

FG-2201-NHB-A-BA-RT26-02

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

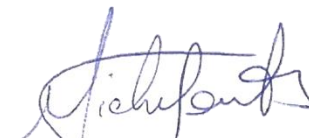
Prezada,

Apresentamos o relatório técnico de análise de estabilidade dos depósitos, em atendimento às letras “i” e “j” 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, com base nas normas ABNT NBR 13.028 e ABNT NBR 13.029. 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 2023

Atenciosamente,



Michel Fontes
DIRETOR
FONNTES GEOTÉCNICA

RELATÓRIO TÉCNICO DE ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

CLIENTE:



PROJETO:

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

BARCARENA - PA



agosto/2023

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

REV.	DATA	POR	REVISÃO	APROV.	DESCRIÇÃO DE REVISÕES
0	29/06/22	BSC/RCM /RCJ	ACS/ BCN/ MVS/	ACS	EMISSÃO INICIAL
1	17/03/23	BSC/RCM /RCJ	ACS/ BCN/ MVS/	ACS	ATENDENDO COMENTÁRIOS
2	03/08/23	BSC/RCM /RCJ	ACS/ BCN/ MVS/	ACS	APROVADO

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

TE – TIPO DE EMISSÃO

(A) PRELIMINAR	(E) PARA CONSTRUÇÃO
(B) PARA APROVAÇÃO	(F) CONFORME COMPRADO
(C) PARA CONHECIMENTO	(G) CONFORME CONSTRUÍDO
(D) PARA COTAÇÃO	(H) CANCELADO

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2**SUMÁRIO**

GLOSSÁRIO	1
1. INTRODUÇÃO	2
2. OBJETIVO.....	6
3. DADOS UTILIZADOS	8
4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	9
5. APRESENTAÇÃO DO PROJETO DA ESTRUTURA.....	10
5.1 LOCALIZAÇÃO	12
5.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS	17
5.1.1 <i>Geologia Regional</i>	17
5.1.2 <i>Histórico de Investigações</i>	19
5.1.3 <i>Geologia Local</i>	20
5.2 PLATAFORMA DA PILHA DE RETOMADA DO RESÍDUO E BACIA DE EMERGÊNCIA	21
5.3 CANAIS DE CONTORNO E BACIAS DE CONTROLE (BC 201 E BC 202)	22
5.4 DIQUE DE CONTORNO.....	24
5.5 DIQUE ENTRE CANAL DE CONTENÇÃO DE SEDIMENTOS E CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE	24
5.6 DIQUE EXTERNO DO CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE	24
5.7 DIQUE EXTERNO DAS BACIAS DE CONTROLE (BC 201 E BC 202)	25
5.8 DIQUE DE CONTENÇÃO DA ÁREA ÚMIDA (INFRAESTRUTURA INICIAL).....	25
5.9 DIQUE CENTRAL E FINGERS (INFRAESTRUTURA INICIAL).....	26
5.10 SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	27
5.11 DRENAGEM INTERNA DA PILHA	28
5.12 INSTRUMENTAÇÃO	30
5.13 SISTEMA EXTRAVASOR.....	31
5.14 GALERIA DE TRANSPOSIÇÃO DO CANAL DE ADUÇÃO	32
5.15 DRENAGEM SUPERFICIAL	32
5.16 PROJETO <i>AS BUILT</i>	32
6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO	33
7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....	35
7.1 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA	35
7.2 ESTUDOS SÍSMICOS	38

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

7.3	ANÁLISES DE ESTABILIDADE	46
7.3.1	<i>Critérios Adotados</i>	47
7.3.2	<i>Seções de Análise</i>	49
7.3.3	<i>Verificação geométrica</i>	50
7.3.4	<i>Resultados</i>	52
7.3.5	<i>Comparação dos Fatores de Segurança Encontrados</i>	72
7.3.6	<i>Comparação dos Fatores de Segurança Calculados com as Recomendações Normativas</i>	75
8.	CONCLUSÕES	77
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO 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.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

- 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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

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 - 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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

(MPF), o Estado do Pará e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará, incluindo:

- a) Compatibilidade do projeto executivo dos depósitos (DRS1 e DRS2) com a sua efetiva execução;
- b) Compatibilidade dos Depósitos de Resíduos Sólidos (DRS1 e DRS2) com a Lei Nacional de Segurança de Barragens (Lei n.º 12.334/2010);
- c) Aspectos estruturais Depósitos de Resíduos Sólidos (DRS1 e DRS2), a concepção geral do projeto, o arranjo e dimensionamento das estruturas, além de suas funcionalidades;
- d) Análise qualitativa de instrumentação com vistas a determinação da densidade de drenagem, a fim de aferir o comprometimento das águas superficiais e subterrâneas;
- e) Avaliação da compatibilidade da localização dos DRS com o projeto, obedecendo à legislação aplicável, às normas ambientais e aos critérios econômicos, geotécnicos, estruturais, sociais e de segurança e risco, mediante necessidade de segurança estrutural, bem como considerando a possibilidade de existência de drenagens naturais possivelmente afetadas, tais como mananciais e olhos d'água;
- f) Análise da viabilidade da concepção proposta, em termos operacionais e manutencionais, ou seja, se os processos de controle necessários à disposição dos rejeitos da forma concebida são compatíveis com a estrutura existente e conseqüente produção dos rejeitos, levando em consideração as condições ambientais locais;
- g) Verificação da densidade e teor de umidade ótimo (período chuvoso e período seco) e suas variações, envolvendo valor médio e desvio padrão durante a fase de testes;

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

- h) Revisão dos parâmetros geotécnicos de coesão e ângulo de atrito efetivo, a partir de ensaios de laboratório e de campo, e suas variações envolvendo valor médio e desvio padrão durante a fase de testes;
- i) Análise de estabilidade, através de parâmetros geotécnicos (programas-slope/W1 e ensaios – Laboratórios de Geotecnia), e estanqueidade. Determinação do Fator de segurança, seu valor médio e seu grau de confiabilidade, após o período de testes;**
- j) Análise de estabilidade dos depósitos, utilizando-se como referência os fatores de segurança mínimos descritos na Norma ABNT NBR 13.028/2017, e Norma ABNT NBR 13029/2017;**
- k) Revisão do projeto e disposição de drenos, filtros, medidores de vazão e seus processos executivos;
- l) Revisão do Projeto de revestimento e monitoramento dos taludes;
- m) Verificação do teor de umidade do material que condicionará a decisão de lançá-lo na área úmida ou aplicá-lo na área seca e suas variações ao longo do período de testes;
- n) Interpretação dos resultados dos testes relativos à aplicação do material sobre as geomembranas;
- o) Interpretação dos ensaios destrutivos e não destrutivos para verificação da estanqueidade da Geomembrana;
- p) Análise e adequação da suficiência do Plano de Ação Emergencial, o qual deverá contemplar a identificação e análise das possíveis/situações de emergência; os procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura dos depósitos; os procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação; a estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência, utilizando-se como referência a Instrução Normativa n°02/2018, publicada no DOE n°

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

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 dos itens:

- 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; e
- 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

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 os itens:

- 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; e**
- 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.**

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO 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 **letras i e j)**, objeto desse relatório.

i) Esse item exige a realização de uma reavaliação dos modelos matemáticos elaborados para se calcular os fatores de segurança da estrutura. Iremos refazer os modelos matemáticos, para as seções de controle que são tradicionalmente utilizadas para essa verificação das estruturas. No item é proposto que se utilize o software Slope/W da fabricante Geostudio, contudo será utilizado o software Slide2 da fabricante Rocscience, sendo este um software de mercado tão utilizado quando o Slope/W, cujos resultados são os mesmos.

Em nossa avaliação o termo “estanqueidade” na pergunta diz respeito a geomembrana de PEAD, utilizada para impermeabilização das estruturas. Esse tema será abordado em maiores detalhes no Item O).

J) *Esse item será abordado em detalhes no Item A) e Item I). No item A) será realizada a avaliação e comparação dos fatores de segurança com as normas mencionadas a partir de estudos de estabilidade já conduzidos por outros auditores. No item I) os modelos matemáticos de cálculo dos fatores de segurança serão reinterpretados pela FONNTES.*

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

Como esse é um tema que já será abordado em outros itens, será apresentado um resumo dos resultados, com foco apenas na comparação dos resultados em relação as recomendações normativas.

3. DADOS UTILIZADOS

Os documentos utilizados como referência para obtenção de dados e informações necessárias à elaboração deste documento são apresentados na Tabela 3.1 a seguir.

Tabela 3.1 – Documentos utilizados para elaboração desse relatório

CÓDIGO	TÍTULO DO DOCUMENTO	ELABORADO POR	DATA
RT-3541-54-G-095 rev03	RELATÓRIO DE CONSOLIDAÇÃO DE DADOS PROJETO DETALHADO DA FASE 1 DO DRS2 PARA DISPOSIÇÃO DO RESÍDUO DO FILTRO PRENSA	PIMENTA DE AVILA	10/09/2015
RT-8400-54-G-019-R1	Estudos de Avaliação de Ameaça Sísmica nos Sítios da HYDRO Paragominas e HYDRO Alunorte	HYDRO	20/10/2017
DB-3541-54-G-319-rev01	RELATÓRIO DE MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS ANÁLISES GEOTÉCNICAS	PIMENTA DE AVILA	26/02/2018
RT-469137-54-G-0002-rev03	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR DO DEPÓSITO DRS2 NO 2º CICLO DE 2021	GEOCONSULTORIA	04/02/2022
FG-2201-NHB-A-BA-RT20	Avaliação dos Parâmetros Geotécnicos do DRS2	FONNTES	06/06/2022
D1-8600-54-L-2303-R0	Base Topográfica Atualizada - Curvas de Nível a cada 1,00m, geradas através do lev. a laser scanner - janeiro de 2022	GONÇALVES TOPOGRAFIA	05/01/2022
RT-3500-54-G-223 R01	REVISÃO DE CLASSIFICAÇÃO DE CONSEQUÊNCIAS DE FALHAS DA INSTALAÇÃO DE REJEITOS	HYDRO, ALUNORTE	22/11/2022

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO 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.

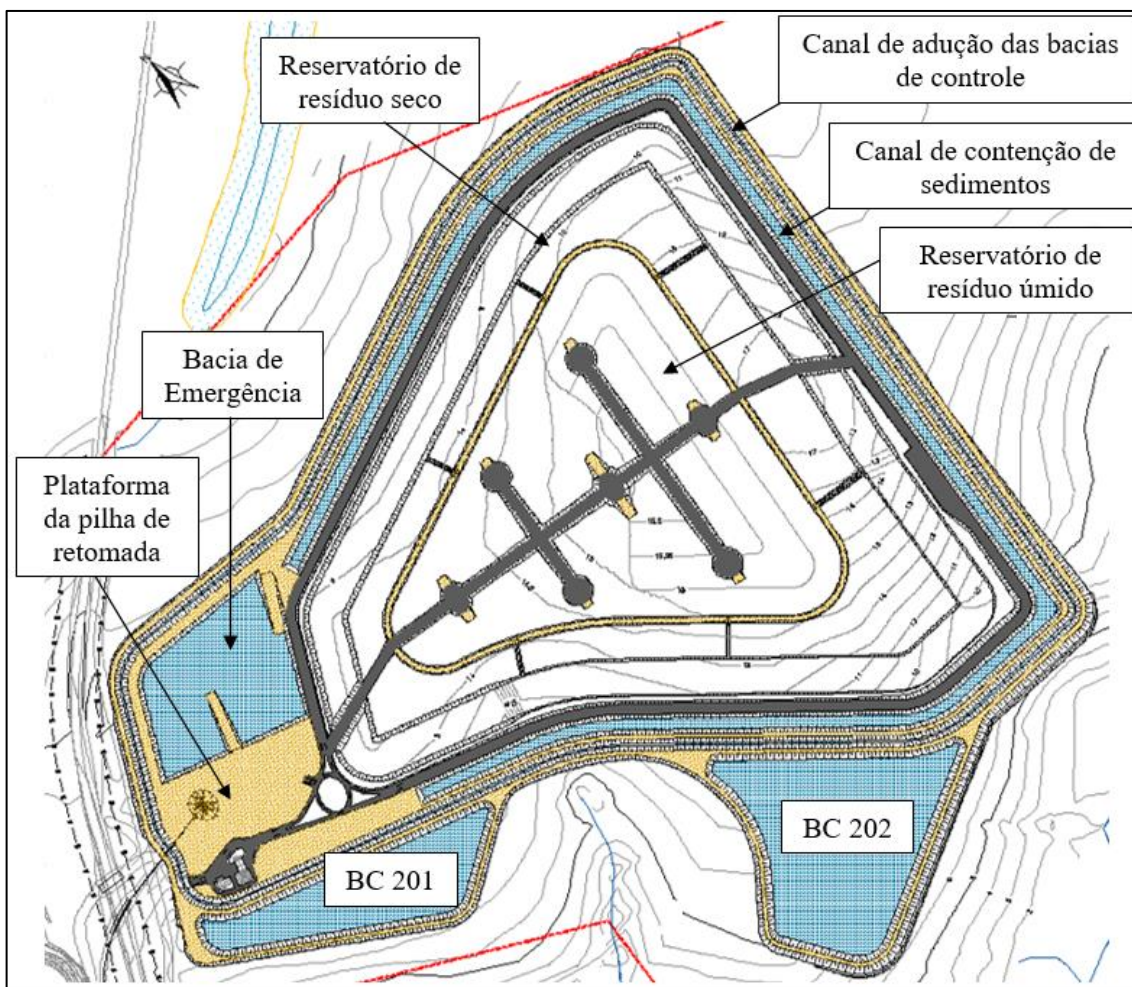
		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

5. APRESENTAÇÃO DO PROJETO DA ESTRUTURA

O DRS2 foi projetado para armazenar resíduo da produção de alumina (gerado pela refinaria da HYDRO 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;
- Bacia de Emergência;
- 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.

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

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

Neste item será apresentada a localização do depósito de resíduos sólidos DRS2 e em seguida o mesmo será caracterizado de acordo com o Memorial Descritivo do projeto detalhado do DRS2 Fase 01, documento MD-3541-54-G-096, elaborado pela Pimenta de Ávila 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
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO 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.

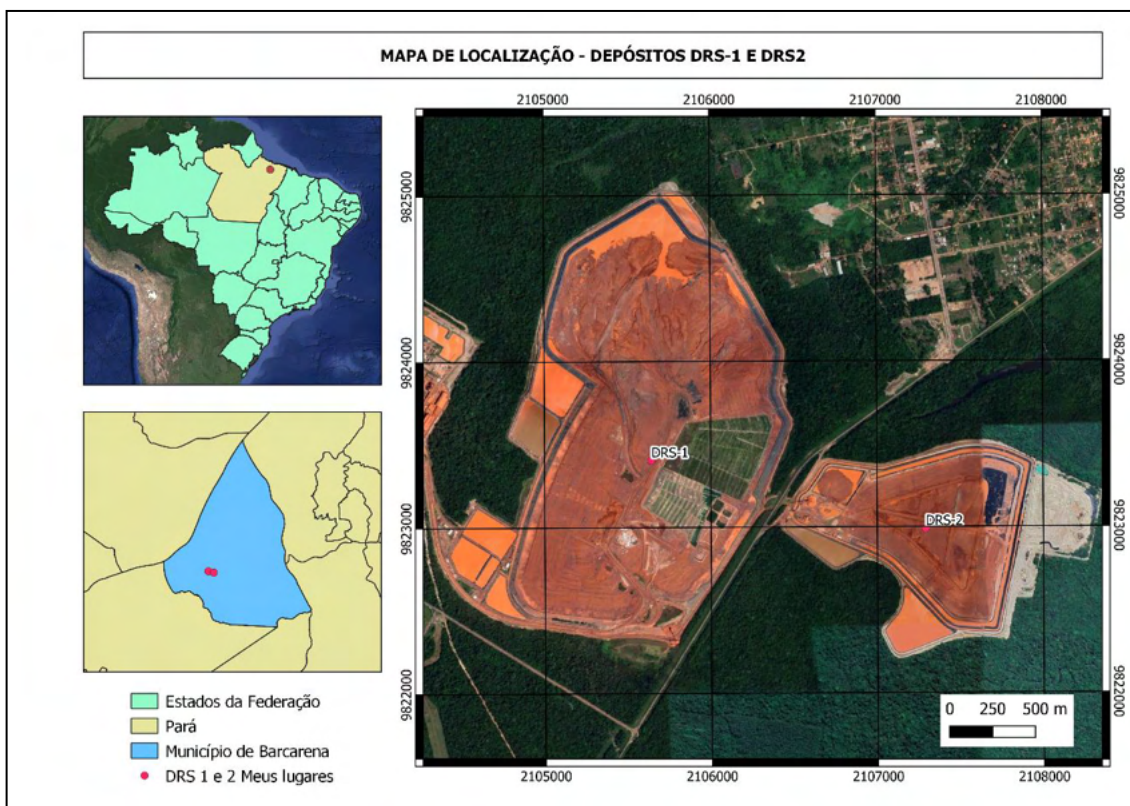
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2


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 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.

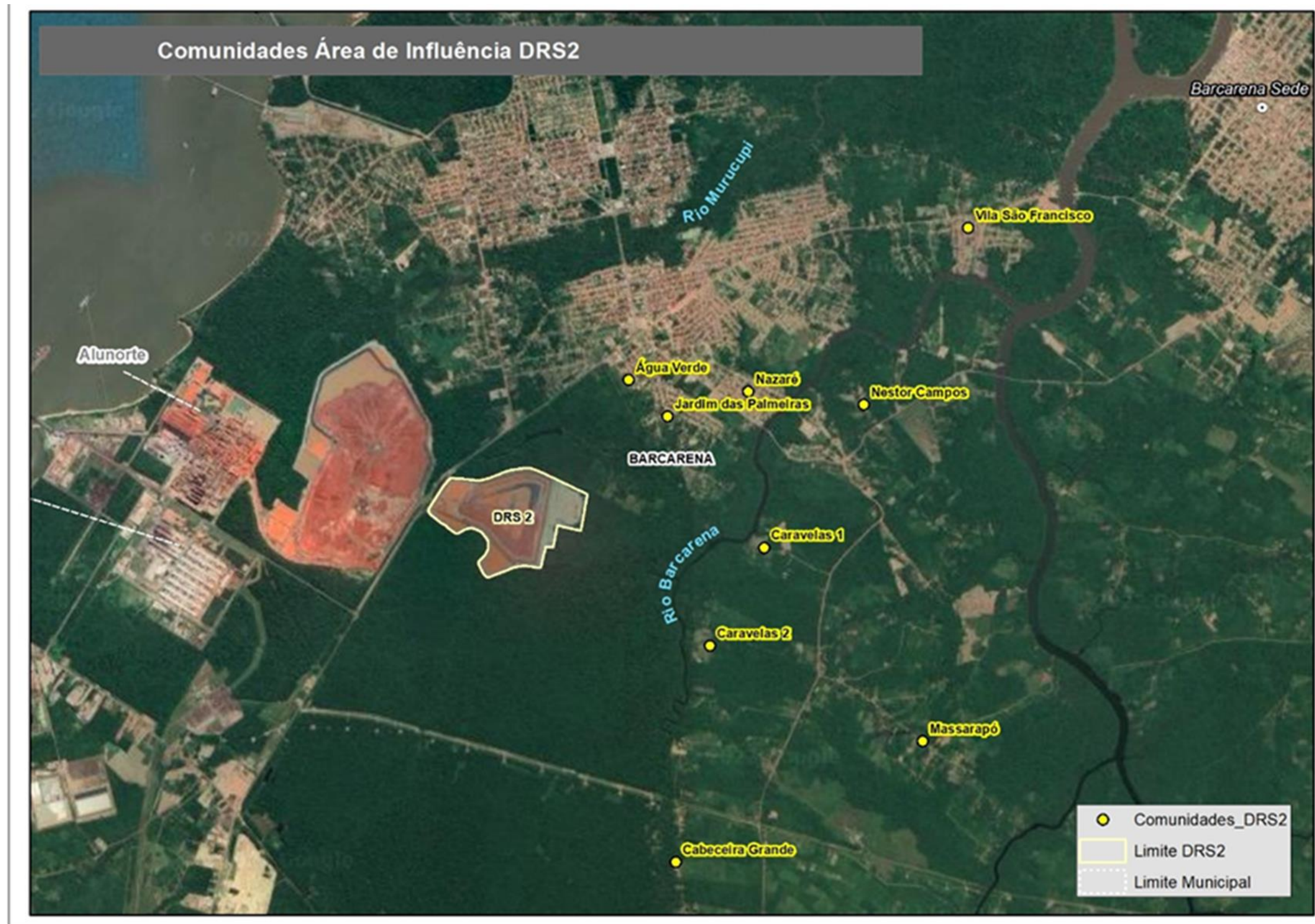


Figura 5.3 – Localização das comunidades próximas ao depósito DRS2 (Imagem fornecida pela equipe técnica da HYDRO/ALUNORTE)

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO 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).

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

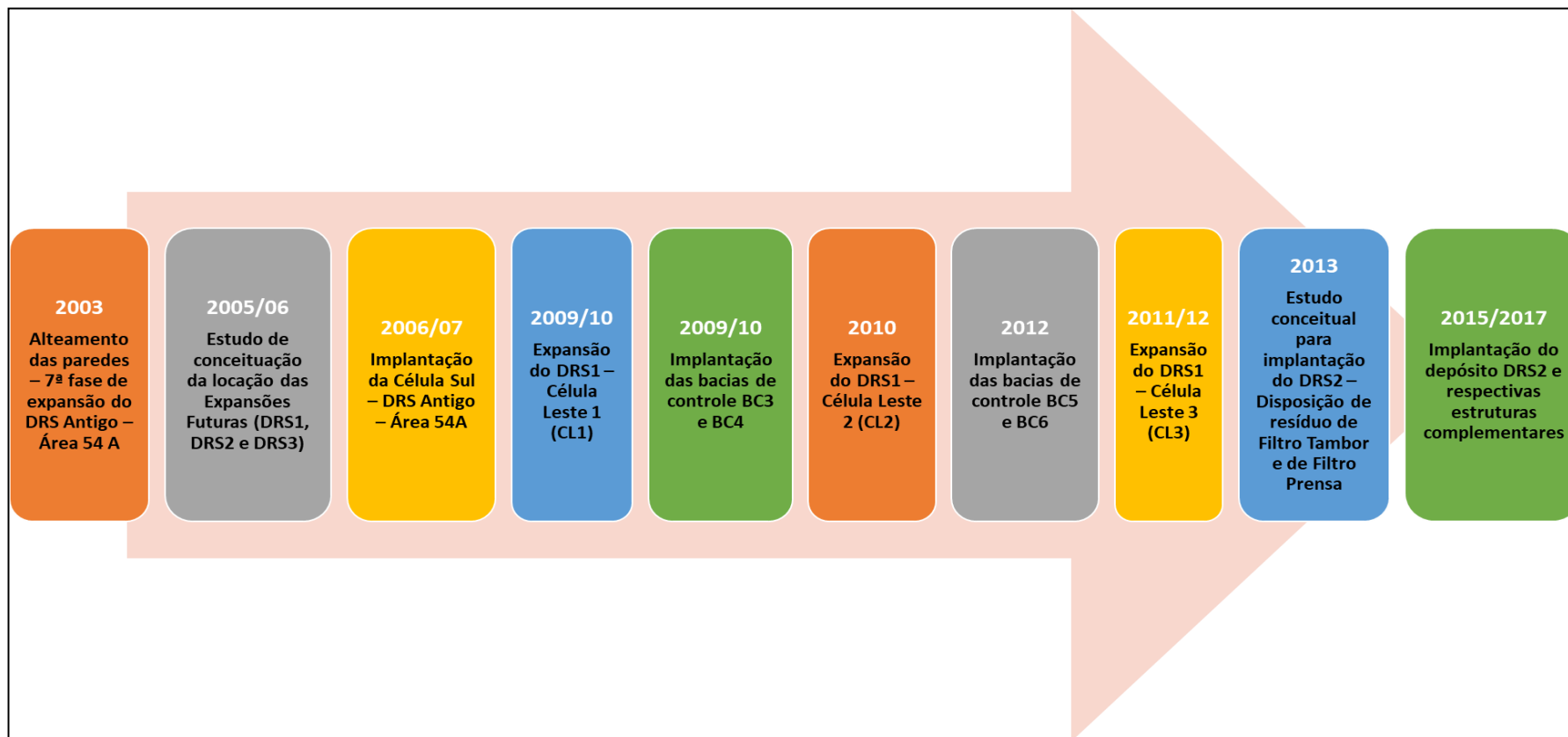


Figura 5.4 – Histórico de expansão do DRS1 e DRS2

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

A descrição das estruturas do DRS2 é apresentada a seguir com base no memorial descritivo do projeto (MD-3541-54-G-096) e relatório As Built (RT-3541-54-G-360 R01_AN-561-RL-47252-00).

5.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

5.1.1 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

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

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. Tratam-se de areias consolidadas e semi-consolidadas de granulometria fina a média e coloração creme amarelada a branca, podendo conter clastos e frações de argila (Farias et al. 1992). Segundo Rosseti e Valeriano (2007) a evolução desses sedimentos está relacionada a um paleovale de idade quaternária alimentado pelo Rio Tocantins, quando esse corria para oeste do seu curso atual.

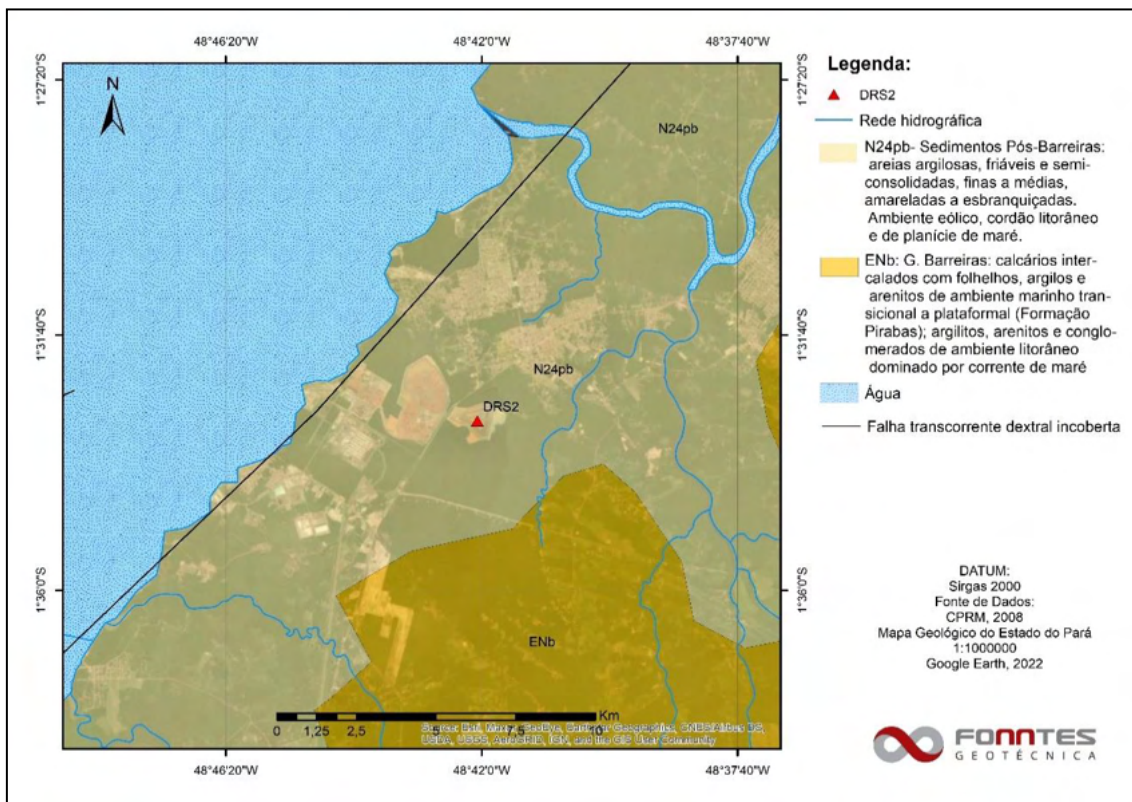


Figura 5.5 – Mapa geológico regional da estrutura DRS2

O relatório “As Is” RT-3540-54-G-1014 desenvolvido pela Pimenta de Ávila, apresenta as estruturas DRS1 e DRS2 inseridas sobre domínios da Formação/Grupo Barreiras,

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

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.

5.1.2 Histórico de Investigações

Com base no estudo detalhado elaborado pela Pimenta de Ávila (RT-3541-54-G-095), a Tabela 5.1 apresenta uma síntese das investigações executadas na área de estudo.

Tabela 5.1 – Tabela resumo do histórico de investigação executada na área da estrutura DRS2

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

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

É de conhecimento que a área de implantação não pode ser perfurada, uma vez que a estrutura é protegida por geomembrana e caso haja necessidade, as investigações deverão ser localizadas próximo ao DRS2 em um contexto estratigráfico e geomorfológico

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

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.

5.1.3 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 e 16 golpes.

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

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

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

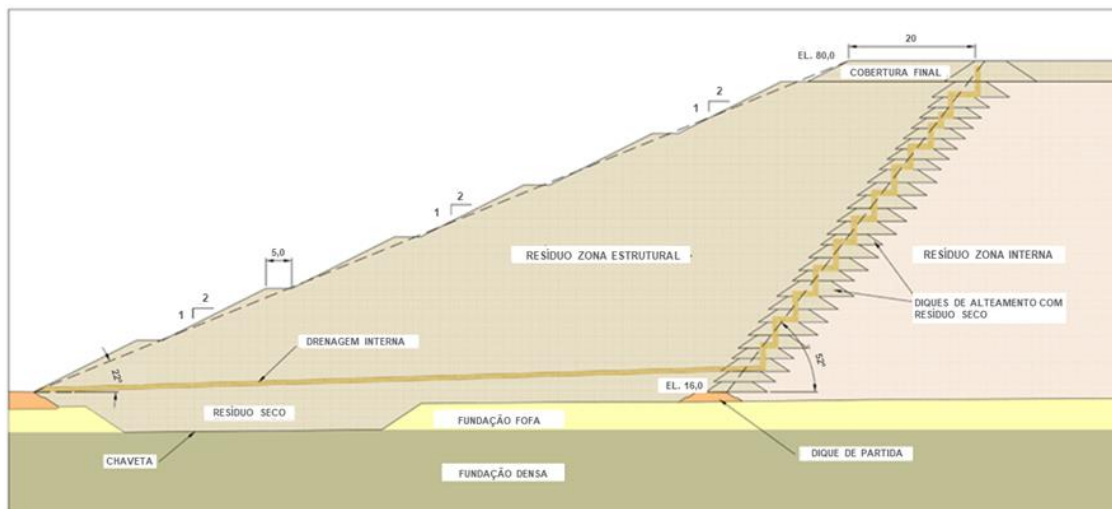
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2


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

5.2 PLATAFORMA DA PILHA DE RETOMADA DO RESÍDUO E BACIA DE EMERGÊNCIA

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



Figura 5.7 – Bacia de emergência

5.3 CANAIS DE CONTORNO E BACIAS DE CONTROLE (BC 201 E BC 202)

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

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

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

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

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



Figura 5.8 – Canal de contorno adjacente ao DRS2

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

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

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

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.

5.4 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.

5.5 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.

5.6 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.

5.7 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.

5.8 DIQUE DE CONTENÇÃO DA ÁREA ÚMIDA (INFRAESTRUTURA INICIAL)

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

5.9 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

5.10 SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

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

Para proteção da geomembrana quanto ao puncionamento por qualquer material pontiagudo que possa existir nas áreas de aterro e de terreno natural que ela cobrirá, nos taludes foi instalado, sob a geomembrana, geotêxtil não tecido de gramatura igual a 400g/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.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

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

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

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

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

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

5.11 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

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

retangular de 0,60 m por 0,40 m de seixo rolado, envolto por geotêxtil e uma camada de 0,15 m de areia média. A função dos drenos é conduzir o fluxo de água interno da pilha, da área úmida até a crista do dique de contorno da área seca, com declividade de 2%, evitando assim a saturação da zona estrutural da pilha. A água proveniente dos drenos é coletada pela canaleta do dique de contorno, de onde segue o fluxo de efluentes até as bacias de controle.

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

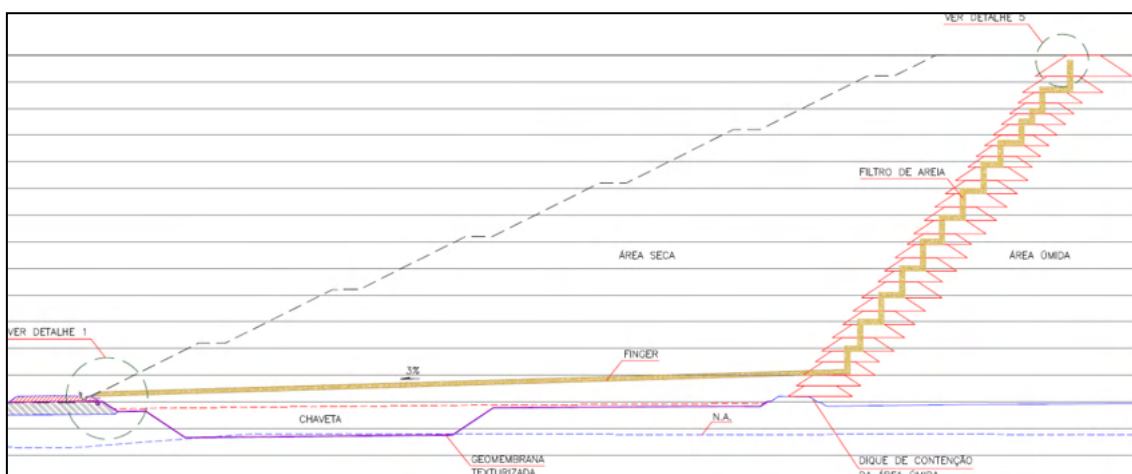


Figura 5.11 – Seção Típica – Drenagem interna da pilha (documento D1-3541-54-G-163)

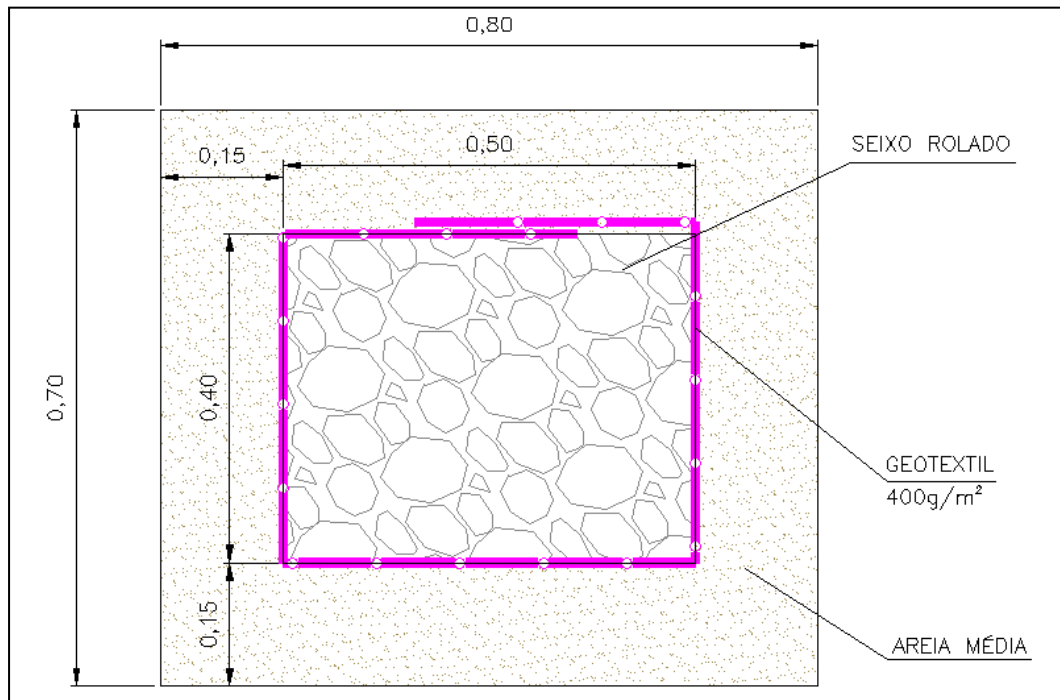
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2


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

5.12 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.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

5.13 SISTEMA EXTRAVASOR

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

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

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

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

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

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

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

O controle do Nível de água na Bacia de Emergência 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.

5.14 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.

5.15 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 bacia de emergência ou no canal de adução, em função da localização do dispositivo de drenagem.

5.16 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:

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

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

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

6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

No início dos trabalhos foram realizadas reuniões com o MP-PA com objetivo de alinhamento sobre o entendimento do escopo das letras do TAC 3.1. Um ofício foi elaborado pela FONNTES e direcionado ao MP-PA (protocolo PR-PA-00011706/2022 em 16 de março de 2022) com o entendimento da metodologia para resposta técnica de cada uma das letras do TAC 3.1. O “de acordo” ao entendimento foi encaminhado pelo MP-PA pelo Ilmo. Procurador da República Dr. Ricardo Augusto Negrini no dia 04 de abril de 2022. A metodologia estabelecida para o atendimento da letra I) e J), objeto desse relatório, e reproduzida a seguir.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

Letra I)

Esse item exige a realização de uma reavaliação dos modelos matemáticos elaborados para se calcular os fatores de segurança da estrutura. Iremos refazer os modelos matemáticos, para as seções de controle que são tradicionalmente utilizadas para essa verificação das estruturas. No item é proposto que se utilize o software Slope/W da fabricante Geostudio, contudo será utilizado o software Slide2 da fabricante Rocscience, sendo este um software de mercado tão utilizado quando o Slope/W, cujos resultados são os mesmos.

Letra J)

Esse item exige a reavaliação dos modelos matemáticos elaborados para se calcular os fatores de segurança da estrutura. Os modelos matemáticos serão refeitos, para as seções de controle que são tradicionalmente utilizadas para essa verificação das estruturas. O software proposto foi o Slope/W da fabricante Geostudio, contudo será utilizado o software Slide2 da fabricante Rocscience, sendo este um software de mercado tão utilizado quando o Slope/W, cujos resultados são os mesmos.

Em nossa avaliação o termo “estanqueidade” no item i) do 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, diz respeito a geomembrana de PEAD, utilizada para impermeabilização das estruturas. Esse tema é abordado em maiores detalhes no Item O), no documento FG-2201-NHB-A-BA-RT11.

Em relação a 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 13.029/2017, (item J do TAC 3.1) será realizada a avaliação e comparação dos fatores de segurança com as normas mencionadas a partir de estudos de estabilidade já conduzidos por outros auditores e também das seções atualizadas pela FONNTES.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

7.1 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA

A FONNTES realizou uma Avaliação dos Parâmetros Geotécnicos do DRS2 no documento FG-2201-NHB-A-BA-RT20. Neste relatório foi realizada a avaliação exclusivamente do banco de dados de ensaios de laboratório, que são as medidas diretas e mais confiáveis para a resistência dos materiais, coesão e ângulo de atrito efetivo. Através do banco de dados foi realizada uma verificação para as principais campanhas de ensaios e os resultados obtidos. Comparativamente, foi verificado para cada material quais são os parâmetros médios calculados pela FONNTES no documento FG-2201-NHB-A-BA-RT20 e aqueles adotados no Relatório de Memória de Cálculo das Análises Geotécnicas, elaborado pela PIMENTA DE ÁVILA em 26/02/2018, doc. DB-3541-54-G-319-rev01.

No documento FG-2201-NHB-A-BA-RT20, foi verificado que no geral, os valores médios dos parâmetros de resistência efetivos calculados foram maiores que aqueles adotados em projeto, o que pode indicar que o projeto foi conservador. Entretanto, é importante lembrar que no projeto não foi necessariamente calculado um parâmetro médio em termos aritméticos, mas verificado um melhor ajuste para uma envoltória de ruptura considerando os pontos de máxima obliquidade das trajetórias de ruptura dos corpos de prova dos ensaios triaxiais, realizados para cada tipo de material. Esse é um método mais adequado para verificar uma envoltória de ruptura “média” e mais representativa para os materiais.

Avaliação similar a realizada pela projetista e apresentada no documento RT-3540-54-G-319-rev01 também foi elaborada no âmbito do documento FG-2201-NHB-A-BA-RT20 e resultados semelhantes foram obtidos. Portanto, não foram encontradas divergências

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

entre os parâmetros adotados e os ensaios executados nos materiais das dependências do DRS2.

O estudo mais recente realizado na estrutura e disponibilizado para a FONNTES foi o Relatório da Inspeção de Segurança Regular do DRS2, elaborado pela GEOCONSULTORIA em fevereiro de 2022, documento RT-469137-54-G-0002_rev03. Conforme indicado nesse documento, para o desenvolvimento das análises de estabilidade, foram considerados os parâmetros de resistência já determinados e adotados no item 4 do Relatório DB-3541-54-G-319-rev01, elaborado pela Pimenta de Ávila.

A Tabela 7.1 apresenta os parâmetros de resistência adotados nas análises de estabilidade pela Pimenta de Ávila, 2016, no Documento DB-3541-54-G-319-rev01, Projeto Detalhado. A Tabela 7.2 apresenta os parâmetros de resistência adotados nas análises de estabilidade pela GEOCONSULTORIA, 2022, no Documento RT-469137-54-G-0002_rev03, Relatório da Inspeção de Segurança Regular do DRS2.

Foi realizada uma comparação entre os parâmetros de resistência adotados nas análises de estabilidade realizadas pela GEOCONSULTORIA, 2022, no RT-469137-54-G-0002_rev03, Relatório da Inspeção de Segurança Regular do DRS2, com os adotados pela Pimenta de Ávila (Tabela 7.1). Como resultado, foi verificado que os parâmetros adotados pela GEOCONSULTORIA (2022), Tabela 7.2, estão de acordo com aqueles adotados pela Pimenta de Ávila (2016).

Visto isso, a Tabela 7.2 apresenta os parâmetros geotécnicos de resistência ao cisalhamento na condição drenada e não drenada adotados nas análises de estabilidade.

Tabela 7.1 – Parâmetros de Resistência adotados nas análises de estabilidade pela Pimenta de Ávila, 2016, no Documento DB-3541-54-G-319, Projeto Detalhado.

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

Material	Peso Específico (kN/m ³)	Parâmetros			Fonte dos dados
		Efetivos - Mohr Coulomb		Não Drenado	
		Coesão c' (kPa)	Ângulo de atrito Φ' (°)	Su/σ'	
Fundação fofa	17,0	8,0	21,0	0,300	Triaxial CU: LOCTEST – 2014 e Triaxial CU: RT-5186-54-G-005/ RJ-5669-07 (Geomecânica) (ANEXO B)
Fundação densa	20,0	13,0	27,0	0,500	RT-5186-54-G-002/RJ-5669-02 e RT-5186-54-G-007/RJ-5669-07 (Geomecânica) (ANEXO C)
Resíduo seco	18,5	6,0	33,0	0,520	Relatório RT-5186-54-G-001/ RJ-5640-019 (Geomecânica) (ANEXO A)
Resíduo úmido	17,5	2,0	32,0	0,362	Relatório RT-5186-54-G-001/ RJ-5640-019 (Geomecânica) (ANEXO A)
Aterro	20,9	9,0	31,0	-	Triaxial CU sat - LOCTEST – 2014 (ANEXO D)
Drenos e filtros	19,0	0,0	32,0	-	Estimado
Interface rugosa Geomembrana	19,0	0,0	27,5	-	RT-5186-54-G-005/RJ-5669-07 (Geomecânica)
Interface lisa Geomembrana	19,0	0,0	17,0	-	RT-5186-54-G-003/ RJ-5669-04 (Geomecânica)

Tabela 7.2 – Parâmetros de Resistência adotados nas análises de estabilidade pela GEOCONSULTORIA, 2022, no Documento RT-469137-54-G-0002, Relatório da Inspeção de Segurança Regular do DRS2.

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

Material	Peso Específico (kN/m ³)	Parâmetros			Fonte dos dados
		Efetivos - Mohr Coulomb		Não Drenado	
		Coesão c' (kPa)	Ângulo de atrito Φ' (°)	Su/σ'	
Fundação fofa	17,0	8,0	21,0	0,300	Pimenta de Ávila (2016)
Fundação densa	20,0	13,0	27,0	0,500	Pimenta de Ávila (2016)
Resíduo seco	18,5	6,0	33,0	0,520	Pimenta de Ávila (2016)
Resíduo úmido	17,5	2,0	32,0	0,362	Pimenta de Ávila (2016)
Aterro	20,9	9,0	31,0	-	Pimenta de Ávila (2016)
Drenos e filtros	19,0	0,0	32,0	-	Pimenta de Ávila (2016)
Interface rugosa Geomembrana	19,0	0,0	27,5	-	Pimenta de Ávila (2016)
Interface lisa Geomembrana	19,0	0,0	17,0	-	Pimenta de Ávila (2016)

7.2 ESTUDOS SÍSMICOS

A LPS Consultoria e Engenharia LTDA realizou um Estudos de Avaliação de Ameaça Sísmica nos Sítios da HYDRO Paragominas e HYDRO Alunorte, apresentados no documento RT-8400-54-G-019-R1. Os estudos desenvolvidos tiveram como finalidade a apresentação da estimativa de ameaça sísmica nas instalações da HYDRO Paragominas e da HYDRO Alunorte (Barcarena), no Estado do Pará.

Em virtude do histórico de baixo nível de atividade sísmica no Brasil, em particular da região em questão, do intervalo de tempo pequeno de auscultação instrumental, da falta de precisão nas localizações epicentrais e do comportamento oscilatório da atividade sísmica, as premissas adotadas para desenvolvimento dos estudos apresentados no documento RT-8400-54-G-019-R1 foram:

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

- Estudo da sismicidade através de métodos probabilísticos, estimando a probabilidade de excedência de determinado parâmetro relacionado a movimentos sísmicos;
- Modelo de distribuição espacial difusa com fontes pontuais distribuídas em áreas sismogênicas;
- Presença de 2 modelos de áreas sismogênicas para o Brasil, determinadas com base no modelo de sismicidade intraplaca (área A) e em função da geologia estrutural (área B) para cálculo da aceleração horizontal de pico, na rocha;
- Obtenção da aceleração horizontal de projeto.

Conforme indicado no documento RT-8400-54-G-019-R1, o estudo de sismicidade em uma dada região consiste na análise probabilística da excedência de um determinado parâmetro inerente a ocorrências sísmicas, em um intervalo de tempo. Esta análise, que permite a obtenção da aceleração horizontal atuante no embasamento rochoso, engloba as seguintes etapas:

- Localizar as zonas potenciais de geração de sismos (zonas sismogênicas) e estimar as respectivas atividades;
- Determinar os parâmetros de sismicidade regional;
- Selecionar modelos para análise de sismicidade;
- Definir a lei de atenuação dos movimentos sísmicos;
- Calcular as probabilidades de excedência no local em estudo para o parâmetro de movimento solicitado, por meio de curva de ameaça sísmica.

Como etapa complementar dos Estudos de Avaliação de Ameaça Sísmica nos Sítios da HYDRO Paragominas e HYDRO Alunorte (documento RT-8400-54-G-019-R1), foi avaliada a resposta sísmica 1-D para os sítios HYDRO Alunorte e HYDRO MPSA, considerando sismos intraplaca ocorridos na região Leste dos Estados Unidos, com características geológicas semelhantes às da plataforma continental brasileira, em virtude da

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

impossibilidade de obtenção dos registros sísmicos (acelerogramas) na região de estudo.

Da análise 1D da resposta sísmica e dos perfis estratigráficos das regiões em estudo, resultaram as acelerações horizontais de pico (PGA) considerando uma espessura de coluna de solo e aterro sobrejacente ao topo da camada de rocha sã, possibilitando a avaliação do coeficiente sísmico representativo da aceleração média no corpo do aterro.

Seguindo a metodologia apresentada, nos estudos apresentados no documento RT-8400-54-G-019-R1 foram obtidas acelerações máximas horizontais de pico na rocha, para o sítio de HYDRO Alunorte, para diferentes tempos de recorrência (TR), conforme Tabela 7.3.

Tabela 7.3 – Acelerações horizontais máximas no embasamento rochoso (LPS, 2017)

Sítio	Lei de atenuação	Aceleração horizontal máxima na rocha (g) para um dado TR				
		72 anos	475 anos	975 anos	2.475 anos	10.000 anos
HYDRO-Alunorte	Toro (1997,2002)	0,008g	0,020g	0,026g	0,038g	0,065g

A seguir, são apresentados, sob a forma de aceleração horizontal de pico (PGA), os resultados da análise da resposta sísmica 1D obtidos pelos estudos apresentados no documento RT-8400-54-G-019-R1. A Figura 7.1 ilustra os resultados para o projeto HYDRO-Alunorte. Destes resultam os coeficientes sísmicos referentes às acelerações médias no corpo do aterro, apresentados na Tabela 7.4.

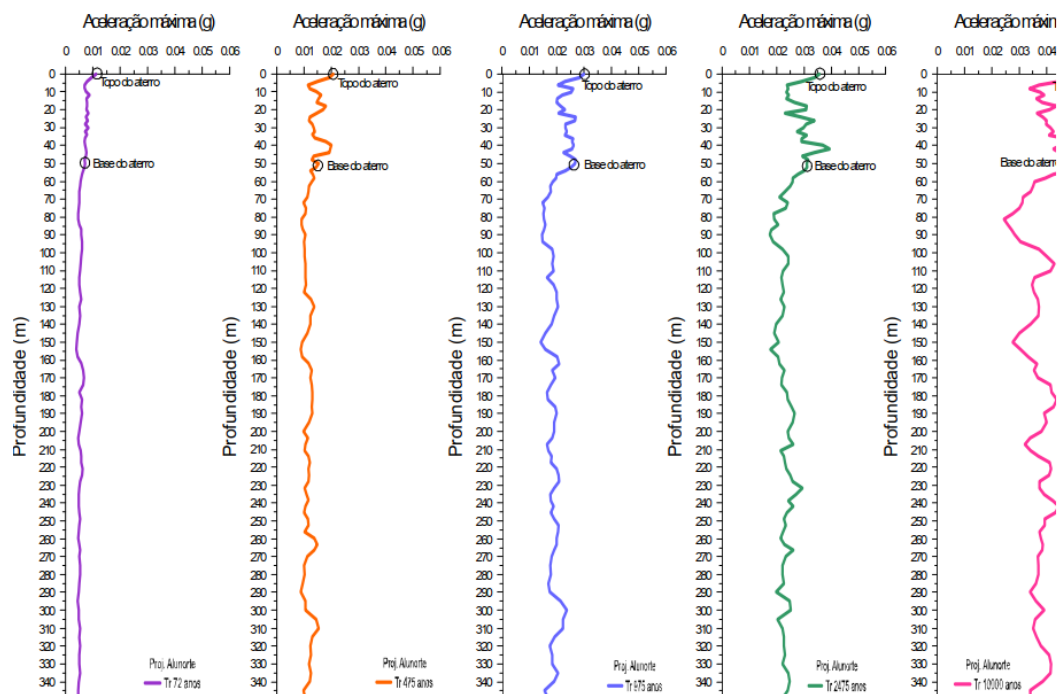
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2


Figura 7.1 – Resposta sísmica 1D no sítio do projeto HYDRO Alunorte para coluna de solo e aterro considerando sismos com diferentes períodos de retorno (LPS, 2017)

Tabela 7.4 – Coeficientes sísmicos das acelerações médias no corpo do aterro (LPS, 2017)

Sítio	Lei de atenuação	Aceleração horizontal máxima na rocha (g) para um dado TR				
		72 anos	475 anos	975 anos	2.475 anos	10.000 anos
HYDRO-Alunorte	Toro (1997,2002)	0,007g	0,015g	0,025g	0,033g	0,045g

Para o cálculo específico da aceleração a ser utilizada nas análises de estabilidade, a norma ABNT NBR 13.028/2017 recomenda os critérios especificados pela Canadian Dam Association – CDA, no documento *Dam Safety Guidelines – Guidelines to Mining Dam* (2019), onde a aceleração máxima horizontal (PGA) depende do Tempo de retorno – TR em função da classificação da barragem.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

Sendo assim, seguindo recomendações apresentadas pela CDA no documento *Dam Safety Guidelines 2019*, a metodologia adotada pela FONNTES para determinação do Kh nesta auditoria consiste em:

- Classificação da barragem pelos critérios propostos pelo CDA;
- Determinação do tempo de retorno do sismo de projeto;
- Determinação do sismo de projeto;
- Realização da análise pseudoestática.

A classificação do DRS2 realizada a partir da metodologia proposta pela CDA pode ser observada na Tabela 7.5.

A classificação foi realizada com base no Relatório de Revisão de Classificação de Consequências de Falhas da Instalação de Rejeitos, elaborado pela HYODRO, ALUNORTE, em novembro de 2022 (doc. RT-3500-54-G-223 R01), que descreve a metodologia empregada na classificação de consequências de falhas para o depósito DRS2 a partir do requisito 4.1 do Padrão Global da Indústria para Gestão de Rejeitos (GISTM).

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2
Tabela 7.5 – Classificação do DRS2 (CDA, 2019).

CLASSIFICAÇÃO	POPULAÇÃO EM RISCO (NOTA 1)	PERDAS DE VIDA (NOTA 2)	VALORES CULTURAIS E AMBIENTAIS	INFRAESTRUTURA E ECONOMIA
Baixa	Nenhuma	Nenhum esperado	- Perda mínima de curto prazo; - Nenhuma perda de longo prazo.	- Perdas econômicas baixas; - Área contém serviços e infraestrutura limitadas.
Significativa	(1 - 10)	Não especificada	- Perda/deterioração não significativa de habitats naturais de vida silvestre ou aquática; - Perdas limitadas a habitats marginais; - Restauração e compensações altamente factíveis.	- Perdas a instalações recreacionais, locações laborais temporárias, e rotas de transporte pouco utilizadas.
Alta	(10 - 100)	Possível (1 - 10)	- Perda/deterioração significativa habitat natural de vida silvestre ou aquática importantes; - Restauração e compensações altamente possível.	Perdas econômicas elevadas com consequências a infraestrutura, transporte público, e instalações comerciais.
Muito Alta	(10 - 1000)	Provável (10 - 100)	- Perda/deterioração significativa de habitats naturais de vida silvestre ou aquática <i>críticos</i> ; - Restauração e compensações possíveis, mas impraticáveis.	Perdas econômicas muito elevadas, afetando infraestrutura e serviços importantes (ex: rodovias, instalações industriais e de armazenamento de substâncias perigosas).

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

CLASSIFICAÇÃO	POPULAÇÃO EM RISCO (NOTA 1)	PERDAS DE VIDA (NOTA 2)	VALORES CULTURAIS E AMBIENTAIS	INFRAESTRUTURA E ECONOMIA
Extrema	(> 1000)	Elevado (Mais de 100)	- Perda/deterioração grave de habitats naturais de vida silvestre ou aquática; - Restauração e compensações impossíveis.	Perdas extremas afetando infraestrutura e serviços críticos (ex: hospitais, grandes complexos industriais e de armazenamento de substâncias perigosas)

Nota 1 - Definição de população em risco

Nenhuma - Não é verificada população em risco, não havendo possibilidade de perda de vidas além daquelas ligadas a qualquer infortúnio

Temporária - Pessoas que estão apenas de forma temporária na zona de inundação (ex: ocupação residencial sazonal, transeuntes em rotas de transporte, participação em atividades recreativas)

Permanente - A população em risco está habitualmente localizada na zona de inundação (ex: moradores permanentes); três classes de consequência (alta, muita alta e extrema) são propostas para permitir uma estimativa mais detalhada do potencial perda de vidas (para assistir o processo de tomada de decisões se análises apropriadas são feitas);

Nota 2- Implicações a perdas de vida

Não especificada - O nível apropriado de segurança em uma barragem onde pessoa estão temporariamente em risco depende do número de pessoas, do tempo de exposição, a natureza de sua atividade e outras condicionantes. Uma classe maior pode ser apropriada dependendo das exigências. No entanto, as exigências da análise de cheias, por exemplo, não pode ser maior se a população temporária não é provável de estar presente durante a temporada de cheias.

A classe de risco da estrutura é determinada pelo item de maior consequência. Assim, a estrutura foi classificada como risco muito alto. Para estruturas de risco muito alto, a CDA recomenda adotar para definição do sismo de projeto um tempo de retorno de 1/2 entre 1/2.475 e 1/10.000 anos ou MCE, conforme a Tabela 7.6.

Tabela 7.6 – Avaliação das probabilidades de excedência (CDA, 2019)

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

CLASSIFICAÇÃO (NOTA 1)	PROBABILIDADE DE EXCEDÊNCIA ANUAL - CHEIAS (NOTA 2)	PROBABILIDADE DE EXCEDÊNCIA ANUAL - TERREMOTOS (NOTA 3)
Baixa	1/100	1/100
Significativa	Entre 1/100 e 1/1.000 (nota 4)	Entre 1/100 e 1/1.000
Alta	1/3 entre 1/1.000 e PMF* (nota 5)	1/2.475 (nota 6)
Muito Alta	2/3 entre 1/1.000 e PMF* (nota 5)	1/2 entre 1/2.475 e 1/10.000 ou MCE* (nota 5)
Extrema	PMF* (nota 5)	1/10.000 ou MCE* (nota 5)

Esta tabela trata de apenas dois riscos naturais, e não considera que outro tipo de risco que possa ser considerado em avaliações de segurança de barragem

*PMF – probable maximum flood (máxima cheia provável); MCE – maximum credible earthquake (maior sismo credível); AEP – annual exceedance probability (probabilidade de excedência anual);

1 - Como definido na Tabela 4.1 - Classificação de Barragem;

2 - Simples extrapolação das estatísticas de cheias além de 10⁻³ AEP não é aceitável;

3 - Valores médios do intervalo estimado nos níveis de AEP para terremotos devem ser usados;

4 - Selecionado com base na análise incremental de cheias, exposição, e consequência de falha;

5 - PMF e MCE não tem AEP associados;

6 - Esse nível foi escolhido para garantir compatibilidade com o estabelecido nas normas de construção canadenses.

Conforme verificado no Relatório Final do Projeto As Is, documento RT-3540-54-G-1014, a Pimenta de Ávila seguiu as recomendações da ABNT NBR 13029:2017 para o cálculo específico da aceleração a ser utilizada nas análises de estabilidade. Portanto, adotou, as recomendações do boletim da *Canadian Dam Association (CDA), Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams – 2014*, revisado em 2019, que indica a adoção da aceleração da gravidade resultante do Sismo Máximo Provável (MCE – *Maximum Credible Earthquake*) ou de um tempo de retorno de 10.000 anos para estruturas de classificação “extrema”. Com isso, foi adotada uma aceleração horizontal de $a_h = 0,045g$, referente a um TR de 10.000 anos para a região em estudo, conforme indicado no relatório intitulado “Estudos de Avaliação de Ameaça Sísmica nos Sítios da HYDRO Paragominas e HYDRO Alunorte”, elaborado pela LPS Consultoria e Engenharia Ltda em 2017 (documento de referência nº RT-8400-54-G-019).

Foi considerada ainda, um valor para aceleração vertical equivalente à dois terços da aceleração horizontal (Newmark & Hall, 1982, apud Sarma & Scorer, 2009), ou seja, $a_v =$

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

0,03g. A aceleração vertical foi aplicada em ambos os sentidos (positivo e negativo), de forma a encontrar a condição mais crítica para cada seção estudada.

Embora no presente relatório tenha sido classificada a estrutura como de risco muito alto, que resultaria em um sismo de projeto com tempo de retorno de $\frac{1}{2}$ entre 1/2.475 e 1/10.000 anos ou MCE, nas análises de estabilidade realizadas pela FONNTES será mantido, de forma conservadora, o tempo de retorno de 1/10.000 anos adotado pela PIMENTA DE AVILA no Relatório Final do Projeto As Is, documento RT-3540-54-G-1014.

7.3 ANÁLISES DE ESTABILIDADE

Neste item, são apresentados os modelos matemáticos de estabilidade que foram verificados e atualizados pela FONNTES a base topográfica do Depósito DRS2 realizada em janeiro/2022 (doc. D1-8600-54-L-2303-R0) e recebida no âmbito dessa auditoria. Os estudos foram realizados para as seções de controle que são tradicionalmente utilizadas para essa verificação das estruturas, estas serão apresentadas no item 7.3.2.

As análises de estabilidade que serão realizadas têm como objetivo a reavaliação dos modelos matemáticos elaborados para se calcular os fatores de segurança da estrutura (item 7.3.4), além de comparar os fatores de segurança obtidos pela FONNTES com os fatores de segurança obtidos pela GEOCONSULTORIA (2022) nas análises de estabilidade mais recentes da estrutura (item 7.3.5), assim como verificar se os fatores de segurança obtidos estão em conformidade com os critérios estabelecidos por norma técnica vigente (ABNT NBR 13.028 e ABNT NBR 13.029) (item 7.3.6). Os critérios adotados nas análises de estabilidade serão apresentados no item 7.3.1.

Para execução das análises de estabilidade foi proposto a utilização do software Slope/W da fabricante Geostudio, contudo será utilizado o software Slide2 da fabricante Rocscience, sendo este um software de mercado tão utilizado quando o Slope/W, cujos resultados são os mesmos.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

Os parâmetros de resistência de cada material foram reavaliados conforme apresentado no documento FG-2201-NHB-A-BA-RT20 – Avaliação dos Parâmetros Geotécnicos do DRS2, elaborado pela FONNTES.

7.3.1 Critérios Adotados

Para avaliação da segurança dos taludes da barragem, foram realizadas análises de estabilidade pelo método de Morgenstern-Price, baseado na teoria do Equilíbrio Limite, com auxílio do programa computacional Slide®2 da Rocscience

Segundo Gerscovich (2016) a superfície de ruptura tende a ser circular em solos relativamente homogêneos, podendo ter uma aparência mais achatada na ocorrência de uma anisotropia mais significativa em relação a resistência. Já as superfícies planares ou translacionais caracterizam-se pelas descontinuidades ou planos de fraquezas. E, por fim, as rupturas de forma mista ocorrem quando há uma heterogeneidade, caracterizada pela presença de materiais ou descontinuidades com resistências mais baixas. Portanto, nas análises foram buscadas superfícies não circulares potenciais de ruptura otimizadas, em busca do menor fator de segurança (FS).

As seções de análises consideradas como representativas das condições de campo foram adotadas a partir das informações apresentadas nos documentos de referência e disponibilizados para a FONNTES, sendo estas tradicionalmente utilizadas para essa verificação da estrutura com as condições da geometria atual a partir do último levantamento topográfico disponibilizado para a FONNTES (doc. D1-8600-54-L-2303-R0), as seções serão apresentadas no item 7.3.2.

O modelo numérico foi construído com a hipótese de fluxo permanente com poropressões atribuídas por meio de uma superfície freática na fundação e uma linha piezométrica na superfície do resíduo. De forma conservadora, a linha freática foi

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

atribuída à fundação levando em consideração os registros máximos históricos dos piezômetros e medidores de nível d'água instalados no maciço, além dos poços de monitoramento em proximidade das seções de leituras de pico anômalas atribuídas à recarga superficial.

Para avaliação dos limites aceitáveis de fatores de segurança, conforme diretrizes da ABNT NBR 13.028/2017, foram adotadas as condições explicitadas na Tabela 7.7 a seguir. Deve-se destacar que para a condição não drenada a norma efetivamente não define o valor do fator, deixando a critério da projetista. No entanto, adota-se o valor estabelecido na Resolução Nº. 95, de 07/02/2022, da Agência Nacional de Mineração (ANM), como sugestão do auditor para avaliação.

Tabela 7.7 – Critérios adotados para fatores de segurança

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

REGIMES DE SOLICITAÇÃO	TALUDE	FATORES DE SEGURANÇA MÍNIMOS ADMITIDOS
<u>Análise Estática:</u> Condição atual com freática definida a partir das leituras de instrumentação fornecida. Análise do talude de jusante.	Jusante	1,5 ¹
	Entre bermas	1,3 ¹
<u>Análise Pseudoestática:</u> Condição atual com freática definida a partir das leituras de instrumentação fornecida e coeficiente da aceleração da gravidade. Análise do talude de jusante. Parâmetros não drenados de pico para os materiais sujeitos à mobilização por resistência não drenada.	Jusante	1,1 ¹
<u>Análise não drenada de pico:</u> Condição atual com freática definida a partir das leituras de instrumentação fornecida. Análise do talude de jusante. Parâmetros não drenados de pico para os materiais sujeitos à mobilização por resistência não drenada.	Jusante	1,3 ²

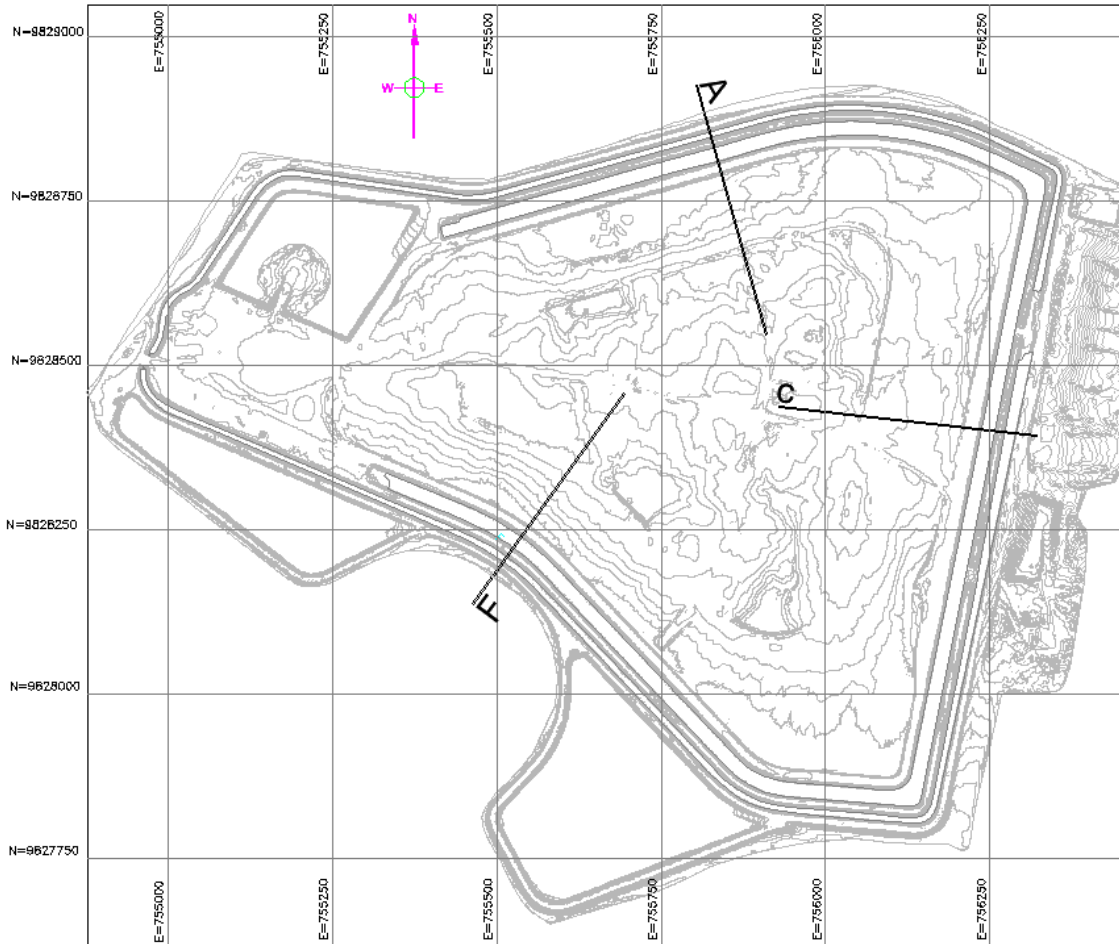
Nota 1: De acordo com a ABNT NBR 13.028/2017;

Nota 2: De acordo com Resolução Nº 95, de 7 de fevereiro de 2022.

7.3.2 Seções de Análise

As análises de estabilidade foram realizadas em 3 (três) seções geológico-geotécnicas, representativas do DRS2, sendo estas as seções A, C e F. A Figura 7.2 apresenta a locação das seções de análises do DRS2.

As seções foram selecionadas de acordo com as seções de controle que são tradicionalmente utilizadas para essa verificação do DRS2, conforme indicado no Relatório da Inspeção de Segurança Regular do DRS2, documento RT-469137-54-G-0002, elaborado pela GEOCONSULTORIA, em fevereiro de 2022. As seções de análises foram escolhidas de modo a representar todos os lados do depósito.

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

Figura 7.2 – Planta de locação das seções de análises
7.3.3 Verificação geométrica

As seções de análises consideradas como representativas das condições de campo foram adotadas a partir das informações apresentadas nos documentos de referência e disponibilizados para a FONNTES, sendo estas tradicionalmente utilizadas para essa verificação da estrutura.

A verificação geométrica visou comparar a condição da geometria das seções nas análises de estabilidade mais recentes disponibilizadas para a FONNTES e realizadas pela GEOCONSULTORIA, em fevereiro 2022, no Documento RT-469137-54-G-0002, Relatório

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

da Inspeção de Segurança Regular do DRS2, com as condições da geometria atual, a partir do último levantamento topográfico disponibilizado para a FONNTES (desenhos: D1-8600-54-L-2302-R00, D1-8600-54-L-2303-R00 e D1-8600-54-L-2304-R00, elaborados pela HYDRO em janeiro de 2022).

Os resultados gráficos da verificação estão apresentados da Figura 7.3 a Figura 7.5. É importante destacar alguns pontos nas análises:

- A geometria detalhada dos canais laterais não está contemplada no levantamento topográfico disponibilizado para a FONNTES (desenho: D1-8600-54-L-2303-R0). Por isso nessas regiões de jusante da estrutura foi considerada a geometria adotada pela GEOCONSULTORIA e definida a partir dos desenhos do projeto *As Built* do DRS2, elaborado pela PIMENTA DE ÁVILA em junho de 2018. O Projeto *As Built* contou com o levantamento cadastral por estação total dos pontos notáveis dos acessos, cristas dos diques e fundos dos canais. Cabe destacar que pela visita de campo é possível afirmar que há aderência entre o modelo e o que está construído em campo;
- A geometria das análises de estabilidade mais recentes disponibilizadas para a FONNTES está aderente a geometria mais atual disponibilizada à FONNTES em todas as seções.

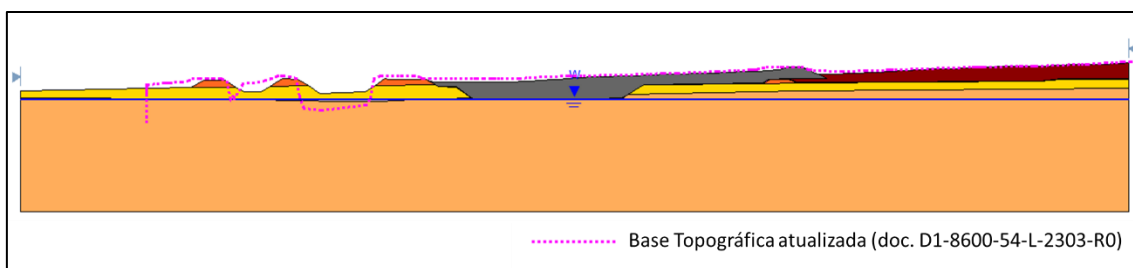
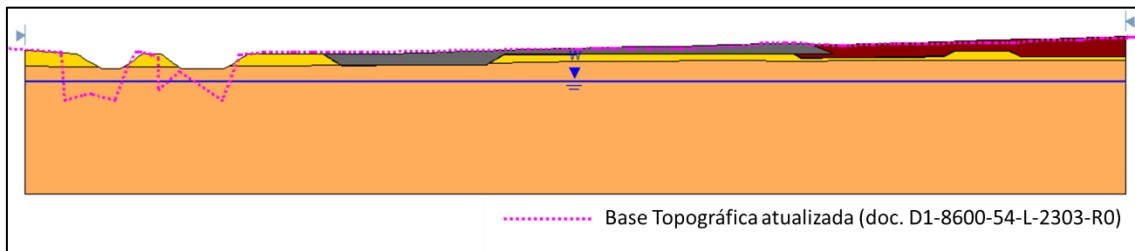
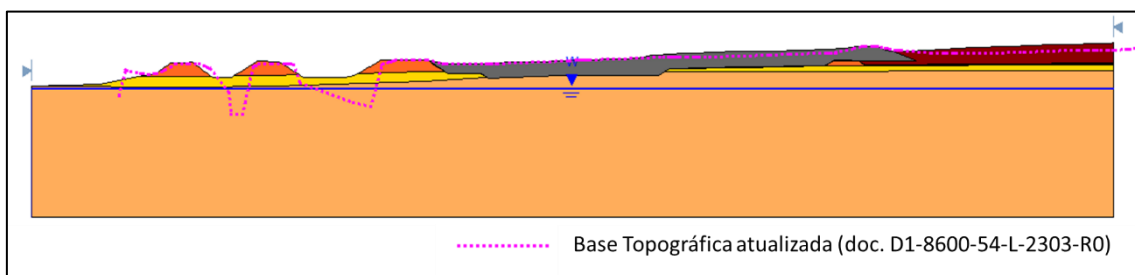


Figura 7.3 – Análise geométrica – Seção A-A

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

Figura 7.4 – Análise geométrica – Seção C-C

Figura 7.5 – Análise geométrica – Seção F-F

7.3.4 Resultados

Como forma de avaliar a segurança geotécnica da estrutura, foram realizadas as análises de estabilidade conforme critérios estabelecidos por norma técnica vigente e apresentados no item 7.3.1.

Conforme descrito anteriormente, as análises de estabilidade foram realizadas com a hipótese de fluxo permanente com poropressões atribuídas por meio de uma superfície freática na fundação. Pelo fato do depósito estar em início de operação, os menores fatores de segurança estão localizados nos diques de contorno. Por esse fato, foi simulada a hipótese dos canais laterais com água e secos. De forma conservadora, a linha freática foi atribuída à fundação levando em consideração os registros máximos históricos dos piezômetros e medidores de nível d'água instalados no maciço, além dos poços de monitoramento em proximidade das seções de referência, com exceção dos picos de leituras anômalas atribuídas à recarga superficial.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

Os resultados das análises para condição atual estática, pseudoestática e não drenada da barragem do DRS2 ao longo das seções analisadas são apresentados da Figura 7.6 a Figura 7.23, e um resumo dos resultados obtidos nas análises de estabilidade é apresentado na Tabela 7.8 a seguir.

Tabela 7.8 – Resumo das análises de estabilidade do DRS2

CANALIS PERIFÉRICOS	SEÇÃO	FATOR DE SEGURANÇA OBTIDO		
		CONDIÇÃO ESTÁTICA	CONDIÇÃO PSEUDOESTÁTICA	CONDIÇÃO NÃO DRENADA DE PICO
Com lâmina de água	A-A	2,38	2,14	2,38
	C-C	2,26	2,03	2,26
	F-F	2,04	1,88	2,05
Sem lâmina de água	A-A	1,52	1,40	1,52
	C-C	1,51	1,39	1,51
	F-F	1,53	1,42	1,53

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

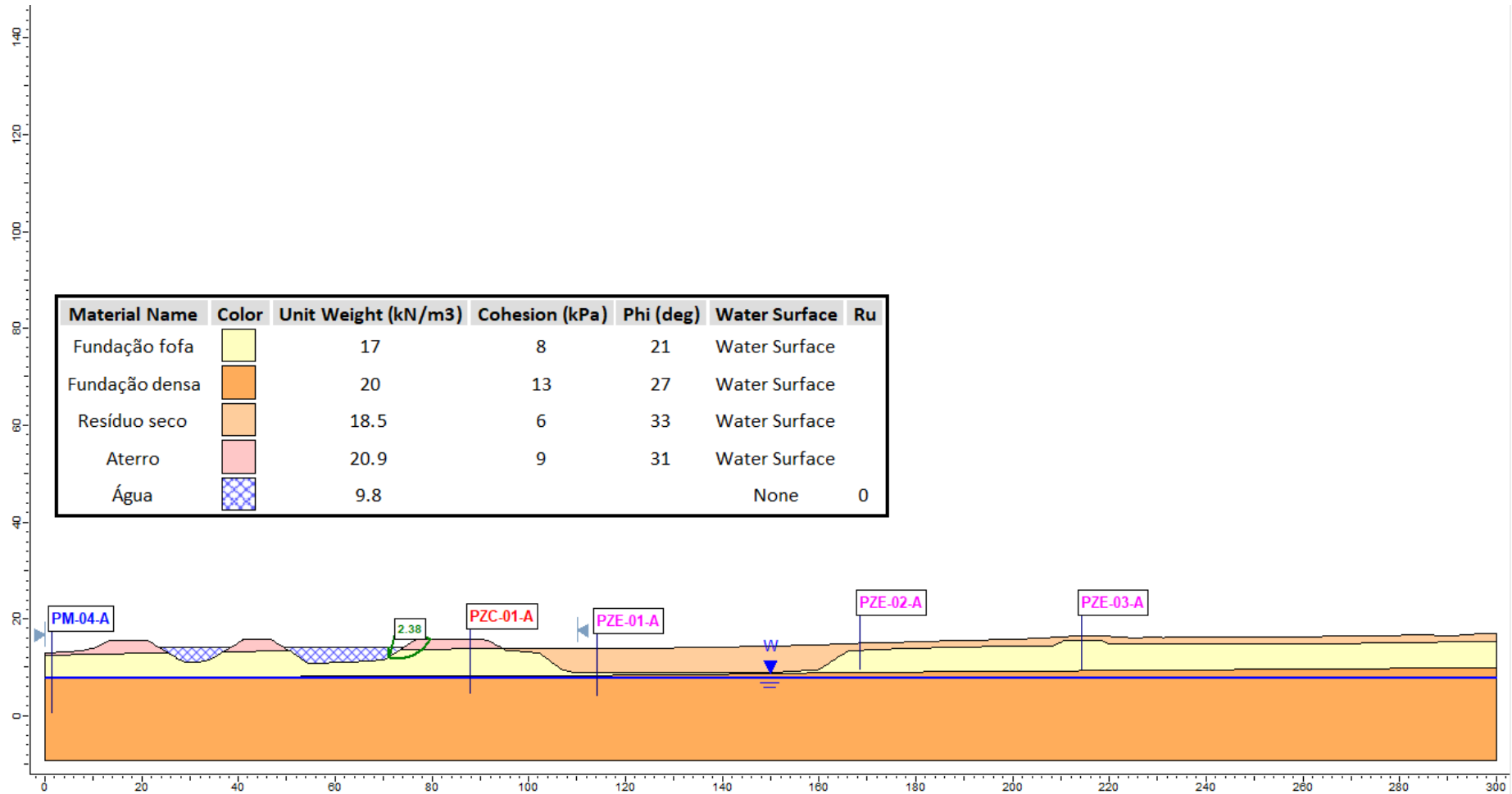


Figura 7.6 – Análise de estabilidade, condição estática – Seção A, com NA nos canais

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

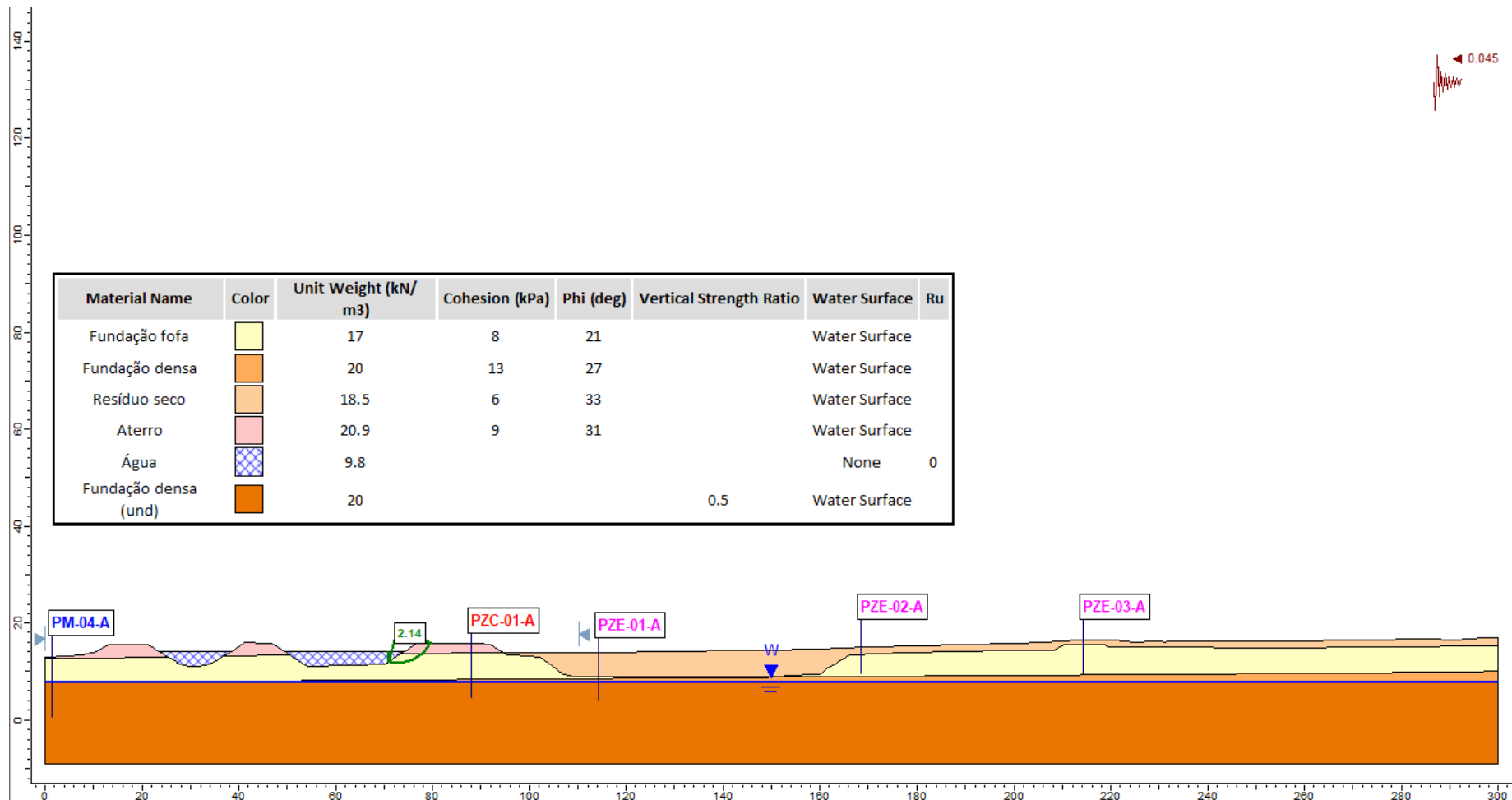
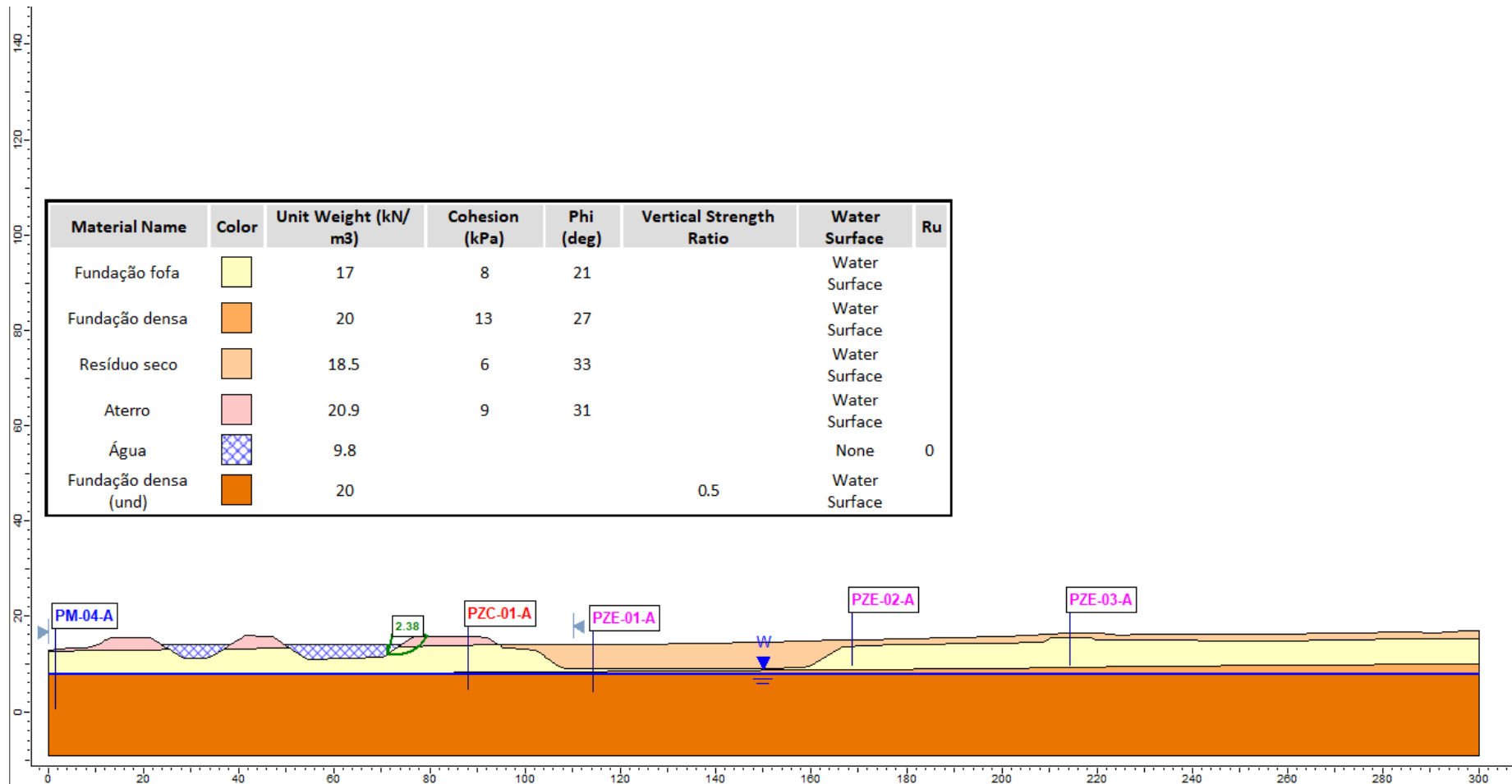


Figura 7.7 – Análise de estabilidade, condição pseudoestática – Seção A, com NA nos canais

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

Figura 7.8 – Análise de estabilidade, condição não drenada – Seção A, com NA nos canais

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

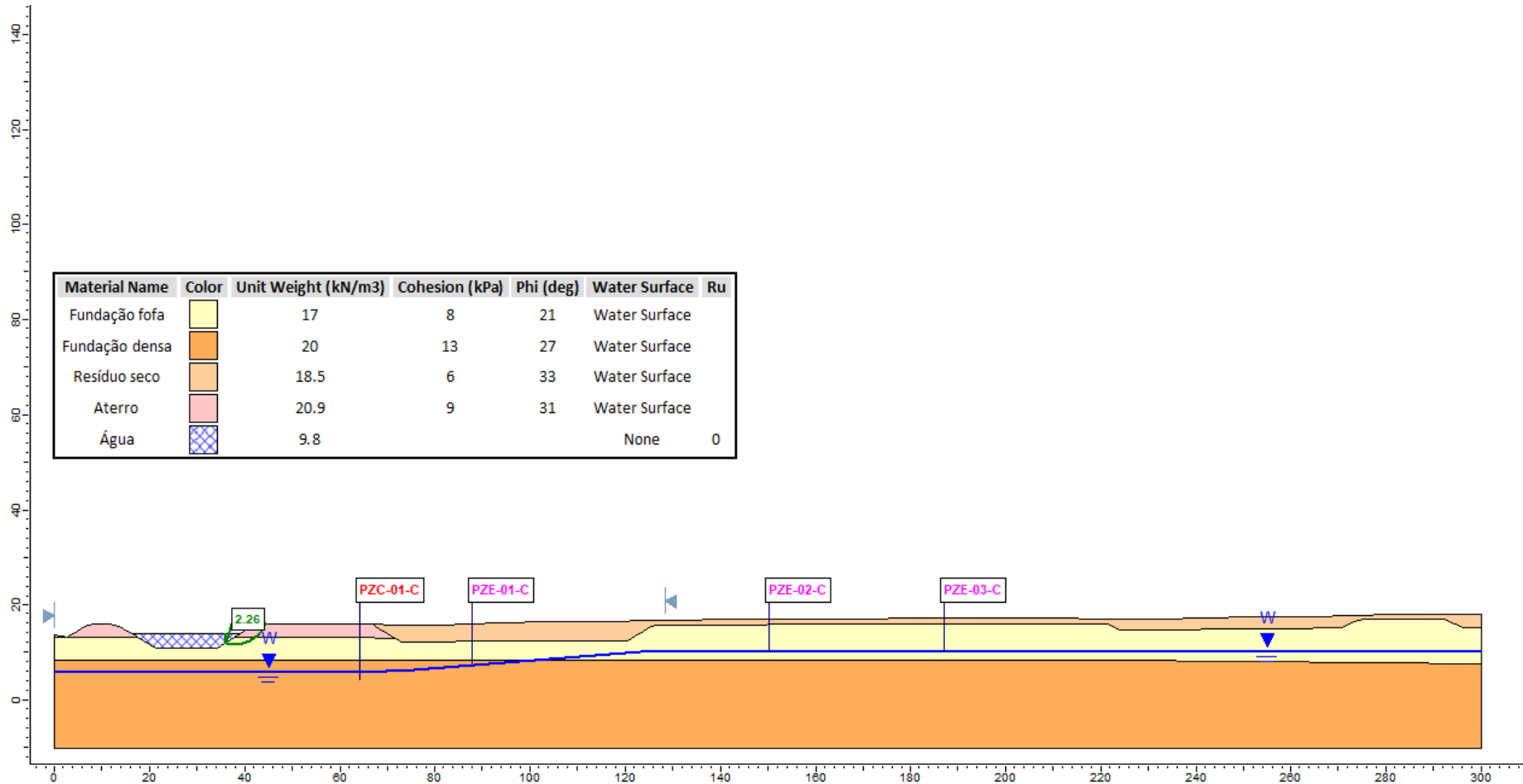


Figura 7.9 – Análise de estabilidade, condição estática – Seção C, com NA nos canais

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

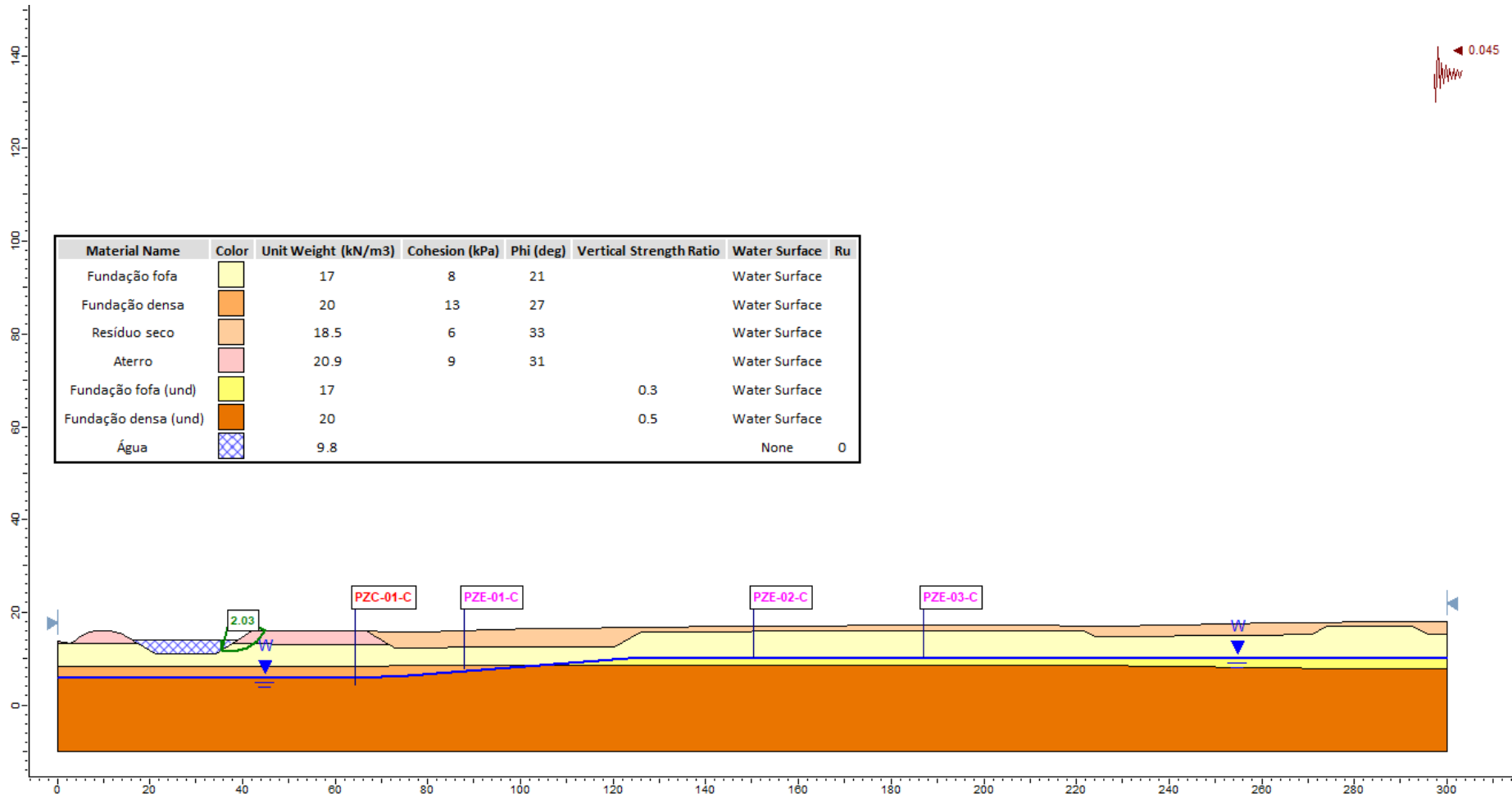


Figura 7.10 – Análise de estabilidade, condição pseudoestática – Seção C, com NA nos canais

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

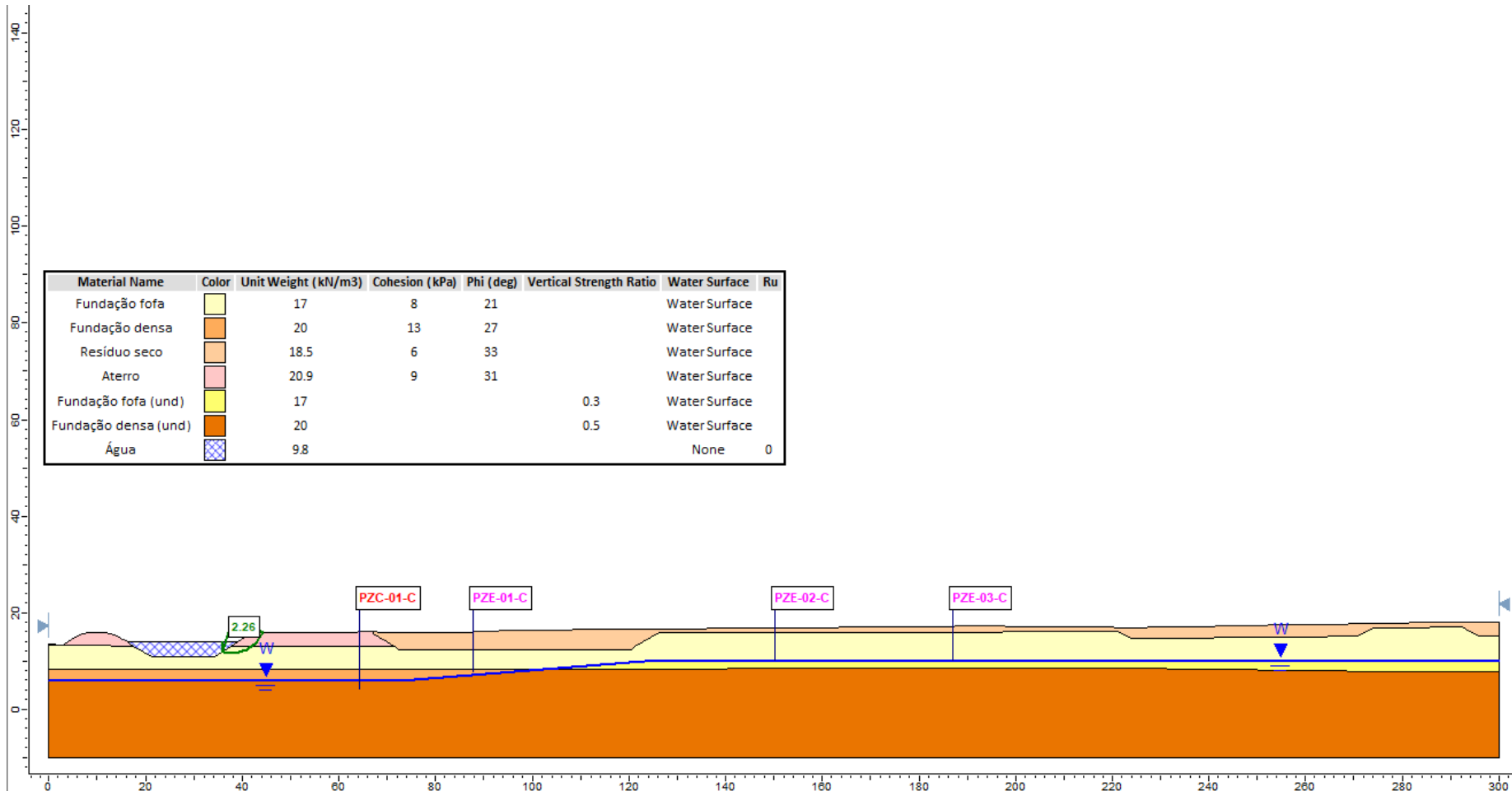
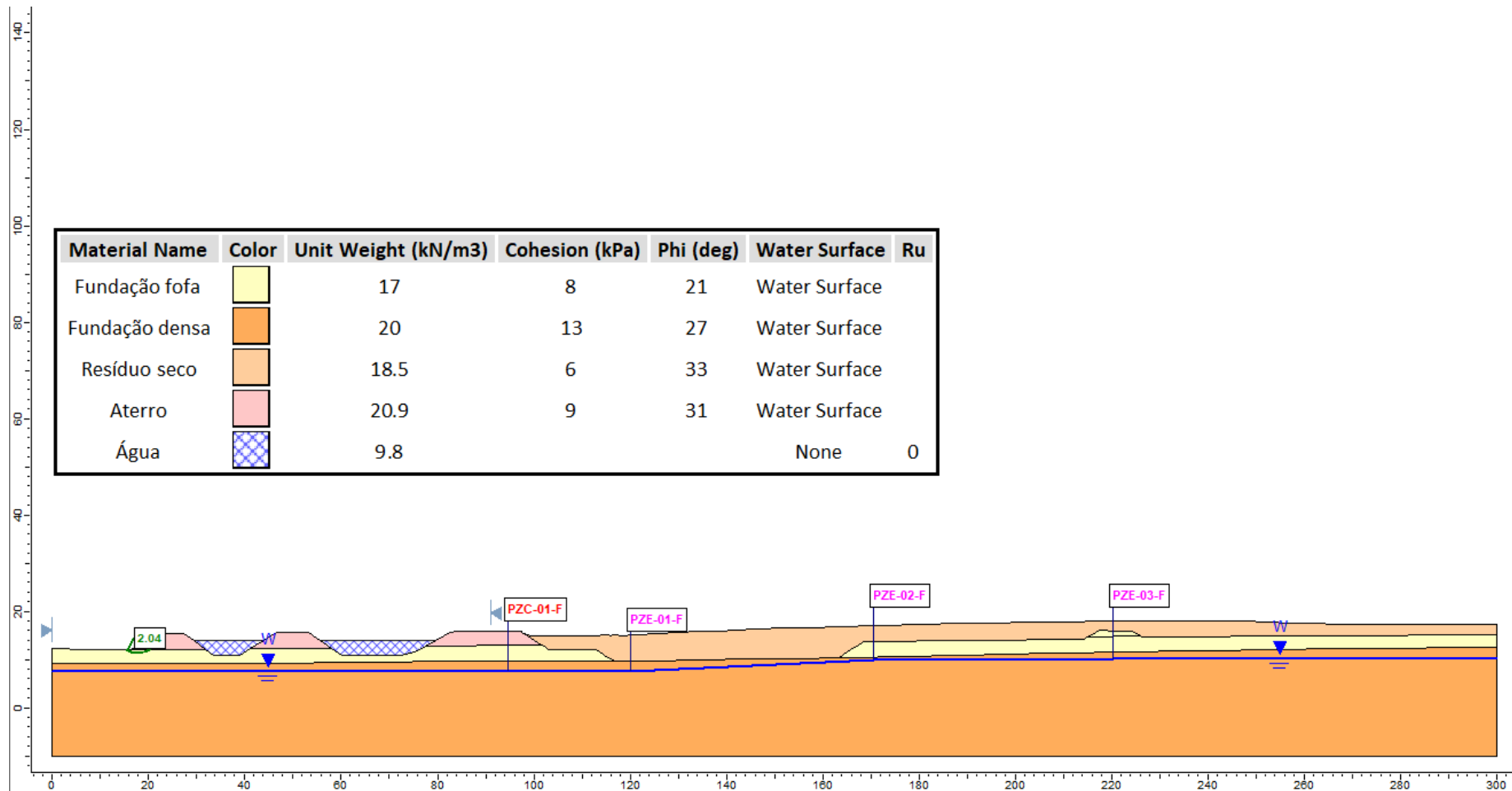


Figura 7.11 – Análise de estabilidade, condição não drenada – Seção C, com NA nos canais

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

Figura 7.12 – Análise de estabilidade, condição estática – Seção F, com NA nos canais

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

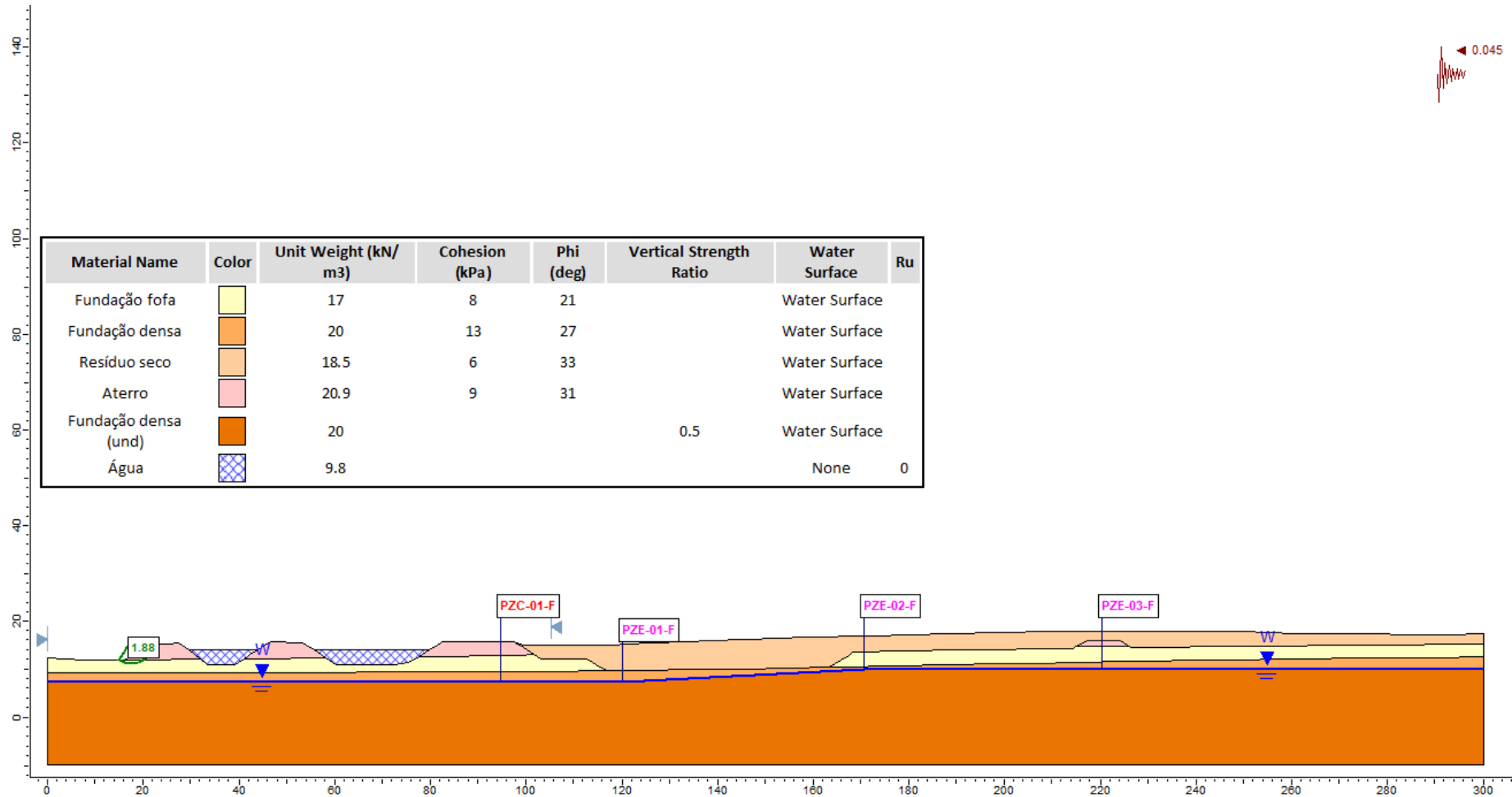
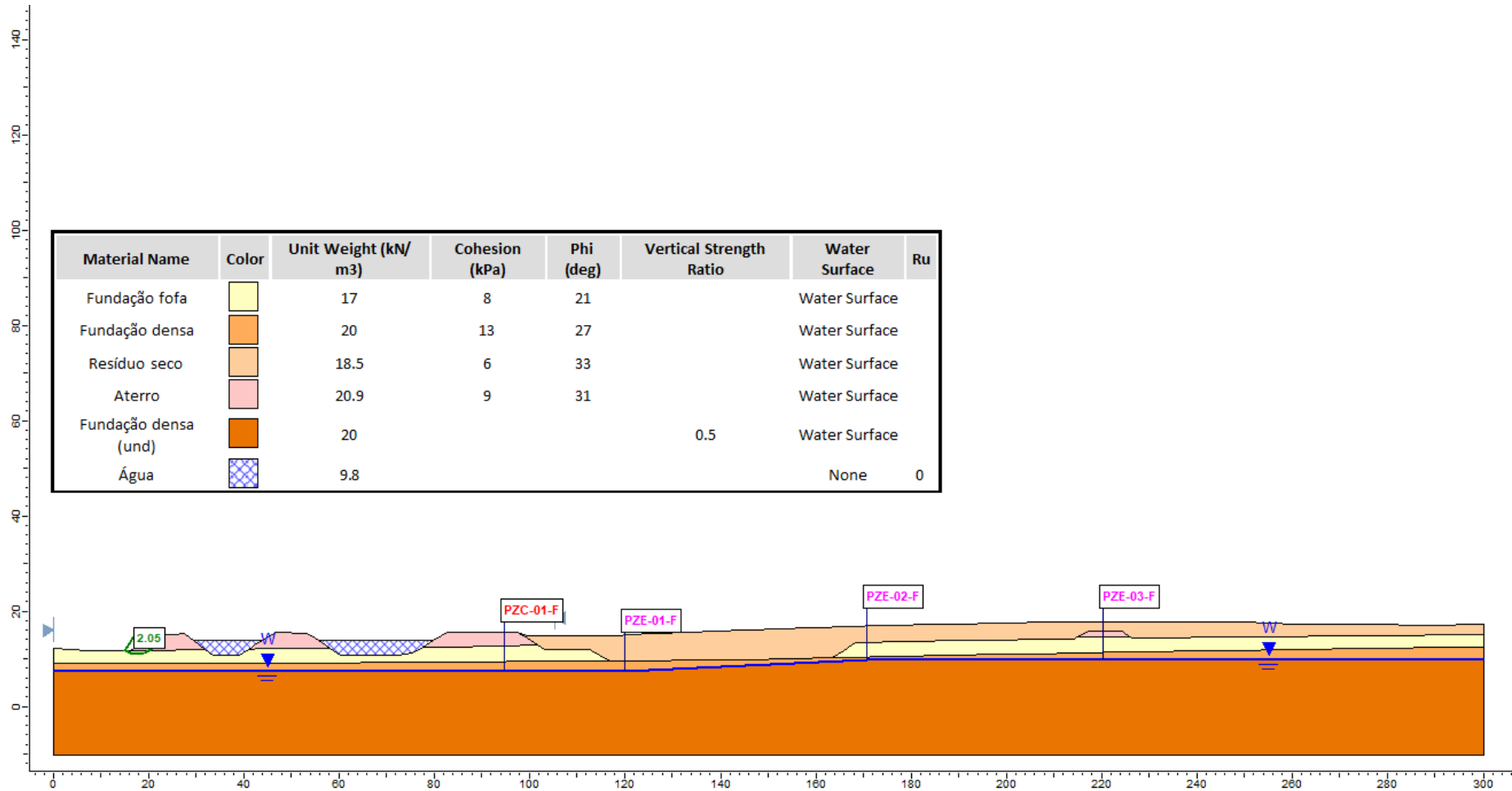
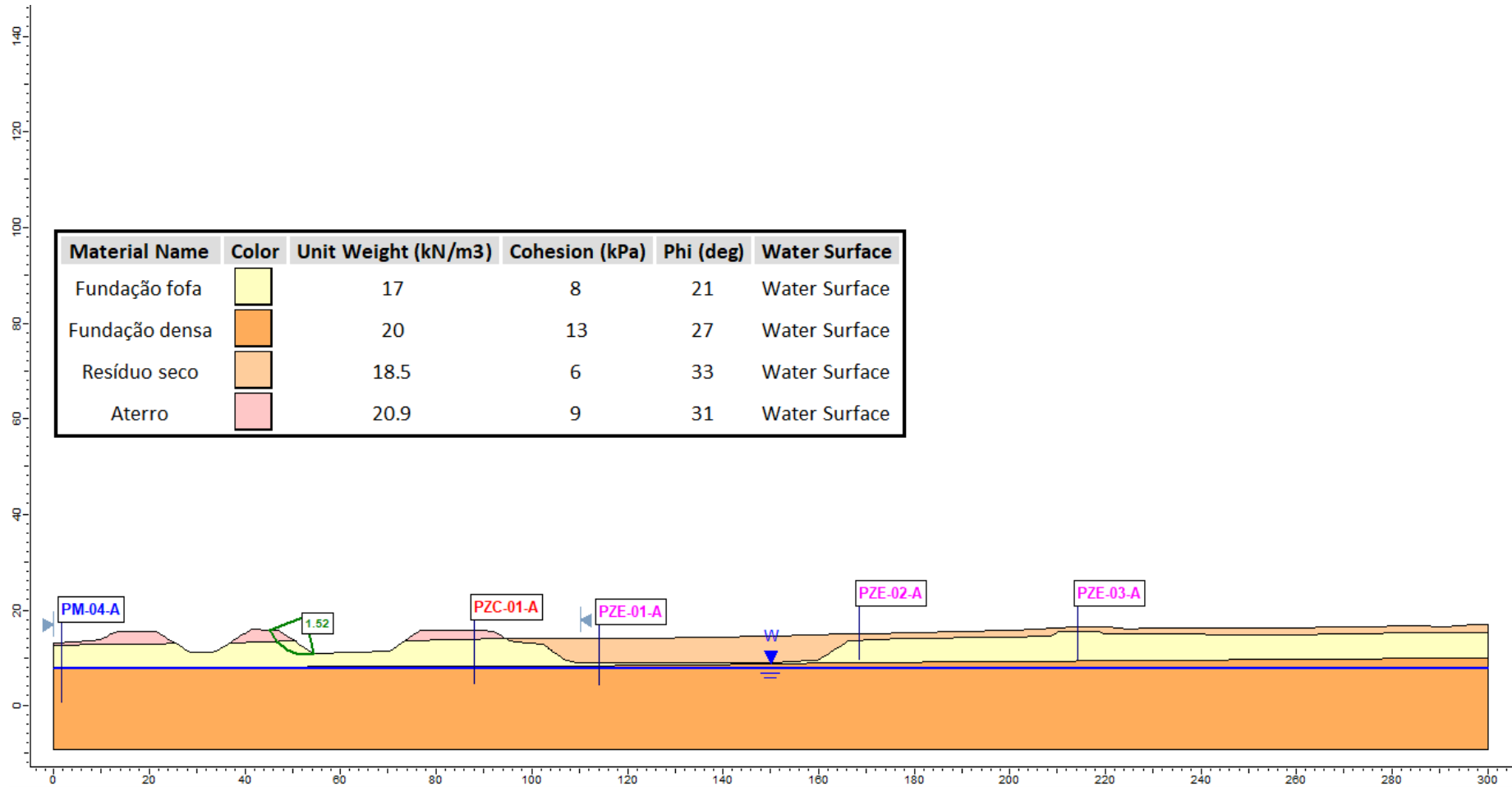


Figura 7.13 – Análise de estabilidade, condição pseudoestática – Seção F, com NA nos canais

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

Figura 7.14 – Análise de estabilidade, condição não drenada – Seção F, com NA nos canais

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

Figura 7.15 – Análise de estabilidade, condição estática – Seção A, sem NA nos canais

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

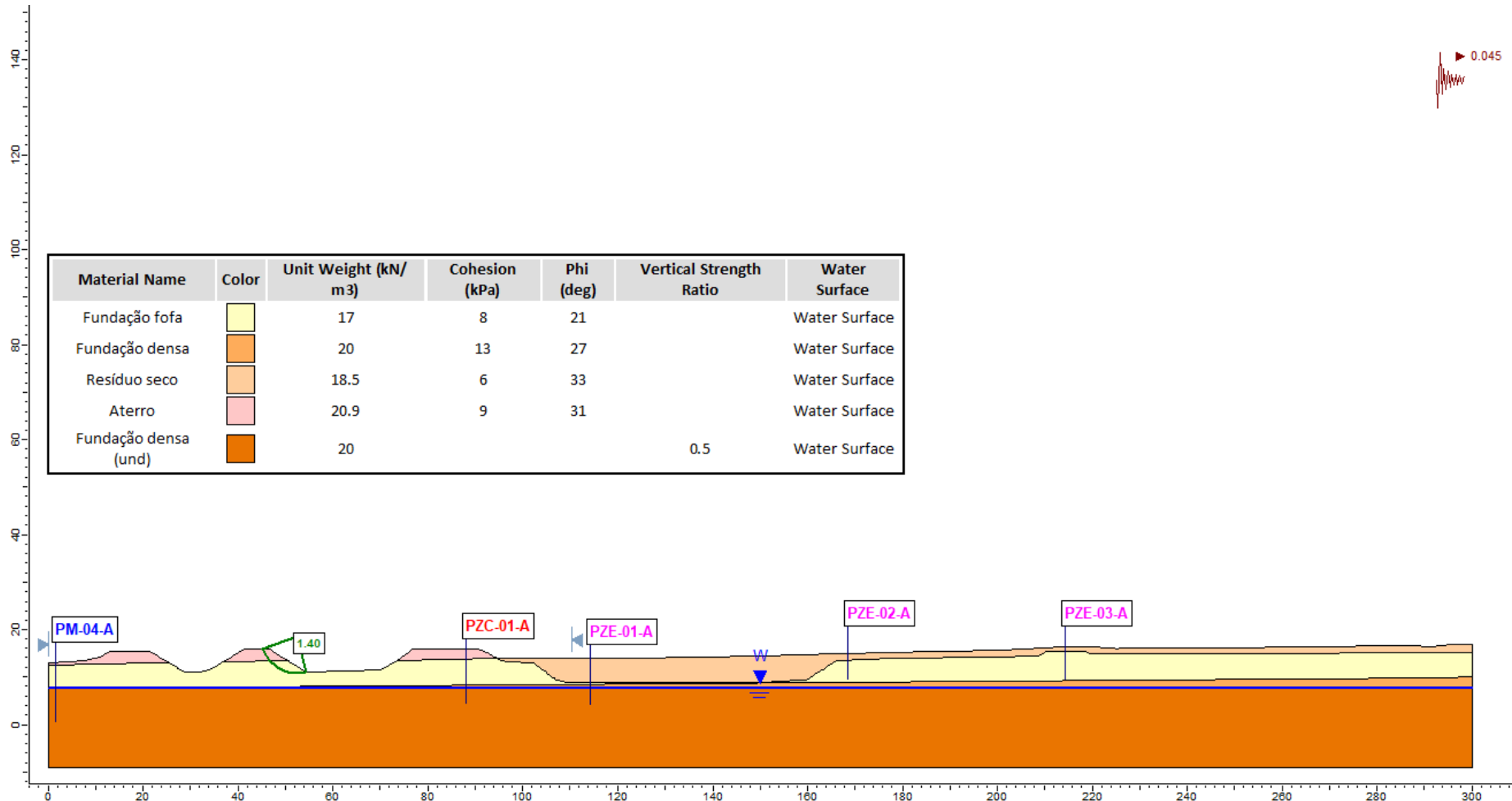
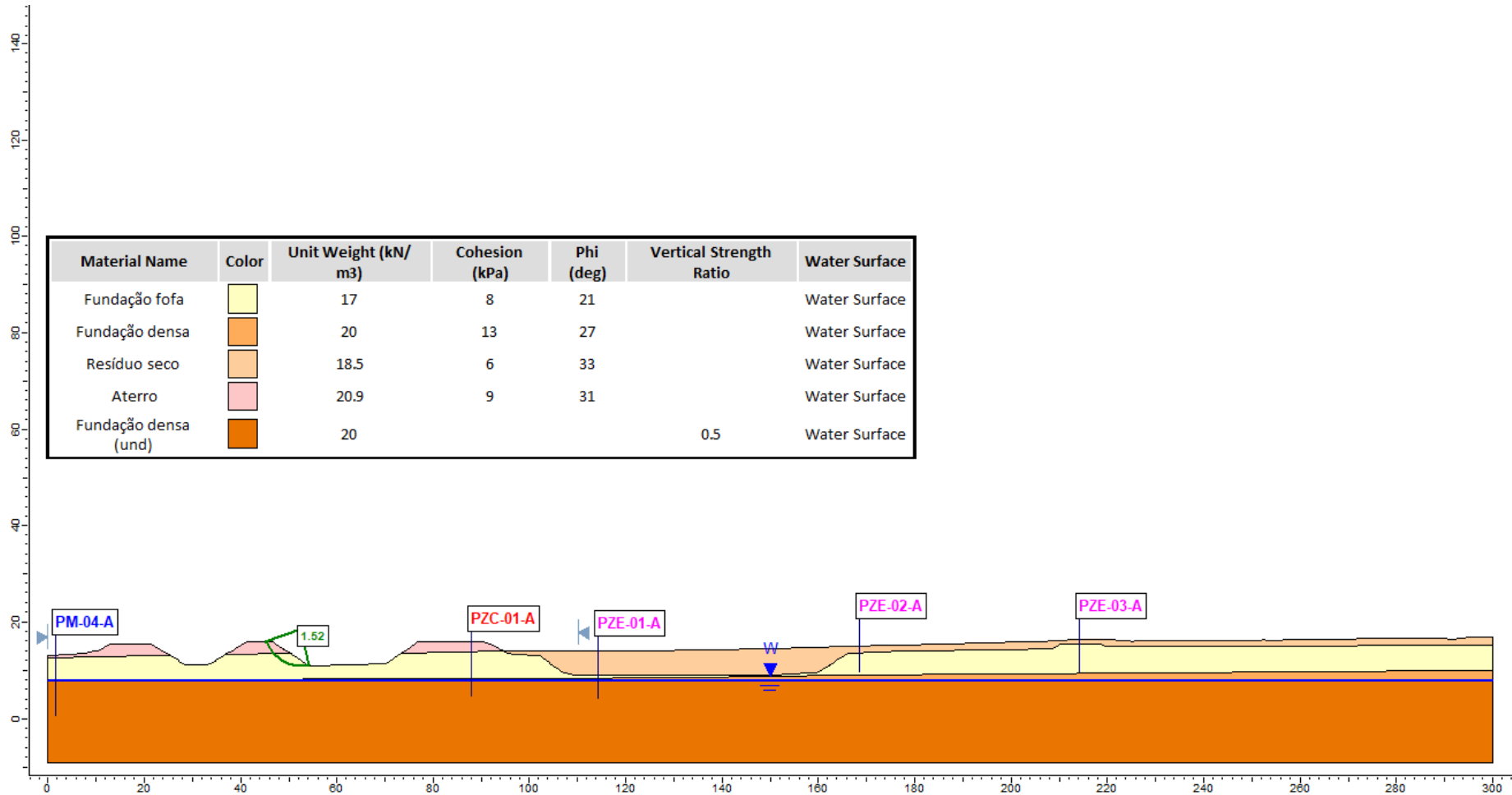


Figura 7.16 – Análise de estabilidade, condição pseudoestática – Seção A, sem NA nos canais

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

Figura 7.17 – Análise de estabilidade, condição não drenada – Seção A, sem NA nos canais

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

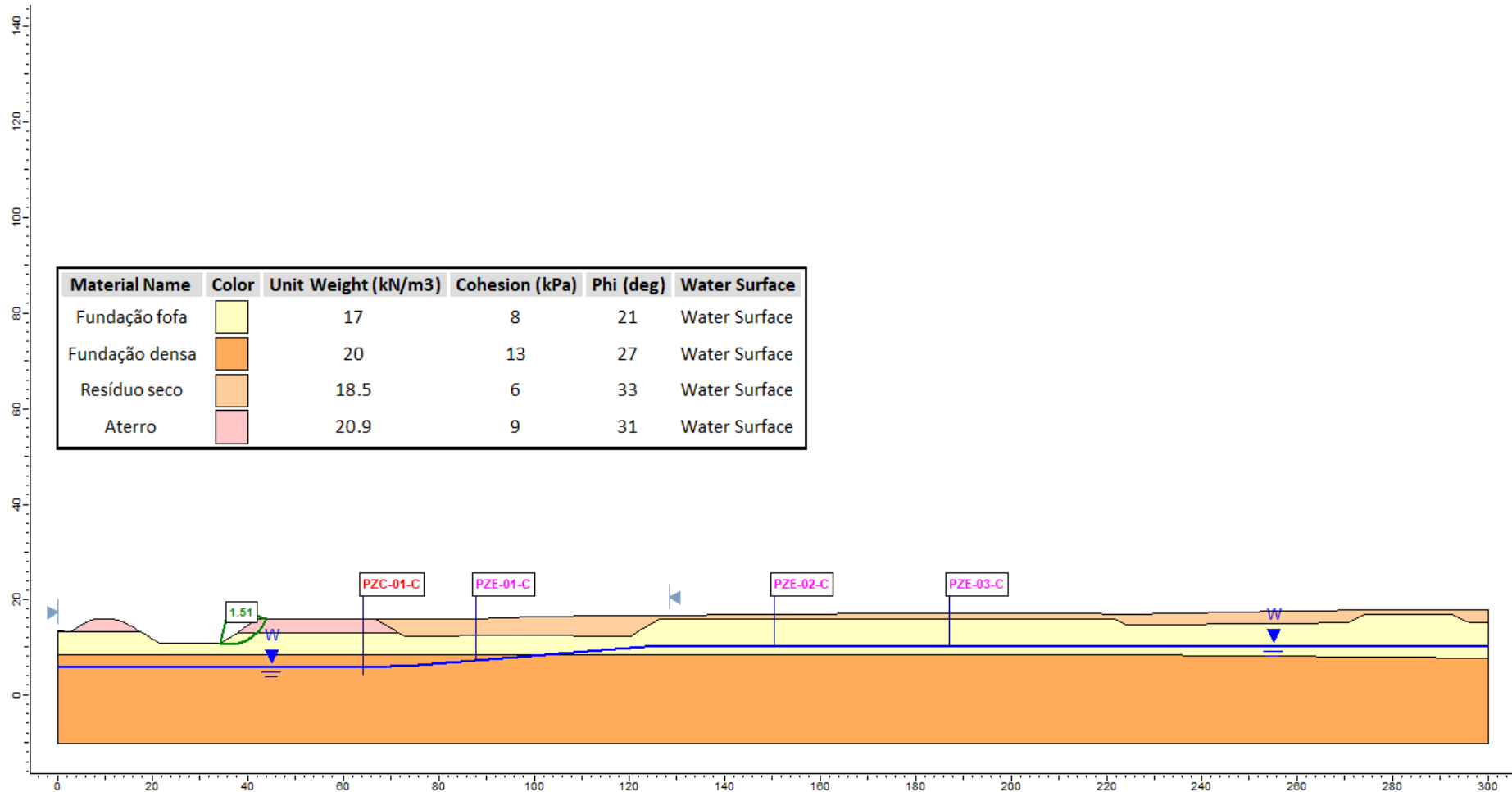


Figura 7.18 – Análise de estabilidade, condição estática – Seção C, sem NA nos canais

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

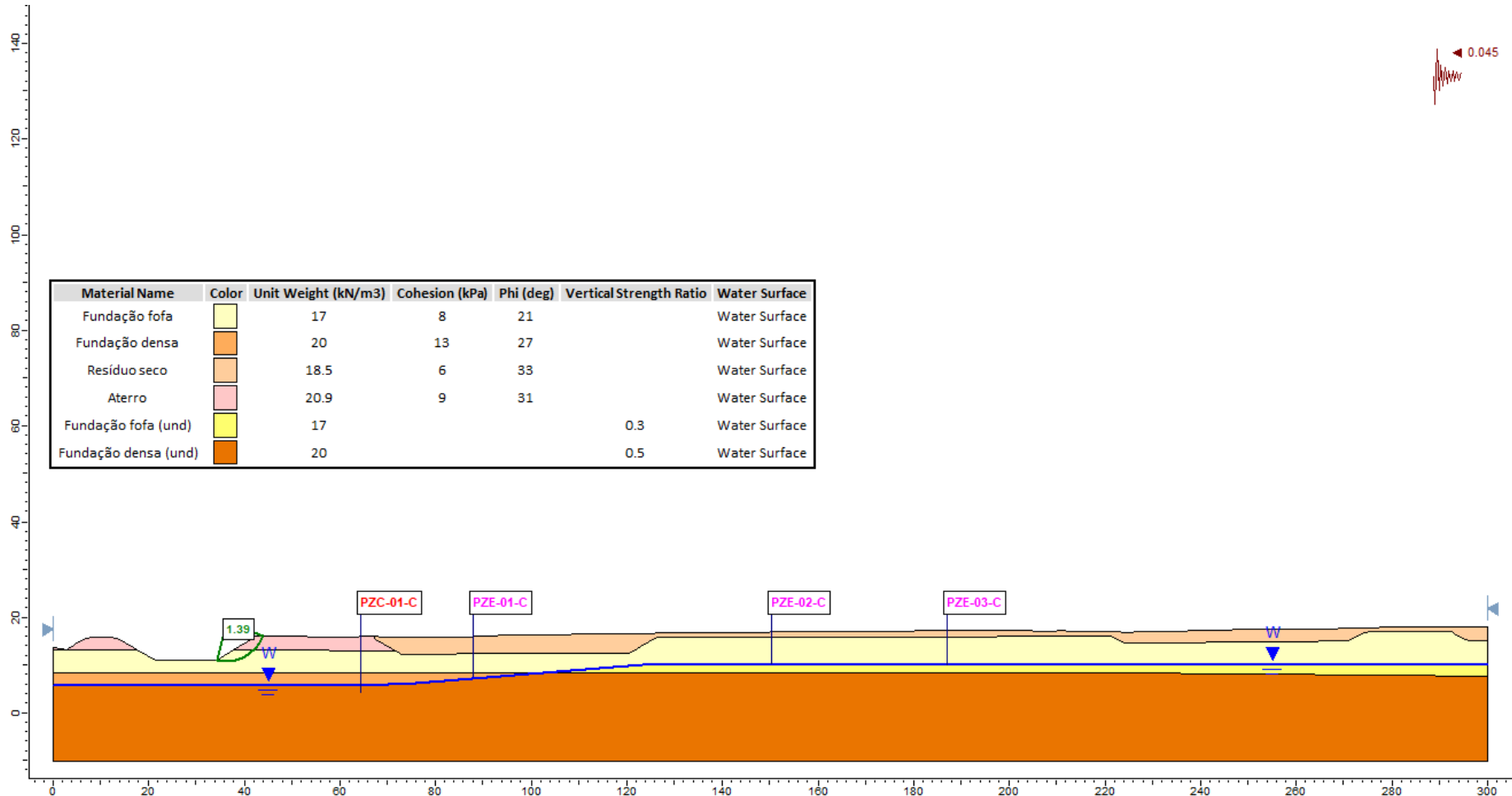
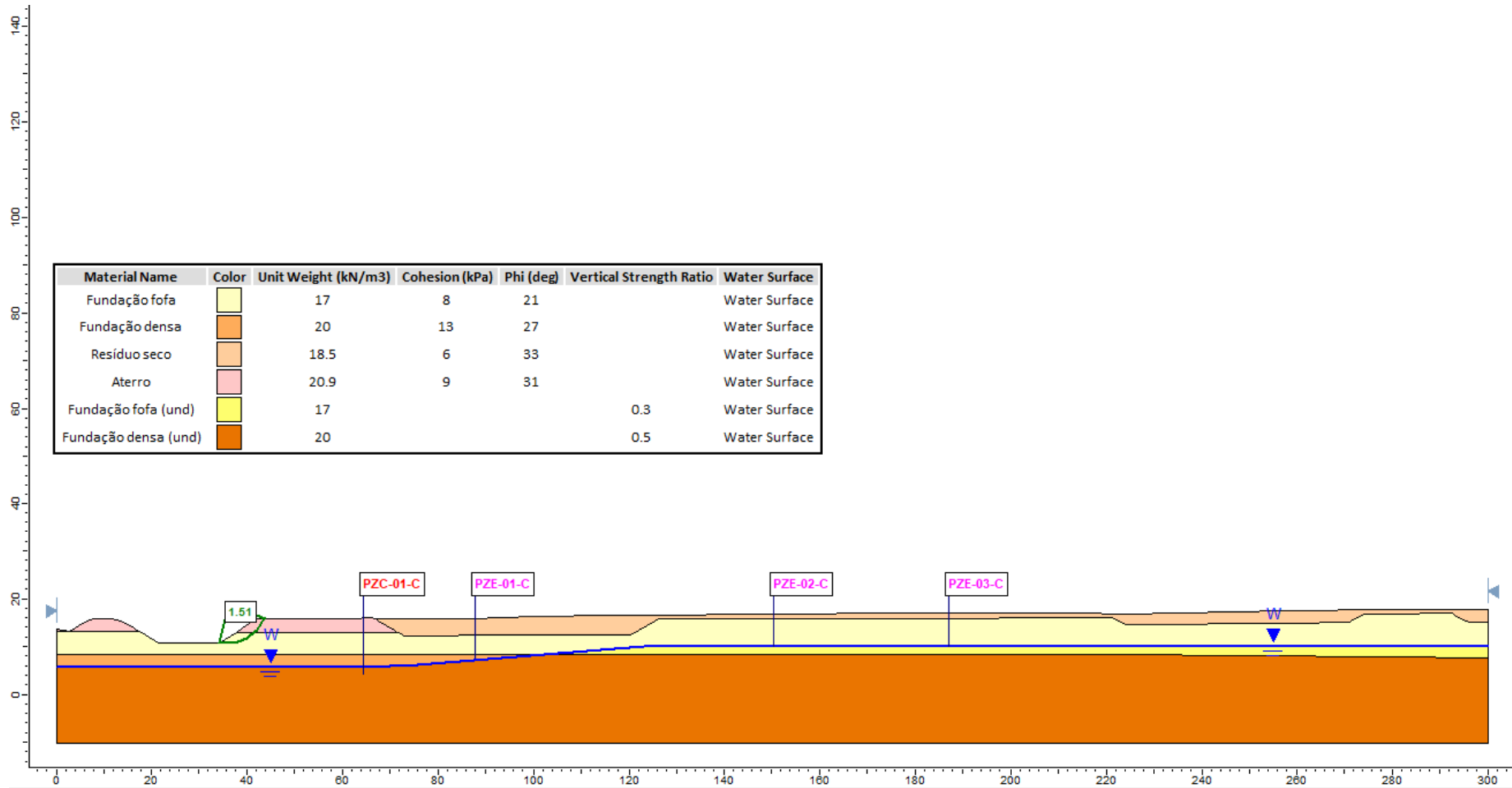
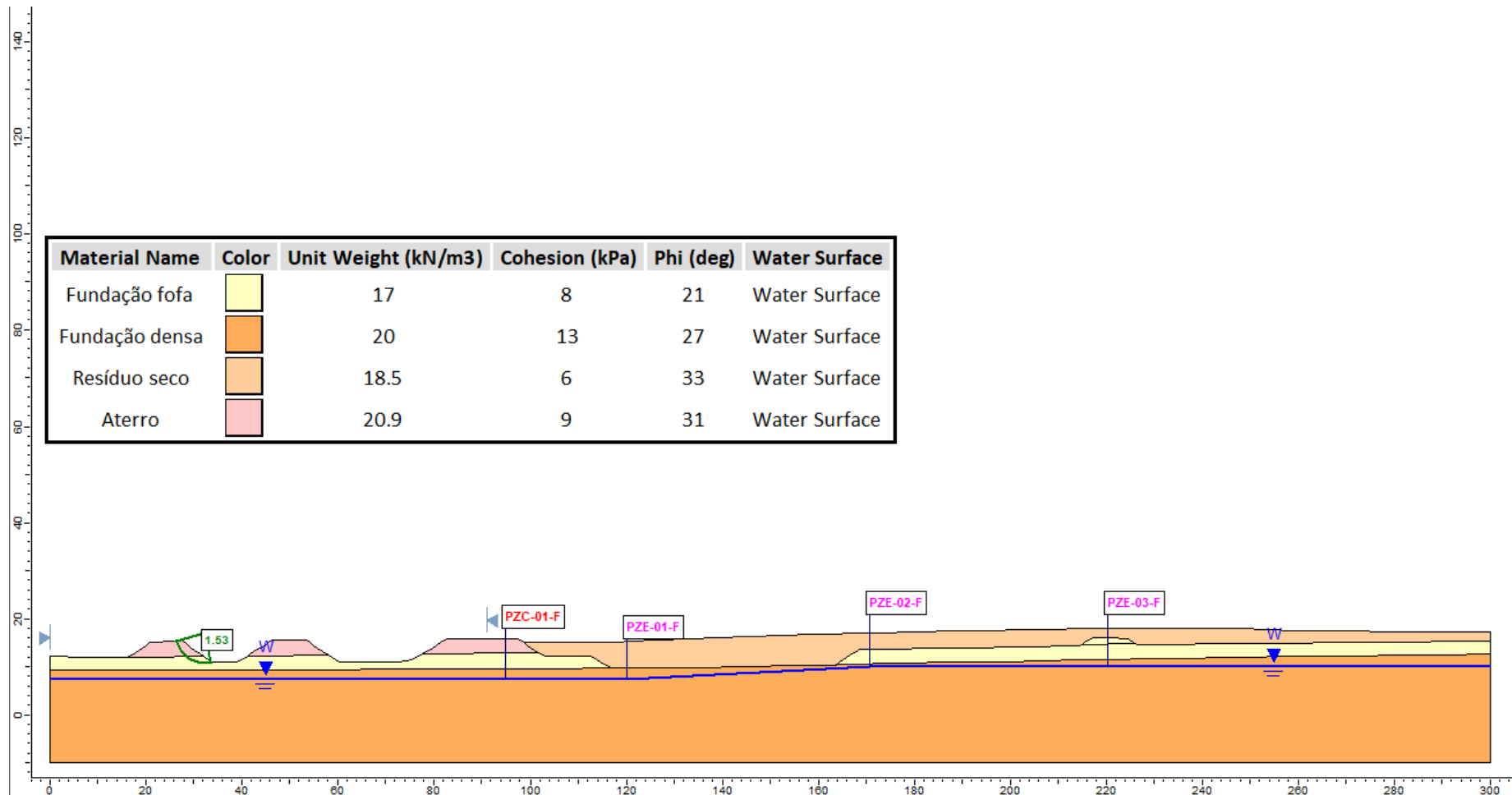
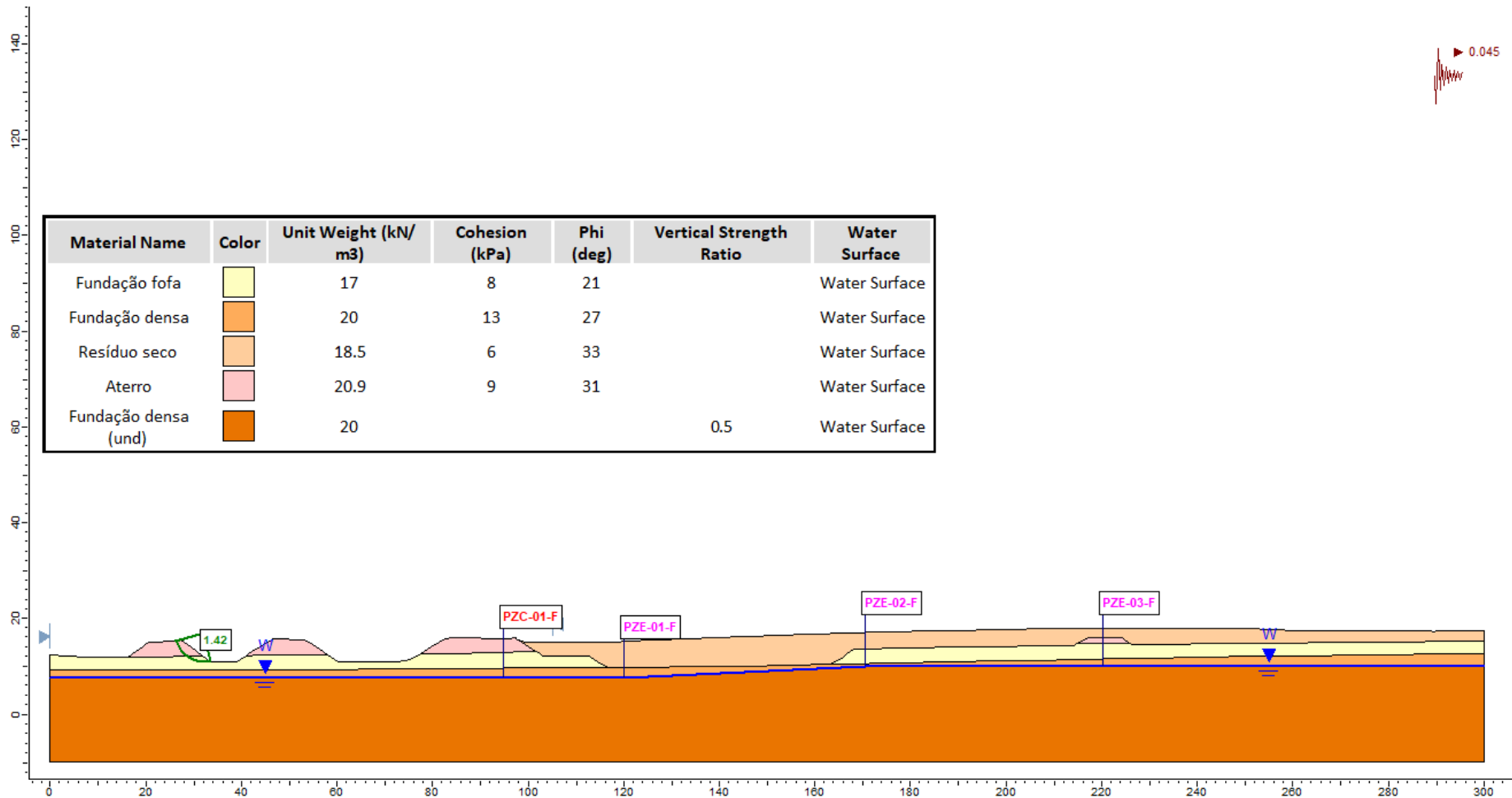


Figura 7.19 – Análise de estabilidade, condição pseudoestática – Seção C, sem NA nos canais

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

Figura 7.20 – Análise de estabilidade, condição não drenada – Seção C, sem NA nos canais

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

Figura 7.21 – Análise de estabilidade, condição estática – Seção F, sem NA nos canais

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

Figura 7.22 – Análise de estabilidade, condição pseudoestática – Seção F, sem NA nos canais

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

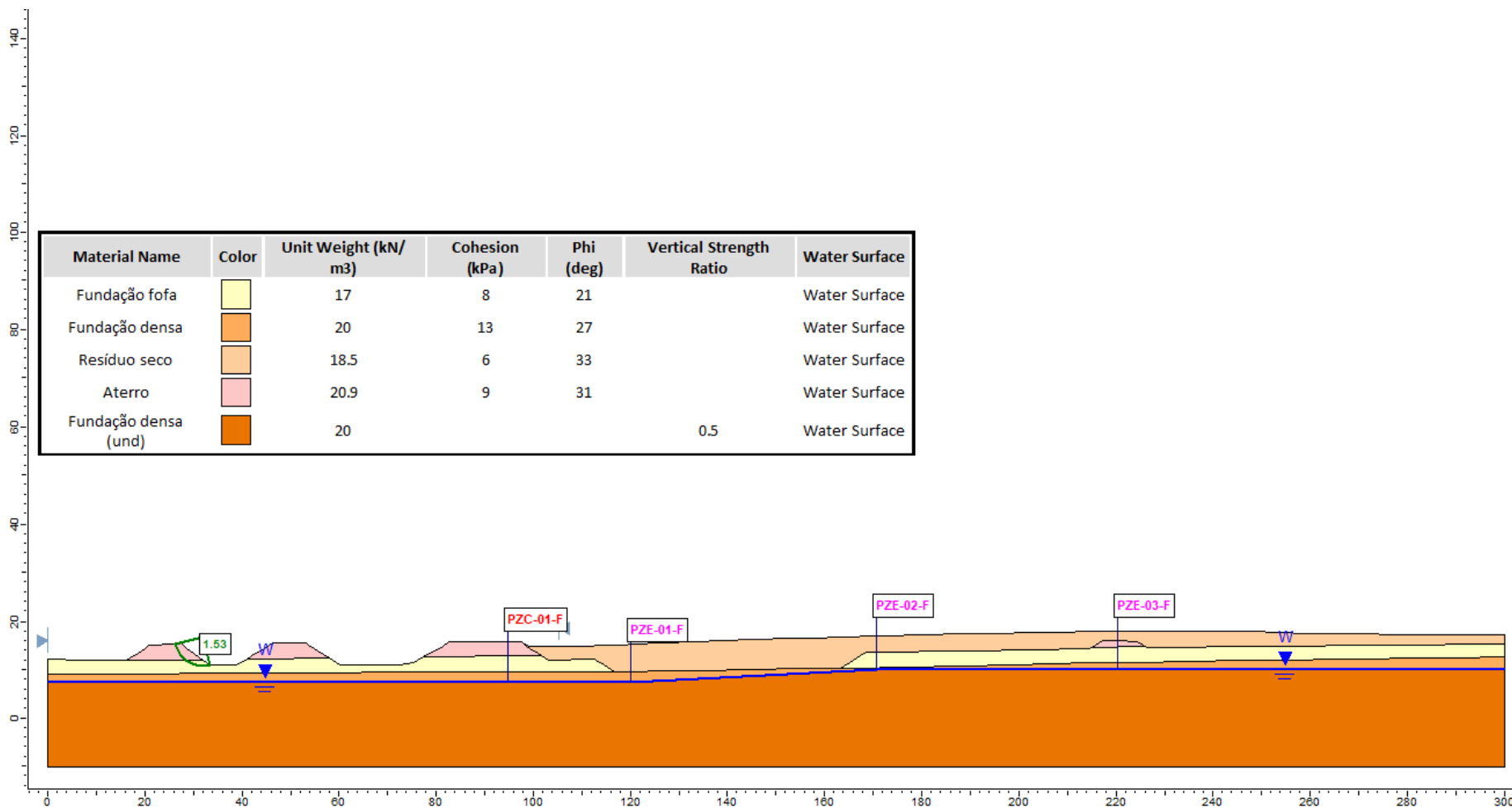


Figura 7.23 – Análise de estabilidade, condição não drenada – Seção F, sem NA nos canais

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

7.3.5 Comparação dos Fatores de Segurança Encontrados

Este item tem como objetivo a comparação entre os fatores de segurança obtidos nas análises de estabilidade realizadas a partir dos modelos matemáticos refeitos pela FONNTES e aqueles que foram encontrados a partir das análises de estabilidade mais recentes da estrutura.

O estudo mais recente realizado na estrutura e disponibilizado para a FONNTES foi o Relatório da Inspeção de Segurança Regular do DRS2, elaborado pela GEOCONSULTORIA em fevereiro de 2022, documento RT-469137-54-G-0002-rev03.

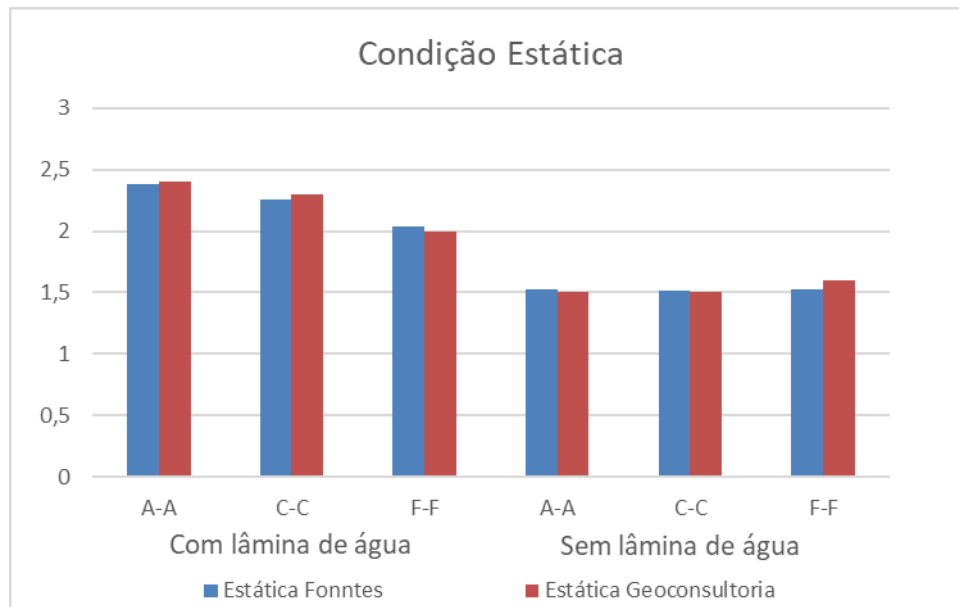
Um resumo da comparação entre os fatores de segurança obtidos pela FONNTES, Fonntes (2022), e os obtidos nas análises de estabilidade mais recentes da estrutura, GEOCONSULTORIA (2022), é apresentado na Tabela 7.9. Da Figura 7.24 a Figura 7.26 são apresentados os gráficos com a comparação para cada condição de análise.

Conforme resultados apresentados na Tabela 7.9 e, também, da Figura 7.24 a Figura 7.26, as diferenças observadas entre os fatores de segurança não foram significativas. Essas diferenças podem estar relacionadas com o fato de a GEOCONSULTORIA apresentar os fatores de segurança com 1 (uma) casa decimal, enquanto a FONNTES apresentou com 2 (duas) casas decimais.

Tabela 7.9 – Comparação entre os fatores de segurança obtidos pela FONNTES e os obtidos na última auditoria elaborada pela GEOCONSULTORIA.

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

CANAIS PERIFÉRICOS	SEÇÃO	FATOR DE SEGURANÇA OBTIDO					
		CONDIÇÃO ESTÁTICA		CONDIÇÃO PSEUDOESTÁTICA		CONDIÇÃO NÃO DRENADA DE PICO	
		Fonntes (2022)	GEOCONSULTORIA (2022)	Fonntes (2022)	GEOCONSULTORIA (2022)	Fonntes (2022)	GEOCONSULTORIA (2022)
Com lâmina de água	A-A	2,38	2,40	2,14	2,20	2,38	2,40
	C-C	2,26	2,30	2,03	2,10	2,26	2,30
	F-F	2,04	2,00	1,88	1,90	2,05	2,00
Sem lâmina de água	A-A	1,52	1,50	1,40	1,40	1,52	1,50
	C-C	1,51	1,50	1,39	1,40	1,51	1,50
	F-F	1,53	1,60	1,42	1,50	1,53	1,60


Figura 7.24 – Comparação dos fatores de segurança na condição estática.

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

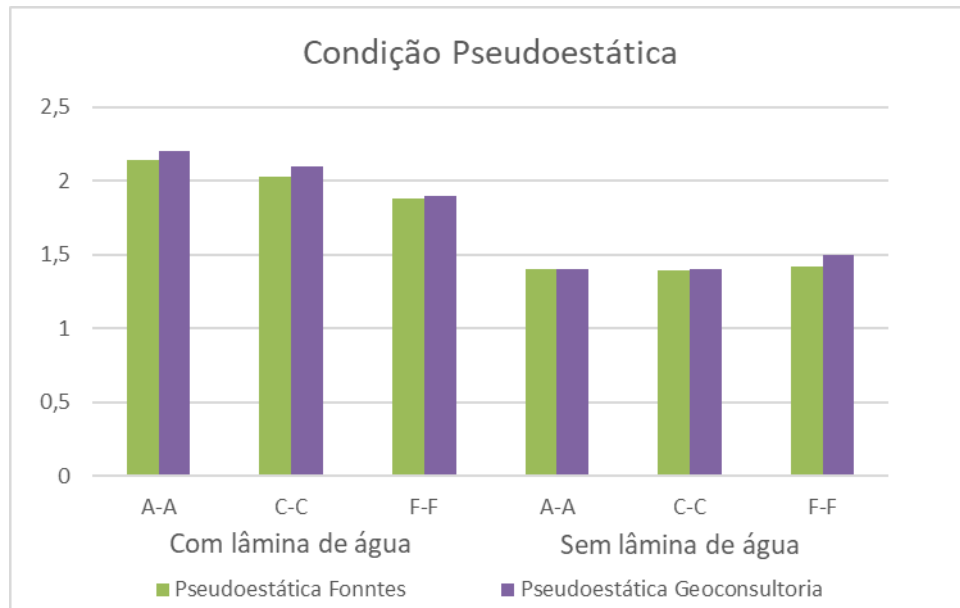


Figura 7.25 – Comparação dos fatores de segurança na condição pseudoestática

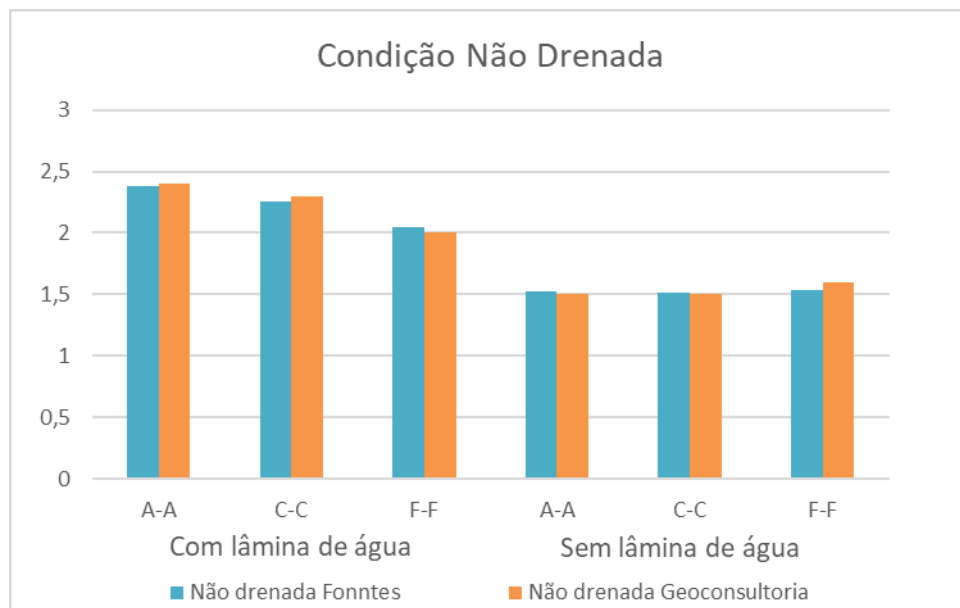


Figura 7.26 – Comparação dos fatores de segurança na condição não drenada

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

7.3.6 Comparação dos Fatores de Segurança Calculados com as Recomendações Normativas

Em relação a análise de estabilidade do DRS2, utilizando-se como referência os fatores de segurança mínimos descritos na Tabela 7.7, este item visa realizar a comparação dos fatores de segurança com as normas em vigor a partir de estudos de estabilidade já conduzidos por outros auditores, assim como a partir dos modelos matemáticos de cálculo dos fatores de segurança recalculados pela FONNTES.

A partir dos fatores de segurança obtidos, conforme resumo apresentado na Tabela 7.10 e gráficos da Figura 7.27 a Figura 7.29, é possível concluir que para todas as condições estudadas do DRS2, se atingiu níveis de segurança satisfatórios, indicando condições favoráveis de estabilidade do maciço.

Tabela 7.10 – Comparação entre os fatores de segurança obtidos para o DRS2 e os mínimos estipulados por norma

CANAIS PERIFÉRICOS	SEÇÃO	FATOR DE SEGURANÇA OBTIDO		
		CONDIÇÃO ESTÁTICA FS mín = 1,50 ¹	CONDIÇÃO PSEUDOESTÁTICA FS mín = 1,10 ¹	CONDIÇÃO NÃO DRENADA DE PICO FS mín = 1,30 ²
Com lâmina de água	A-A	2,38	2,14	2,38
	C-C	2,26	2,03	2,26
	F-F	2,04	1,88	2,05
Sem lâmina de água	A-A	1,52	1,4	1,52
	C-C	1,51	1,39	1,51
	F-F	1,53	1,42	1,53

Nota 1: De acordo com a ABNT NBR 13.028/2017;

Nota 2: De acordo com Resolução Nº 95, de 7 de fevereiro de 2022, conforme sugerido pelo auditor para avaliação.

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

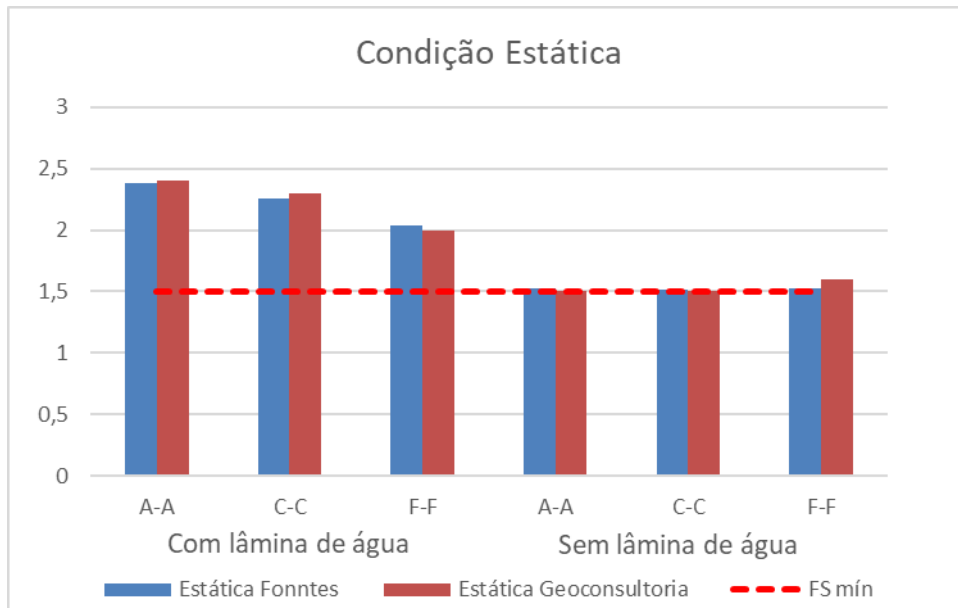


Figura 7.27 – Comparação dos fatores de segurança na condição estática e recomendações da ABNT NBR 13.028/2017.

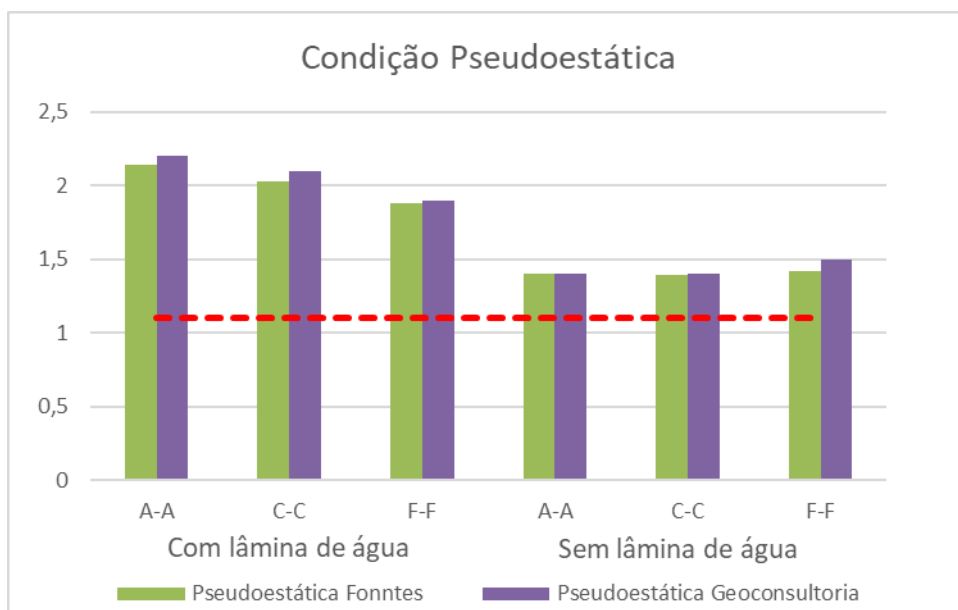


Figura 7.28 – Comparação dos fatores de segurança na condição pseudoestática e recomendações da ABNT NBR 13.028/2017

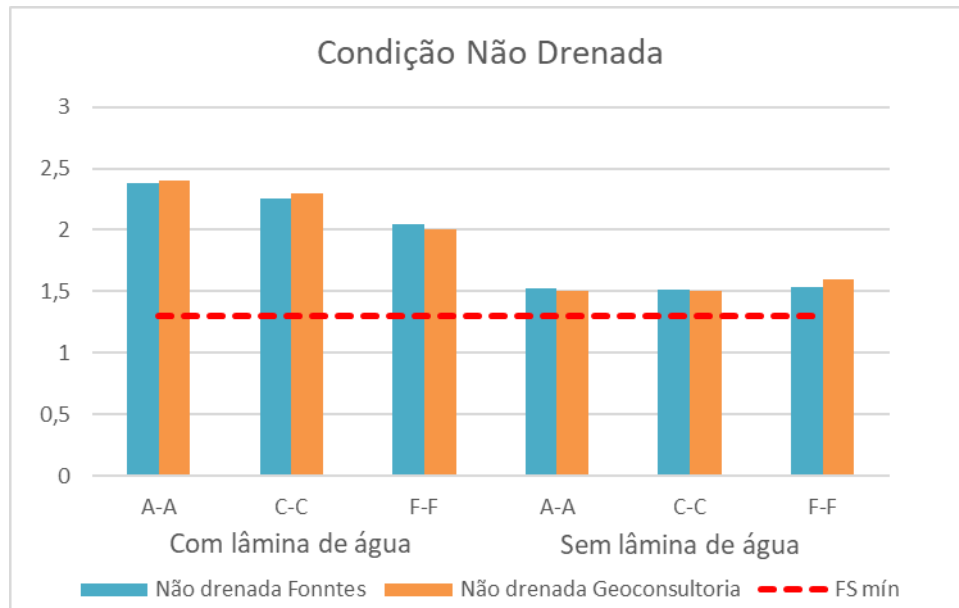
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2


Figura 7.29 – Comparação dos fatores de segurança na condição não drenada e Resolução N° 95, DE 7 de Fevereiro de 2022

8. CONCLUSÕES

Inicialmente, a FONNTES realizou a avaliação crítica dos parâmetros geotécnicos do DRS2 no documento FG-2201-NHB-A-BA-RT20. Neste relatório foi realizada a avaliação exclusivamente do banco de dados de ensaios de laboratório, que são as medidas diretas e mais confiáveis para a resistência dos materiais, coesão e ângulo de atrito efetivo. Através do banco de dados foi realizada uma verificação para as principais campanhas de ensaios e os resultados obtidos. Comparativamente, foi verificado para cada material quais são os parâmetros médios calculados pela FONNTES no documento FG-2201-NHB-A-BA-RT20 e aqueles adotados no Relatório de Memória de Cálculo das Análises Geotécnicas, elaborado pela PIMENTA DE ÁVILA em 26/02/2018, doc. DB-3541-54-G-319-rev01, e no Relatório da Inspeção de Segurança Regular do DRS2, elaborado pela GEOCONSULTORIA em fevereiro de 2022, documento RT-469137-54-G-0002_rev03. Após a verificação dos parâmetros de resistência dos materiais, foi dado prosseguimento para os serviços de modelagem das seções.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

Os modelos geológico-geotécnicos foram realizados a partir de 3 (três) seções representativas do DRS2 (seções A, C e F), tradicionalmente utilizadas para a verificação da condição de estabilidade do depósito. As seções modeladas no último relatório de auditoria elaborado pela GEOCONSULTORIA foram comparadas com a geometria atualizada, obtida através da base topográfica do Depósito DRS2 atualizada em janeiro/2022 (Doc. D1-8600-54-L-2303-R0). Não foi necessária a revisão topográfica de nenhuma das seções da autoria técnica, pois ainda estavam representativas em relação a situação de campo.

Em sequência os modelos geológico-geotécnicos das seções de avaliação foram recalculados com auxílio do software Slide 2. Os resultados foram comparados com àqueles obtidos no último relatório de auditoria (Doc. RT-469137-54-G-0002-rev03) e com a Norma ABNT NBR 13.028/2017 e na Resolução Nº 95, de 7 de fevereiro de 2022.

As análises de estabilidade foram realizadas com a hipótese de fluxo permanente com poropressões atribuídas por meio de uma superfície freática na fundação. Pelo fato do depósito estar em início de operação, os menores fatores de segurança estavam localizados nos diques de contorno. Por esse fato, foi simulada a hipótese dos canais laterais com água e secos. De forma conservadora, a linha freática foi atribuída à fundação levando em consideração os registros máximos históricos dos piezômetros e medidores de nível d'água instalados no maciço, além dos poços de monitoramento em proximidade das seções de leituras de pico anômalas atribuídas à recarga superficial.

Os cálculos realizados pela FONNTES e pela GEOCONSULTORIA resultaram em valores similares de fatores de segurança, com uma diferença ínfima. Essas diferenças podem estar relacionadas com o fato de a GEOCONSULTORIA apresentar os fatores de segurança com 1 (uma) casa decimal, enquanto a FONNTES apresentou com 2 (duas) casas decimais

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

A partir dos fatores de segurança obtidos foi possível concluir que para todas as seções os cenários de simulação estudadas do DRS2 (condição estática, condição pseudoestática e condição não drenada de pico), foram obtidos fatores de segurança satisfatórios, ou seja, superiores aos recomendados pela Norma ABNT NBR 13.028/2017 e Resolução Nº 95, de 7 de fevereiro de 2022, conforme sugestão do auditor para avaliação.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- i. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Resolução n° 95, de 7 de fevereiro de 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-95-de-7-de-fevereiro-de-2022-380760962>.
- ii. ALMARAZ, U. J. S. (1977). Aspectos Geoquímicos e Ambientais dos Calcários do Formação Pirabas, Pará. Tese de Doutorado, UFRS, 272 p.
- iii. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13.028: Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeito, contenção de sedimentos e preservação de água. Rio de Janeiro, 2017.
- iv. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13.029: Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de disposição de rejeito em pilha. Rio de Janeiro, 2017.
- v. BRASIL, Lei 12.305 – Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010.
- vi. BRASIL, Lei 12.651 – Código Florestal Brasileiro. Brasília, 2012.
- vii. 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.
- viii. GERSCOVICH, Denise MS. Estabilidade de Taludes (2ª edição). Oficina de textos, 2016.
- ix. 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.
- x. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. População. 2010. Disponível em <IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama>

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2

- xi. _____. Barcarena/PA. Educação. 2010b. Disponível em <IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama>
- xii. _____. Barcarena/PA. Economia. 2019. Disponível em <IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama>
- xiii. _____. Barcarena/PA. Trabalho e Rendimento. 2020. Disponível em <IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama>
- xiv. _____. Barcarena/PA. Território e ambiente. 2021. Disponível em <IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama>
- xv. KOERNER, ROBERT (1998). "Designing with Geosynthetics". Xlibris Corporation. 6ta Edição. Vol 2. New Jersey, USA. 914pp.
- xvi. NAREJO, D.; KOERNER, R.M.; WILSON FAHMY, R.F. **Puncture protection of geomembranes. Part II: experimental.** Geosynthetics International 3(5): 629-653 1996
- xvii. MABESOONE, J. M. e CASTRO, C. (1975). Desenvolvimento Geomorfológico do Nordeste Brasileiro. Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, Recife, v.3, p. 05- 35.
- xviii. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA Nº 237**, de 19 de dezembro de 1997.
- xix. NEWMARK, Nathan M.; HALL, William J. Earthquake spectra and design. Engineering Monographs on Earthquake Criteria, 1982.
- xx. 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.
- xxi. VERTEMATTI, J.C. (2015). "Manual Brasileiro de Geossintéticos". CTG ABINT. Editorial Blucher. 2da Edição Atualizada e Ampliada. São Paulo, Brasil. 568pp.
- xxii. SARMA, S. K.; SCORER, M. The effect of vertical accelerations on seismic slope stability. In: Proceedings of the international conference on performance-based

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO DRS2		

design in earthquake geotechnical engineering. Taylor and Francis Group, London. 2009. p. 889-896.



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