

FG-2201-NHB-A-BA-RT14-02

À

NORSK HYDRO BRASIL

Av. Gentil Bittencourt, 549

Belém – PA

A/C

CAROLINA VARKALA

Departamento de Suprimentos de Bauxita & Alumina

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

Prezada,

Apresentamos o relatório técnico de revisão do projeto e disposição de drenos, filtros, medidores de vazão e seus processos executivos, em atendimento à letra “K” 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



FONNTES
G E O T É C N I C A

FG-2201-NHB-A-BA-RT14-02

RELATÓRIO TÉCNICO DE AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

CLIENTE:



PROJETO:

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

BARCARENA - PA



Agosto/2023

SUMÁRIO

GLOSSÁRIO	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVO	6
3. DADOS UTILIZADOS	8
4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	9
5. APRESENTAÇÃO DO PROJETO DA ESTRUTURA.....	10
5.1 LOCALIZAÇÃO	12
5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS	18
5.2.1 <i>Geologia Regional</i>	18
5.2.2 <i>Histórico de Investigações</i>	20
5.2.3 <i>Geologia Local</i>	21
5.3 PLATAFORMA DA PILHA DE RETOMADA DO RESÍDUO E CÉLULA DE CONTINGÊNCIA	22
5.4 CANAIS DE CONTORNO E BACIAS DE CONTROLE (BC 201 e BC 202)	23
5.5 DIQUE DE CONTORNO.....	25
5.6 DIQUE ENTRE CANAL DE CONTENÇÃO DE SEDIMENTOS E CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE	26
5.7 DIQUE EXTERNO DO CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE	26
5.8 DIQUE EXTERNO DAS BACIAS DE CONTROLE (BC 201 e BC 202)	27
5.9 DIQUE DE CONTENÇÃO DA ÁREA INTERNA (INFRAESTRUTURA INICIAL)	27
5.10 DIQUE CENTRAL E FINGERS (INFRAESTRUTURA INICIAL).....	28
5.11 SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	29
5.12 DRENAGEM INTERNA DA PILHA	31
5.13 INSTRUMENTAÇÃO	33
5.14 SISTEMA EXTRAVASOR	33
5.15 GALERIA DE TRANSPOSIÇÃO DO CANAL DE ADUÇÃO.....	34

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

5.16	DRENAGEM SUPERFICIAL	35
5.17	PROJETO <i>AS BUILT</i>	35
6.	METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO	36
7.	DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....	37
7.1	PROJETO DO SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA	37
7.2	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA	42
7.3	ANÁLISE CRÍTICA DO SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA.....	49
8.	CONCLUSÕES	51
9.	REFERÊNCIAS	52

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

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.

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

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

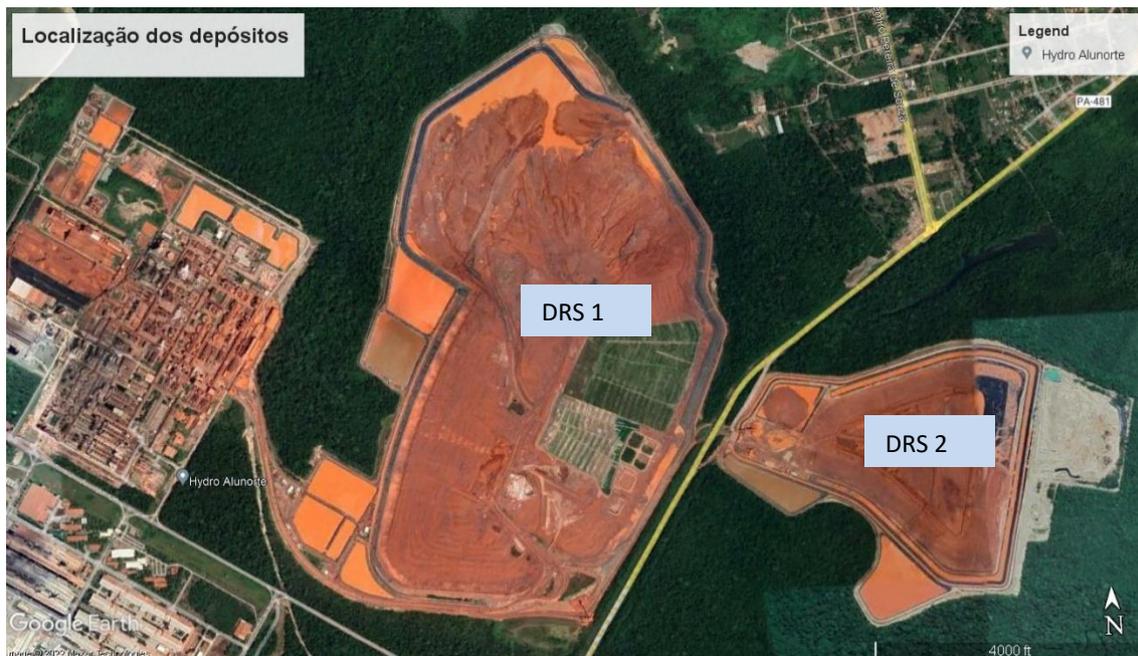


Figura 1.1 – Localização do empreendimento.

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

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 (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

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

- 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 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;

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

- m) Verificação do teor de umidade do material que condicionará a decisão de lançá-lo na área interna ou aplicá-lo na área estrutural 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 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 **k)**, 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 -

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

040/2018 (Portaria no 12/2018) MPPA, Inquérito Civil no 1.23.000.000498/2018 - 98 MPF, o presente documento abordará o item “**k) Revisão do projeto e disposição de drenos, filtros, medidores de vazão e seus processos executivos;**” para o depósito de rejeitos 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 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 K)**, objeto desse relatório.

Para o DRS2 será avaliado o dimensionamento técnico do sistema de drenagem interna, medidores de vazão e outros dispositivos para controle do fluxo interno de água na estrutura.

O DRS1 não dispõe de sistema de drenagem interna pelo próprio conceito de projeto da estrutura. Será verificado se a ausência de projeto desses dispositivos pode apresentar alguma fragilidade do ponto de vista estrutural na sua operação.

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

Espera-se concluir se foram utilizadas boas práticas de engenharia e critérios consagrados para dimensionamento e construção dos sistemas de drenagem interna, filtros, medidores de vazão e outros dispositivos correlatos, caso existam.

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

CÓDIGO	TÍTULO DO DOCUMENTO	ELABORADO POR	DATA
RT-3541-54-G-360 R01	Relatório Técnico do Projeto "Como construído"	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	24/07/18
D1-3541-54-G-163	Desenho Drenagem interna – DRS2 - Planta e locação	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	Agosto/2016
DB-3541-54-G-319	Projeto detalhado – DRS2 Memória de cálculo das análises geotécnicas	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	26/02/16
ES-3541-54-G-099	Especificação técnica de construção – DRS2	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	17/07/2015
MD-3541-54-G-096	Depósito de resíduos sólidos - DRS- Projeto detalhado – Fase 1- memorial descritivo	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	17/09/15
D1-3541-54-G-162 -	Desenho Drenagem interna – DRS2 - Planta e locação	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	Julho/2015
D1-3541-54-G-163	Desenho Drenagem interna – DRS2 – Drenos internos	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	Julho/2016

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

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;
- Referências bibliográficas.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

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.

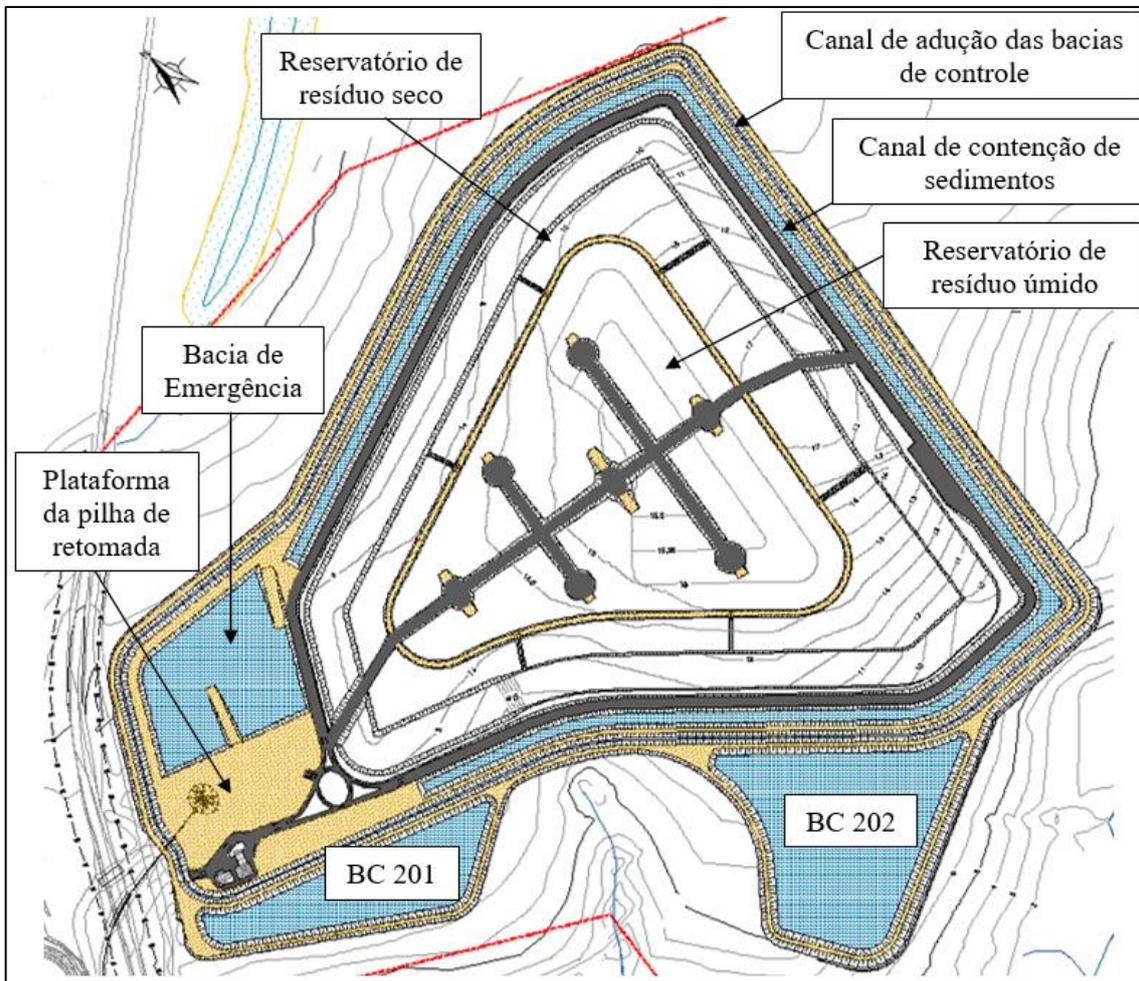


Figura 5.1 – Layout da fase 1 do DRS2 (MD-3541-54-G-096)

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 foi executada até o momento.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

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 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.

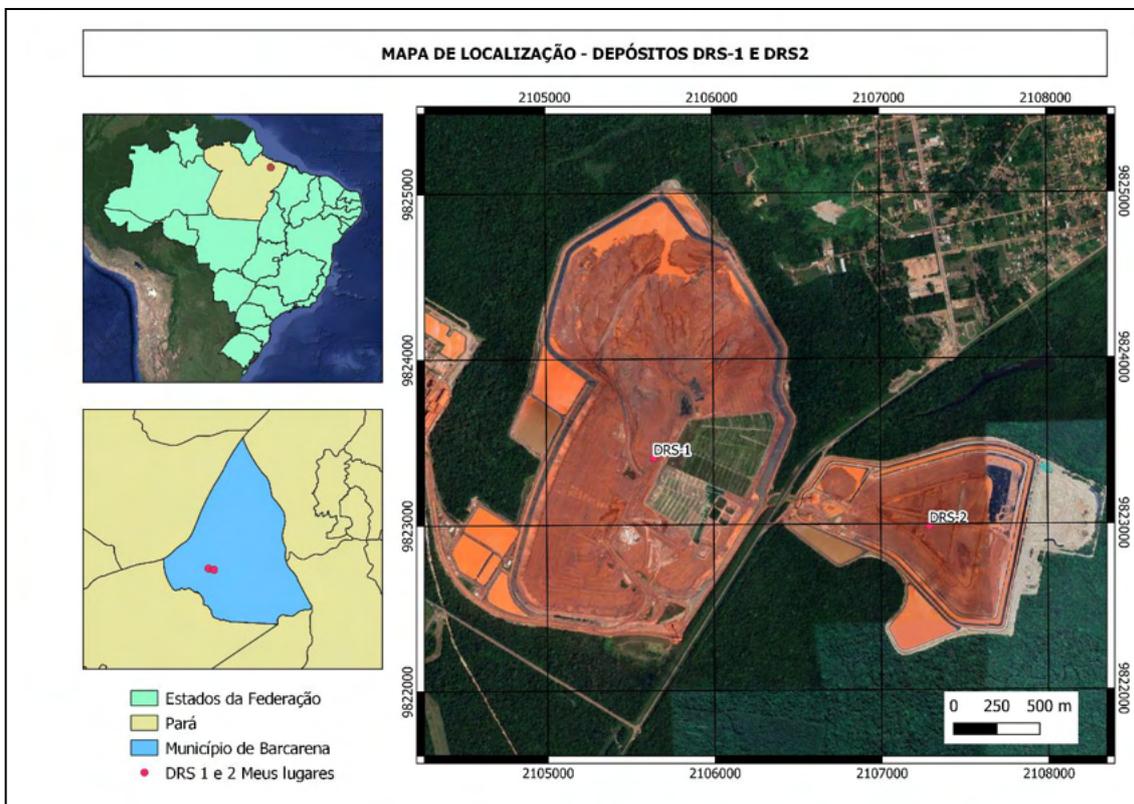


Figura 5.2 – Localização da Estrutura – DRS1 e DRS2

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

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

Segundo o levantamento censitário realizado pelo IBGE (2010), o município de Barcarena possui 99.859 habitantes, apresentando densidade demográfica de 76,21

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

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.

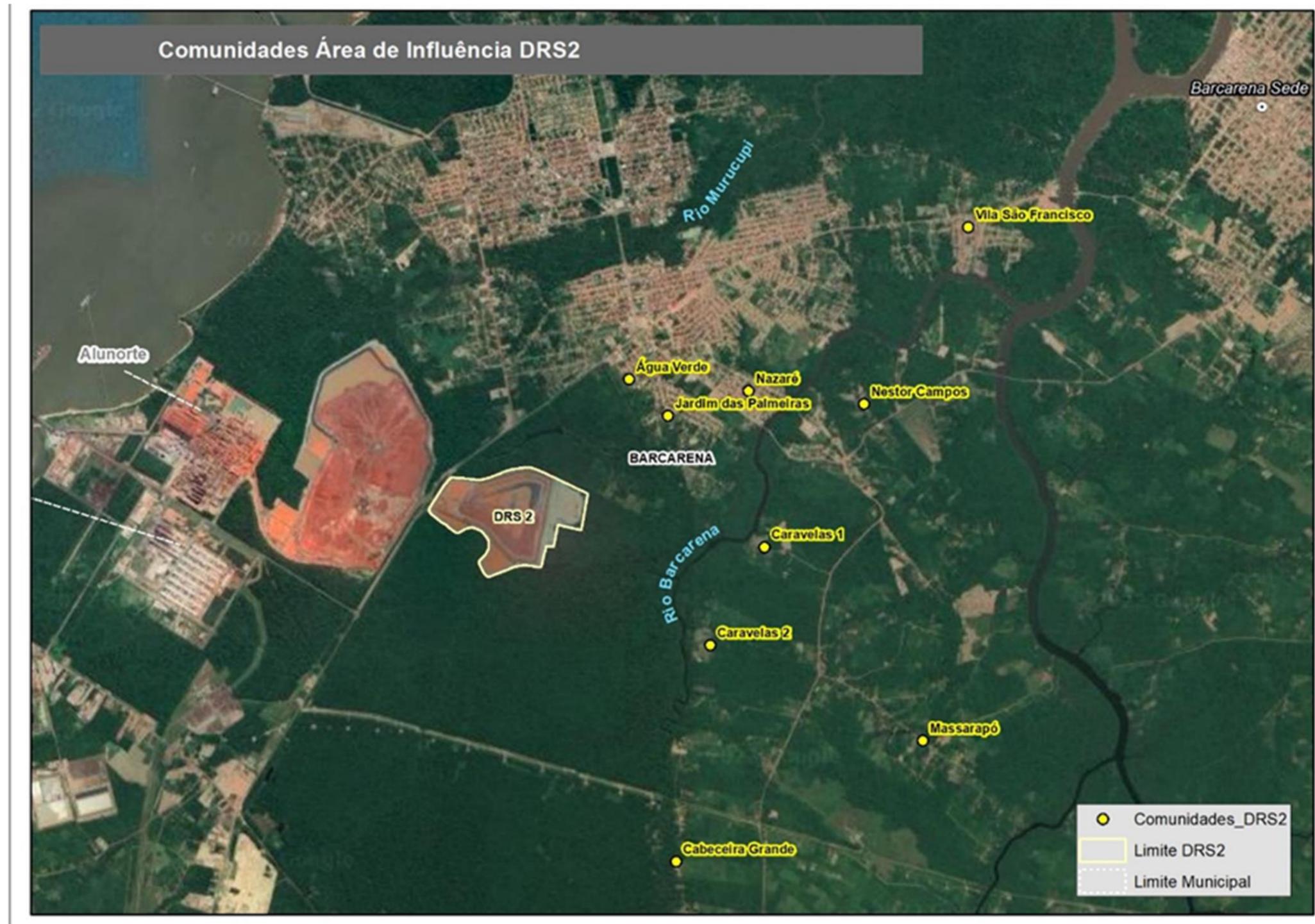


Figura 5.3 – Localização das comunidades próximas ao depósito DRS2 (Imagem fornecida pela equipe técnica da HYDRO/ALUNORTE)

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

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 E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2



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 m², 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

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

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.

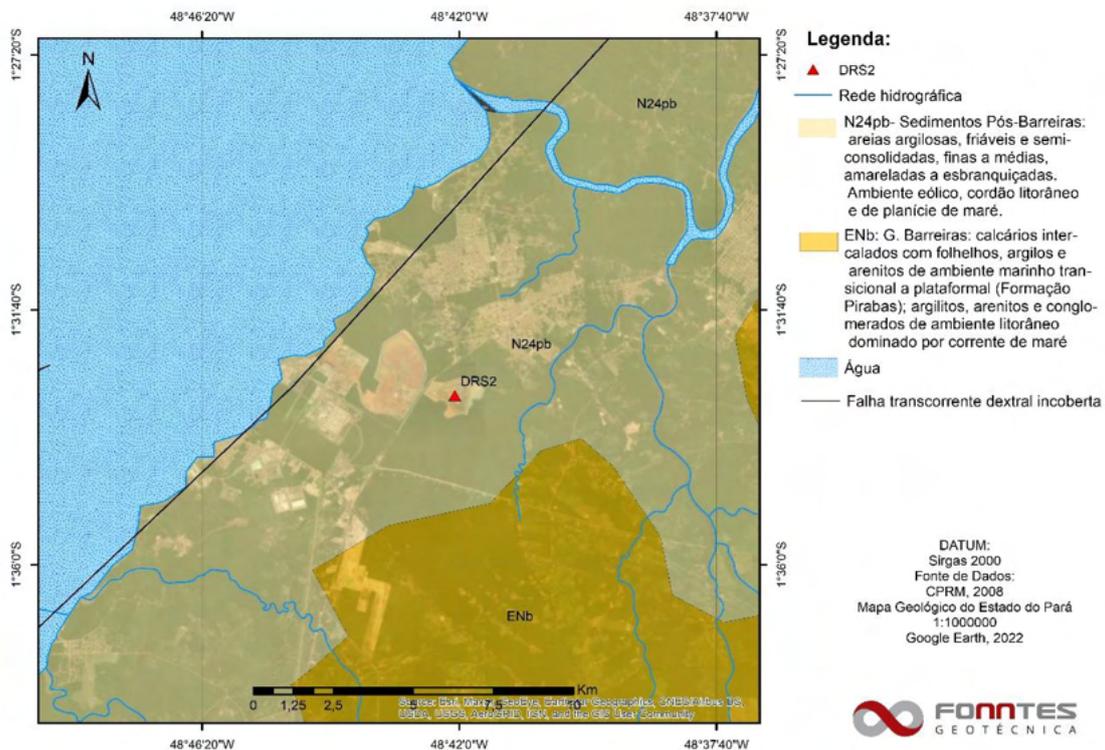


Figura 5.5 – Mapa geológico regional da estrutura DRS2

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO 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 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.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

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 localizadas próximo ao DRS2 em um contexto estratigráfico e geomorfológico semelhante. As investigações geológico-geotécnicas podem ocorrer durante toda a vida 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 compactidade rija a dura (NSPT variando entre 47 a 60 golpes).

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

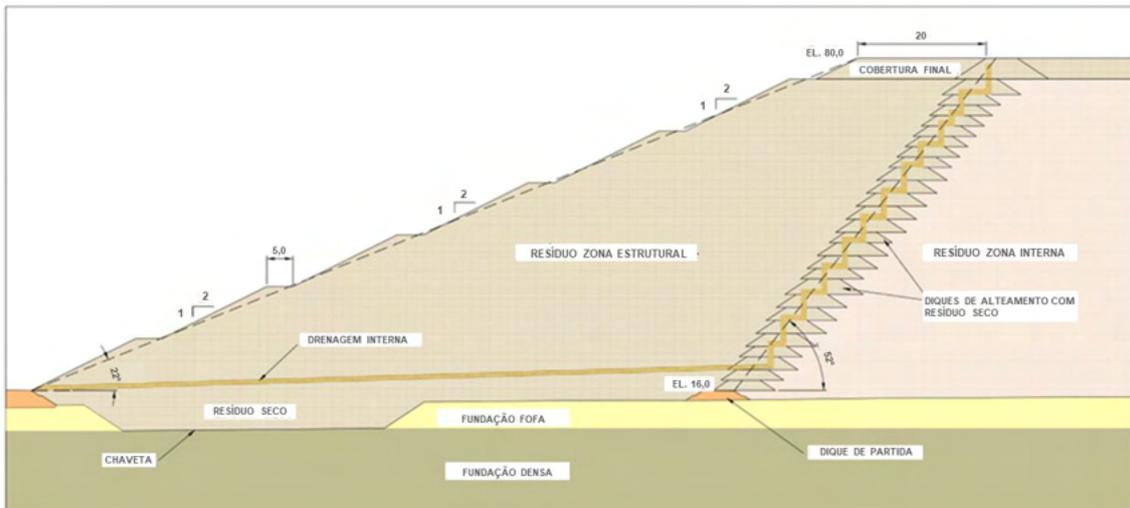


Figura 5.6 – Seção transversal típica do DRS2 (Fonte: RT-469137-54-G-0002)

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 m².

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 m², taludes de montante com inclinação 1V:1,5H e volume de

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

armazenamento de aproximadamente 199.483 m³ de resíduo “super úmido”. A Célula de Contingência é apresentada na Figura 5.7.

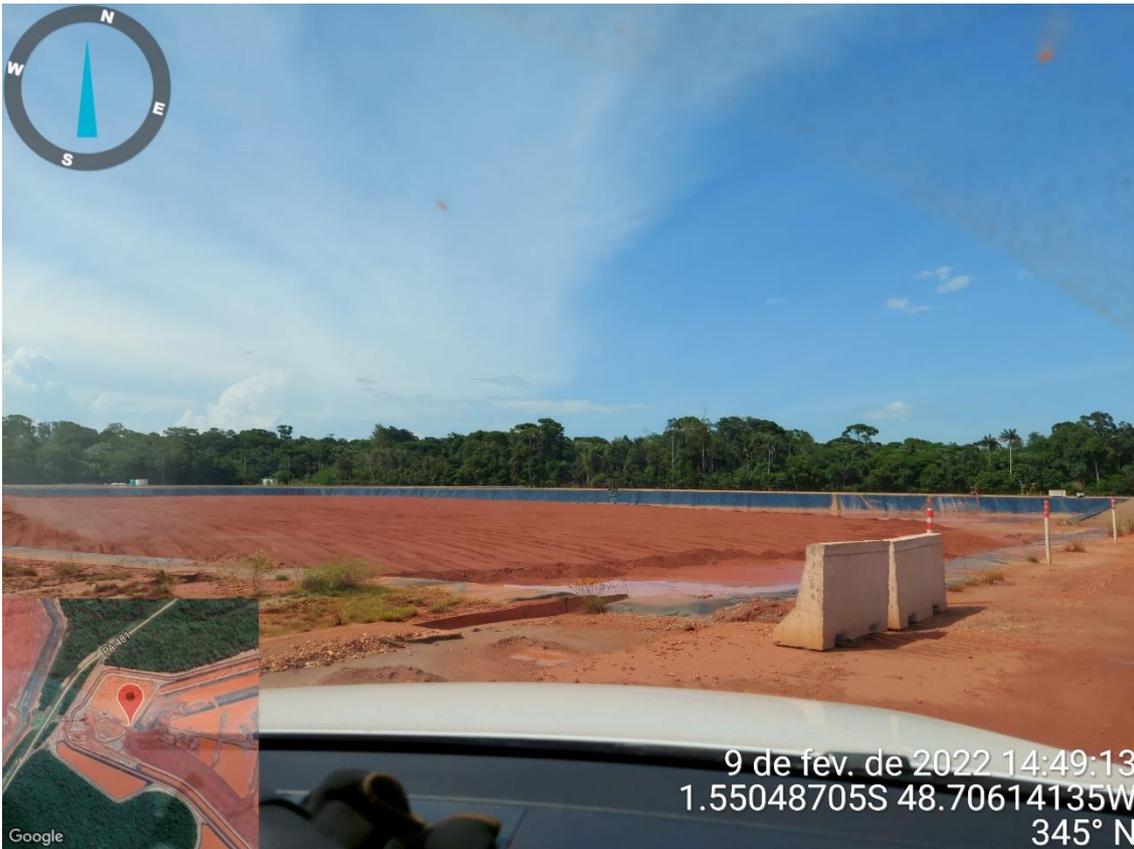


Figura 5.7 – Célula de Contingência

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.

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

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

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO 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 m² 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 m³. Já a BC 202 tem uma área de cerca de 65.301 m² 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 m³.

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 INTERNA (INFRAESTRUTURA INICIAL)

O dique de contenção da área interna 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 interna.

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

a 400g/m² 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.

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 interna 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.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

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 de 0,15 m de areia média. A função dos drenos é conduzir o fluxo de água interno da pilha, da área interna até a crista do dique de contorno da área estrutural, 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.

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

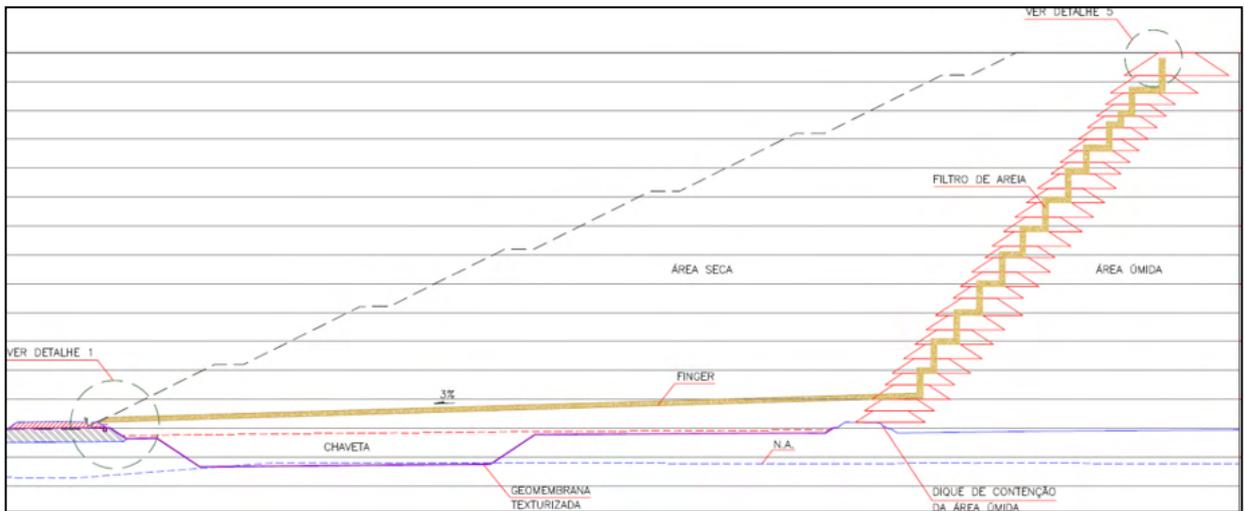


Figura 5.11 – Seção Típica – Drenagem interna da pilha (documento D1-3541-54-G-163)

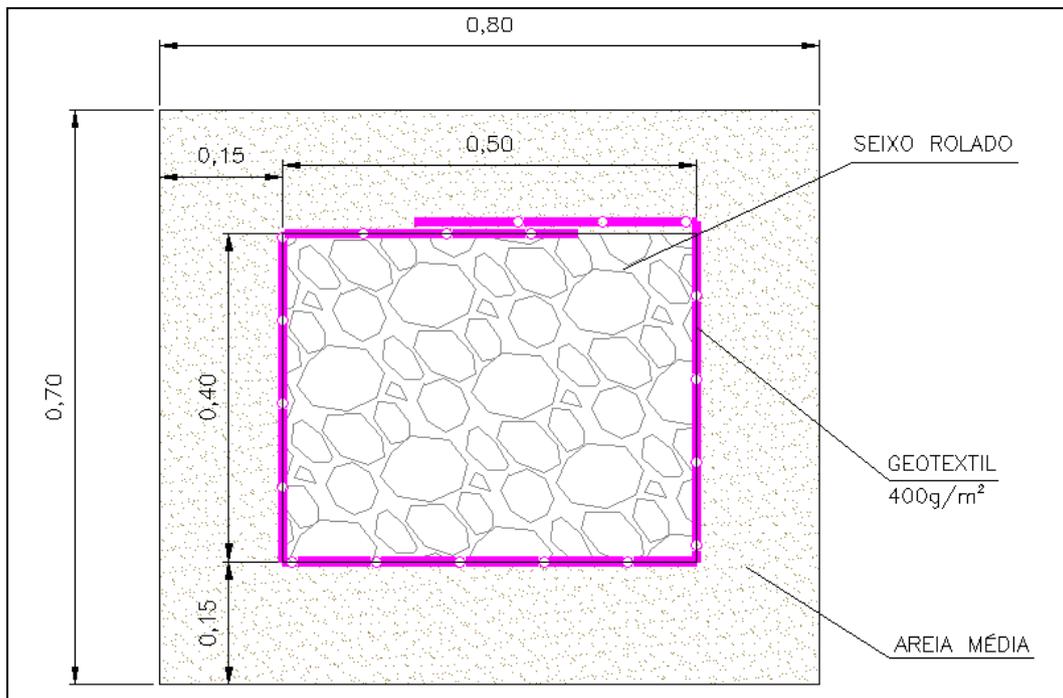


Figura 5.12 – Detalhe Típico – Drenos (D1-3541-54-G-163)

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).

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

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.

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.
- Ensaio 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.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

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, e reproduzida a seguir.

Para avaliação do sistema de drenagem será realiza a verificação do conceito do sistema de drenagem interna proposto e alguns aspectos fundamentais para que o mesmo seja efetivo no controle da percolação. Serão verificadas as premissas adotadas e os cálculos executados no dimensionamento das espessuras do dreno sub-vertical e do dreno sub-horizontal (fingers).

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

7.1 PROJETO DO SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA

O sistema de drenagem interno do DRS2 tem a função de conduzir de forma controlada o fluxo de água do interior do maciço, através de drenos sub-verticais interligados a drenos sub-horizontais, também chamados de *fingers*. Os drenos sub-horizontais serão executados em todo contorno da região do DRS2, com espaçamento médio de 10 m. Enquanto os drenos sub-verticais, serão executados em toda a interface de contato da zona seca com a zona úmida.

A construção do sistema de drenagem interna será iniciada quando os resíduos atingirem a EL. 16m, ou seja, a borda do Dique de Contorno. A Figura 7.1 apresenta a planta da drenagem interna do DRS2. A seção típica do sistema de drenagem interna pode ser verificada na Figura 7.2.

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

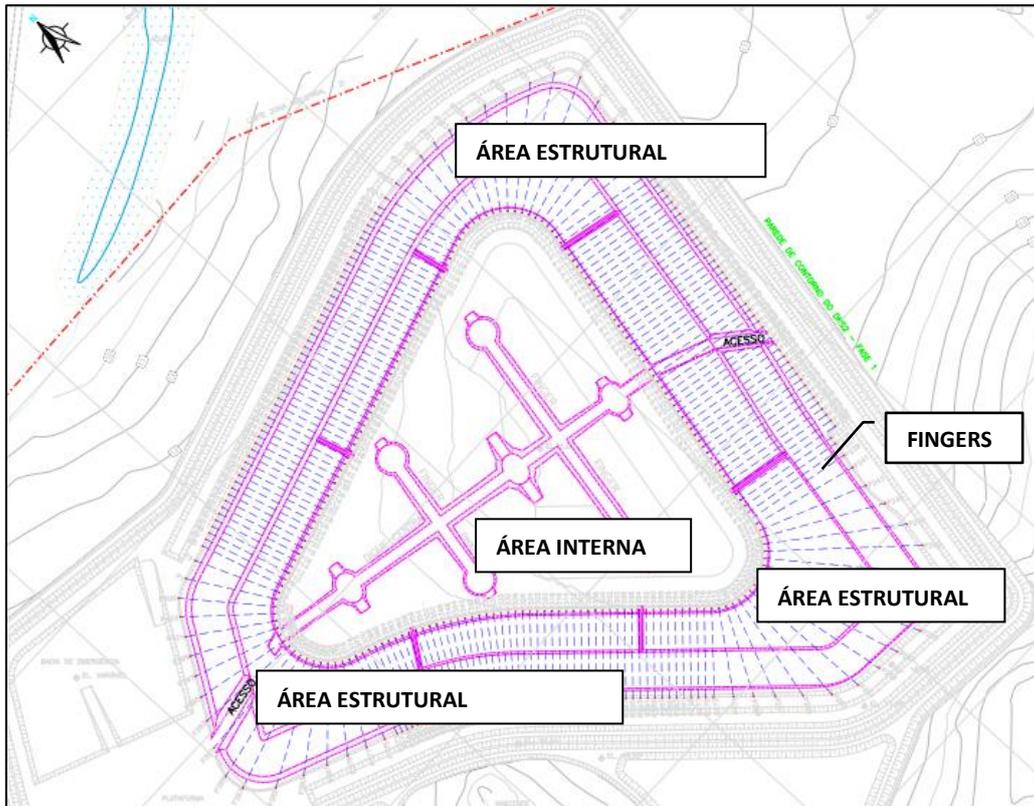


Figura 7.1 –Planta – Drenagem interna do DRS2 (documento D1-3541-54-G-162).

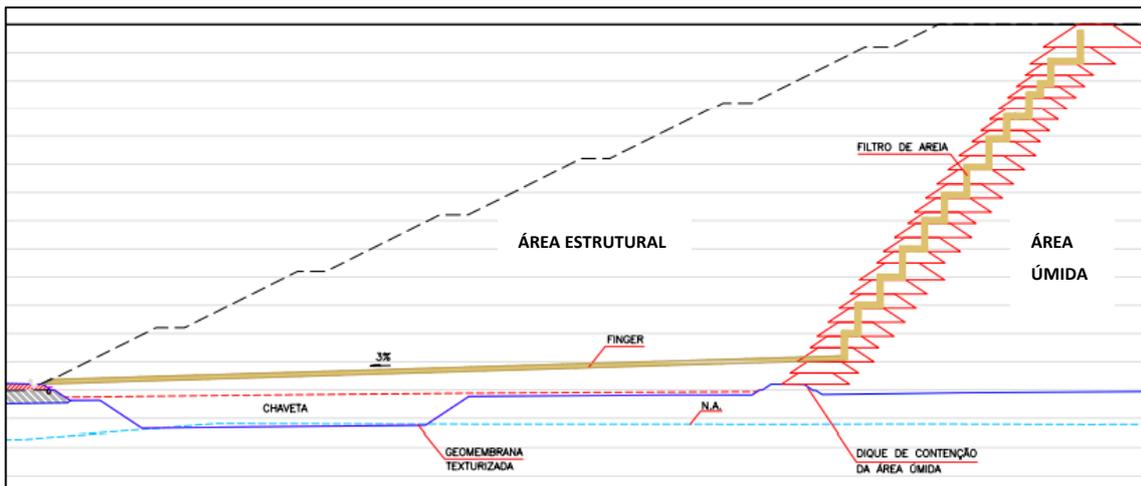
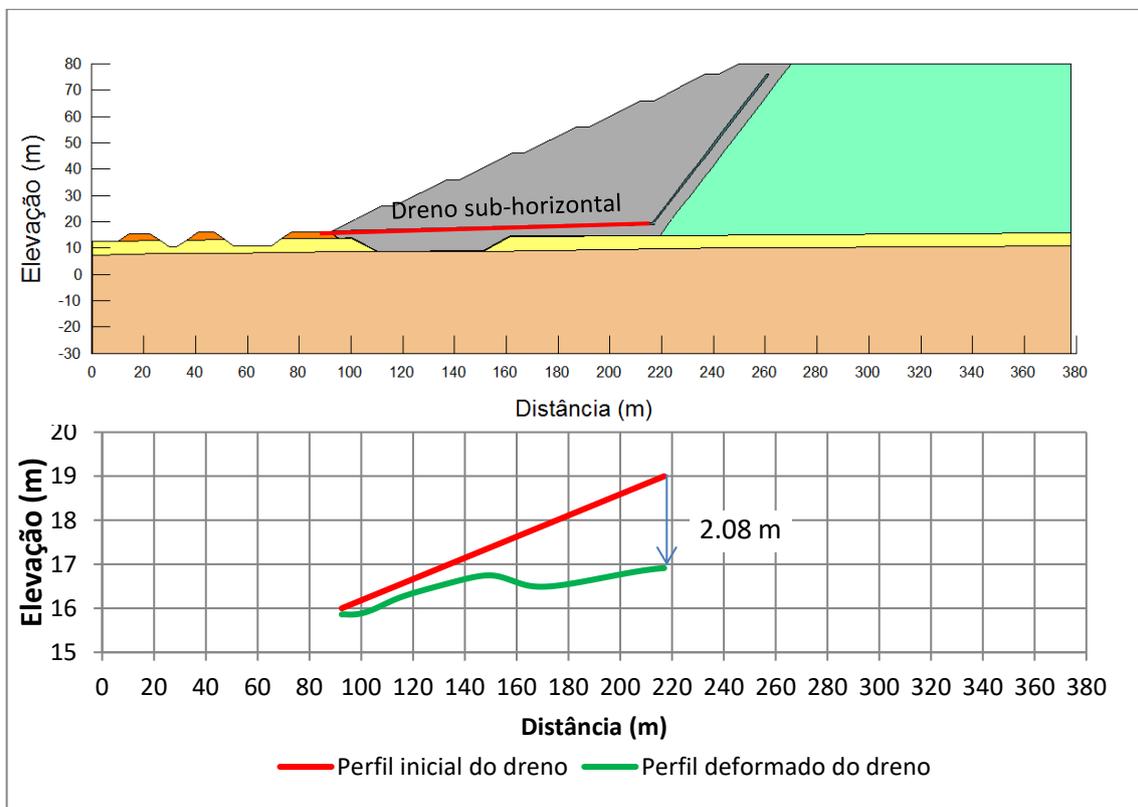


Figura 7.2 – Seção Típica – Drenagem interna do DRS 2 (documento D1-3541-54-G-163).

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

Os drenos sub-horizontais (*fingers*) foram projetados, conforme memória de cálculo das análises geotécnicas (DB-3541-54-G-319), com declividade de 3%, no contato da área interna até a crista do dique de contorno. O documento supracitado, apresenta um cálculo executado com o auxílio do software Sigma/w. Nesse estudo foi verificado para uma determinada seção, que após implantação do dreno, o mesmo pode recalcar em até 2,08 m no ponto mais interno (vide Figura 7.3). Ainda, conforme o documento, a variação seria suave em função da geometria do DRS2 e não induziria descontinuidade da seção drenante, ou seja, não seria suficiente para seccionar o dreno sub-horizonta



AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

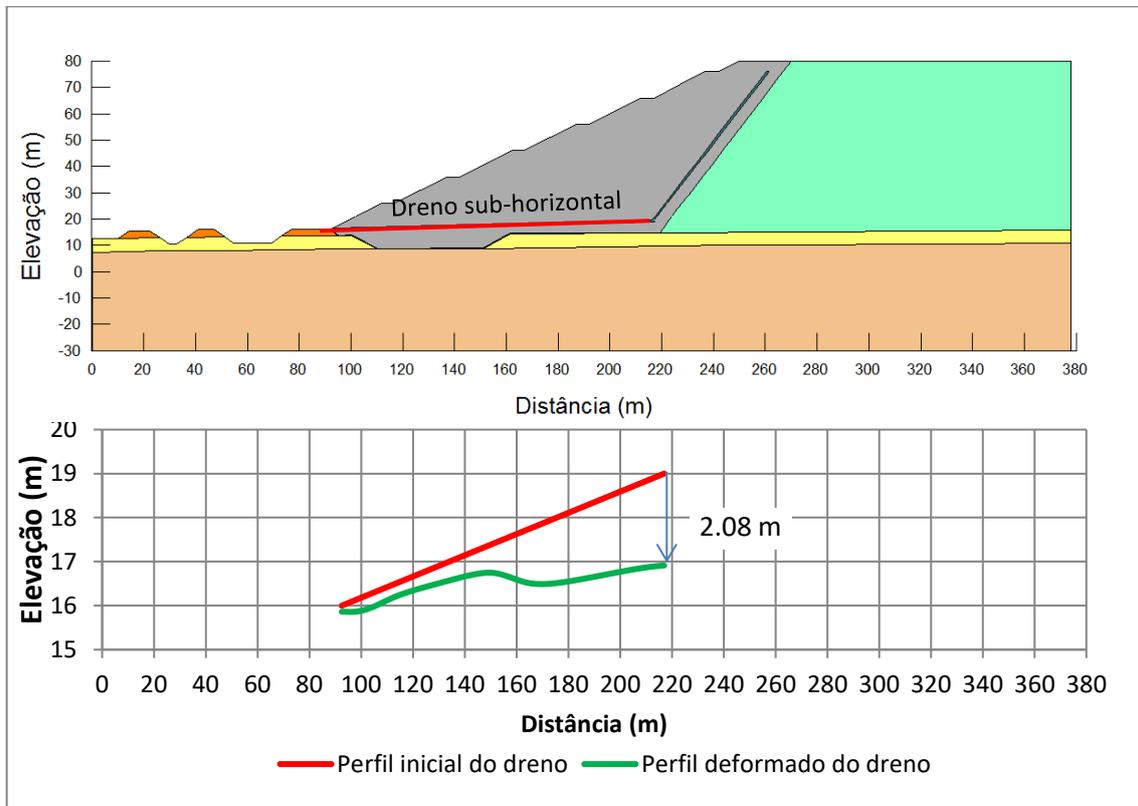


Figura 7.3 – Estudo recalques do dreno sub-horizantal (documento DB-3541-54-G-319).

Os drenos sub-horizontais foram projetados com seção retangular de 0,50 m por 0,50 m de brita, envolto por geotêxtil e uma camada de 0,15 m de areia média (Figura 7.4-a). A água proveniente dos drenos é coletada pela canaleta do dique de contorno (Figura 7.4-b), de onde segue o fluxo de efluentes até o canal de sedimentação, canal de contorno e bacias de controle.

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

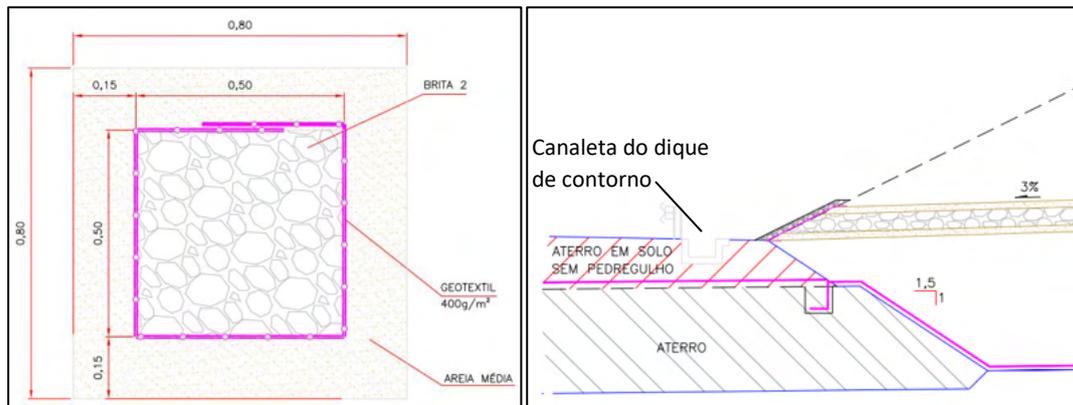


Figura 7.4 – (a) Detalhe do dreno sub-horizontal (D1-3541-54-G-163), (b) Detalhe da saída do dreno sub-horizontal.

O dreno sub-vertical foi projetado com areia, com 1,0 m de espessura e com o avanço à medida que a estrutura é construída. Esse dreno será executado na interface da zona úmida com a zona seca (região dos diques de contenção da área interna), sendo responsável pelo direcionamento do eventual fluxo, da área interna para os drenos sub-horizontais (*fingers*). Ao contrário do dreno sub-horizontal que são descontínuos, ou seja, espaçados entre si, o dreno sub-vertical é contínuo em todo o contato da zona úmida com a zona seca. A Figura 7.5 apresenta o detalhe dos dreno sub-verticais.

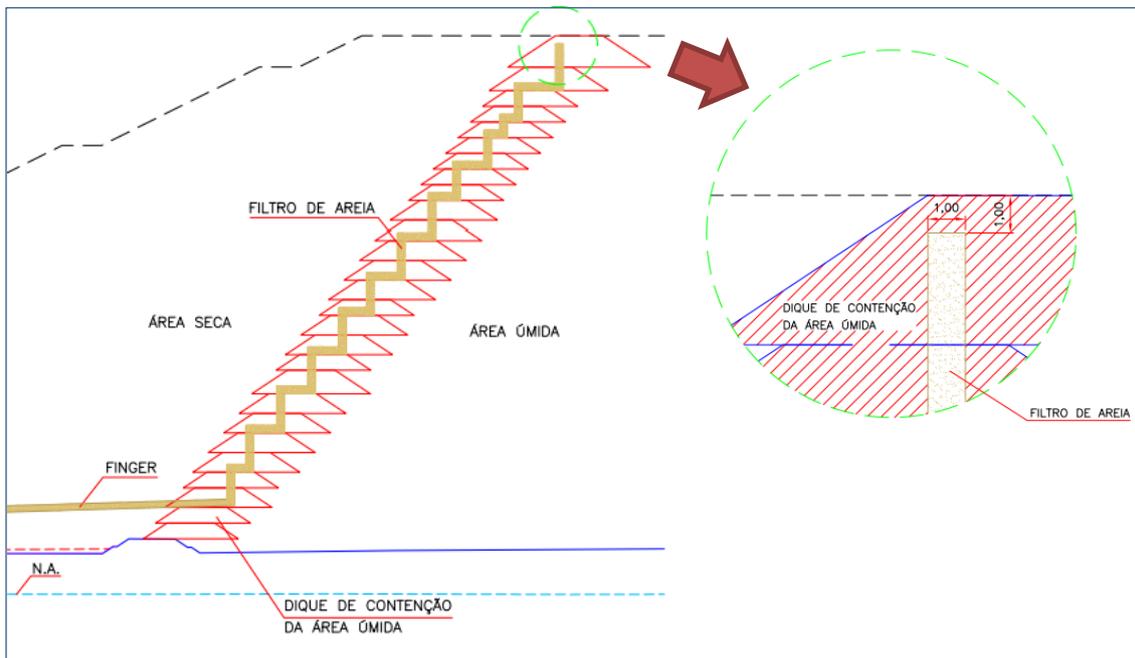


Figura 7.5 – Detalhe do dreno sub-vertical (D1-3541-54-G-163)

7.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA

A determinação da vazão que percola pela drenagem interna foi realizada a partir de análises de fluxo, considerando condição de infiltração e sem infiltração, além da umidade residual de compactação do resíduo. As hipóteses simuladas são apresentada na Figura 7.6, Figura 7.7 e Figura 7.8, e têm objetivo de verificar a pior condição de solicitação do sistema de drenagem interna. De maneira sucinta, as hipóteses de simulação foram as seguintes:

- Figura 7.6 – Avalia a poropressão construtiva e despreza contribuição de infiltração. Considera situação de final de construção do DRS2;
- Figura 7.7 - Avalia a poropressão construtiva e a contribuição da infiltração no final de construção do DRS2;
- Figura 7.8 - Avalia a poropressão construtiva e a contribuição da infiltração na etapa inicial de construção do DRS2, quando o alteamento se encontra na El. 26 m, isto é, altura de aterro de 10 m.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

As condições de contorno e de fluxo simulada pela projetista nas análises foram:

- Infiltração na superfície do resíduo: $I = 2 \times 10^{-6}$ cm/s;
- Contorno interno do DRS2: Carga hidráulica min. = 80 m (Final de construção);
- Contorno interno do DRS2: Carga hidráulica min. = 26 m (Condição intermediária);
- Saída do dreno sub-horizotal: Carga de pressão nula $h_p = 0$;

Os parâmetros de permeabilidade adotados nas simulações estão apresentados na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Parâmetros de permeabilidade utilizados nas análises de percolação (documento DB-3541-54-G-319).

MATERIAL	PERMEABILIDADE SATURADA ksat (cm/s)	FONTE DOS DADOS
Fundação fofa	$k_v = 5.17E-06 \sigma_v^{-1.9198}$ ($k_v = k_h$)	LOCTEST – 2014
Fundação densa	$k_v = 5.17E-06 \sigma_v^{-1.9198}$ ($k_v = k_h$)	RT-5186-54-G-005/ RJ-5669-07 (Geomecânica)
Resíduo seco	$k_v = 3E-06 \sigma_v^{-0.463}$ ($k_v/k_h=0,1$)	RT-2721406-54-G-0001/ GTF-2016-IG-001 (2016)
Resíduo úmido	$k_v = 2E-05 \sigma_v^{-0.778}$ ($k_v/k_h=0,1$)	WS - Geotecnia Ltda (2011) Coeficiente de Poisson estimado
Aterro	4,00E-06 ($k_v = k_h$)	Ensaio de laboratório WS – 2011
Drenos e filtros	2,00E-03	Relatório RT-5186-54-G-001/ RJ-5640-019 (Geomecânica)

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

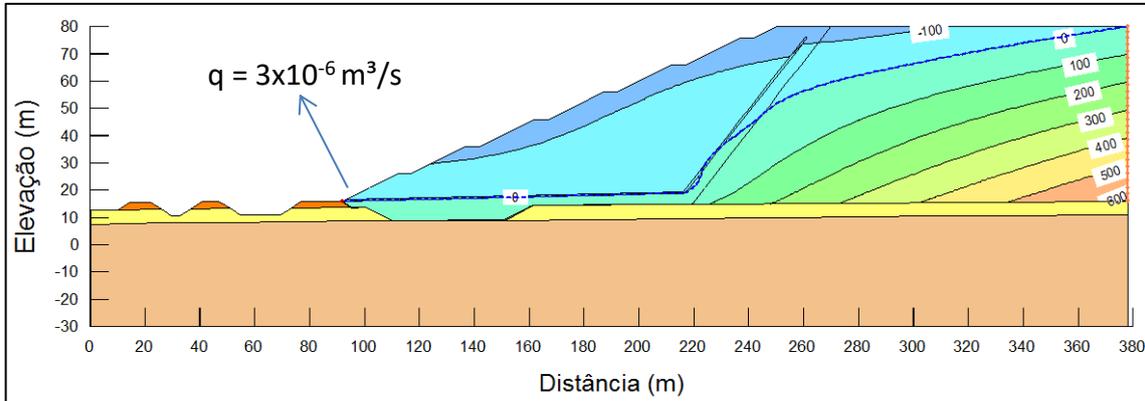


Figura 7.6 – Isolinhas de poropressão construtiva, desconsiderando infiltração – Final de construção (documento DB-3541-54-G-319).

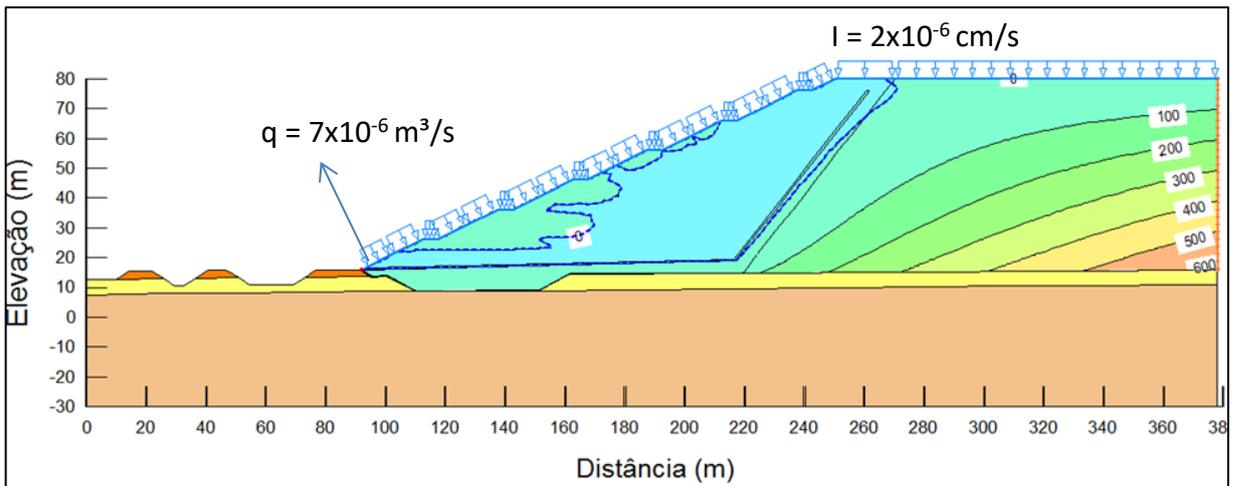


Figura 7.7 – Isolinhas de poropressão construtiva considerando infiltração – Final de construção (documento DB-3541-54-G-319).

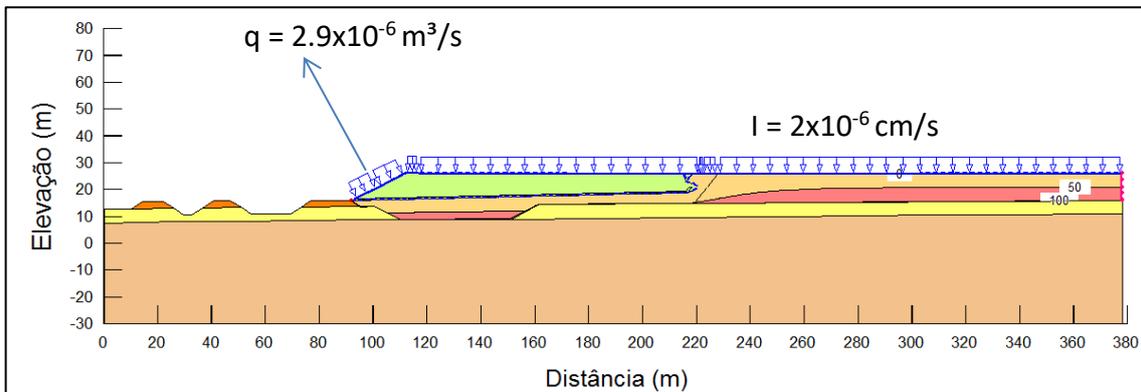


Figura 7.8 – Isolinhas de poropressão construtiva e considerando infiltração – El. 26 m – Altura do aterro de 10 m (documento DB-3541-54-G-319).

A Tabela 7.2 e Tabela 7.3, documento (DB-3541-54-G-319), detalham o dimensionamento final da drenagem interna considerando a vazão unitária $q = 7 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, obtida no caso mais crítico. O cálculo desconsidera para o dreno sub-horizantal a inclinação adotada em projeto de 3%, uma vez que devido aos recalques diferenciais do resíduo disposto, o dreno deverá ter sua inclinação de projeto reduzida, não sendo esperado declividade menor que zero. Portanto, a adoção de um valor de declividade igual a zero é conservadora para o projeto.

Tabela 7.2 – Dimensionamento do dreno sub-vertical

FILTRO VERTICAL DE AREIA CONTÍNUO	
Q = k.i.A	
Material	Areia
Vazão unitária q (m ³ /s/m)	7.00E-06
Fator de segurança	10.00
Vazão total Q (m ³ /s/m)	7.00E-05
Gradiente i	1.00
Permeabilidade k areia (m/s)	1.00E-04
Área de areia A = 1.e	0.70
Espessura calculada e (m)	0.70

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

FILTRO VERTICAL DE AREIA CONTÍNUO	
Espessura adotada e (m)	1.00

Tabela 7.3 – Dimensionamento do dreno sub-horizontais

DRENOS DE BRITA ESPAÇADOS DE 10 m	
Q = k.i.A	
Material	Brita (Seixo rolado)
Distância entre drenos	10.00
q (m ³ /s/m)	7.00E-06
Fator de segurança	5.00
Vazão total Q (m ³ /s/m)	3.50E-04
Gradiente i	0.03
Permeabilidade k brita(m/s)	5.00E-02
Área de brita A = b.h (m ²)	0.23
Largura b (m)	0.50
Altura h (m)	0.50

A granulometria dos materiais constituintes do sistema de drenagem interna é apresentada no documento ES-3541-54-G-099, elaborado pela PIMENTA DE ÁVILA. Para os filtros e transições foi especificada a utilização de areias média/grossa e brita graduada. A faixa granulométrica da areia foi especificada conforme Tabela 7.4.

Tabela 7.4 – Granulometria da areia (documento ES-3541-54-G-099).

PENEIRA	PERCENTAGEM QUE PASSA EM PESO
3/8"	100
Nº 4	80 – 100
Nº 10	30 – 90
Nº 16	0 – 20
Nº 40	0 – 5
Nº 100	100

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

PENEIRA	PERCENTAGEM QUE PASSA EM PESO
Nº 200	80 – 100

O documento ainda indica que a brita pode ser substituída por cascalho, desde que obedeça à faixa granulométrica correspondente apresentada na Tabela 7.5, Tabela 7.6 e Tabela 7.7.

Tabela 7.5 – Granulometria da brita 2 (documento ES-3541-54-G-099).

PENEIRA	PERCENTAGEM QUE PASSA EM PESO
6"	100
3"	80 – 100
1 1/2"	30 – 90
¾"	0 – 20
3/8"	0 – 5
6"	100
3"	80 – 100

Tabela 7.6 – Granulometria da brita 1 (documento ES-3541-54-G-099).

PENEIRA	PERCENTAGEM QUE PASSA EM PESO
2"	100
1"	50-100
3/8"	15 -50
Nº 4	0-15

Tabela 7.7 – Granulometria da brita 0 (documento ES-3541-54-G-099).

PENEIRA	PERCENTAGEM QUE PASSA EM PESO
1"	100
½"	65 - 100
3/8"	50 - 90
Nº 4	15 - 50

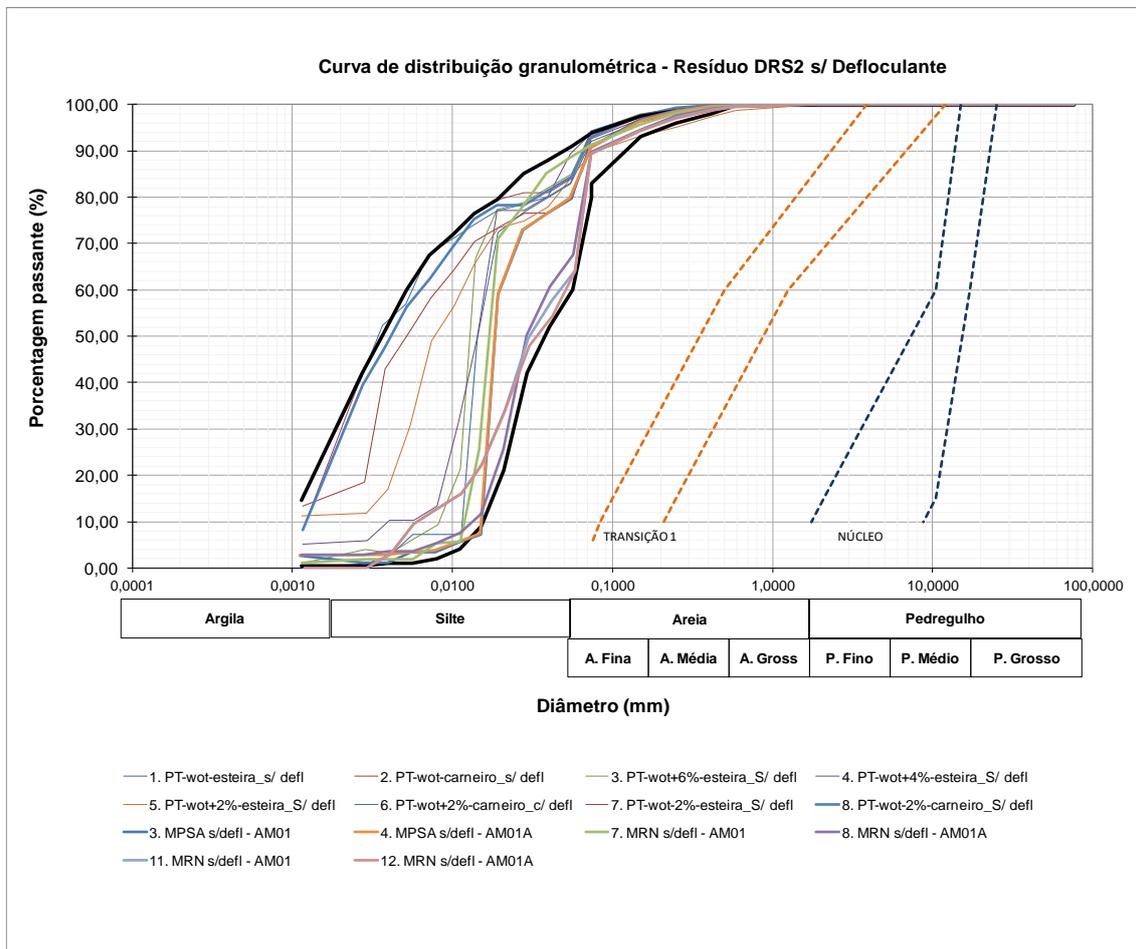
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

PENEIRA	PERCENTAGEM QUE PASSA EM PESO
Nº 10	0 - 10
Nº 16	0 - 5

Foi esclarecido pela equipe da HYDRO que a validação da granulometria dos materiais da drenagem interna e das especificações do geotêxtil será realizada antes de sua execução. Em função das limitações regionais dos fornecedores de geotêxteis e da própria validação da granulometria dos materiais a serem fornecidos por jazidas locais, admite-se que possam ser realizados ajustes geométricos no sistema projetado caso necessário (em função dos resultados permeabilidade, principalmente). Ressalta-se que estes ajustes podem ser perfeitamente efetuados dentro das normativas e mantendo os critérios de projeto.

Ainda foi esclarecido que o geotêxtil que envolve o núcleo drenante dos *fingers* não terá função de transição, apenas de disciplinar os materiais do núcleo drenante auxiliando em sua execução.

A nota técnica PT-3541-54-G-003 apresenta as curvas granulométricas da Figura 7.9 definidas para o material de transição e núcleo, em função da curva granulométrica da lama vermelha (resíduo). A princípio essas são as curvas granulométricas válidas para o projeto do DRS2. Como a estrutura ainda não chegou na elevação necessária para começar a construção do sistema de drenagem interna, a HYDRO irá verificar se os materiais granulares na região possuem a granulometria e permeabilidade adequadas para aplicação. Caso contrário, poderão ser realizados ajustes, os quais permanecerão dentro das normativas estabelecidas para o projeto e dentro dos critérios pré-definidos.

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

Figura 7.9 – Faixas granulométricas para transições

7.3 ANÁLISE CRÍTICA DO SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA

O conceito proposto para o sistema de drenagem interna apresentado no documento DB-3541-54-G-319 está coerente com as práticas de engenharia de barragens/pilhas de estéril. Pelo fato de não ser uma barragem a estrutura não possui um reservatório. A água que pode entrar no sistema é aquela proveniente da infiltração da chuva e a umidade residual do próprio processo de compactação do resíduo. Ambas as possibilidades foram simuladas no dimensionamento do sistema de drenagem.

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

Foi adotado nos cálculos da vazão do sistema de drenagem interna, o maior valor resultante das análises percolação para os cenários considerados. O referido valor de vazão ($7 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$), foi verificado na condição final de construção considerando a contribuição da infiltração e poropressão construtiva. Para o dimensionamento dos dispositivos de drenagem o projetista considerou um fator de segurança de 10 para o dreno sub-vertical e 5 para o dreno sub-horizontal.

Fazendo uma breve comparação com um projeto de barragem clássica de seção convencional, ou seja, aterro compactado com sistema de drenagem interna composto por filtro vertical e dreno horizontal, é possível fazer as seguintes considerações:

- No projeto de barragem, o dreno vertical é sempre “super dimensionado” para a vazão que irá percolar, pois seu gradiente é 1 e a espessura é de caráter construtivo, ou seja, a largura da concha da escavadeira disponível para construção;
- No projeto de barragem o dreno horizontal é dimensionado através de análise de percolação, considerando a água que irá percolar pelo maciço da barragem e pela fundação. A partir das vazões calculadas é aplicado um FS de 10 para o dimensionamento.

Conceitos similares aos aplicados em barragem convencionais foram utilizados para o cálculo do sistema de drenagem do DRS2, apesar de não existir um reservatório. É possível afirmar que o dimensionamento do sistema de drenagem do DRS 2 possui um caráter conservador.

O projetista adotou um fator de segurança de 5 para o dreno sub-horizontal. Esse é um valor menor que o recomendado para uma barragem convencional que é de 10

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2		

(conforme ABNT NBR 13.028:2017) e maior que o recomendável para pilha de estéril que é de 2,5 (conforme ABNT NBR 13.029:2017). Pelo fato de o DRS2 não ser projetado com um reservatório de água e não existir a possibilidade de contribuição de água pela fundação como em uma pilha e estéril, é possível afirmar que a consideração do projetista no fator de segurança foi muito adequada.

Está especificado no desenho do projeto a adoção da brita “2” para o núcleo dos drenos sub-horizontais (*fingers*). Observa-se na tabela de cálculo do dreno (Tabela 7.1), que o valor de permeabilidade adotado para a brita de 0,005 m/s, pode ser considerado baixo para esse material, estando mais próximo aos valores comumente atribuídos para brita “0”. Essa também é uma conspiração conservadora.

8. CONCLUSÕES

O conceito do sistema de drenagem previsto para a estrutura do DRS2 apresenta aderência com as melhores práticas de engenharia de barragem e pilha de estéril.

Pelo fato de não existir uma norma específica para esse tipo de estrutura, é possível identificar que o projetista avaliou em seus modelos de análise as vazões esperadas (considerando infiltração da chuva e umidade remanescente da compactação) e calculou os drenos sub-horizontais utilizando as máximas vazões simuladas, aplicando ainda um fator de segurança de 5. É possível concluir que o dimensionamento é conservador, pois é superior ao recomendado na NBR 13.029:2017 para uma pilha de estéril, que seria a norma que melhor se aplicaria ao conceito da estrutura quando se avalia o sistema de drenagem interna.

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

Em relação ao dreno sub-vertical, seu dimensionamento passa para um caráter mais construtivo do que de projeto, pois o gradiente adotado foi de 1. Logo é uma estrutura com capacidade de vazão sempre muito maior que o calculado em projeto. Nesse caso do DRS2, o papel desse dreno é exercer uma separação entre a zona úmida (interna) e a seca (estrutural). É um conceito de projeto bastante seguro para se evitar saturação da zona estrutural.

O projetista especificou as faixas granulométricas dos materiais granulares (britas e areias), entretanto, ainda será verificado se os fornecedores da região possuem materiais com a qualidade e características necessárias. Caso isso seja confirmado o projeto será executado conforme está definido. Caso contrário, o projetista deverá avaliar a necessidade de uma revisão, especialmente no dimensionamento dos drenos sub-horizontais. Como a estrutura ainda não chegou na elevação necessário para início da construção do sistema de drenagem interna, ainda há tempo para que essas definições técnicas sejam realizadas, e uma futura revisão do projeto, caso necessário, seja conduzido pelo projetista. Para melhor esclarecimento, uma eventual revisão do sistema consistiria em um pequeno aumento da largura ou da altura dos drenos sub-horizontais, por exemplo.

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. ABNT NBR 13.028:2017 – Mineração — Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água — Requisitos

AVALIAÇÃO DO PROJETO E DISPOSIÇÃO DE DRENOS E OUTROS NO DRS2

- iii. ABNT NBR 13.029:2017 – Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha.
- 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.
- 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. MABESOONE, J. M. e CASTRO, C. (1975). Desenvolvimento Geomorfológico do Nordeste Brasileiro. Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, Recife, v.3, p. 05- 35.
- xii. ROSSETTI D.F. & VALERIANO M.M. 2007. Evolution of the lowest Amazon basin modeled from the integration of geological and SRTM topographic data. Catena, 70:253-265.



FONNTES
G E O T É C N I C A

WEBSITE

www.fonntesgeotecnica.com

TELEFONES

(31) 3582-9185

(31) 3582-9186

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