

À

NORSK HYDRO BRASIL

Av. Gentil Bittencourt, 549

Belém – PA

A/C

CAROLINA VARKALA

Departamento de Suprimentos de Bauxita & Alumina

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

Prezada,

Apresentamos o relatório técnico de avaliação dos aspectos estruturais do Depósito de Resíduos Sólidos DRS1, a concepção geral do projeto, o arranjo e dimensionamento das estruturas, além de suas funcionalidades, em atendimento à letra “C” do Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta, celebrado entre a HYDRO, ALUNORTE e o Ministério Público do Estado do Pará (MPPA), Ministério Público Federal (MPF), o Estado do Pará e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará. O DRS1 está localizado junto a produção da Alunorte, no município de Barcarena – PA.

À disposição para esclarecimentos julgados necessários,

Belo Horizonte, 03 de agosto de 2023

Atenciosamente,



Michel Fontes
DIRETOR
FONNTES GEOTÉCNICA



FONNTES
G E O T É C N I C A

FG-2201-NHB-A-BA-RT15-02

RELATÓRIO TÉCNICO DE AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1

CLIENTE:



PROJETO:

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

BARCARENA - PA



Agosto/2023

AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1**SUMÁRIO**

GLOSSÁRIO	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVO.....	6
3. DADOS UTILIZADOS	7
4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	8
5. APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA	9
5.1 LOCALIZAÇÃO	12
5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS	18
5.2.1 <i>Histórico de Investigações</i>	20
5.2.2 <i>Geologia Local</i>	21
5.3 DRENAGEM INTERNA	22
5.4 SISTEMA EXTRAVASOR E DRENAGEM SUPERFICIAL	22
5.5 INSTRUMENTAÇÃO	23
5.6 FECHAMENTO DO DEPÓSITO DRS1	23
6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO	26
7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....	27
7.1 MÉTODOS DE DISPOSIÇÃO	28
7.1.1 <i>Disposição convencional</i>	29
7.1.2 <i>Empilhamento Drenado</i>	31
7.1.3 <i>Disposição Subaérea</i>	33
7.1.4 <i>Rejeito Espessado e em Pasta</i>	33
7.1.5 <i>Empilhamento de Rejeito Filtrado (dry stacking)</i>	34
7.2 FILTRAGEM DE REJEITOS	36
7.3 DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO DRS1.....	41
8. CONCLUSÕES	42
9. REFERÊNCIAS	45

GLOSSÁRIO

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1		

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

1. INTRODUÇÃO

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

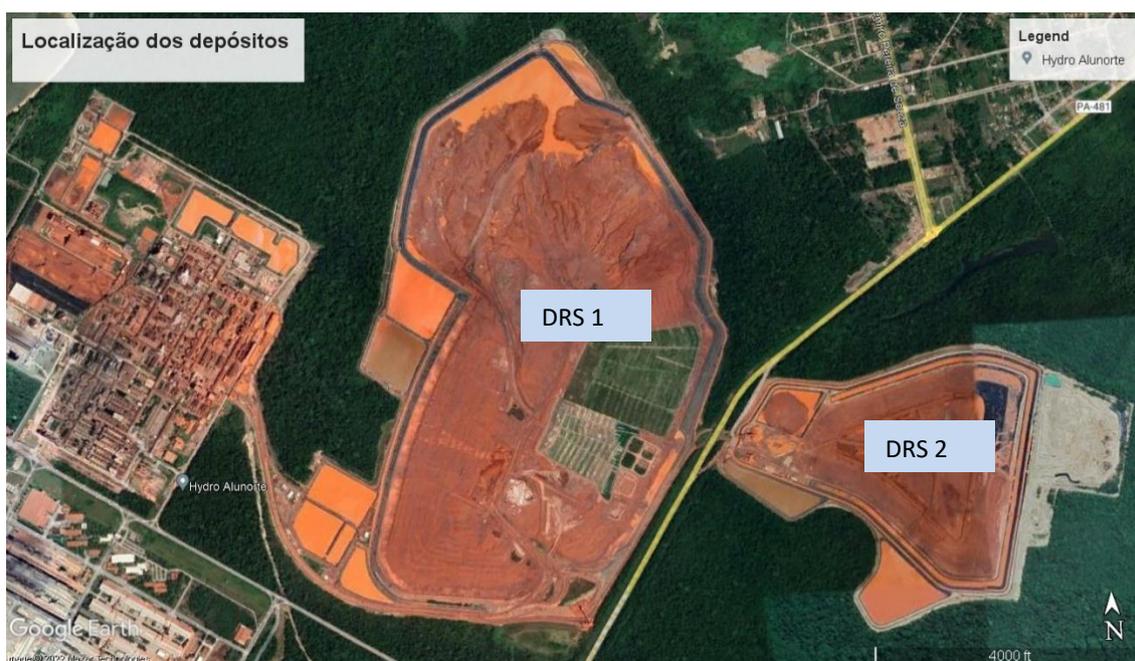


Figura 1.1 – Localização do empreendimento

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1		

IC nº 001/2018 - MP (SIMP nº000654 -710/2018) MPPA, Inquérito Civil nº 000980 - 040/2018 (Portaria no 12/2018) MPPA, Inquérito Civil no 1.23.000.000498/2018 - 98 MPF.

Os relatórios a serem elaborados pela FONNTES atenderão plenamente aos requisitos do Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta, celebrado entre a HYDRO, ALUNORTE 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 nº 12.334/2010);
- c) Aspectos estruturais Depósitos de Resíduos Sólidos (DRS1 e DRS2), a concepção geral do projeto, o arranjo e dimensionamento das estruturas, além de suas funcionalidades;**
- d) Análise qualitativa de instrumentação com vistas a determinação da densidade de drenagem, a fim de aferir o comprometimento das águas superficiais e subterrâneas;
- e) Avaliação da compatibilidade da localização dos DRS com o projeto, obedecendo à legislação aplicável, às normas ambientais e aos critérios econômicos, geotécnicos, estruturais, sociais e de segurança e risco, mediante necessidade de segurança estrutural, bem como considerando a possibilidade de existência de drenagens naturais possivelmente afetadas, tais como mananciais e olhos d'água;
- f) Análise da viabilidade da concepção proposta, em termos operacionais e manutencionais, ou seja, se os processos de controle necessários à disposição dos rejeitos da forma concebida são compatíveis com a estrutura existente e

AValiação DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1		

corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação; a estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência, utilizando-se como referência a Instrução Normativa nº02/2018, publicada no DOE nº 33.554, de 07 de fevereiro de 2018 e conforme estabelecido no Art. 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010.

Nesse contexto, o presente relatório apresenta os estudos realizados para atendimento do item **c)**, referente à avaliação dos aspectos estruturais do Depósitos de Resíduos Sólidos (DRS1), a concepção geral do projeto, o arranjo e dimensionamento das estruturas, além de suas funcionalidades.

2. OBJETIVO

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1		

destacar que esse esclarecimento foi muito importante para o direcionamento dos serviços, porque em alguns casos haviam perguntas com temas que teriam melhor abordagem em outras letras do TAC 3.1 ou ainda em outras cláusulas que não eram escopo do presente trabalho. Abaixo é reproduzido o extrato do ofício com a explicação do entendimento para resposta da pergunta **letra C)**, objeto desse relatório.

Este item se concentra na “concepção geral do projeto”, pois os dimensionamentos e funcionalidades já serão mais bem detalhados no Item A). Será considerado a pertinência das soluções implementadas, tendo como partida as tecnologias disponíveis no mercado para questão de estocagem de resíduos industriais. Se a concepção, ou seja, o conceito geral projetado, está alinhamento a boas práticas e critérios consagrados de engenharia. Nesse sentido, pode ser realizada uma comparação da tecnologia e conceito geral do projeto utilizado para construção dos DRS1 e DRS2 com outras tecnológicas disponíveis, apresentado suas vantagens e desvantagens e aplicabilidade para realidade local.

3. DADOS UTILIZADOS

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1		

Tabela 3.1 – Documentos recebidos e utilizados na elaboração deste estudo

CÓDIGO	TÍTULO DO DOCUMENTO	ELABORADO POR	DATA
RT-3500-54-G-220-R00	Nota técnica de Operações Filtro Tambor e Filtro Prensa	HYDRO	16/05/22
RT-3540-54-G-1014 R02	Relatório Técnico do Projeto “As Is”	PIMENTA DE AVILA	29/07/21
OM-3540-54-G-1001 R03	Manual de Operação de Disposição de Resíduos do Filtro Prensa no DRS1	PIMENTA DE AVILA	05/03/21
OM-8400-54-G-069 R01	Manual de Planejamento de Implantação e Operação	LPS	14/12/18
RT-3540-54-G-019 R03	Relatório de Consolidação de Dados DO Projeto Executivo da Célula Leste CL3	PIMENTA DE AVILA	2012
MD-3540-54-G-091 R04	Memorial Descritivo do Projeto de Expansão do DRS Célula Leste	PIMENTA DE AVILA	01/07/10

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;

AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1

- Apresentação da estrutura em estudo, nivelando o conhecimento básico do leitor sobre o tema;
- Metodologia de avaliação da letra relativa ao presente relatório;
- Desenvolvimento dos estudos relativos à letra do presente relatório;
- Considerações finais;
- Referências bibliográficas.

5. APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA

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

O relatório acrescenta que, até novembro de 2018, o sistema utilizado pela ALUNORTE para desaguamento dos resíduos era por filtro tambor, obtendo-se um resíduo com cerca de 65% de teor de sólido. A partir de novembro de 2018, passou-se a utilizar o sistema de filtragem do resíduo por filtro prensa, obtendo-se um teor de sólidos de aproximadamente 78%.

No doc. RT-3540-54-G-570-R01, a PIMENTA DE AVILA (2021) informa que o início da construção do DRS1 ocorreu em 1994. A Figura 5.1 indica os elementos existentes no DRS1 e, a seguir, apresenta-se a sequência construtiva do DRS1:

- 1994/1995 – Implantação da Célula Inicial em etapa única;
- 1997 – Implantação das Células 1 e 2 em etapa única;
- 1998 – Implantação das Célula 3 em etapa única;

AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1

- 1999 – Implantação das Células 4 e 5 em etapa única;
- 2000 – Implantação das Célula 6 em etapa única;
- 2003 – Implantação das Célula 7 em etapa única;
- 2004-2006 – Alçamento a jusante dos diques periféricos das células existentes;
- 2006/2007 – Implantação das Célula Sul em etapa única;
- 2009/2010 – Implantação da Célula Leste 1 (CL1) em etapa única;
- 2009/2010 – Implantação das Bacias de Controle BC3 e BC4;
- 2010 – Implantação da Célula Leste 2 (CL2) em etapa única;
- 2011/2012 – Implantação da Célula Leste 3 (CL3) em etapa única;
- 2012 – Implantação das Bacias de Controle BC5 e BC6;
- 2019 – Implantação do Acesso Externo à Célula Leste 3 (CL3).

AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1



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

A partir de 2003, com o projeto de implantação da célula 7, a PIMENTA DE AVILA assumiu a função de projetista do DRS1, responsabilizando-se pela elaboração dos projetos posteriores a esta data. Acrescenta-se que a nomenclatura “DRS1” passou a ser

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1		

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

5.1 LOCALIZAÇÃO

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

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

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

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

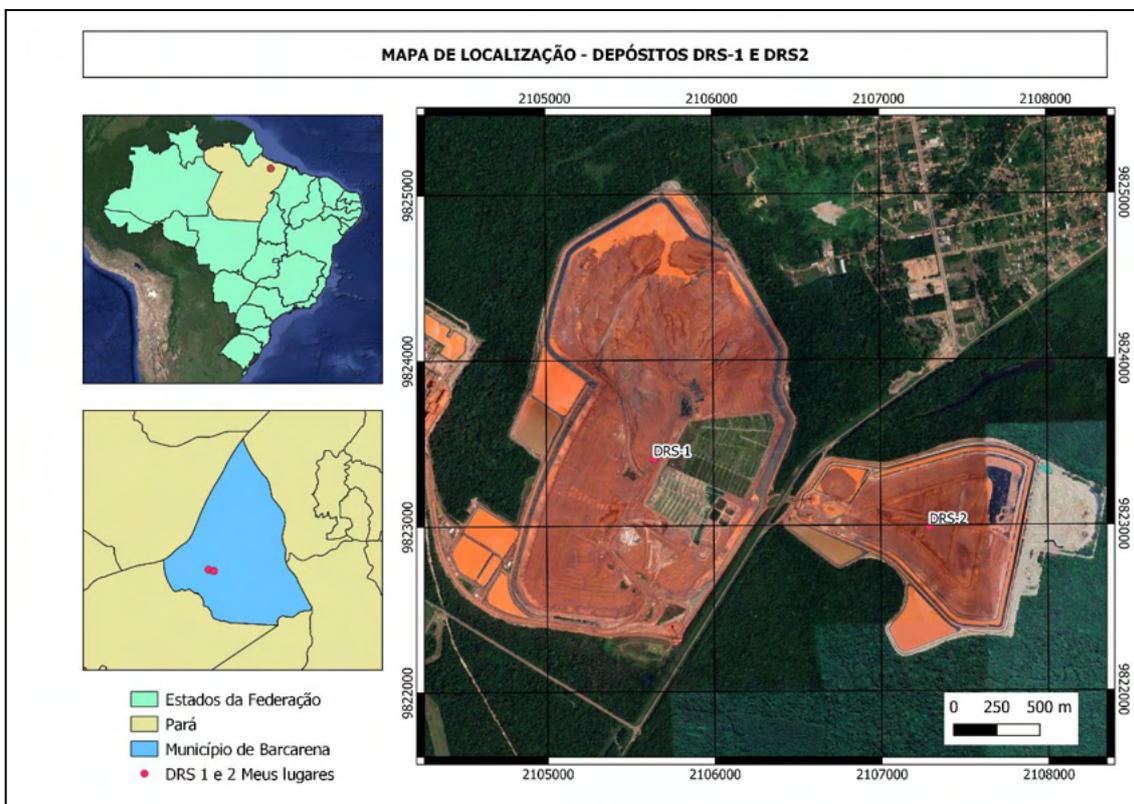
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1


Figura 5.2 – Localização da Estrutura – DRS1 e DRS2

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

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

Segundo o levantamento censitário realizado pelo IBGE (2010), o município de Barcarena possui 99.859 habitantes., apresentando densidade demográfica de 76,21 habitantes por quilômetro quadrado. Conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, identificam-se as comunidades Água Verde, Boa Vista, Bom Futuro, Itupanema, J. Cabanos, J. Independência, J. Paraíso, Jardim das Palmeiras, Laranjal,

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1		

Murucupi, Nazaré, Nossa Sra. De Fátima, Novo Horizonte, Novo Paraíso, Pioneiro, Renascer com Cristo, São José, Vila Nova e Vila São Francisco. Além das comunidades Quilombolas Gibrié de São Lourenço, Sítio Conceição, Sítio Cupuaçu/Boa Vista, Sítio do Burajuba e Sítio São João.

AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1

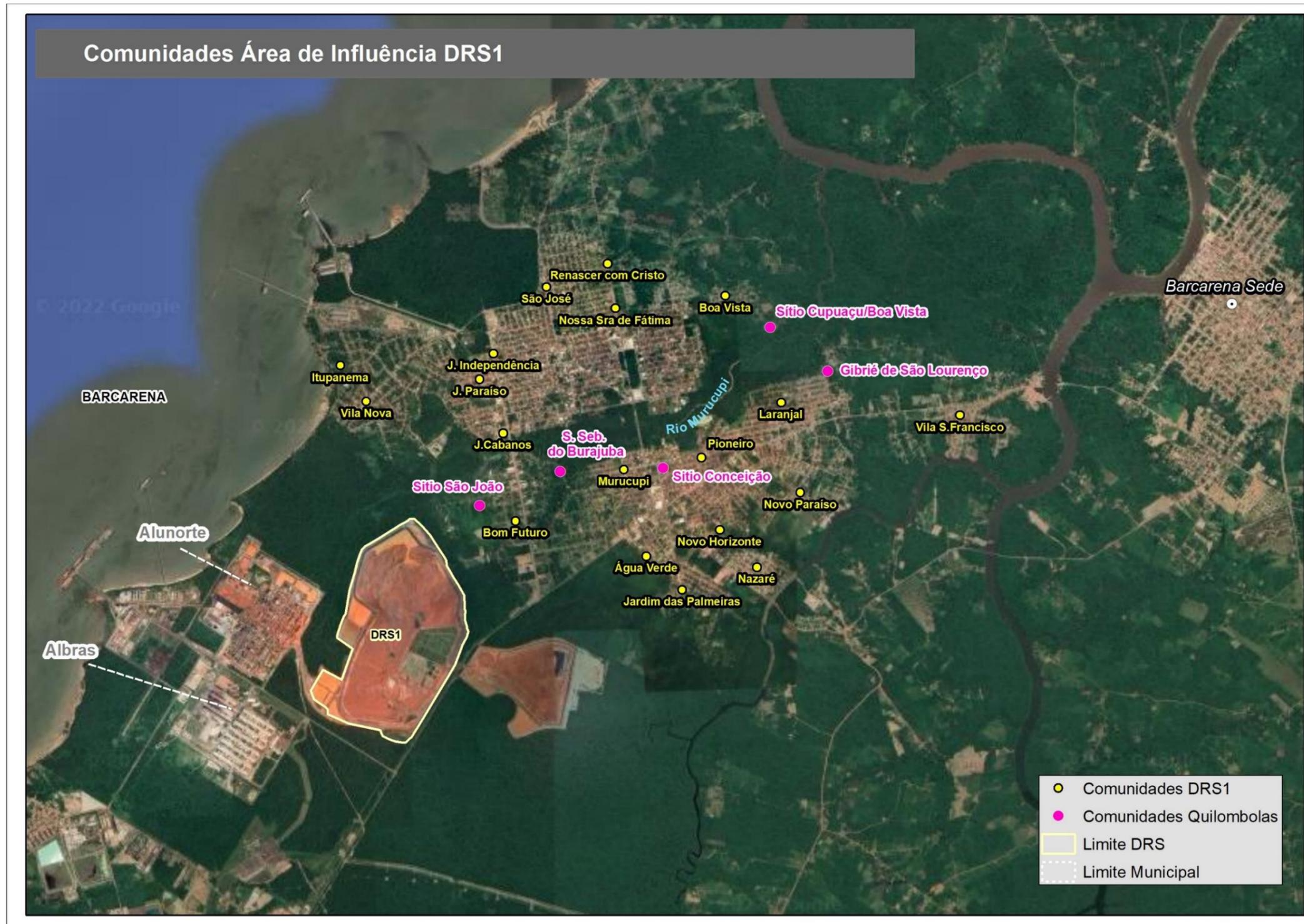


Figura 5.3 – Localização das comunidades próximas ao depósito DRS1 (Imagem fornecida pela equipe técnica da HYDRO/ALUNORTE)

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1		

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

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

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

AValiação DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1

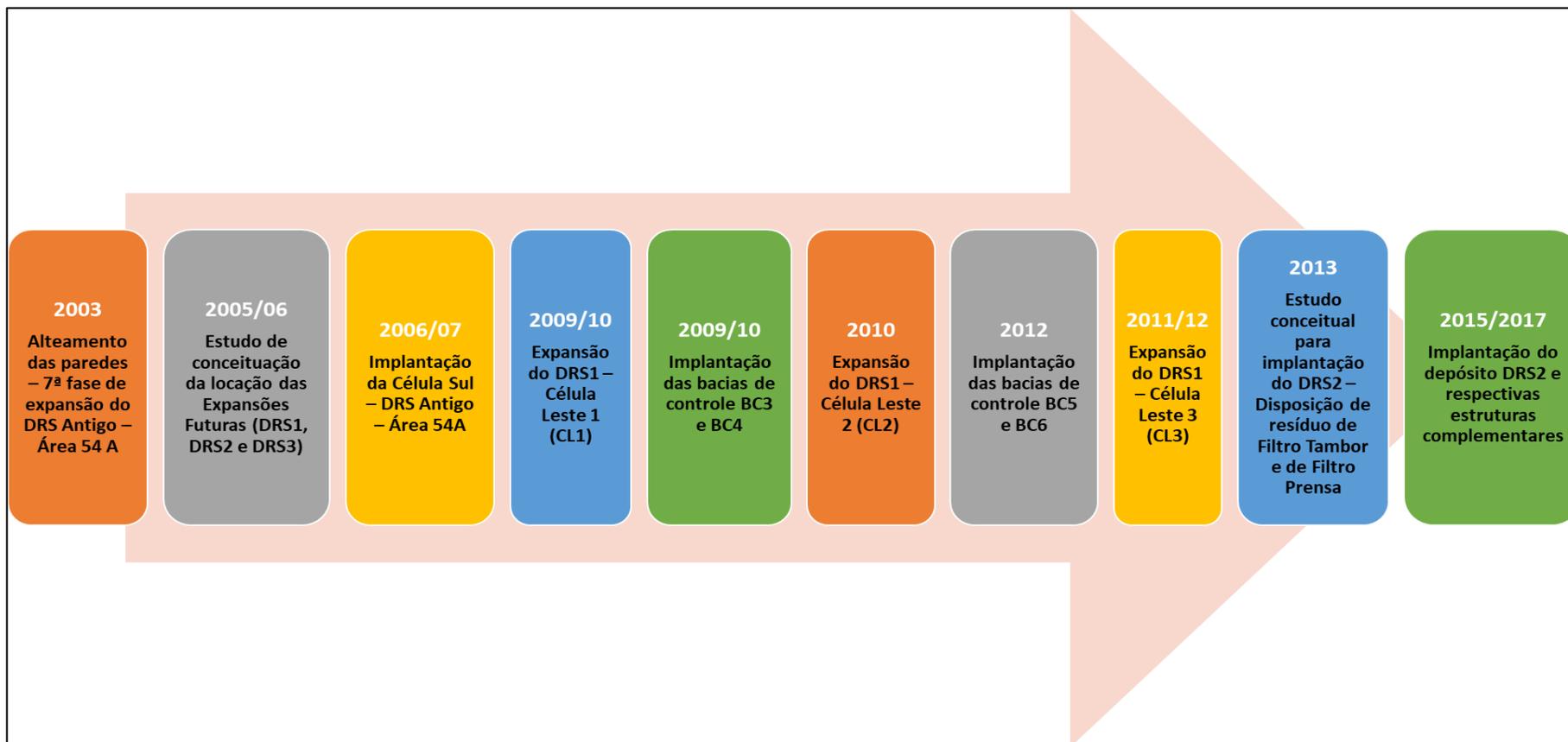


Figura 5.4 – Histórico de expansão do DRS1 e DRS2

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1		

5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

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

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

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

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

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AValiação dos Aspectos Estruturais no DRS1		

5.2.1 Histórico de Investigações

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

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

CAMPANHA	EMPRESA	ANO	DOCUMENTO
Alteamento das Paredes – 7ª Fase de Expansão – 2003	WS – Geotecnia Ltda	2003	Documento 085/2003
Alteamento das Paredes – 7ª Fase de Expansão – 2003	Geolabor	2003	TLF-2881/0
Projeto de Alteamento da Parede Oeste – Área	WS – Geotecnia Ltda.	2005	Desenho D1-3540-54-G-090
Projeto do Dique de Partida – Célula Sul	Solotécnica Engenharia Ltda.	2006	Documento 073/2006
Expansão do DRS para Leste – CL1/CL2/CL3 – 1ª Etapa	WS-Geotecnia Ltda.	2008	Desenho D1-3540-54-G-093 e documento MD-3540-54-G-091
Expansão do DRS para Leste – CL1/CL2/CL3 – 2ª Etapa	WS-Geotecnia Ltda.	2010	Desenhos D1-3540-54-G-023 a D1-3540-54-G-025 (planta e seções)
Acesso DRS1-DRS2, área de filtragem, desvio e travessia da PA-481	Solotécnica	2014	Documento RT-3541-34-L-016 e desenhos D1-3541-54-L-008 a D1-3541-54-L-015.
Estudos Geológicos da Fundação – Correia C-34e-04	GEONORT	2015	Documento nº 019/2016
Acesso Externo à CL3	Enviro-Tec	2019	Boletins referentes ao contrato referente ao contrato 4600006593-TAC4 e desenhos D1-3540-54-G-601 a D1-3540-54-G-603
Instrumentação Complementar – 2019/2020	3Geo Consultoria	2019/2020	Relatório RT-467309-54G-003
Caracterização dos materiais do reservatório	Fugro In Situ Geotecnia Ltda	2021	RT-468603-54-L-0002 R00, RT-468603-54-L-0003 R00 e RT-468603-54-L-0004 R00

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1		

5.2.2 Geologia Local

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

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

Na região de jusante do canal de contorno da estrutura, é possível observar a ocorrência de materiais de botas fora, e próximo à estaca 275 ocorrem detritos vegetais e resíduos, de coloração cinza escura e índice de NSPT inferior a 5 golpes.

O aterro é formado por solos argilo-siltosos a silto-arenosos com coloração variegada. Pontualmente é observada a presença de pedregulhos que interferem nos resultados do NSPT, sendo o valor mínimo de NSPT observado igual a 5 e o máximo igual a 54.

A Figura 5.6 apresenta a seção típica que representa a área de interesse.

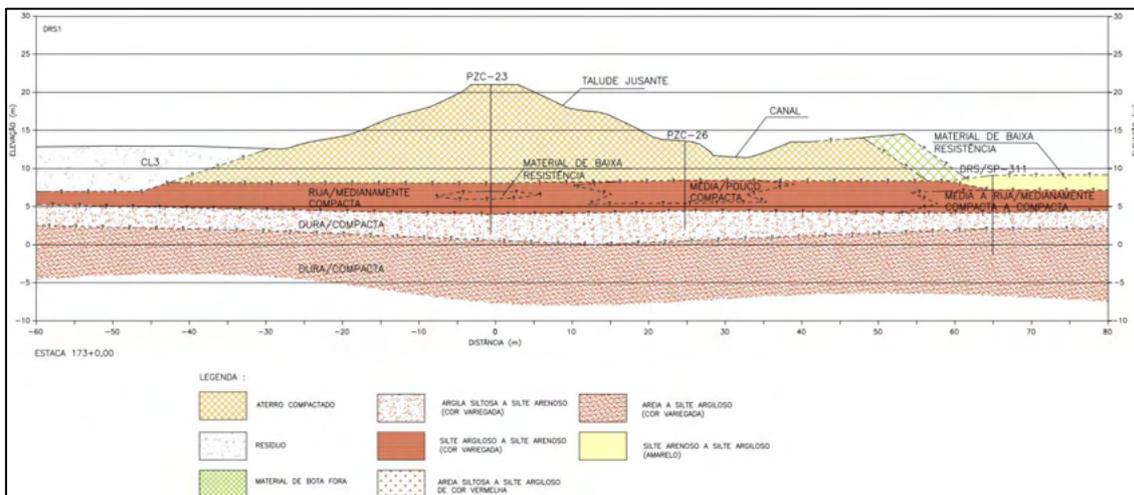
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1


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

5.3 DRENAGEM INTERNA

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

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

5.4 SISTEMA EXTRAVASOR E DRENAGEM SUPERFICIAL

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1		

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

5.5 INSTRUMENTAÇÃO

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

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

5.6 FECHAMENTO DO DEPÓSITO DRS1

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

- uma camada de conformação com rejeito filtro prensa densificado assente sobre perfil estabilizado da superfície do depósito;
- uma camada de areia ou geossintético drenante de bloqueio/ sistema de drenagem subsuperficial;
- duas camadas de solo, sendo a primeira de cobertura com solo local com espessura média de 60cm e a segunda camada de solo vegetal com 20cm de espessura;

AValiação DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1

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

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

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

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

AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1

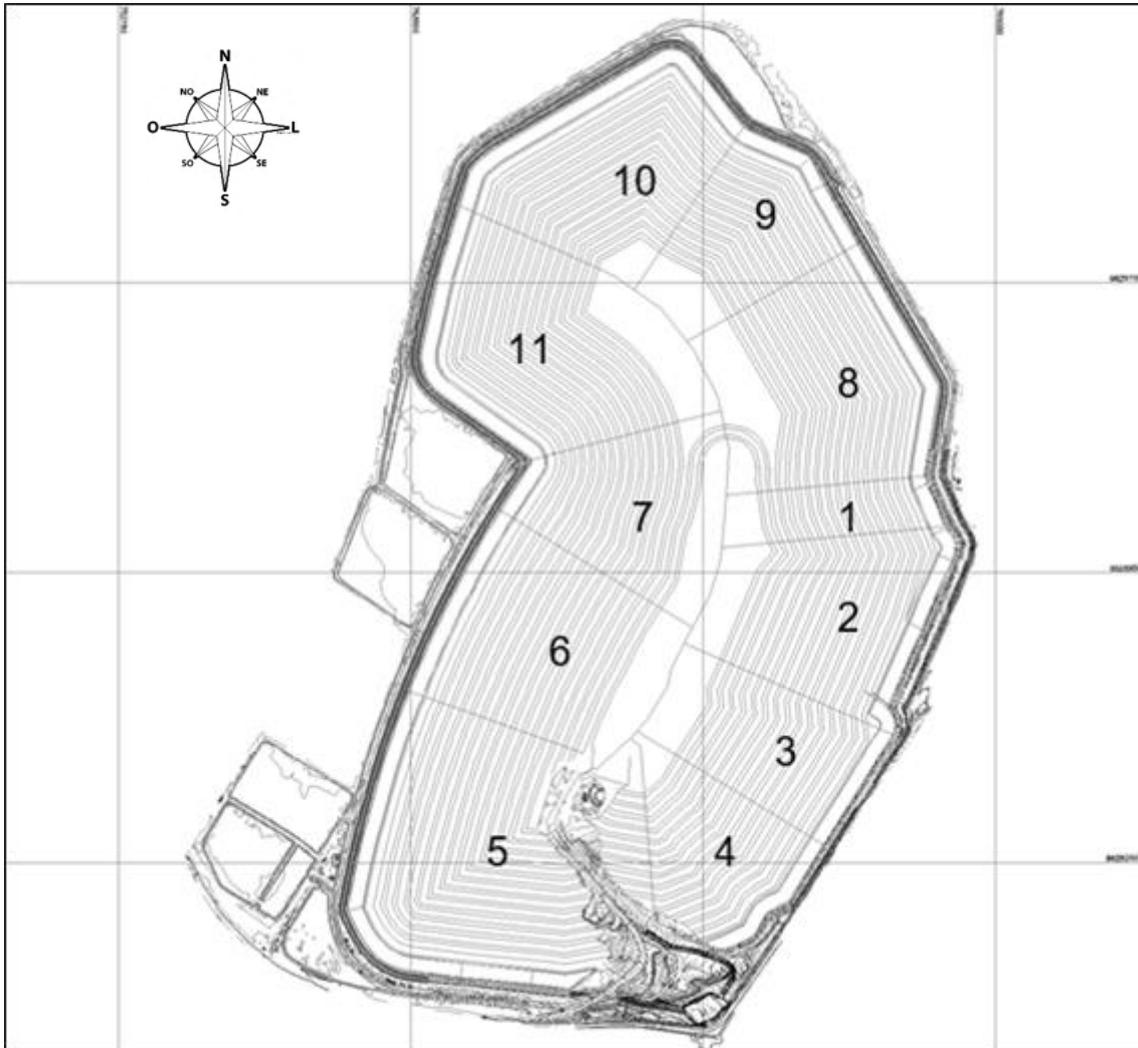


Figura 5.7 – Faixas de reabilitação do DRS1 (Doc. OM-8400-54-G-069 R01)

A Figura 5.8 apresenta a situação da FAIXA 2 (Vide Figura 5.7), em processo reabilitação, durante visita técnica de campo realizada pela FONNTES no dia 09/02/2022.



Figura 5.8 – Vista da FAIXA 2 no DRS1 em processo de reabilitação (Fonte: Visita Técnica realizada em 09/02/2022)

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

6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

No início dos trabalhos foram realizadas reuniões com o MP-PA com objetivo de alinhamento sobre o entendimento do escopo das letras do TAC 3.1. Um ofício foi elaborado pela FONNTES e direcionado ao MP-PA (protocolo PR-PA-00011706/2022 em 16 de março de 2022) com o entendimento da metodologia para resposta técnica de

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AValiação DOS ASPECTOS ESTRUTURais NO DRS1		

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

A metodologia de avaliação da do presente item do TAC 3.1, letra C), se concentra na “concepção geral do projeto”, pois os dimensionamentos e funcionalidades já serão melhor detalhados no Item A). Neste sentido, será avaliada a pertinência das soluções implementadas no âmbito do DRS1, tendo como partida as tecnologias disponíveis no mercado para questão de estocagem de resíduos industriais.

Também será avaliado se a concepção, ou o conceito geral projetado, está alinhado às boas práticas e critérios consagrados de engenharia. Nesse sentido, pode ser realizada uma comparação entre a tecnologia utilizada para o conceito de disposição de resíduos adotado no projeto do DRS1 com outras tecnológicas disponíveis, apresentando suas vantagens e desvantagens e aplicabilidade para realidade local.

7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

O estudo a seguir trata-se de uma revisão bibliográfica, cujo objeto é apresentar de maneira sucinta os tipos de tecnologia disponíveis atualmente para disposição de rejeitos, a fim de contextualizar sobre as possíveis soluções disponíveis em relação àquela adotada pela ALUNORTE (item 7.1.5). A sequência de apresentação considera também o nível tecnológico da solução, iniciando pelas mais simples até as de maior robustez.

7.1 MÉTODOS DE DISPOSIÇÃO

Os resíduos do processo de mineração, incluindo rejeitos (materiais líquidos) e resíduos (materiais sólidos), de modo geral não apresentam valor comercial, fazendo necessário encontrar um local para dispor esse volume.

A escolha do método de disposição do rejeito depende da tecnologia utilizada no processo de beneficiamento do minério e tratamento do rejeito. Conforme Peixoto (2012), em função do teor de sólidos e consistência, os rejeitos podem ser classificados como:

- Rejeito em polpa (*slurry*): rejeito contendo baixo teor de sólidos e que apresente baixa ou nenhuma resistência ao transporte por gravidade ou via bombeamento;
- Rejeito espessado (*thickened tailings*): rejeito parcialmente desaguado e que apresenta consistência semelhante a polpa, sendo possível o transporte por bombeamento;
- Rejeito em pasta (*paste tailings*): rejeito espessado que apresenta consistência de pasta e que não flui naturalmente e não drena grande quantidade de água quando disposto no depósito final;
- Rejeito filtrado úmido (*wet cake tailings*): rejeito com aspecto de uma massa saturada ou quase-saturada não bombeável;
- Rejeitos filtrados secos (*dry cake tailings*): resíduo com aspecto de uma massa não-saturada não bombeável, contendo grau de saturação geralmente entre 70% e 85%.

A Figura 7.1 apresenta algumas características do rejeito em função da sua classificação baseada no teor de sólidos e consistência.

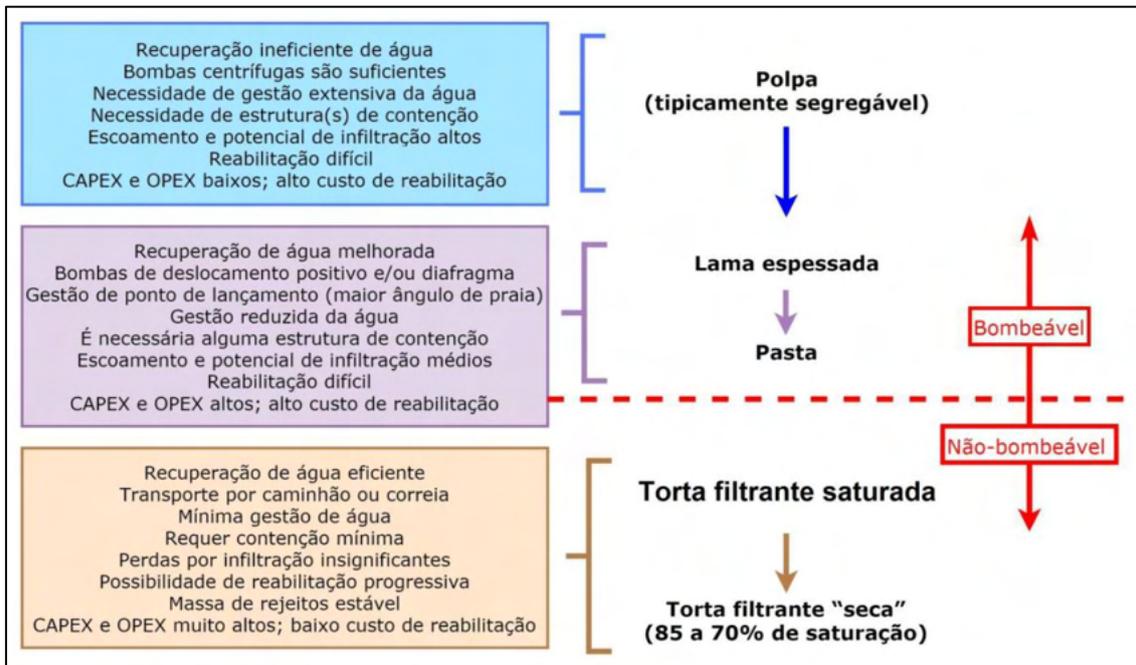
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1


Figura 7.1 – Esquema comparativo entre formas de disposição de rejeito (Adaptado de *Australia's Department of Industry, Innovation And Science, 2016*) (ALVES, 2020).

Os métodos para disposição dos rejeitos da mineração incluem:

- disposição convencional (em reservatórios, como barragens e diques);
- empilhamento drenado;
- disposição subaérea;
- rejeito espessado ou em pasta;
- empilhamento de resíduo filtrado (*dry stacking*).

7.1.1 Disposição convencional

Segundo ALVES (2020), o método de disposição mais utilizado consiste no lançamento do rejeito na forma de polpa em um reservatório delimitado por uma estrutura de contenção, denominada barragem ou dique.

A Resolução ANM nº95/2022 define barragens de mineração como: barragens, barramentos, diques, cavas com barramentos construídos, associados às atividades desenvolvidas com base em direito mineral, construídos em cota superior à da

AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1

topografia original do terreno, utilizados em caráter temporário ou definitivo para fins de contenção, acumulação, decantação ou descarga de rejeitos ou de sedimentos provenientes de atividades de mineração com ou sem captação de água associada, compreendendo a estrutura do barramento e suas estruturas associadas, excluindo-se deste conceito as barragens de contenção de resíduos industriais. Também são consideradas barragens de mineração as estruturas construídas por meio de disposição hidráulica de rejeitos, como um maciço permeável, dotado de sistema de drenagem de fundo, suscetíveis à liquefação.

Geralmente, a construção de uma barragem se inicia com a implantação de um dique de partida e, na sequência, são realizados alteamentos sucessivos de modo a aumentar a capacidade de armazenamento da estrutura. Os métodos de alteamento de barragens são indicados na Figura 7.2 e detalhados a seguir:

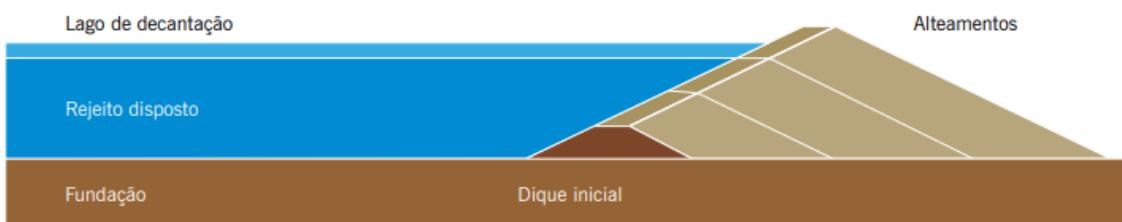
- alteamento a montante¹ – método em que os maciços de alteamento se apoiam sobre o próprio rejeito ou sedimento previamente lançado e depositado;
- alteamento a jusante – método em que os maciços de alteamento são construídos para jusante com material de empréstimo ou com o próprio rejeito;
- alteamento por linha de centro – método em que os alteamentos se dão de tal forma que o eixo da barragem se mantém alinhado com o eixo do dique de partida, em razão da disposição do material construtivo, parte a jusante e parte a montante, em relação à crista da etapa anterior.

¹ Atualmente esse método está proibido no Brasil, conforme Lei Federal Nº 14.066 de 30 de Setembro de 2020

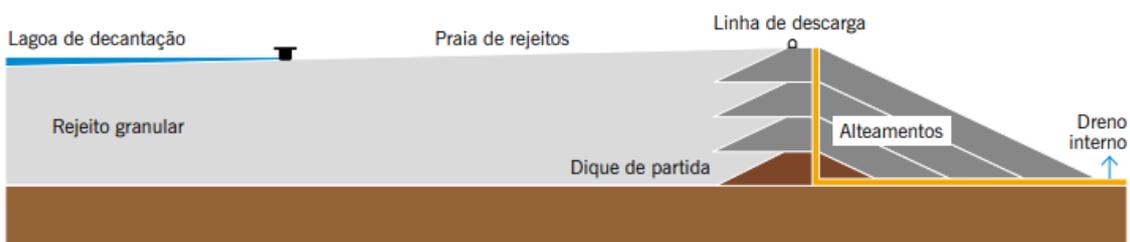
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1



(a) Alçamento de montante



(b) Alçamento de jusante



(c) Alçamento por linha de centro

Figura 7.2 – Métodos de alçamento de barragens de mineração (IBRAM, 2016).

7.1.2 Empilhamento Drenado

De acordo com a Resolução ANM nº95/2022, os empilhamentos drenados consistem em estrutura construída hidráulica ou mecanicamente com rejeitos, que se configura como um maciço permeável, dotado de sistema de drenagem de fundo, com formação de espelho de água reduzido podendo ser implantada em fundo de vale, encosta ou outra área. Um exemplo de empilhamento drenado pode ser observado na Figura 7.3.



Figura 7.3 – Empilhamento drenado (IBRAM, 2016).

No empilhamento drenado, é construído, inicialmente, um dique de partida e o sistema de drenagem de fundo, formado por drenos executados na fundação do reservatório. O sistema de drenagem de fundo é o que permite o padrão de fluxo gravitacional e subvertical no interior do reservatório, resultando em um depósito sem formação de excessos de poropressão, favorecendo a sua estabilidade geotécnica.

Na sequência, os rejeitos arenosos são lançados da crista do dique de partida pela técnica de aterro hidráulico. São construídos alteamentos sucessivos, geralmente pelo método de montante, com os rejeitos retirados da própria praia e compactados com trator de esteira.

Segundo OLIVEIRA-FILHO e ABRÃO (2015), a lagoa que pode ser observada na superfície do empilhamento drenado é decorrente praticamente apenas da acumulação de água proveniente da polpa de rejeito, sendo a contribuição de água afluyente pequena ou

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1		

limitada à precipitação na área do reservatório. Deste modo, quando cessadas as operações, a lagoa acaba desaparecendo.

7.1.3 Disposição Subaérea

De acordo com LIMA (2006), na disposição subaérea ocorre a disposição do rejeito fino em camadas finas, em ciclos alternados de lançamento e espera (não lançamento), possibilitando o seu adensamento e a drenagem antes do lançamento da camada seguinte. Deste modo, obtém-se um material mais densificado, com baixas poropressões e, eventualmente, com sucção. O aumento do teor de sólidos do rejeito por conta do adensamento por peso próprio e o ressecamento do rejeito por evaporação resulta no aumento da resistência do material.

Na disposição subaérea, os rejeitos finos são dispostos sem sofrer qualquer tipo de modificação na planta. Devido à alternância entre o lançamento e a espera neste método, são necessários diferentes reservatórios em número e área suficientes para que a disposição ocorra em um deles, enquanto a drenagem e secagem está ocorrendo nos demais reservatórios.

7.1.4 Rejeito Espessado e em Pasta

Segundo PORTES (2013), a técnica de disposição de rejeitos espessados foi introduzida por Robinsky em 1968. Nesse procedimento são empregados espessadores que separam os sólidos do líquido mediante sedimentação de partículas por gravidade. Com isso, aumenta-se a concentração e a percentagem de sólidos em peso através do desaguamento da polpa. Em algumas situações, são utilizados alguns reagentes para que ocorra a sedimentação das partículas, como os floculantes e os coagulantes, além do controle do pH.

De acordo com GOMES (2009), os rejeitos espessados podem ser depositados tanto em

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AValiação DOS ASPECTOS ESTRUTURais NO DRS1		

áreas planas quanto em terrenos irregulares. Em áreas planas, a disposição do material tende a formar um depósito cônico com taludes uniformes e suaves. Em vales, a pasta viscosa tende a fluir e se adensar, conformando à topografia do terreno ou sendo contida por um barramento. Para acumulação e aproveitamento de água e reagentes do processo, é construído um barramento à jusante. A construção de barramentos também pode ser necessária, conforme avança o processo de disposição, de modo a aumentar a capacidade de armazenamento de rejeitos.

Entre as principais vantagens dos processos de espessamento de rejeitos estão: o grande volume de água reaproveitada em comparação às técnicas utilizadas na recuperação de água em barragens de rejeitos; a menor susceptibilidade à liquefação do material; maior densidade e estabilidade dessas estruturas; menores impactos ambientais; e maior recuperação dos reagentes utilizados nos processos de tratamento.

7.1.5 Empilhamento de Rejeito Filtrado (*dry stacking*)

Segundo PORTES (2013), a filtragem de rejeitos consiste na separação de sólidos e líquidos por meio da passagem da polpa em um meio filtrante, que é capaz de reter partículas sólidas e permitir a passagem do líquido.

Nesta técnica, os rejeitos são espessados até certa consistência, através de espessadores e, na sequência, são filtrados por meio de filtros a vácuo ou de pressão positiva. Então, a água proveniente das etapas de espessamento e filtragem pode ser reutilizada nos processos industriais. O teor de umidade do produto da filtragem, chamado torta filtrante (*filter cake*), é um dos fatores mais importantes para o manejo posterior desse material.

De acordo com GOMES (2009), após o processo de filtragem, os resíduos apresentam baixo teor de umidade e são transportados em caminhões ou em correias transportadoras até o local de disposição final. Neste local, os resíduos são lançados,

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIIS NO DRS1		

espalhados e compactados em camadas ou estabilizados em pilhas. Apesar dos custos elevados associados à planta de desaguamento, transporte e disposição final, estes custos são amortizados na fase de desativação do empreendimento.

OLIVEIRA-FILHO e ABRÃO (2015) destacam a divisão da pilha em duas zonas para locais com a estação chuvosa bem definida. Desta forma, a disposição dos resíduos na parte mais externa do depósito é realizada durante a estação seca, executando a compactação desse material conforme especificações de aterro similares à construção de uma estrutura de contenção. Com isso, os resíduos compactados durante a estação seca, na zona estrutural, funcionam como espaldares para a contenção dos rejeitos filtrados que vierem a ser depositados na porção mais interna do depósito (zona não-estrutural) durante a estação chuvosa. Os materiais depositados na zona não-estrutural podem ser lançados e espalhados ou levemente compactados na porção mais interna da pilha de rejeitos filtrados.

Conforme indicado por ALVES (2020), podem ser aplicadas diferentes técnicas para se atingir o teor de umidade e a densidade desejados na pilha de rejeito filtrado. Uma das opções mais usuais é a disposição de finas camadas de rejeito filtrado, por correia ou caminhão, para posterior compactação, especialmente nas zonas estruturais. A disposição em camadas finas permite a evaporação pela ação de ventos e da radiação solar e a compactação proporciona o aumento da densidade e, conseqüentemente, o aumento da estabilidade geotécnica da pilha.

A Figura 7.4 indica o depósito DRS1 da ALUNORTE, observado na visita técnica de campo realizada pela FONNTES no dia 09/02/202, que se trata de um Empilhamento de Rejeito Filtrado (*dry stacking*). Os rejeitos filtrados serão abordados no item 7.2 deste documento.



Figura 7.4 – Depósito DRS1 – Empilhamento de Rejeito Filtrado (dry stacking) (FONNTES, 09/02/2022)

7.2 FILTRAGEM DE REJEITOS

A filtração de rejeitos é a operação unitária de separação dos sólidos contidos em uma suspensão aquosa mediante a passagem das partículas sólidas por um meio filtrante por meio da aplicação de uma força sobre as partículas. A força pode ser proveniente da gravidade, vácuo, pressão ou centrifugação.

Na filtração à vácuo, uma pressão negativa é aplicada embaixo do meio filtrante, enquanto na filtração sobre pressão, uma pressão positiva é aplicada sobre os rejeitos. Algumas tecnologias combinam vácuo e pressão (filtração hiperbárica) e outras utilizam a ação de capilares de meios porosos combinados com a aplicação de vácuo (filtração capilar) (GUIMARÃES, 2011).

Conforme apresentado por GUIMARÃES (2011), dentre as vantagens do método de disposição de resíduos ou rejeitos filtrados, destacam-se: (i) redução da área necessária

AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1

para disposição; (ii) menor impacto ambiental; (iii) redução da água necessária para o processo; (iv) variedade de equipamentos que podem ser utilizados para a filtração. Dentre as desvantagens, pode-se citar, (i) custos elevados na aquisição de equipamentos; (ii) necessidade de máquinas para transporte e empilhamento dos resíduos; (iii) dependência entre a capacidade da mina e a taxa unitária de filtragem.

Alguns dos métodos mais comuns de filtragem de resíduos de mineração foram citados por (GUIMARÃES, 2011) e estão apresentados na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Tipos e mecanismos de filtragem de rejeitos (Adaptado de GUIMARÃES, 2011)

Tipos	Características	Modelos de filtros
Filtragem a vácuo	Criada uma pressão negativa debaixo do meio filtrante	Filtro de tambor, filtro de disco convencional, filtro horizontal de mesa, filtro horizontal de esteira
Filtragem sob pressão	Uma pressão positiva é aplicada na polpa	Filtro prensa horizontal, Filtro prensa vertical
Filtragem centrífuga	Utiliza a força centrífuga para forçar a passagem do líquido	Centrífugas verticais e Decanters
Filtragem hiperbárica	A partir da combinação de vácuo e pressão	Filtro de disco encapsulado ou hiperbárico
Filtragem capilar	Utiliza a ação de capilares de meios cerâmicos porosos para efetuar o desaguamento	Ceramec

De acordo com a Nota técnica de Operações Filtro Tambor e Filtro Prensa (RT-3500-54-G-220-R00), entre a década de 90 e outubro/2018, a ALUNORTE contava com a tecnologia de desaguamento do resíduo por filtros tambores, obtendo um material com aproximadamente 65% de teor de sólidos. Essa tecnologia foi substituída em 2016, quando passou a utilizar filtragem do resíduo exclusivamente por filtros prensa.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1		

Segundo a nota técnica, existiram 4 filtros tambor, A; B; C; e D, que estiveram em funcionamento nas seguintes datas: filtros A e B: início das operações na fábrica (1995) até outubro de 2018; Filtro C: De 2006 até outubro /2018; e Filtro D: De 2008 até outubro /2018.

O filtro prensa foi utilizado a partir de agosto de 2016 até março de 2018. Em março de 2018 as operações foram suspensas devido a embargo das atividades de beneficiamento. As atividades foram retomadas junto da operação do filtro prensa em outubro de 2018 e permanecem até os dias atuais.

A seguir será dada ênfase nas metodologias de filtração adotadas para o DRS1, o qual utilizou durante a maior parte de sua operação o filtro tambor. Após a implantação do filtro prensa pela ALUNORTE o DRS1 também passou a ser operado com essa tecnologia, com objetivo de executar uma geometria final para sua descaracterização/desativação e reabilitação ambiental da área.

Segundo SANTOS (2009) a filtragem à vácuo ocorre de forma contínua, realizando simultaneamente as tarefas de formação de torta, secagem, lavagem e descarga da torta. O filtro tambor representa um cilindro que gira solidário ao eixo longitudinal. Sua alimentação é feita em uma bacia de polpa localizada abaixo do cilindro ou sobre a superfície do tambor. O meio filtrante utilizado pode ser tecido, preso à superfície do tambor, tecido na forma de correia ou preso ao tambor acrescido de uma camada de material granular. A descarga é feita por raspador, por rolo ou por fios. Uma ilustração do funcionamento do filtro tambor é apresentada na Figura 7.5.

AValiação DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1

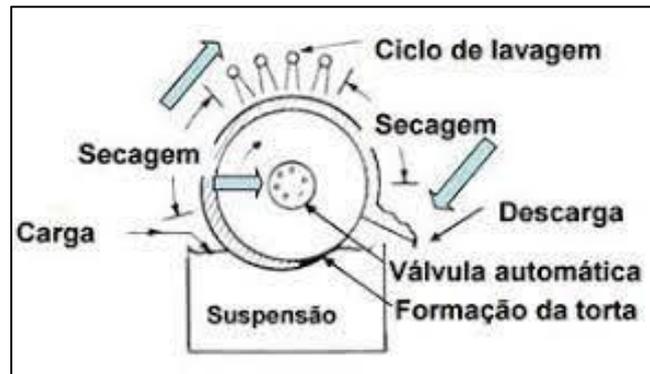


Figura 7.5 – Esquema de funcionamento do filtro tambor (SANTOS, 2009)

Conforme apresentado por GUIMARÃES (2011), a filtragem a pressão é caracterizada pela pressão positiva na polpa e apresenta um ciclo descontínuo, ou seja, em bateladas. Como principal vantagem apresenta um maior teor de sólidos na torta produzida e descarregada. O filtro prensa horizontal é constituído de diversas placas paralelas verticais, sendo que cada uma delas apresenta um recesso nos dois lados, formando uma câmara com as placas vizinhas. Seu ciclo pode ser dividido em três etapas: enchimento, filtragem sob pressão máxima e descarga de torta. Uma ilustração do funcionamento da filtragem a pressão no filtro prensa é apresentado na Figura 7.6. Um exemplo do filtro tambor é apresentado na Figura 7.7 e um exemplo do filtro prensa é apresentado na Figura 7.8.

AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1

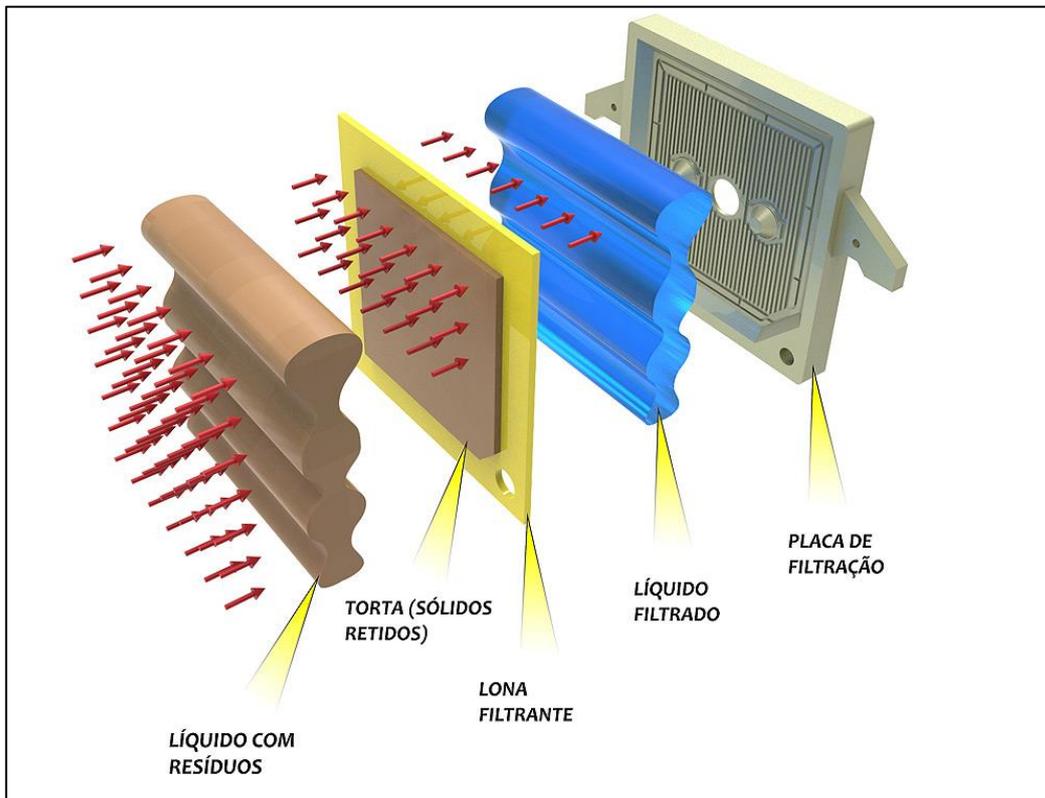


Figura 7.6 – Esquema de funcionamento da filtragem a pressão do filtro prensa (imagem obtida em <https://www.grabe.com.br/filtro-prensa.php>)



Figura 7.7 - Filtro tambor anteriormente utilizado na ALUNORTE (RT-3500-54-G-220-R00)



Figura 7.8 - Exemplo de filtro prensa utilizado na ALUNORTE (RT-3500-54-G-220-R00)

7.3 DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO DRS1

Conforme o Relatório de Consolidação de Dados elaborado pela PIMENTA DE AVILA em no ano de 2012, doc. RT-3540-54-G-019, o DRS1 tem a finalidade de armazenar os resíduos sólidos proveniente do processamento da bauxita (lama vermelha). Os resíduos são dispostos no DRS1 pelo método de Empilhamento de Rejeito Filtrado (*dry stacking*), apresentado no item 7.1.5.

Os resíduos dispostos nas células 1 a 7, na célula sul e nas células CL1 e CL2 foram desaguados por Filtros Tambor, localizados na Área 34, e transportados até o DRS1 via caminhões basculantes, com teor de sólidos de aproximadamente 65%. Já os resíduos dispostos na célula CL3 e na camada de conformação (*reshape*) são desaguados por filtros prensa, obtendo-se um rejeito filtrado com aproximadamente 78% de teor de sólidos. Com efeito, a CL3 também recebeu resíduo proveniente de filtro tambor entre 2012 e 2018.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1		

Segundo o Relatório Técnico do Projeto “As Is”, elaborado pela PIMENTA DE AVILA em 2021, doc. RT-3540-54-G-570-R01, a tecnologia de desaguamento do resíduo por filtros tambores foi utilizada pela ALUNORTE entre a década de 90 e novembro/2018. A partir de 2018, a ALUNORTE passou a ter a filtragem dos resíduos exclusivamente por filtros prensa.

Os rejeitos filtrados pelo filtro prensa são transportados por correias transportadoras (*pipe conveyor*) da planta de filtros prensa (Área 34) até a Área de Transferência – Torre 3 (TR3), localizada junto ao DRS1. A partir da torre TR3, os rejeitos filtrados são transportados por caminhões basculantes. Vale ressaltar que o rejeito filtrado a ser disposto no DRS1 também pode ser retomado do galpão de resíduos sólidos.

Conforme indicado no Manual de Operação de Disposição de resíduo de filtro prensa no DRS1, elaborado pela PIMENTA DE AVILA em 2021, doc. OM-3540-54-G-1001, a capacidade de armazenamento de resíduo na torre TR3 é de 1,8 h, considerando a taxa de geração de resíduos da planta (545 t/h), de modo que apresenta volume total disponível aproximado de 852 m³.

Conforme indicado no item 4, a sequência de reabilitação do DRS1 contempla 11 faixas entre o topo do depósito e a crista do dique periférico. Foi iniciada pelas regiões sul, cujo término de operação foi em 2009, e, na sequência, será realizada a reabilitação das áreas oeste e norte, que estão sem deposição desde 2007, o preenchimento horizontal da Célula Leste CL3 e, por fim, a reabilitação do trecho leste sobre a CL3.

8. CONCLUSÕES

Neste documento, foram apresentadas de maneira sucinta as tecnologias clássicas de disposição de rejeitos e as principais tecnologias de filtragem de rejeitos aplicadas na

AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1

mineração brasileira. Além disso, foi apresentado o método de filtragem dos resíduos no depósito DRS1.

No depósito DRS1, os resíduos são dispostos pelo método de Empilhamento de Rejeito Filtrado (*dry stacking*). Os resíduos dispostos nas células 1 a 7, na célula sul e nas células CL1 e CL2 foram desaguados com a tecnologia de Filtros Tambor, com teor de sólidos de aproximadamente 65%. Já os resíduos dispostos na célula CL3 e na camada de conformação (*reshape*) são desaguados por filtros prensa, obtendo-se um rejeito filtrado com aproximadamente 78% de teor de sólidos. Com efeito, a CL3 também recebeu resíduo proveniente de filtro tambor entre 2012 e 2018.. Destaca-se que a tecnologia de filtros prensa é mais moderna e eficiente que os filtros tambor.

Pode-se observar que a escolha da ALUNORTE de utilizar um método de disposição de resíduos como o Empilhamento de Rejeitos Filtrados (seja pelo filtro tambor ou filtro prensa) proporciona vantagens em relação aos métodos convencionais de disposição de rejeitos em polpa através de barragens. Entre as vantagens do método adotado pela ALUNORTE, estão:

- A produção de um rejeito filtrado com elevados teores de sólidos;
- A possibilidade de ser utilizado nas zonas estruturais quando submetidos a um rigoroso controle de compactação (aplicável apenas ao resíduo gerado pelo filtro prensa);
- A redução da área necessária para disposição dos resíduos em campo e aumento da capacidade de disposição dos depósitos;
- As águas utilizadas no processo de filtragem podem ser reutilizadas nos processos industriais, diminuindo a necessidade de água nova no processo;
- Redução dos impactos ambientais que estariam associados às barragens e diques de contenção;
- Maior controle de operação e melhores condições para fechamento progressivo.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1		

A tecnologia de filtragem retira a maior parte da água dos rejeitos, o que possibilita um projeto de disposição mais seguro. Para retirar essa água, há um grande gasto energético. Assim, a filtragem possui um maior custo dos processos industriais no momento da geração do resíduo comparando com a disposição em polpa em barragens. Entretanto, o custo futuro nos processos de desativação e reabilitação ambiental são menores, há maior capacidade dos depósitos, elevada recuperação de água e insumos do processo, maior controle de operação, além de melhores condições para fechamento progressivo.

Apesar de ser uma estrutura mais antiga, é possível afirmar que para época da sua operação principal o DRS 1 utilizou uma tecnologia de desaguamento e disposição das mais modernos em relação ao padrão industrial brasileiro (apesar de atualmente os filtros tambor serem menos eficientes e populares que os filtros prensa). Esse fato possibilitou ganhos importantes nos pontos de vista ambiental e de menor risco do depósito, ao se comparar com a disposição em polpa em barragens convencionais. Como os resíduos no DRS 1 não eram compactados, a questão climática foi menos determinante ao se comparar com o DRS 2. Para a fase de fechamento do DRS 1, quando já estão sendo utilizados os rejeitos do filtro prensa, o fator climático para garantia de uma compactação passa a ser mais importante.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1		

9. REFERÊNCIAS

- i. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO – ANM. **RESOLUÇÃO Nº 95, DE 7 DE FEVEREIRO DE 2022 – Consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração.** 2022.
- ii. ALMARAZ, U. J. S. (1977). Aspectos Geoquímicos e Ambientais dos Calcários do Formação Pirabas, Pará. Tese de Doutorado, UFRS, 272 p.
- iii. ALVES, P. I. A. **Empilhamento de rejeito filtrado: a expansão de uma alternativa para substituição de barragens.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Minas, da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 2020.
- iv. GUIMARÃES, N. C. **Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando sua disposição em pilhas.** Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2011.
- v. GOMES, M. A. **Caracterização tecnológica no aproveitamento do rejeito de minério de ferro.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil, 2009.
- vi. 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.
- vii. 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.
- viii. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. População. 2010. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>

AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1

- ix. _____. Barcarena/PA. Educação. 2010b. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- x. _____. Barcarena/PA. Economia. 2019. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- xi. _____. Barcarena/PA. Trabalho e Rendimento. 2020. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- xii. _____. Barcarena/PA. Território e ambiente. 2021. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- xiii. IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração, **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração**; organizador. Instituto Brasileiro de Mineração. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2016.
- xiv. LIMA, L. M. K. **Retroanálise da formação de um depósito de rejeitos finos de mineração construído pelo método subaéreo**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 2006.
- xv. MABESOONE, J. M. e CASTRO, C. (1975). Desenvolvimento Geomorfológico do Nordeste Brasileiro. Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, Recife, v.3, p. 05- 35.
- xvi. OLIVEIRA-FILHO, W. L., ABRÃO, P. **Disposição de rejeitos de mineração**. In: ZUQUETTE, L. V. (Org.). Geotecnia Ambiental. Elsevier, Rio de Janeiro, 2015.
- xvii. PEIXOTO, C. L. P. **Proposta de nova metodologia de desaguamento de rejeitos em polpa**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 2012.
- xviii. PORTES, A. M. C. **Avaliação da disposição de rejeitos de minério de ferro nas consistências polpa e torta**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2013.
- xix. 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.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS NO DRS1		

- xx. SANTOS, L. C. **Análise da variabilidade do processo de filtração em filtros de tambor rotativo contínuo a vácuo para lodo de cana-de-açúcar.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Bauru-SP.



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