

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 revisão do Projeto de revestimento e monitoramento dos taludes, em atendimento à letra “L” 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 REVISÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES DO DRS2

CLIENTE:



PROJETO:

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

**BARCARENA - PA**



agosto/2023

## AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES

REV.	DATA	POR	REVISÃO	APROV.	DESCRIÇÃO DE REVISÕES
0	24/06/22	BSC/RCM /RCJ	ACS/ BCN/ MV	ACS	EMISSÃO INICIAL
1	24/03/23	BSC/RCM /RCJ	ACS/ BCN/ MV	ACS	ATENDIMENTO A COMENTÁRIOS
2	03/08/23	BSC/RCM /RCJ	ACS/ BCN/ MV	ACS	APROVADO

Esta é a folha de controle de revisões deste documento. Uma breve descrição de cada revisão do documento deverá constar nesta folha. O tipo de emissão está demarcado abaixo em negrito.

**TE – TIPO DE EMISSÃO**

(A) PRELIMINAR

(E) PARA CONSTRUÇÃO

(B) PARA APROVAÇÃO

(F) CONFORME COMPRADO

**(C) PARA CONHECIMENTO**

(G) CONFORME CONSTRUÍDO

(D) PARA COTAÇÃO

(H) CANCELADO

## SUMÁRIO

<b>GLOSSÁRIO .....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>2</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</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 .....	30
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>34</b>
7.1 AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2 .....	34
7.1.1 <i>Desenvolvimento do Estudo</i> .....	34

## AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES

7.1.2	<i>Considerações do Estudo</i> .....	37
7.1.2.1	Monitoramento da Estabilidade Física .....	37
7.1.2.2	Monitoramento das Bacias .....	39
7.1.2.3	Considerações Sobre a Densidade de Instrumentação .....	40
7.1.2.4	Monitoramento das Águas Subterrâneas .....	41
7.2	INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DE MATERIAIS SOBRE A GEOMEMBRANA .....	42
7.2.1	<i>Desenvolvimento do Estudo</i> .....	42
7.2.2	<i>Considerações sobre a aplicação de materiais sobre a geomembrana</i> .....	43
7.3	INTERPRETAÇÃO DOS ENSAIOS PARA VERIFICAÇÃO DA ESTANQUEIDADE DA GEOMEMBRANA.....	44
7.3.1	<i>Desenvolvimento do Estudo</i> .....	44
7.3.2	<i>Considerações sobre os ensaios para verificação da estanqueidade</i> .....	46
<b>8.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>47</b>
8.1	AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM E MONITORAMENTO .....	47
8.1.1	<i>Monitoramento das águas subterrâneas</i> .....	48
8.2	INTERPRETAÇÃO DOS TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE AS GEOMEMBRANAS.....	49
8.3	CONTROLE TECNOLÓGICO DA EXECUÇÃO DAS GEOMEMBRANAS .....	50
<b>9.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>50</b>

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES</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

**AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES**

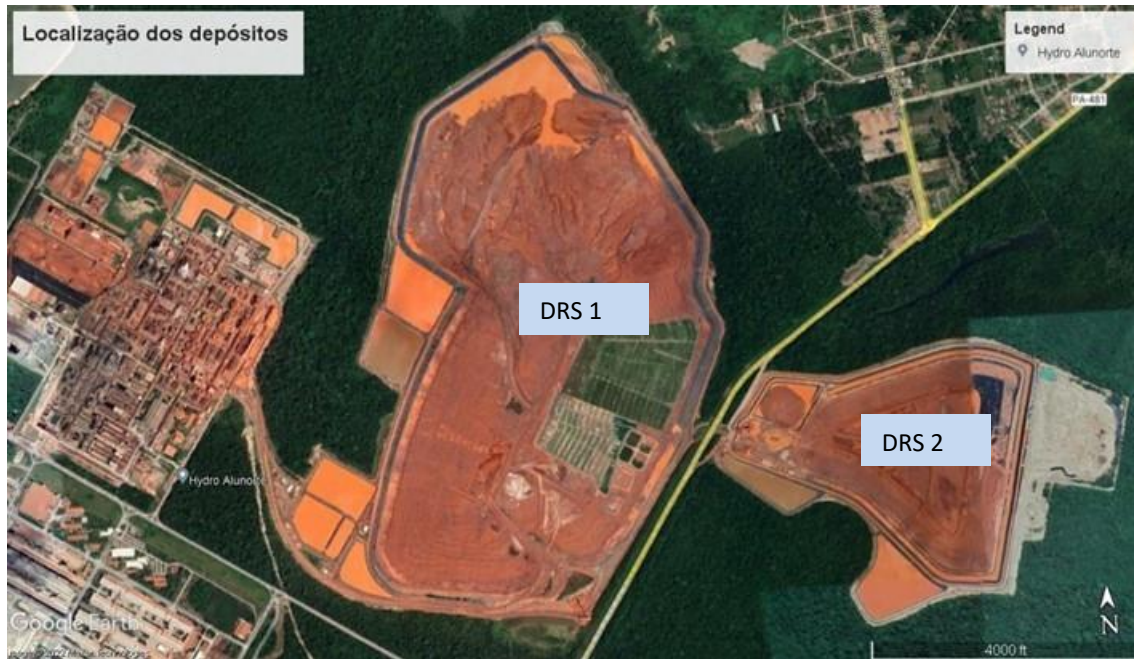
- MPF – Ministério Público Federal
- MPPA – Ministério Público do Estado do Pará
- MPSA – Mineração Paragominas
- MRN – Mineração Rio Norte
- NBR – Norma Brasileira
- NSPT – Número de golpes necessários para à cravação de amostrador de sondagem à percussão (spt), considerando apenas os 30 cm finais
-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

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES</b>		

armazenado em depósitos de resíduos sólidos (DRS1 e DRS2), apresentados na Figura 1.1.



**Figura 1.1 – Localização do empreendimento.**

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



		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES</b>		

(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;
- 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 conseqüente 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;

## AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES

- 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 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

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES</b>		

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 **L)**, relativo à Revisão do Projeto de revestimento e monitoramento dos taludes.

## 2. OBJETIVOS

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: “**L) Revisão do Projeto de revestimento e monitoramento dos taludes**”, para o depósito de resíduos DRS1.

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

*O projeto do revestimento de impermeabilização, geomembrana de PEAD, será avaliado com maiores detalhes no Item A), que corresponde ao estudo dos*

**AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES**

*projetos como um todo. O controle tecnológico da execução das geomembranas de PEAD com ensaios de campo e laboratórios serão verificados no Item O). O monitoramento dos taludes será abordado com maiores detalhes na Item D), que é exclusivo sobre instrumentação e monitoramento.*

### 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.

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

<b>CÓDIGO</b>	<b>TÍTULO DO DOCUMENTO</b>	<b>ELABORADO POR</b>	<b>DATA</b>
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
RT-3541-54-G-485	Relatório Técnico de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação referente a outubro a dezembro/2021	PIMENTA DE AVILA	Fev/2022
-	“Níveis, Bordas Livres e Elevação das Bacias DRS1_DRS2_82F_2021.xlsx	HYDRO	Fev/2022
-	NK03.01 - PM02-R0 – DRS2.xlsx	HYDRO	Fev/2022
RT-469137-54-G-0002 R003	Relatório da Inspeção de Segurança Regular do DRS2 2021/2	GEOCONSULTORIA	04/02/2022
2020.15.01_Estudo de Background Ambiental de Barcarena_LAGECO	Estudo de Background Ambiental na região de Barcarena/PA	LAGECO e IECOS	2020

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES</b>		

CÓDIGO	TÍTULO DO DOCUMENTO	ELABORADO POR	DATA
ES-3541-54-G-100 R02	Especificação técnica de recebimento, aceitação e instalação da geomembrana	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	2018

#### 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:

- 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;

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES		

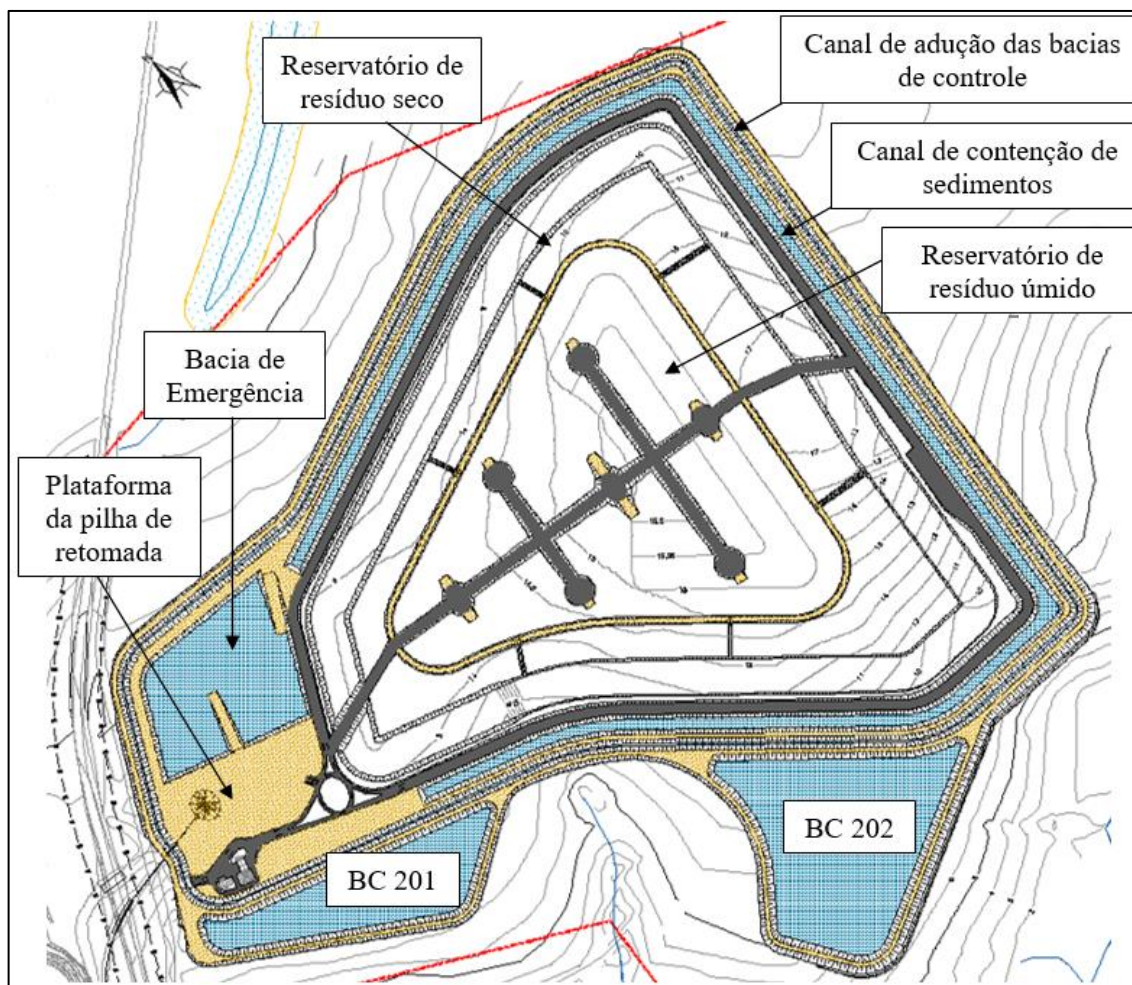
- Referências bibliográficas.

## 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.



**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 Consultoria, 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 Consultoria LTDA, documento RT-3541-54-G-360 R01, revisão 01 de julho de 2018. Ressalta-se aqui que apenas a fase 01 do DRS2 DRS2 foi executada até o momento.

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES</b>		

### 5.1 LOCALIZAÇÃO

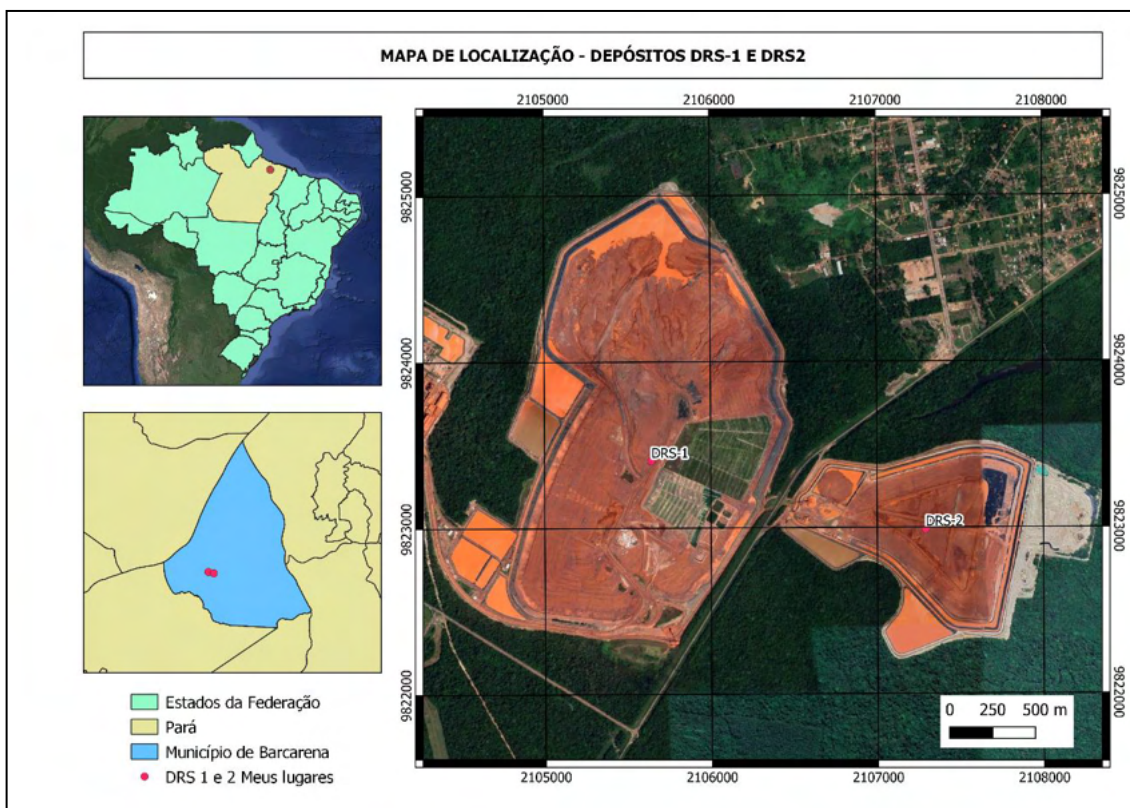
Localizado no município de Barcarena, no estado do Pará, o sistema de disposição de resíduos pertencente à ALUNORTE é composto pelos Depósitos de Resíduos Sólidos DRS1 e DRS2 e situa-se em torno das coordenadas UTM/DATUM SIRGAS 2000 754.812m E e 9.828.482m S.

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.





**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 Figura 5.3, identificam-se as comunidades Água Verde, Cabeceira Grande, Caravelas 1, Caravelas 2 Jardim das Palmeiras, Laranjal, Massarapó, Nazaré, Nestor Campos e Vila São Francisco.

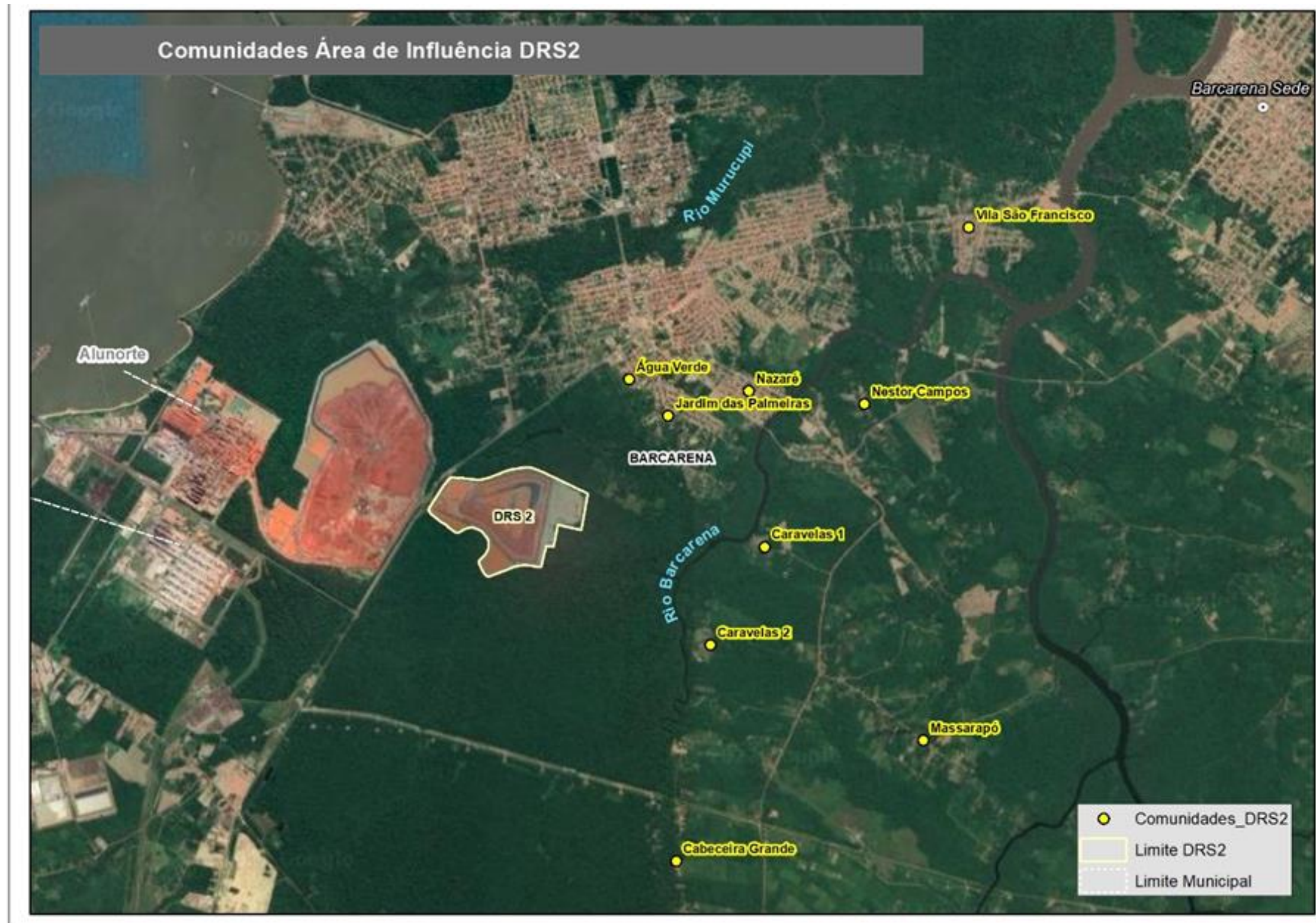


Figura 5.3 – Localização das comunidades próximas ao depósito DRS2 (Imagem fornecida pela equipe técnica da HYDRO/ALUNORTE)

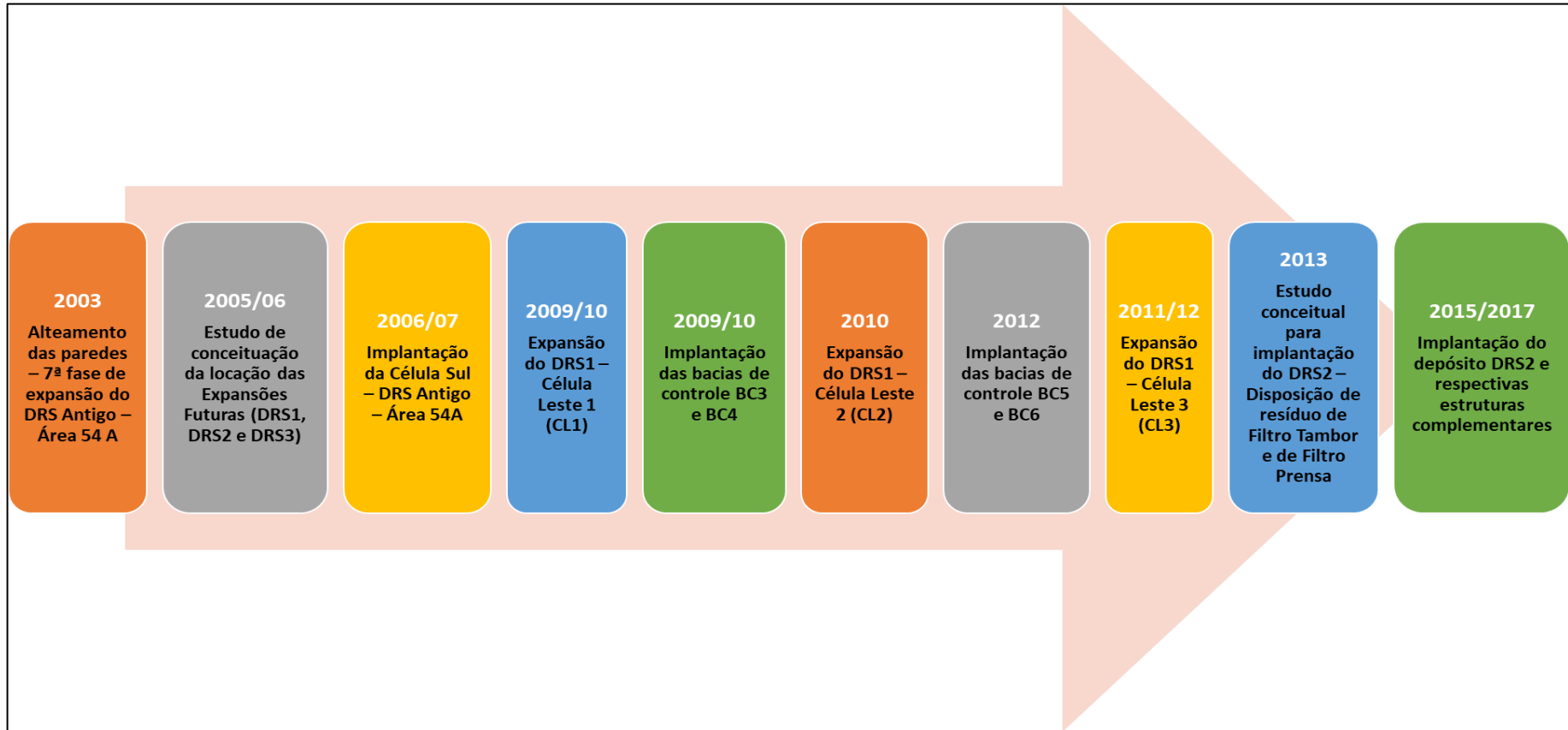
		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES</b>		

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 PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES**



**Figura 5.4 – Histórico de expansão do DRS1 e 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).

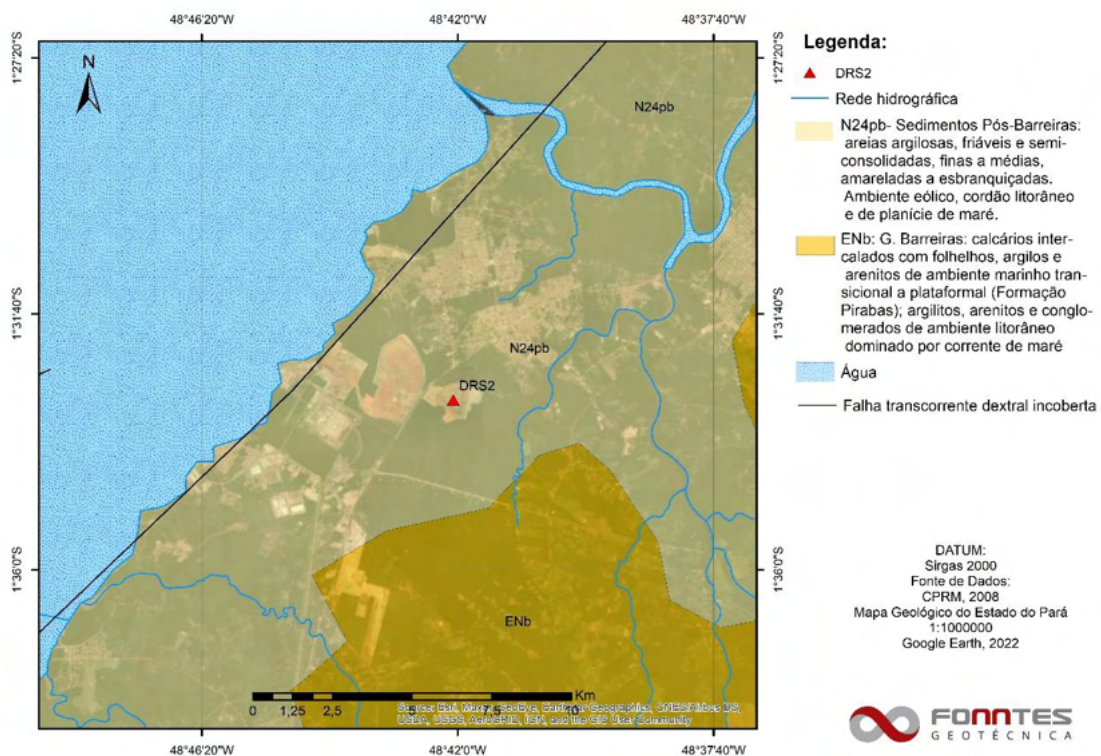
Conforme apresentado no Mapa Geológico do Estado do Pará, desenvolvido pela CPRM em 2008 (Figura 5.5), a estrutura DRS2 encontra-se sobre Sedimentos Pós-Barreiras.

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,

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. Tratam-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

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES</b>		

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

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES</b>		

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.

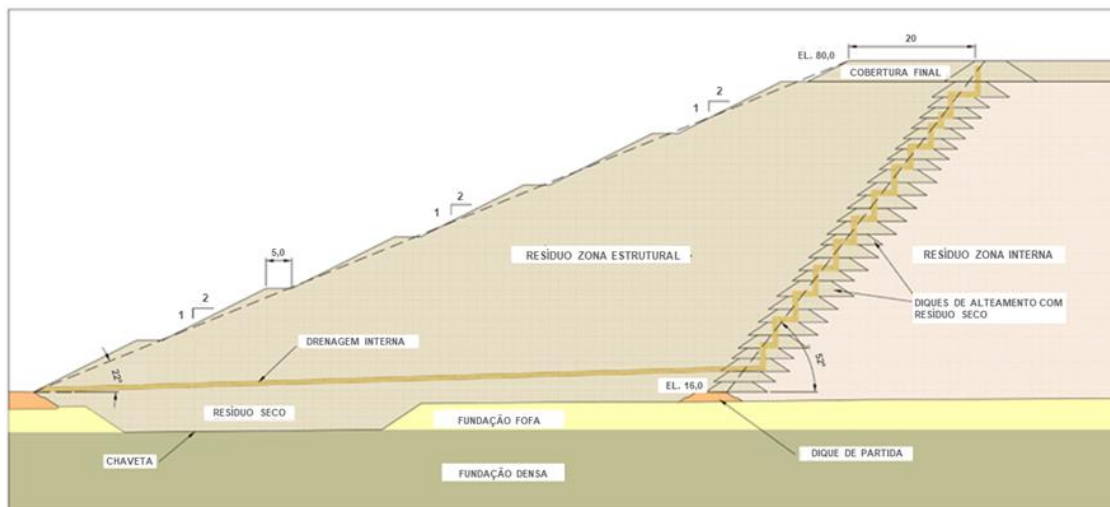
O horizonte superior é caracterizado por siltes arenosos de coloração variada, e pode ser dividida em subhorizontes superior e inferior, sendo o primeiro constituído por siltes arenosos de compactidade fofa e NSPT menores que 5 golpes. O subhorizonte inferior apresenta características semelhantes ao superior (compactidade 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 compactidade rija a dura (NSPT variando entre 47 a 60 golpes).

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





**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

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.

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 PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES**

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**

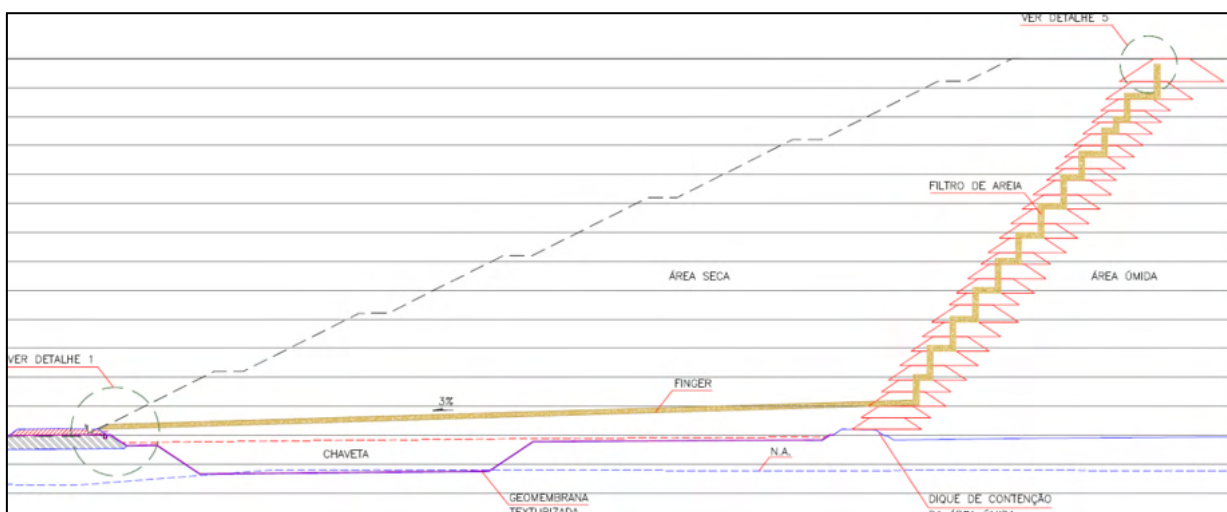
Segundo o memorial descritivo, o sistema de drenagem interna foi previsto ser implantado quando a pilha de resíduo atingir a elevação 16 m, ou seja, a borda do dique de contorno. Consiste em drenos transversais, espaçados de 10 m entre si, de seção



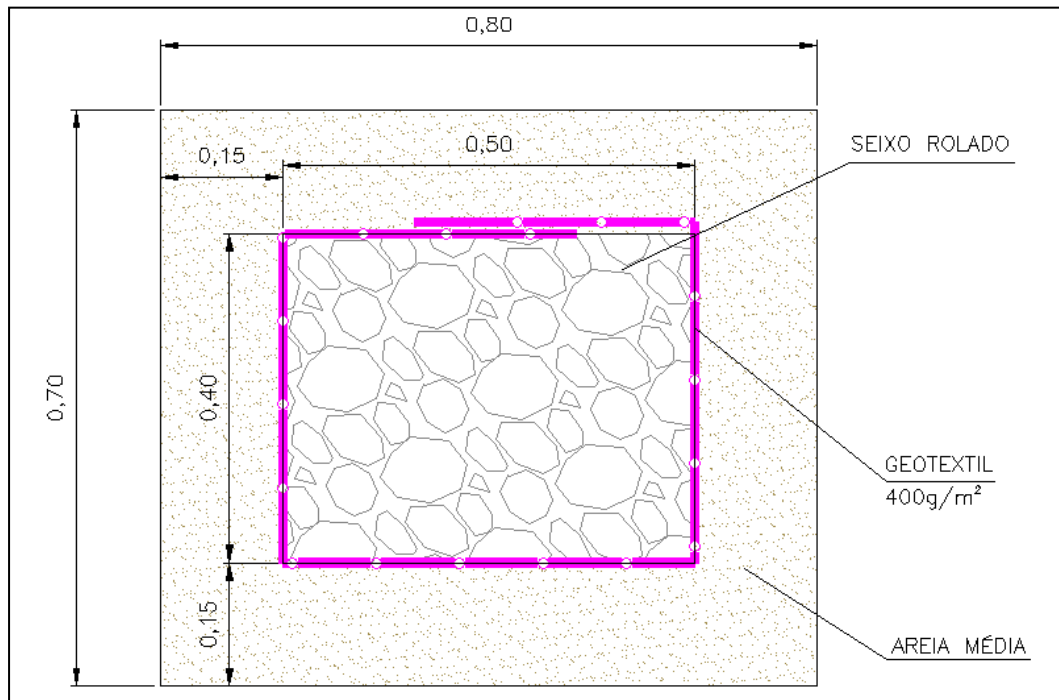
**AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES**

retangular de 0,60 m por 0,40 m de seixo rolado, envolto por geotêxtil e uma camada 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)**



**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:

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 existem 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 instalados em cada extravasor.

**AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES**

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:

## AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES

- 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.
- 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 N), objeto desse relatório, e reproduzida a seguir.

*O projeto do revestimento de impermeabilização, geomembrana de PEAD, será avaliado com maiores detalhes no Item A), que corresponde ao estudo dos*

## AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES

*projetos como um todo. O controle tecnológico da execução das geomembranas de PEAD com ensaios de campo e laboratórios serão verificados no Item O). O monitoramento dos taludes será abordado com maiores detalhes na Item D), que é exclusivo sobre instrumentação e monitoramento.*

No entanto, o texto do ofício foi escrito na fase inicial de elaboração dos relatórios da TAC 3.1 e a emissão da revisão inicial do presente relatório consistiu no 22º relatório emitidos pela FONNTES em um total de 29 relatórios. De modo a abordar os itens considerados mais relevantes para tratar o item L), fez-se necessário o ajuste dos itens de referência para a elaboração do presente relatório. Portanto, para atendimento desse item, será abordado o item N) ao invés do item A), ou seja, no presente relatório serão abordados sucintamente os seguintes itens que se referem a revestimento e monitoramento dos taludes:

- d) Análise qualitativa de instrumentação com vistas a determinação da densidade de drenagem, a fim de aferir o comprometimento das águas superficiais e subterrâneas, documento FG-2201-NHB-A-BA-RT07-01, elaborado pela FONNTES em fevereiro de 2023;
- n) Interpretação dos resultados dos testes relativos à aplicação do material sobre as geomembranas, documento FG-2201-NHB-A-BA-RT11-01, emitido pela FONNTES em março de 2023;
- o) Interpretação dos ensaios destrutivos e não destrutivos para verificação da estanqueidade da Geomembrana, documento FG-2201-NHB-A-BA-RT12-01, emitido pela FONNTES em março de 2023;

## **7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO**

Tendo em vista que a avaliação do projeto de revestimento e monitoramento dos taludes do DRS2 foi abordada nas letras “D”, “N” e “O” da TAC 3.1. Neste item serão apresentados, de forma sucinta, os estudos desenvolvidos nos demais relatórios, bem como suas principais conclusões.

### **7.1 AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2**

#### **7.1.1 Desenvolvimento do Estudo**

Conforme indicado no documento FG-2201-NHB-A-BA-RT08-00, emitido pela FONNTES em 25/04/22, para a análise qualitativa de instrumentação com vistas a determinação da densidade de drenagem do DRS2, os tipos de instrumentação do depósito foram divididos em três grupos, em função da finalidade dos instrumentos:

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

**AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES**

Para cada tipo de instrumentação, foi avaliada se a quantidade e localização são pertinentes e suficientes para o que se precisa monitorar, além de apontar as regiões que podem carecer de incremento de instrumentos, caso existam.

Atualmente, o depósito DRS2 possui: 11 piezômetros Casagrande; 17 piezômetros elétricos de corda vibrante com pedra porosa de alta pressão de entrada de ar; 02 piezômetros elétricos standard; 20 tubos inclinômetros; e 13 poços de monitoramento instalados nas adjacências do DRS2. Além disso, as bacias de controle BC-201 e BC-202 possuem: 02 piezômetros Casagrande instalados em cada uma; 12 marcos superficiais instalados na região da crista para monitoramento de potenciais deformações e de indícios de movimentações de tais estruturas; e os níveis das bacias e dos canais de contorno são aferidos regularmente.

Conforme indicado no Relatório Técnico de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação referente ao período de outubro a dezembro/2021, elaborado pela PIMENTA DE AVILA, em 04/02/2022, documento RT-3541-54-G-485, existem sete seções instrumentadas no depósito DRS2 (Seção A até a Seção G), a serem executadas em oito etapas, em função dos alteamentos da pilha. Além destas seções, existem duas seções instrumentadas localizadas nas Bacias BC-201 e BC-202, denominadas Seção BC-201-A e Seção BC-202-B, respectivamente.

Para a avaliação da instrumentação do Depósito DRS2, foram adotados como referência os gráficos gerados pela PIMENTA DE AVILA no Relatório Técnico de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação referente ao período de outubro a dezembro/2021, doc. RT-3541-54-G-485. Considerou-se, também, o banco de dados de leituras dos instrumentos disponibilizados pela HYDRO, em fevereiro/2022, nos arquivos “Níveis, Bordas Livres e Elevação das Bacias DRS1\_DRS2\_82F\_2021” e “NK03.01 - PM02-R0 – DRS2”.



**AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES**

No documento FG-2201-NHB-A-BA-RT08-00, foi apresentada uma breve descrição do sistema de proteção e condução das águas pluviais do DRS2, que é composto por dispositivos extravasores, dois canais de contorno e duas bacias de controle, denominadas BC 201 e BC 202. A água vertida pelos dispositivos extravasores é direcionada pelos canais de contorno para as bacias de controle. De lá, por meio de uma estação de bombeamento, o efluente é direcionado para estação de tratamento de efluentes industriais, na área 82.

Conforme avaliado no documento FG-2201-NHB-A-BA-RT08-00, para operação do sistema de bombeamento das bacias de controle, a HYDRO utiliza como critério de monitoramento, o valor em percentual, definido pela relação entre a altura do nível de água e a altura total de cada reservatório. O documento FG-2201-NHB-A-BA-RT08-00 apresentou a classificação dos níveis de risco de falha do sistema, definidos em 3 níveis de risco, associados ao nível de água máximo atingido durante as simulações nas bacias de controle, em função da existência de uma borda livre remanescente mínima de 1,0 m.

Outro aspecto da densidade de drenagem avaliado foi o monitoramento dos 13 poços ambientais localizados ao redor do DRS2. Foi analisado o histórico da elevação do nível d'água observado em todos os poços. Como conclusão, verificou-se uma tendência de decréscimo gradual entre os meses de outubro e novembro, seguido de um leve acréscimo ou estabilização nas leituras durante o mês de dezembro.

Como a análise apenas do nível freático não é capaz de sugerir se ocorre contaminação devido a falha do sistema de impermeabilização, o documento FG-2201-NHB-A-BA-RT08-00 avaliou também os parâmetros de qualidade presentes na lista do art. 34 da resolução CONAMA 396/2008 nesses 13 poços de monitoramento ambiental adjacentes ao DRS2.

### 7.1.2 Considerações do Estudo

Neste item são apresentadas as considerações realizadas no documento FG-2201-NHB-A-BA-RT08-00, Relatório Técnico de Avaliação da Densidade de Drenagem do DRS1, elaborado pela FONNTES em abril de 2022.

#### 7.1.2.1 Monitoramento da Estabilidade Física

A avaliação dos medidores de nível d'água, piezômetros, poços de monitoramento e nível d'água das Bacias de Controle se baseou no Relatório Técnico de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação referente a outubro a dezembro/2021, elaborado pela PIMENTA DE AVILA (2022), doc. RT-3540-54-G-581. Também, foi analisado o banco de dados de leitura dos instrumentos disponibilizados pela HYDRO, em fevereiro/2022, nos arquivos "Níveis, Bordas Livres e Elevação das Bacias DRS1\_DRS2\_82F\_2021" e "NK03.01 - PM01-R0 - DRS1". Além disso, foram utilizadas informações do relatório da Inspeção de Segurança Regular do DRS2 (documento RT-469137-54-G-0002 R003) e do monitoramento da qualidade das águas subterrâneas do DRS2 (documento "Resultados Hydro Alunorte 2021 a 2022 DRS2").

Em relação aos instrumentos de monitoramento do nível freático / piezométrico do Depósito DRS2, observa-se que, de modo geral, os piezômetros Casagrande instalados na crista do dique de contorno com cota de fundo abaixo do nível d'água registrado nos poços de monitoramento adjacentes ao DRS2, apresentaram leituras sensíveis às precipitações, com oscilações em suas leituras similares aos poços de monitoramento. Tal tendência também foi observada nos piezômetros elétricos localizados no interior do DRS2, mas próximos ao dique de contorno.

Já os piezômetros elétricos das seções instalados mais a montante, e afastados do dique de contorno, possuem a cota de fundo mais elevada do que os piezômetros do dique de contorno. Com isso, esses instrumentos estão acima do nível d'água registrado nos poços de monitoramento e se mostram pouco sensíveis as precipitações (pois estão

**AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES**

abaixo da geomembrana de impermeabilização, indicando leituras mais constantes, geralmente secos.

Destaca-se que na Seção F-F, o piezômetro PZE-02-HAE-E apresentou uma mudança na tendência de suas leituras a partir de setembro/2019. Este instrumento apresentava leituras negativas com baixos valores de sucção e, desde então vem apresentando leituras positivas que estão aumentando gradativamente. Neste contexto, PIMENTA DE AVILA (2022) solicitou à Hydro a substituição do PZE-02-HAE-E por outros dois piezômetros elétricos (PZE's).

Ainda na Seção F, o piezômetro PZE-03-HAE-E tem apresentado leituras negativas (sucção), com até -1,10 m.c.a., desde o início de suas leituras em outubro/2017. No entanto, se observou uma elevação gradativa até março/2021 e, desde então, a taxa de crescimento da carga piezométrica se elevou consideravelmente. Como esse comportamento se iniciou antes do alteamento da pilha, em setembro/2021, não aparenta representar o desenvolvimento de poropressões construtivas. Conforme indicado pela PIMENTA DE AVILA (2022), não é possível substituir o instrumento por causa da presença de geomembrana no dique de contorno da zona interna, portanto, o comportamento desse instrumento e dos demais instrumentos instalados na Seção F e devem ser avaliados no longo prazo.

Além das sete seções instrumentadas do Depósito DRS2, existem duas seções localizadas nas Bacias BC-201 e BC-202. Verificou-se que em ambas as seções o nível d'água da Bacias BC-201 e BC-202 se encontram significativamente mais elevados do que os níveis piezométricos registrado nos piezômetros PZC-02 (cerca de 5,0 m) e PZC-04 (cerca de 9,0 m), respectivamente. Tendo em vista que o nível d'água se encontra mais elevado nas bacias do que no Dique de Contorno, é possível constatar que há boa performance em relação à estanqueidade da geomembrana PEAD que reveste as estruturas.

O piezômetro PZC-03 da Seção BC-202-B, cuja cota de fundo se encontra na El. 10,23 m, começou a registrar leituras a partir de fevereiro/2021. A carga piezométrica máxima do instrumento foi registrada em 14/05/21, de 0,40 m.c.a. Desde então, as leituras estão decrescendo e, a partir do dia 10/12/21, o instrumento me manteve seco. Como não era esperada leitura no PZC-03, a HYDRO realizou, sob orientação da PIMENTA DE AVILA, a coleta de amostra de efluente do interior do tubo para verificação do pH, que indicou que a água ensaiada no interior do PZC-03 é proveniente da superfície e não proveniente do Depósito DRS2 ou das Bacias de Controle, e a realização de um teste de esgotamento do instrumento, que indicou que as cargas piezométricas registradas antes e após a execução do ensaio foram similares, evidenciando que na região do entorno do piezômetro ocorre saturação do maciço.

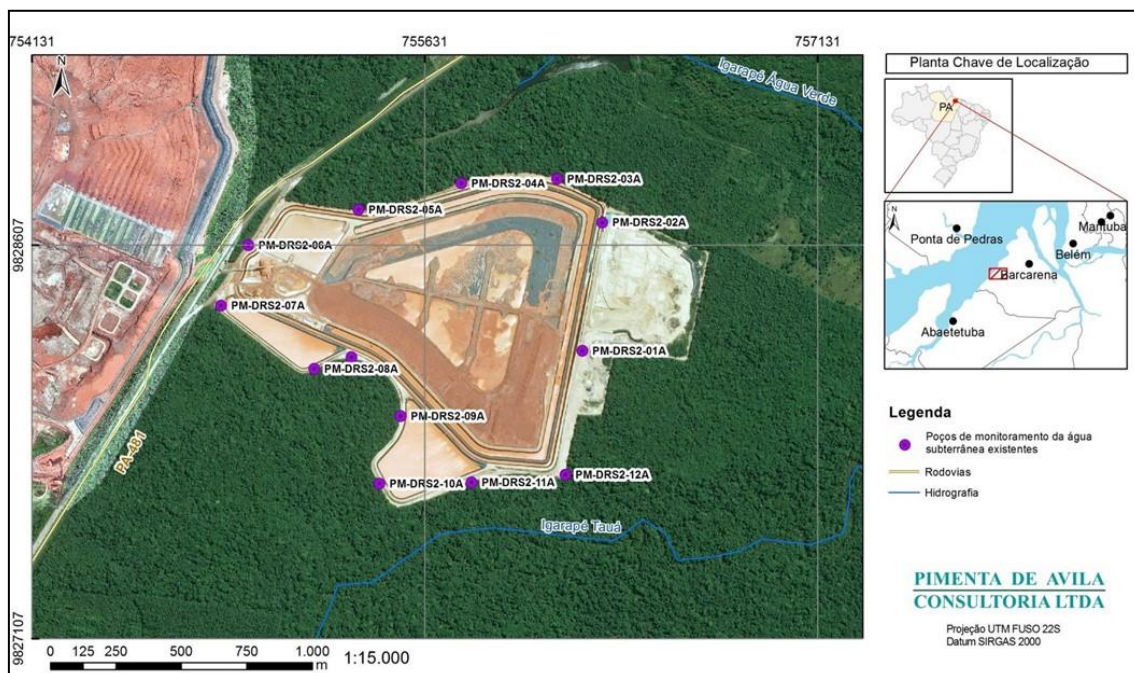
A PIMENTA DE AVILA (2022) acrescenta que houve acúmulo de água durante período chuvoso em um ponto baixo identificado na região durante a inspeção de campo, realizada em 01/07/2021, podendo ter resultado na saturação do local e recarga superficial do instrumento. A PIMENTA DE AVILA recomendou a avaliação da correção da declividade superficial do acesso periférico nas adjacências da Bacia BC-202 para evitar/reduzir empoçamentos futuros na região, bem como o revestimento do acesso em laterita. A FONNTES reitera tal recomendação.

#### 7.1.2.2 Monitoramento das Bacias

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

*7.1.2.3 Considerações Sobre a Densidade de Instrumentação*

Em relação a densidade de instrumentos para monitoramento do nível freático / piezométrico, conforme apresentado no relatório da letra D do TAC 3.1 (FG-2201-NHB-A-BA-RT08), verifica-se que o Depósito DRS2 apresenta nove seções para monitoramento do Depósito e das Bacias de Controle, incluindo 11 piezômetros Casagrande, 17 piezômetros elétricos de corda vibrante, 02 piezômetros elétricos *standard*, 13 poços de monitoramento instalados nas adjacências do DRS2 e medidores de nível nas bacias e nos canais de contorno. A rede de poços de monitoramento de água subterrânea é apresentada na Figura 7.1.



**Figura 7.1 – Rede de monitoramento da água subterrânea existente na área no entorno do DRS1**

Com base na quantidade de instrumentos, locação das seções e interpretação das leituras dos instrumentos, conclui-se que a densidade de instrumentação é adequada. Recomenda-se que continuem sendo realizados os Relatório Técnico de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação e reforça-se a

recomendação da PIMENTA DE AVILA (2022) de substituição do PZE-02-HAE-E por outros dois piezômetros elétricos.

#### 7.1.2.4 Monitoramento das Águas Subterrâneas

Em relação aos parâmetros identificados por meio dos poços de monitoramento, conforme apresentado no relatório da letra D do TAC 3.1 (FG-2201-NHB-A-BA-RT08), é observado que os altos valores de ferro e alumínio estão associados à elevada concentração desses elementos no manto intempérico. Ademais, a presença de coliformes termotolerantes e Escherichia coli indicam contaminação por esgotos domésticos ou fezes de animais de sangue quente.

Segundo o “Estudo de Background Ambiental na região de Barcarena/PA” desenvolvido em 2020 pelo LAGECO (Laboratório de Geologia Costeira) e IECOS (Instituto de Estudos Costeiros da UFPA), o alto teor de Chumbo (Pb) encontrado nas análises podem ser provenientes de causas geológicas naturais, assim como do Ferro (Fe) e do Alumínio (Al) que, conforme explicitado, está associado à elevada concentração desses elementos no manto intempérico.

O estudo ressalta que a qualidade da água no entorno da região, principalmente na região da Baía do Marajó, já se encontrava prejudicada em concentrações não só de Chumbo (Pb) e Cádmo (Cd), como também de outros metais como Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Cobalto (Co) antes da implantação dos depósitos DRS1 e DRS2.

Além disso, é de conhecimento da FONNTES que altas concentrações de Chumbo (Pb) podem ter origem em reações de solubilidade de alguns tipos de rochas carbonáticas. Sendo assim, a alta concentração do Chumbo (Pb) na região pode ter condicionantes naturais do próprio solo e embasamento cristalino. Portanto, a alta concentração de Chumbo (Pb) precisa ser investigada mais a fundo, uma vez que os dados de 1983-85 –

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES</b>		

período anterior a instalação dos Depósitos de Resíduos DRS1 e DRS2 – já mostravam alterações dos elementos Pb e Mn na região (Lima & Kobayashi, 1988).

Nos poços do DRS2 é realizado monitoramento de toda a lista CONAMA 396/08 em frequência trimestral. De acordo com a HYDRO, por iniciativa própria. Ressalta-se que na avaliação da FONNTES, o monitoramento das águas subterrâneas para o DRS2 está adequado.

## **7.2 INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DE MATERIAIS SOBRE A GEOMEMBRANA**

### **7.2.1 Desenvolvimento do Estudo**

O documento FG-2201-NHB-A-BA-RT22-00, emitido pela FONNTES em 10/06/2022, avaliou a escolha da geomembrana para o DRS2 levando em consideração a interação da mesma com o solo de cobertura, ou seja, se foi considerado para essa escolha o ângulo de atrito entre o solo e a geomembrana e se para tanto foram necessários ensaios com o material. Além disso, o documento avaliou e verificou se foram considerados de forma adequada para escolha do modelo a espessura das geomembranas, assim como na determinação dos seus critérios de instalação, como comprimento de soldas e valas de ancoragem.

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

Conforme apresentado no item 5.11, o DRS2 conta com um sistema simples de barreira impermeabilizante, constituído por geomembrana PEAD lisa e texturizada, com

**AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES**

espessura variando entre 1,5 mm e 1,0 mm. A seguir é apresentado cada área do depósito em que cada geomembrana é aplicada:

- Geomembrana PEAD espessura 1,5 mm lisa – nos trechos os quais estarão em contato com o resíduo, quais sejam, taludes de montante e fundo do reservatório;
- Geomembrana PEAD espessura 1,5 mm texturizada – nos trechos onde há tráfego de veículos, quais sejam, a crista do dique de contorno, locais para disposição de resíduo durante o período de estiagem e plataforma de retomada de resíduo;
- Geomembrana PEAD espessura 1,0 mm lisa – nos trechos onde não há tráfego de veículos e/ou contato com os resíduos, qual seja, nos taludes de jusante do canal de contorno e das bacias.

As especificações técnicas de cada uma das geomembranas e geotêxtil supracitados são apresentadas no relatório de Especificação técnica de recebimento, aceitação e instalação da geomembrana do DRS2 (doc. ES-3541-54-G-100 R02).

#### 7.2.2 Considerações sobre a aplicação de materiais sobre a geomembrana

De acordo com relatório da letra N do TAC 3.1, documento FG-2201-NHB-A-BA-RT22, após verificação das propriedades da geomembrana e geotêxtil utilizados, foi possível realizar uma avaliação de sua adequabilidade. Para tanto, foram utilizados os parâmetros disponíveis no projeto e aplicada a metodologia de dimensionamento proposta por VERTERMATTI (2015) para avaliação dos materiais geossintéticos propostos no projeto.

Após a análise, conclui-se que foi adotado valor de espessura da geomembrana adequado sob os resíduos para atender aos esforços que o DRS 2 irá exercer ao final de sua implantação (1,5 mm de espessura). Além disso, também foi identificado que a gramatura do geotêxtil de proteção ao puncionamento está dimensionada de forma conservadora e a vala de ancoragem da geomembrana também estão adequados.



As geomembranas projetadas com 1,0 mm de espessura, recomendadas apenas para proteção de taludes possuem carregamento desprezível em relação a resistência do material geossintético e dispensam verificação. Foi sugerido a menor espessura disponível pelo fabricante ou substituição por grama em placa, por serem regiões sem contato com os resíduos.

Portanto, as verificações conduzidas nesse estudo resultaram em dimensionamento similar aquelas recomendadas no projeto do DRS2.

### **7.3 INTERPRETAÇÃO DOS ENSAIOS PARA VERIFICAÇÃO DA ESTANQUEIDADE DA GEOMEMBRANA**

#### **7.3.1 Desenvolvimento do Estudo**

Conforme apresentado no relatório da letra O do TAC 3.1, documento FG-2201-NHB-A-BA-RT12, foram avaliados os documentos que atestaram a qualidade, integridade e estanqueidade da geomembrana durante a sua instalação no Depósito DRS2, assim como se foram aplicadas as melhores práticas de engenharia e executados os ensaios de controle conforme critérios consagrados e na frequência recomendada. Para tanto, foram consultados os seguintes documentos:

- Relatórios diários de obra (realizada entre novembro de 2015 e março de 2017);
- Registros de instalação de painel de geomembrana (realizado entre junho e dezembro de 2016);
- Registros de ensaio de spark test (realizado entre dezembro de 2016 e março de 2017);
- Registros de testes de pressurização (realizados entre dezembro de 2015 e janeiro de 2017);
- Registro de testes de vácuo (realizados entre fevereiro de 2016 e março de 2017);

**AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES**

- Registros de testes destrutivos com cunha (realizados entre dezembro de 2015 e março de 2017);
- Registros de testes destrutivos com extrusão (realizados entre janeiro e julho de 2016).

Também foram verificados se os ensaios de laboratório resultaram na rejeição de algum lote de geomembrana devido a suas características estarem incompatíveis com as recomendações de projeto, possivelmente relacionados a problemas fabris.

Os relatórios do diário de campo foram realizados entre os meses de novembro de 2015 e março de 2017. Os registros indicam que a fiscalização ocorreu por parte da empresa TDM Brasil e a instalação da geomembrana foi realizada pela empresa RECORD.

Os registros de instalação de painel de geomembrana apresentam a data de lançamento, localização da instalação, comprimento e largura de cada painel. Essa atividade ocorreu entre os meses de junho e dezembro de 2016.

Os testes de pressurização para a geomembrana do DRS2 foram realizados entre dezembro de 2015 e janeiro de 2017. Os registros apresentam a data de realização do teste, o manômetro utilizado, o número dos painéis de geomembrana cuja solda foi analisada, a hora inicial e final do teste, as pressões iniciais e finais do teste e se ele foi aprovado ou não, além de observações quando pertinentes.

Os testes de vácuo para a geomembrana do DRS2 foram realizados entre fevereiro de 2016 e março de 2017. Os registros apresentam a data de realização do teste, o vacuômetro utilizado, o número dos painéis de geomembrana cuja solda foi analisada, o comprimento do trecho, o motivo de ter sido um trecho analisado pelo teste de vácuo, e se ele foi aprovado ou não, além de observações quando pertinentes.

**AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES**

Os testes destrutivos com cunha e extrusão para a geomembrana do DRS2 foram realizados entre dezembro de 2015 e março de 2017. Os registros apresentam a data de realização do teste, o tensiômetro utilizado, o número dos painéis de geomembrana cuja solda foi analisada, o percentual de descolamento interno e externo, o percentual de cisalhamento, se ele foi aprovado ou não, além de observações quando pertinentes.

### 7.3.2 Considerações sobre os ensaios para verificação da estanqueidade

Foram disponibilizados pela HYDRO os registros de: (i) instalação de painel de geomembrana; (ii) testes de pressurização; (iii) testes de vácuo; (iv) testes destrutivos com cunha; (v) testes destrutivos com extrusão. Por meio destes registros foi realizada uma amostragem de diversos meses e locais diferentes do DRS2, visando identificar falhas e ações corretivas durante a aplicação da geomembrana.

Após a análise dos registros disponíveis, incluindo os desenhos de paginação disponibilizados (desenho “PLANTA GERAL-IMPERMEABILIZAÇÃO DRS2” elaborado pela Record Engenharia), foi possível concluir que os testes foram feitos sob supervisão constante, além de ter sido indicada cada anomalia ocorrida durante a atividade. Dessa forma, é possível afirmar que a aplicação e verificação da integridade, qualidade e estanqueidade da geomembrana ocorreu dentro dos padrões de engenharia esperados.

Por se tratar de uma estrutura mais recente o DRS2 possui um histórico bem mais completo que o DRS1. Entretanto, esse registro não dispensa o controle tecnológico operacional através da instrumentação. Os INA's, PZ's e especialmente os poços ambientais é que serão os responsáveis por atestar se de fato a geomembrana de PEAD instalada está cumprindo seu papel e garantindo a estanqueidade ao longo do tempo, para que os resíduos não tenham contato com as águas do meio ambiente.

## 8. CONCLUSÕES

Tendo em vista que a avaliação do projeto de revestimento e monitoramento dos taludes do DRS2 foi abordada nas letras “D”, “N” e “O” da TAC 3.1. O presente documento apresentou, de forma sucinta, os estudos realizados nos demais relatórios, bem como as principais conclusões obtidas.

### 8.1 AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM E MONITORAMENTO

O monitoramento dos taludes foi abordado com maiores detalhes na letra “D” da TAC 3.1, doc. FG-2201-NHB-A-BA-RT08-00, que é exclusivo sobre instrumentação e monitoramento. Em relação aos instrumentos de monitoramento do nível freático / piezométrico do Depósito DRS2, observa-se que, de modo geral, os piezômetros Casagrande instalados na crista do dique de contorno com cota de fundo abaixo do nível d’água registrado nos poços de monitoramento adjacentes ao DRS2, apresentaram leituras sensíveis às precipitações, com oscilações em suas leituras similares aos poços de monitoramento. Tal tendência também foi observada nos piezômetros elétricos localizados no interior do DRS2, mas próximos ao dique de contorno.

Já os piezômetros elétricos das seções instalados mais a montante, e afastados do dique de contorno, possuem a cota de fundo mais elevada do que os piezômetros do dique de contorno. Com isso, esses instrumentos estão acima do nível d’água registrado nos poços de monitoramento e se mostram pouco sensíveis as precipitações (pois estão abaixo da geomembrana de impermeabilização, indicando leituras mais constantes, geralmente secos).

Além das sete seções instrumentadas do Depósito DRS2, existem duas seções localizadas nas Bacias BC-201 e BC-202. Verificou-se que em ambas as seções o nível d’água da Bacias BC-201 e BC-202 se encontram significativamente mais elevados do que os níveis piezométricos registrado nos piezômetros. Tendo em vista que o nível

**AValiação DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES**

d'água se encontra mais elevado nas bacias do que no Dique de Contorno, é possível constatar a estanqueidade da geomembrana PEAD que reveste as estruturas.

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

Em relação a densidade de instrumentos para monitoramento do nível freático / piezométrico, com base na quantidade de instrumentos, locação das seções e interpretação das leituras dos instrumentos, conclui-se que a densidade de instrumentação é adequada.

#### 8.1.1 Monitoramento das águas subterrâneas

Em relação aos contaminantes identificados por meio dos poços de monitoramento, é observado que os altos valores de ferro e alumínio estão associados à elevada concentração desses elementos no manto intempérico. Ademais, a presença de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* indicam contaminação por esgotos domésticos ou fezes de animais de sangue quente.

Segundo o “Estudo de Background Ambiental na região de Barcarena/PA” desenvolvido em 2020 pelo LAGECO (Laboratório de Geologia Costeira) e IECOS (Instituto de Estudos Costeiros da UFPA), o alto teor de Chumbo (Pb) encontrado nas análises podem ser provenientes de causas geológicas naturais, assim como do Ferro (Fe) e do Alumínio (Al) que, conforme explicitado, está associado à elevada concentração desses elementos no manto intempérico.

O estudo ressalta que a qualidade da água no entorno da região, principalmente na região da Baía do Marajó, já se encontrava prejudicada em concentrações não só de Chumbo (Pb) e Cádmo (Cd), como também de outros metais como Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Cobalto (Co) antes da implantação dos depósitos DRS1 e DRS2.

Além disso, é de conhecimento da FONNTES que altas concentrações de Chumbo (Pb) podem ter origem em reações de solubilidade de alguns tipos de rochas carbonáticas. Sendo assim, a alta concentração do Chumbo (Pb) na região pode ter condicionantes naturais do próprio solo e embasamento cristalino. Portanto, a alta concentração de Chumbo (Pb) precisa ser investigada mais a fundo, uma vez que os dados de 1983-85 – período anterior a instalação dos Depósitos de Resíduos DRS1 e DRS2 – já mostravam alterações dos elementos Pb e Mn na região (Lima & Kobayashi, 1988).

Nos poços do DRS2 é realizado monitoramento de toda a lista CONAMA 396/08 em frequência trimestral. De acordo com a HYDRO, por iniciativa própria. Na avaliação da FONNTES o monitoramento das águas subterrâneas para o DRS2 está adequado.

## **8.2 INTERPRETAÇÃO DOS TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE AS GEOMEMBRANAS**

A interpretação dos resultados dos testes relativos à aplicação do material sobre as geomembranas foi verificada na letra “N”, doc. FG-2201-NHB-A-BA-RT22-00. Após a análise, conclui-se que foi adotado valor de espessura da geomembrana adequado sob os resíduos para atender aos esforços que o DRS 2 irá exercer ao final de sua implantação (1,5 mm de espessura). Além disso, também foi identificado que a gramatura do geotêxtil de proteção ao punctionamento está dimensionada de forma conservadora e a vala de ancoragem da geomembrana também estão adequados.

**AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES**

As geomembranas projetadas com 1,0 mm de espessura, recomendadas apenas para proteção de taludes possuem carregamento desprezível em relação a resistência do material geossintético e dispensam verificação. Foi sugerido a menor espessura disponível pelo fabricante ou substituição por grama em placa, por serem regiões sem contato com os resíduos.

### **8.3 CONTROLE TECNOLÓGICO DA EXECUÇÃO DAS GEOMEMBRANAS**

Por fim, o controle tecnológico da execução das geomembranas de PEAD com ensaios destrutivos e não destrutivos para verificação da estanqueidade da Geomembrana foi apresentada na letra “O”, doc. FG-2201-NHB-A-BA-RT12-00. Após a análise dos registros disponíveis, foi possível concluir que os testes foram feitos sob supervisão constante, além de ter sido indicada cada anomalia ocorrida durante a atividade. Dessa forma, é possível afirmar que a aplicação e verificação da integridade, qualidade e estanqueidade da geomembrana ocorreu dentro dos padrões de engenharia esperados.

## **9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- i. ALMARAZ, U. J. S. (1977). Aspectos Geoquímicos e Ambientais dos Calcários do Formação Pirabas, Pará. Tese de Doutorado, UFRS, 272 p.
- ii. BRASIL, Lei 12.305 – Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010.
- iii. BRASIL, Lei 12.651 – Código Florestal Brasileiro. Brasília, 2012.
- iv. 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.
- v. 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.

## AVALIAÇÃO DO PROJETO DE REVESTIMENTO E MONITORAMENTO DOS TALUDES

- vi. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. População. 2010. Disponível em <IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama>
- vii. \_\_\_\_\_. Barcarena/PA. Educação. 2010b. Disponível em <IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama>
- viii. \_\_\_\_\_. Barcarena/PA. Economia. 2019. Disponível em <IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama>
- ix. \_\_\_\_\_. Barcarena/PA. Trabalho e Rendimento. 2020. Disponível em <IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama>
- x. \_\_\_\_\_. Barcarena/PA. Território e ambiente. 2021. Disponível em <IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama>
- xi. KOERNER, ROBERT (1998). "Designing with Geosynthetics". Xlibris Corporation. 6ta Edição. Vol 2. New Jersey, USA. 914pp.
- xii. LIMA, W. N.; KOBAYASHI, C. N. Sobre o quimismo predominante nas águas do sistema flúvio-estuarino de Barcarena/PA. Geochimica Brasiliensis, Rio de Janeiro, v.2, n.1, p.53-71, 1988.
- xiii. MABESOONE, J. M. e CASTRO, C. (1975). Desenvolvimento Geomorfológico do Nordeste Brasileiro. Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, Recife, v.3, p. 05- 35.
- xiv. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA Nº 237**, de 19 de dezembro de 1997.
- xv. NAREJO, D.; KOERNER, R.M.; WILSON FAHMY, R.F. **Puncture protection of geomembranes. Part II: experimental**. Geosynthetics International 3(5): 629-653 1996
- xvi. 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.
- xvii. VERTEMATTI, J.C. (2015). "Manual Brasileiro de Geossintéticos". CTG ABINT. Editorial Blucher. 2da Edição Atualizada e Ampliada. São Paulo, Brasil. 568pp.





**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