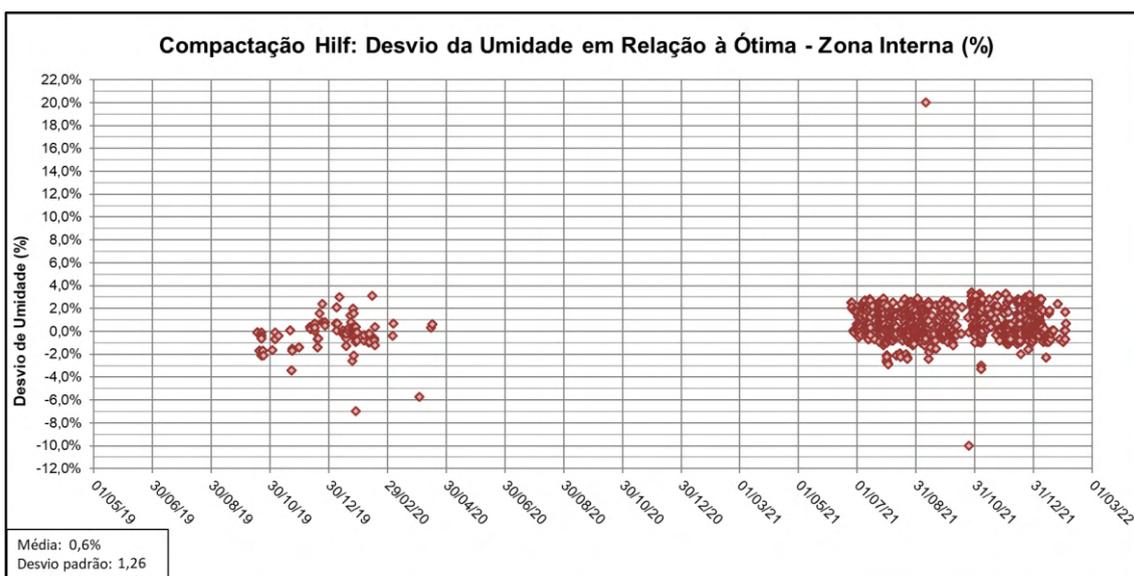


**Figura 7.4 – Histograma de Frequência do Desvio da Umidade – Zona Estrutural**

Na Figura 7.5, apresenta-se gráfico com o resultado do desvio da umidade em relação a umidade ótima dos 1.992 ensaios de compactação disponibilizados para a Zona Interna em função do tempo, no intervalo entre dezembro/2019 e fevereiro/2022.

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2**

Como pode ser verificado, a média do desvio da umidade foi igual a  $wót+0,6\%$  e o desvio padrão foi de 1,26%. Observa-se que o furo 2241, realizado no dia 10/09/21, apresentou umidade 20% acima da umidade ótima e o furo 2461, realizado no dia 25/10/21, apresentou umidade 10% abaixo da umidade ótima. No entanto, para a Zona Interna não foram definidos limites inferior e superior para o desvio de umidade.



**Figura 7.5 – Desvio da umidade em relação à Ótima – Zona Interna (%)**

## 8. CONCLUSÕES

Conforme indicado no Manual de Operação, elaborado pela PIMENTA DE AVILA, em 05/03/21, doc. OM-3541-54-G-282 R08, os resíduos são dispostos no depósito DRS2 em duas áreas distintas, em função das condições de densidade e umidade. Nos dias secos, os resíduos são dispostos na Zona Estrutural e, nos dias chuvosos, os resíduos são depositados na Zona Interna.

Além disso, os resíduos deverão ser lançados na Zona Interna quando o desvio de umidade do resíduo na frente de retomada das pilhas de transferência estiver fora da

## AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2

faixa especificada (entre  $w_{ót}-3\%$  e  $w_{ót}+4\%$ ) ou quando houver problemas de excesso de umidade do resíduo (desvio de umidade  $\geq 4\% w_{ót}$ ), trafegabilidade, visibilidade, ocorrência de chuva forte ou qualquer outro problema que prejudique, ou impossibilite, a disposição na Zona Estrutural.

O Manual de Operação (doc. OM-3541-54-G-282 R08) indica que a compactação deve ser realizada de modo a garantir, na zona estrutural, o grau de compactação de 95% em relação ao ensaio Proctor Normal e, na zona úmida, o grau de compactação de 90% em relação ao ensaio Proctor Normal.

O controle da compactação é realizado através de ensaios para determinação do grau de compactação e o desvio de umidade. Tal controle é especificado pelo projetista como mais rigoroso na Zona Estrutural do que na Zona Interna. Nessa última, o critério para a rejeição das camadas dispostas é a trafegabilidade dos equipamentos envolvidos na disposição.

Foram realizados ensaios geotécnicos de laboratório em amostras de resíduo de bauxita, coletadas na saída do filtro tambor procedentes da Mineração Paragominas (MPSA) e da Mineração Rio do Norte (MRN), e também amostras coletadas na pista experimental construída por meio de compactação do resíduo do filtro tambor do DRS1. Ambas as coletas tiveram como objetivo determinar as características e parâmetros geotécnicos do resíduo oriundo do filtro tambor, simulando as condições de disposição do resíduo do filtro prensa na área do Depósito DSR2. Na avaliação desse revisor essa foi uma simulação representativa, pois os resíduos processados são similares, a diferença do filtro tambor para o filtro prensa ao final do processo é a umidade, sendo o filtro prensa mais eficiente. Os ensaios de laboratório e testes experimentais de campo subsidiaram as tomadas de decisão de projeto em relação à umidade e ao grau de compactação da Zona Estrutural e da Zona Interna.

## AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2

Os parâmetros geotécnicos dos resíduos das zonas seca e úmida adotados nas análises de estabilidade do Projeto Detalhado do Depósito DRS2, foram estimados obtidos com base nos resultados dos ensaios de laboratório realizados pela GEOMECÂNICA em 2015, no doc. RT-5186-54-G-001, sendo realizadas análises pelo Método dos Elementos Finitos e pelo Método do Equilíbrio Limite. Na opinião desse revisor esses parâmetros devem ser verificados em campo através de ensaio de laboratório, para fins de acompanhamento se a resistência prevista está sendo alcançada. Esse detalhe está previsto no manual de operação da estrutura e é importante para o acompanhamento da operação. Em uma análise táctil visual no dia da visita técnica de campo, foi possível verificar que o material compactado está de fato com considerável resistência, simular a um aterro compactado de uma barragem.

A partir da análise dos Boletins de Controle de Compactação pelo Método de Hilf do DRS2, referentes aos intervalos de julho/2017 a fevereiro/2018, dezembro/2019 a maio/2020 e junho/2021 a fevereiro/2022, verifica-se que na Zona Estrutural, a média do desvio da umidade foi igual a  $w_{ót}+0,4\%$  e apenas 0,5% das amostras ensaiadas apresentaram desvio de umidade abaixo de  $w_{ót}-3,0\%$  e 0,2% das amostras apresentaram desvio de umidade acima de  $w_{ót}+4,0\%$ , definidos como os limites inferior e superior, respectivamente. 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 com um maior custo econômico. Por isso, quanto menor o desvio da umidade de campo em relação a ótima mais otimizado e eficiente será o processo de compactação.

No caso da Zona Interna, o grau de compactação médio obtido nos ensaios de compactação foi de 98,6%, ou seja, superior ao valor mínimo recomendado de 90% do Proctor Normal. No entanto, o valor mínimo recomendado é devido a trafegabilidade dos equipamentos envolvidos na disposição, não sendo determinantes para a

## AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2

reprovação da camada executada. Nesta Zona, a média do desvio da umidade foi igual a  $w_{ót}+0,6\%$ .

Finalmente, foi possível verificar a partir da consulta documental que apesar da zona estrutural e interna terem especificações distintas de umidade e grau de compactação, o resultado final da zona interna em termos de compactação está sendo muito similar ao da zona estrutural, com grau de compactação em torno de 98,6%PN. Ambas as zonas estão ficando mais compactas do que o mínimo recomendado em projeto.

## 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. \_\_\_\_\_. Barcarena/PA. Educação. 2010b. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- vi. \_\_\_\_\_. Barcarena/PA. Economia. 2019. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- vii. \_\_\_\_\_. Barcarena/PA. Trabalho e Rendimento. 2020. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>

## AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO MATERIAL DO DRS2

- viii. \_\_\_\_\_. Barcarena/PA. Território e ambiente. 2021. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- 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](http://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