

BARRAGEM DE REJEITOS B1 e B4 ITABIRITO - MG



RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR

074-2021-003-0002

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 2/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

1	CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	3
2	IDENTIFICAÇÃO DO REPRESENTANTE LEGAL DO EMPREENDEDOR	5
3	IDENTIFICAÇÃO DO RESPONSÁVEL PELA AUDITORIA EXTERNA DA ESTRUTURA	6
4	CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E DA ESTRUTURA	6
4.1	BARRAGEM B1	8
4.2	BARRAGEM B4	16
5	DESCRIÇÃO DAS INSPEÇÕES QUINZENAIS	18
6	CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM QUANTO À CATEGORIA DE RISCO E DANO POTENCIAL ASSOCIADO	27
6.1	BARRAGEM B1	27
6.2	BARRAGEM B4	29
7	VISTORIA DE CAMPO	32
7.1	BARRAGEM B1	32
7.2	BARRAGEM B4	60
8	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS REJEITOS	70
8.1	NATUREZA DO REJEITO	70
8.2	GRANULOMETRIA	70
8.3	MINERALOGIA	71
8.4	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO REJEITO	71
8.5	PLASTICIDADE DOS REJEITOS	72
8.6	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA EM CONDIÇÕES DRENADAS	73
8.6.1	AMOSTRAS DEFORMADAS	73
8.6.2	AMOSTRAS INDEFORMADAS	74
8.7	SUSCEPTIBILIDADE DOS REJEITOS AO FENÔMENO DA LIQUEFAÇÃO	83
8.7.2	DISSIPACÃO DA POROPRESSÃO	89
8.7.3	SATURAÇÃO	90
8.8	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA EM CONDIÇÕES NÃO DRENADAS	91
9	CONTROLE DA INSTRUMENTAÇÃO	93
10	ANÁLISES DE ESTABILIDADE	94
11	RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES	145

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 3/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

A empresa **HERCULANO MINERAÇÃO LTDA**, proprietária da **Barragem B1** localizada em Itabirito – MG, no ponto de coordenadas médias 611.480 E e 7.760.400N (datum SIRGAS 2000, UTM, Zona 23K), e da **Barragem B4**, também localizada em Itabirito – MG, no ponto de coordenadas médias 612.100E, 7.759.360N (datum SIRGAS 2000, UTM, Zona 23K), contratou a empresa **Geomil – Serviços de Mineração Ltda.** para elaboração do Relatório de Inspeção de Segurança Regular (RISR), em atendimento à Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) estabelecido pela Portaria 70.389/2017, em particular em seus artigos 2º, 16º e 21º.

“Art. 2º Para efeito desta Portaria consideram-se:...

Relatório de Inspeção de Segurança Regular - RISR: documento integrante da Inspeção de Segurança Regular, que compiladas informações coletadas em campo e que balizará as análises técnicas sobre a estabilidade da estrutura”

Art. 16. A Inspeção de Segurança Regular de Barragem deve ser realizada pelo empreendedor, observadas as seguintes prescrições:

III. Elaborar, semestralmente, o Relatório de Inspeção de Segurança Regular da barragem (RISR) com a DCE, onde esta deverá ser enviada ao DNPM via sistema por meio do SIGBM, entre 1º e 31 de março e entre 1º e 30 de setembro.

Art. 21. O Relatório de Inspeção de Segurança Regular (RISR) da barragem deverá conter, no mínimo, os elementos indicados no Anexo II.

Como resultado das conclusões do presente relatório verificou-se a identificação de subsídios suficientes para emissão de Declaração de Condição de Estabilidade – DCE, **atestando pela segurança das estruturas.**

O presente relatório foi, conforme estabelecido no artigo 21º, estruturado com os seguintes elementos:

- Identificação do representante legal do empreendedor;
- Identificação da equipe externa contratada responsável técnica pela elaboração do Relatório de Inspeção de Segurança Regular de Barragem;
- Descrição das inspeções quinzenais executadas durante o semestre, contemplando as eventuais anomalias encontradas, as tratativas executadas assim como sua eventual reclassificação com relatório fotográfico contendo, pelo menos, as anomalias com pontuações 6 ou 10 no Quadro 3 - Matriz de Classificação Quanto à Categoria de Risco.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 4/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

- d) Análise da estabilidade da Barragem de Mineração a qual concluirá pela declaração de Condição de Estabilidade tendo por base os índices de fator de segurança descritos na Resolução ANM nº 13/2019 e na Norma Brasileira ABNT NBR 13.028 e ou normas que venham a sucedê-las, fazendo uso das boas práticas da engenharia; (alterado pela Resolução ANM nº 32/2020)
- e) Caracterização tecnológica dos rejeitos: Natureza do rejeito, características físicas de granulometria, mineralogia e plasticidade dos rejeitos, parâmetros de resistência em condições drenadas e não drenadas e susceptibilidade dos rejeitos ao fenômeno da liquefação, quando for o caso;
- f) Declaração de Condição de Estabilidade da Barragem, conforme Anexo III.
- g) Ciente do empreendedor ou de seu representante legal;
- h) Níveis de controle da instrumentação.

As condições de segurança apresentadas foram avaliadas considerando um amplo compendio de informações, destacando-se:

- Os resultados de visitas técnicas realizadas entre outubro de 2020 e março de 2021;
- Avaliação de funcionamento do sistema de instrumentação, particularmente suas variações decorrentes da sazonalidade, ressalta-se que o presente RISR é elaborado ao final do período chuvoso;
- Atualização das análises de estabilidade atuais, considerando os resultados atualizados da instrumentação e a realização de campanha de investigação complementar, ainda em andamento;
- Análise das inspeções quinzenais realizadas;
- Verificação comparativa com resultados de inspeções anteriores e o cumprimento de recomendações do RISR anterior, de setembro de 2020;
- Topografia atualizada em fevereiro de 2021. São realizadas atualizações topográficas mensais na barragem B1 e B4, com foco principalmente no acompanhamento da retomada.

A presente inspeção foi realizada pelo engenheiro Gustavo de Azevedo Pereira, CREA nº 90.526/D, responsável pela apresentação da DCE anexa, com Anotação de Responsabilidade Técnica apresentada em anexo.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 5/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

2 IDENTIFICAÇÃO DO REPRESENTANTE LEGAL DO EMPREENDEDOR

Razão Social: Herculano Mineração Ltda.

Endereço Comercial:

CNPJ: 08.102.787/0002-95

Endereço: Avenida Getúlio Vargas, 1.290 – Bairro Centro

CEP: 35680-037 – Itaúna - MG

Telefone: (37) 3242.1240

Site: www.grupoherculano.com.br

Endereço Empreendimento:

ITM: Tanque Seco, Itabirito – MG | Lat.: 20° 15' 07'66S | Long.: 43° 55' 36'59W

e

Mina: Retiro do Sapecado, Itabirito – MG | Lat.: 20°15'4.49"S | Long.: 43°52'51.81"W

CNPJ: 16.813.461/0004-66

Contato: Armando Lima

Telefone: (37) 99982.4350

E-mail: armando.controle@grupoherculano.com.br

Representante Legal: Marco Aurélio Fonseca Herculano Antunes

CPF: 106.539.926-02

RG: MG-11.831.391

Telefone: (31) 99871.5555

Carga: Diretor - Administrador

Responsável Técnico: Nivaldo José Machado

Cargo: Engenheiro de Minas

Registro: CREA nº 39.950/D

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 6/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

3 IDENTIFICAÇÃO DO RESPONSÁVEL PELA AUDITORIA EXTERNA DA ESTRUTURA

Conforme Anotação de Responsabilidade apresentada em anexo, o presente documento está sendo elaborado sob a coordenada do engenheiro de minas Gustavo de Azevedo Pereira, CREA n.º 90.526/D.

Este trabalho foi conduzido com o apoio da equipe multidisciplinar da empresa Geomil.

4 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E DA ESTRUTURA

A HERCULANO MINERAÇÃO LTDA. situa-se nos locais denominados "Retiro do Sapecado" e "Tanque Seco", Município de Itabirito, Estado de Minas Gerais. As jazidas encontram-se na região do Retiro do Sapecado e as instalações de tratamento do minério – ITM e demais estruturas de apoio à produção, na região denominada Tanque Seco, em média, a 7 Km das frentes de lavra.

O acesso a esta mineração pode ser feito, partindo-se de Belo Horizonte, pela rodovia BR 040 em direção ao Rio de Janeiro. Após um percurso de aproximadamente 40 km, uns 500 m após a passagem pelo trevo para a cidade de Moeda, toma-se a esquerda a via pavimentada, no sentido da HERCULANO. Seguindo as placas indicativas, atinge-se as instalações desta mineradora, após um percurso de apenas 5 km.

A atuação da HERCULANO nestas regiões do Retiro do Sapecado / Tanque Seco, Município de Itabirito – MG, nas proximidades da Mina do Pico, onde atuam várias minerações de ferro, iniciou-se por volta do ano de 1992. Nesta época contava-se com uma modesta instalação de tratamento mecânico, constituída basicamente de britagem e peneiramento, além de modesta estrutura de apoio.

Posteriormente, graças a uma melhora nas instalações de beneficiamento, adicionando-se principalmente classificadores mecânicos ao processo, passou-se a recuperar também o *sinter feed*, quando então o empreendimento se firmou como fornecedor de siderúrgicas maiores, com destaque para a GERDAU-AÇOMINAS.

Complementarmente à sua tradicional usina de britagem e classificação granulométrica, foi montada uma usina de concentração, para o aproveitamento dos finos.

Com a usina de concentração, passou-se a recuperar, além de um *sinter feed* de melhor qualidade, o *pellet feed*, os quais vinham sendo fornecidos, majoritariamente, a GERDAU-AÇOMINAS e VALE.

No dia 10 de setembro de 2014 ocorreu um acidente com a Barragem B1 da Herculano Mineração. O trecho de uma das laterais próximo da ombreira direita do barramento

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 7/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

rompeu, com o material descendo pela encosta, atingindo um curso d'água que passa logo abaixo, o Córrego João Dias, contribuinte do Ribeirão do Silva.

Em abril de 2017 as operações das minas "Retiro do Sapecado" e "Tanque Seco" retomaram as atividades.

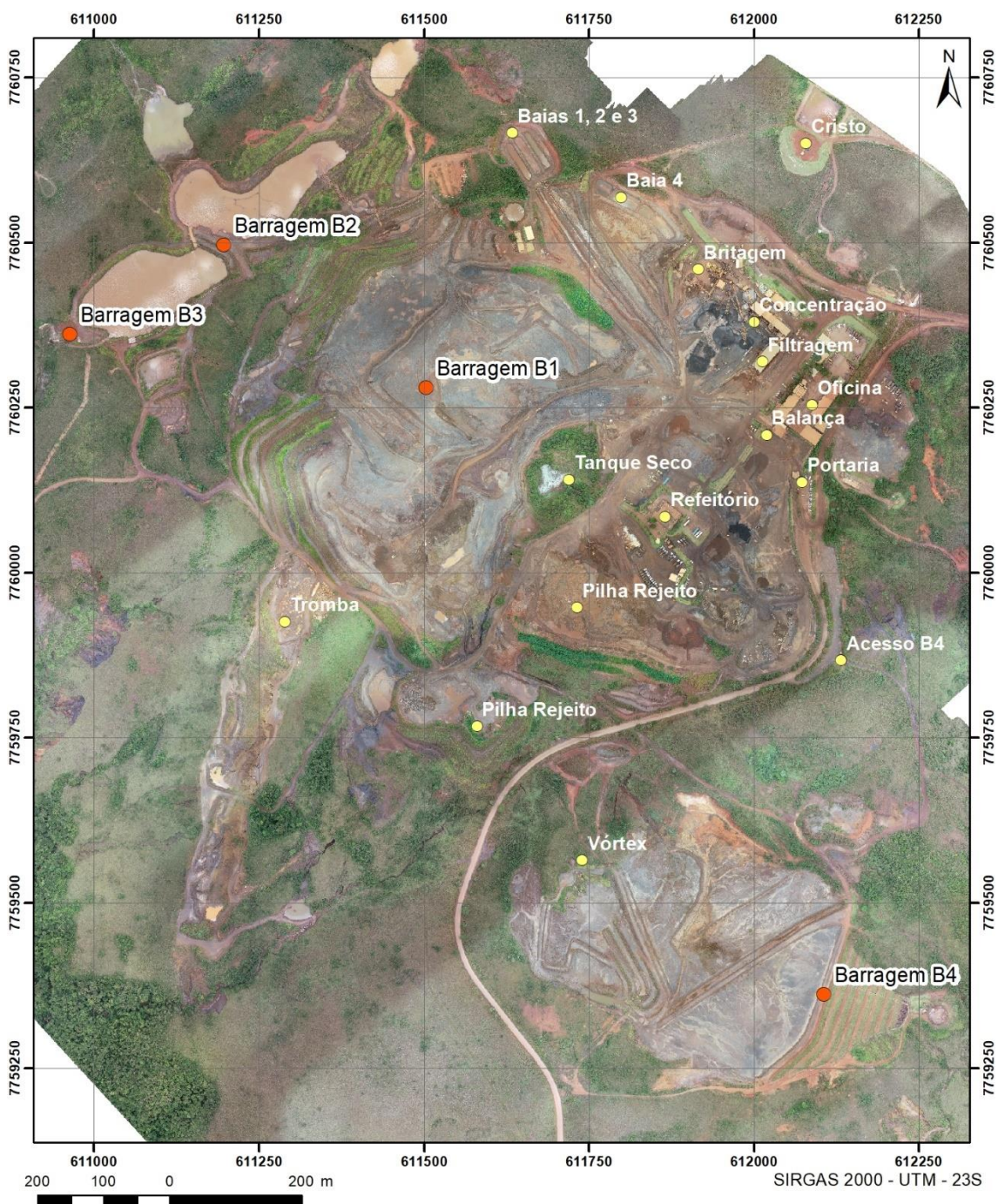


Figura 4.1 – Masterplan do Site

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 8/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

4.1 BARRAGEM B1

A barragem B1 foi construída utilizando método de alteamento para montante. Possui maciço de material semelhante aos finos contidos em sua bacia, por ter sido formada simplesmente pelo lançamento dos rejeitos do processo de tratamento do minério. Na mesma camada, a parte do barramento possui granulometria mais grosseira, devido à presença do material que primeiro sedimentou no processo de lançamento do rejeito. Esta característica é vantajosa por proporcionar boas condições de drenagem do material em superfície.

Em profundidade, os materiais contêm faixas mais grossas de granulometria, em decorrência da maior antiguidade na geração dos rejeitos, apresentando considerável percentual de finos na fração silte.

Tabela 4.1 – Dados da Barragem B1

Parâmetro	Valor	Crítérios
Tipo de Barragem		Barragem de Rejeito com Alteamento à Montante
Coordenada Média ¹		611.460 E 7.760.300 N
Cota Máxima ²	1292,5 m	Crista da barragem, na região do dique da barragem B1
Cota Mínima ³	1225,5 m	Pé do banco El.1230m
Altura	67,0 m	
Volume de Escavação realizado	2,34 Mm ³	Volume por diferença de topografia no software CloudCompare. Topografias de Agosto/2014 e Fevereiro/2021.
Volume do Reservatório	1,76 Mm ³	Volume por diferença de topografia no software Minesight 7.0 ® e Previsão da topografia natural em seção Volume total da barragem igual a volume do reservatório, por ser alteada para montante. Volume Total = 4.093.442 m ³ Volume Remanescente = 4.093.422 – 2.333.754 m ³
Comprimento da Crista	600 m	Banco El.1263m (berma principal atual)
Vazão de Projeto	CMP ou Decaminelar	Barragem não precisa de vertedouro para seu funcionamento.

¹ Coordenada Média no Datum SIRGAS 2000, UTM, Zona 23S. Equivalente ao Datum WGS84.

² Considerou-se +50 cm, uma vez que as curvas de nível foram fornecidas com resolução de 1 m.

³ Da mesma forma, considerou-se -50 cm

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 9/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



Vista geral da Barragem B1, observando, nas porções superiores da barragem que as atividades de retomada para descaracterização já se encontram em estágio avançado de desenvolvimento.



Região acidentada em 2014, objeto de reforço com enrocamento em itabirito e geometrização dos taludes.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 10/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



Barragem B1. Pé da estrutura, porção central.



Maciço da Barragem 1 assentado sobre sua ombreira esquerda.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 11/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



Maciço da barragem B1, ombreira esquerda. Ao fundo, área da tromba. Nestas áreas os trabalhos de retomada ainda não avançaram, mantendo configuração muito similar a configuração final da estrutura.



Vista de detalhe do pé da estrutura, em sua porção central. Os blocos de enrocamento posicionados em seu pé foram parte de obras de reforço realizados em 2012, incluindo ainda a perfuração de drenos horizontais e de poços tubulares. Parte destas estruturas permanece com fluxo de água perene.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 12/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



Porção em processo de retomada da estrutura, com destaque para o Tanque Seco, ao fundo. As bancadas são conduzidas com pequena altura e praças amplas, garantindo menores mobilizações cisalhantes.



Outra vista da retomada da barragem para sua descaracterização. Ressalta-se, como fica claro na imagem, que a estrutura não recebe mais rejeito, e apresenta a exposição de rejeitos não saturados, tipicamente com baixa umidade. As zonas de mais alta umidade são submetidas a processos de secagem antes de serem escavadas.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 13/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



Estruturas posicionadas na ombreira esquerda da barragem, quais sejam, baias, tanque de recirculação e galpões de apoio (testemunhos e resíduos sólidos). Estas estruturas não se encontram posicionadas sobre rejeitos.



Porção em retomada da barragem atingindo o contato com a superfície topográfica anterior. Nesta região, caracterizada pela ampla presença de argilas, espessas e de baixa permeabilidade, tipicamente apresentam surgências. Quando esta condição ocorre é providenciada a execução de drenagem, atendendo às condições de controle de drenagem interna impostas para descaracterização da estrutura.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 14/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



Vista da retomada nas proximidades da ombreira esquerda da barragem. Nesta região os trabalhos estão sendo executados com menor ritmo, justamente para maior enfoque nas regiões com taludes mais elevados, mais próximos da área acidentada e, portanto, com maior risco potencial.



Detalhe de região bastante adensada nos últimos anos em termos de monitoramento. Foram construídos novos medidores de nível d'água e piezômetros, instalados 3 sismógrafos (setas azuis), realizada a medição de miniprimas e, destacamente, adotada uma rotina de monitoramento visual diário e acompanhamento de todas as vazões dos instrumentos de drenagem.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 15/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

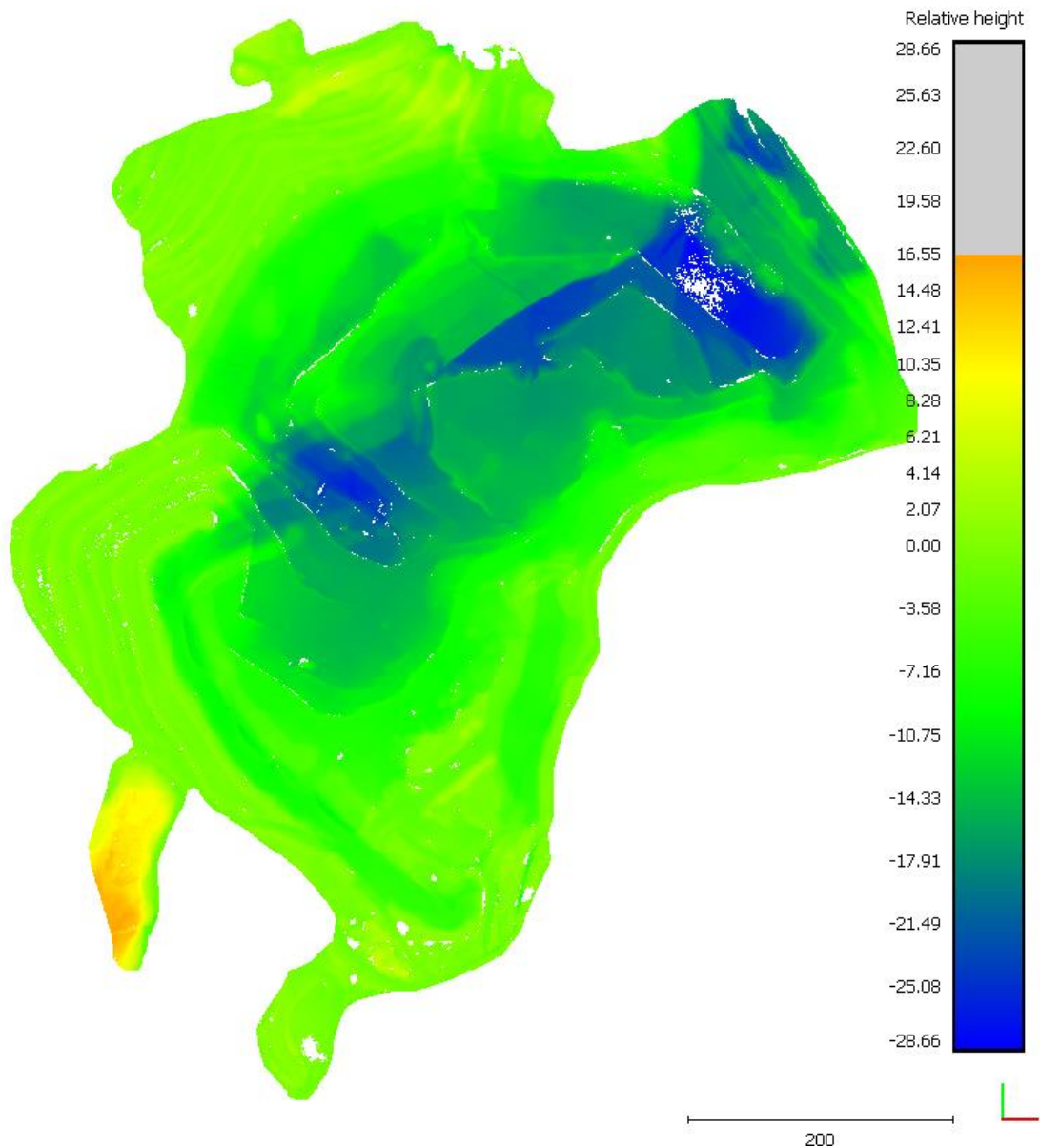


Figura 4.2 – Volumes de escavação, barragem B1

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 16/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

4.2 BARRAGEM B4

A barragem B4 trata-se de uma estrutura construída para armazenamento de rejeitos, alteada para jusante, já descomissionada há alguns anos. Como resultado deste processo de descomissionamento o perfil de rejeito foi se secando mantendo-se desaturado desde então, não sendo modificado nem mesmo com a ocorrência de precipitações intensas.

A barragem B4 também é classificada em âmbito estadual como de Classe III e Classe E segundo a Política Nacional de Segurança de Barragens.

Tabela 4.2 – Características Atuais da Barragem B4

	Parâmetro	Valor	Critérios
B4	Tipo de Barragem	Barragem de Terra e Enrocamento, com alteamento para jusante	
	Coordenada Média	612.100E 7.759.350N	
	Cota Máxima	1241,5 m	Crista da Barragem
	Cota Mínima	1198,5 m	Pé do Enrocamento. Houve preenchimento com blocos em voçoroca, o que pode influenciar a posição efetiva do pé da estrutura.
	Altura	43,0 m	
	Volume do Reservatório	1,34 Mm ³	Volume por diferença de topografia no software Minesight 7.0 ® Volume Total = 1.669.477 m ³ Volume do Maciço = 327.768 m ³ Volume do Reservatório = 1.341.709 m ³
	Comprimento da Crista	326,5 m	Banco El.1240m
	Vazão de Projeto	CMP ou Decaminelar	RPSB

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 17/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



Figura 4.3 – Fotos da Barragem B4

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 18/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

5 DESCRIÇÃO DAS INSPEÇÕES QUINZENAIS

As inspeções de rotina foram realizadas quinzenalmente de outubro de 2020 até março de 2021 de forma a garantir o estado de conservação atual da barragem e acessórios. Tais inspeções são registradas em fichas próprias, anexadas ao Plano de Segurança da Estrutura, bem como preenchidas no sistema SIGBM pelo preenchimento do Extrato de Segurança Regular – ESR.

A seguir apresenta-se a consolidação das informações das fichas quinzenais, destacando-se que **não foram identificadas anomalias com pontuações 6 ou 10** no Quadro 3 - Matriz de Classificação Quanto à Categoria de Risco no período em tela.

Em resumo, o conteúdo das fichas expressa que:

- As inspeções apresentam continuidade e periodicidade suficientes para o acompanhamento adequado das estruturas;
- As estruturas civis estão bem mantidas e em operação normal;
- As variações são mínimas no comportamento da estrutura, ressaltando-se a inexistência de flutuações no aparecimento de anomalias
- Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura. Em nenhuma vistoria foram identificadas feições associadas à deformação, especialmente reforçando a não identificação de trincas ou abatimentos;
- Tipicamente verifica-se que com a ocorrência de precipitações pode ocorrer o desenvolvimento de processos erosivos localizados, de pequeno porte, os quais são imediatamente objeto de correção;
- Com a ocorrência do período chuvoso verificou-se a presença de vegetação excessiva em alguns taludes. Esta anomalia é tratada como medida de manutenção, com a poda sendo realizada de acordo com a demanda, tipicamente no final do período chuvoso e início da estiagem;
- Uma vez que a estrutura foi construída sem as devidas preparações de drenagem interna, este sistema vem sendo construído à medida que a estrutura vem sendo retomada. Neste sentido, até que as metas de construção de sistemas de drenagem interna sejam concluídas considerou-se necessário pontuar a barragem com a presença de umidade ou surgências nas áreas de jusante. Estas surgências, destaca-se, vem sendo monitoradas e vem apresentando baixa variação.

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO PÁGINA 19/148
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002 REV. 1

Tabela 5.1 - Resumo das Pontuações das Vistorias Realizadas – Barragem B1

Vistoria	Data	Estrutura	Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Percolação	Deformações e Recalques	Deterioração dos Taludes	Observações
016/2021	26/08/2020	B1	0	3	0	0	Barragem Inativa, não há armazenamento de água sobre a mesma. Feito vistoria no maciço, drenos, toda área da retomada e nenhuma anomalia foi identificada. Neste período desde a última inspeção choveu 17mm. A retomada está sendo feita na porção da ombreira direita, com objetivo de ajustes na drenagem para período chuvoso. Foi iniciado teste de vida dos piezômetros. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
017/2021	15/09/2020	B1	0	3	0	0	Barragem Inativa, não há armazenamento de água sobre a mesma. Feito vistoria no maciço, drenos, toda área da retomada e nenhuma anomalia foi identificada. Neste período desde a ultima inspeção não choveu. A retomada está sendo feita na porção da ombreira direita, com objetivo de ajustes na drenagem para período chuvoso. Está sendo feito o teste de vida dos piezômetros. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
018/2021	30/09/2020	B1	0	3	0	0	Barragem Inativa, não há armazenamento de água sobre a mesma. Feito vistoria no maciço, drenos, toda área da retomada e nenhuma anomalia foi identificada. Neste período desde a ultima inspeção choveu 21,3mm. A retomada está sendo feita na porção da ombreira esquerda, com objetivo de ajustes na drenagem para período chuvoso. Foi feito selagem no poço 13, conforme recomendação, foi feito também ajuste nos canais de drenagem e extravasores no dique da barragem. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
019/2021	15/10/2020	B1	0	3	0	0	Barragem Inativa, não há armazenamento de água sobre a mesma. Feito vistoria no maciço, drenos, toda área da retomada e nenhuma anomalia foi identificada. Neste período desde a ultima inspeção choveu 24,1mm. A retomada está sendo feita na porção da ombreira direita, com objetivo de ajustes na drenagem para período chuvoso. Foi feito o fechamento do dreno na ombreira direita, terreno natural. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 20/148
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

Vistoria	Data	Estrutura	Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Percolação	Deformações e Recalques	Deterioração dos Taludes	Observações
020/2021	30/10/2020	B1	0	3	0	0	Barragem Inativa, não há armazenamento de água sobre a mesma. Feito vistoria no maciço, drenos, toda área da retomada e nenhuma anomalia foi identificada. Neste período desde a última inspeção choveu 50mm. A retomada está sendo feita nas porções superiores devido período chuvoso. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
021/2021	15/11/2020	B1	0	3	0	0	Barragem Inativa, não há armazenamento de água sobre a mesma. Feito vistoria no maciço, drenos, toda área da retomada e nenhuma anomalia foi identificada. Neste período desde a ultima inspeção choveu 136mm. A retomada está sendo feita nas porções superiores devido período chuvoso. Foi feito a revegetação das áreas em terreno natural que já foram expostas. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
022/2021	27/11/2020	B1	0	3	0	0	Barragem Inativa, não há armazenamento de água sobre a mesma. Feito vistoria no maciço, drenos, toda área da retomada e nenhuma anomalia foi identificada. Neste período desde a ultima inspeção choveu 77mm. A retomada está sendo feita nas porções superiores devido período chuvoso. Foi aberto um novo sump na ombreira esquerda para amortecimento das drenagens. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
023/2021	15/12/2020	B1	0	3	0	0	Barragem Inativa, não há armazenamento de água sobre a mesma. Feito vistoria no maciço, drenos, toda área da retomada e nenhuma anomalia foi identificada. Neste período desde a ultima inspeção choveu 136mm. A retomada está sendo feita nas porções superiores devido período chuvoso. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
024/2021	30/12/2020	B1	0	3	0	0	Barragem Inativa, não há armazenamento de água sobre a mesma. Feito vistoria no maciço, drenos, toda área da retomada e nenhuma anomalia foi identificada. Neste período desde a ultima inspeção choveu 129,36mm. Devido a grandes volumes de chuvas, foi observado erosões superficiais nas áreas da retomada. Está sendo feito limpeza nos sumps abaixo da b1 para contenção de sedimentos. A retomada está sendo feita nas porções

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO PÁGINA 21/148
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002 REV. 1

Vistoria	Data	Estrutura	Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Percolação	Deformações e Recalques	Deterioração dos Taludes	Observações
							superiores devido período chuvoso. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
001/2021	15/01/2021	B1	0	0	0	0	Barragem Inativa, não há armazenamento de água sobre a mesma. Feito vistoria no maciço, drenos, toda área da retomada e nenhuma anomalia foi identificada. Neste período desde a ultima inspeção choveu 192.72mm. Devido a grandes volumes de chuvas, ainda existe algumas erosões superficiais nas áreas da retomada, mas a maior parte foi restaurada e foi feito um enrocamento de blocos nas principais drenagem ao meio da barragem. A retomada está sendo feita nas porções superiores devido período chuvoso. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
002/2021	28/01/2021	B1	0	3	0	0	Barragem Inativa, não há armazenamento de água sobre a mesma. Feito vistoria no maciço, drenos, toda área da retomada e nenhuma anomalia foi identificada. Neste período desde a última inspeção não choveu. Próximo ao DHP 02 apareceu uma surgência com vazão extremamente baixa, foi feito o filtro invertido, areia/brita/areia e está sendo monitorado. A retomada está sendo feita nas porções superiores devido período chuvoso. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
003/2021	15/02/2021	B1	0	3	0	0	Barragem Inativa, não há armazenamento de água sobre a mesma. Feito vistoria no maciço, drenos, toda área da retomada e nenhuma anomalia foi identificada. Neste período desde a ultima inspeção choveu 184.5mm, com esse grande volume de chuvas tivemos pequenas erosões nas partes superiores, área operacional da retomada. Na Surgência próximo ao DHP 02 mantém uma vazão baixa de 0.3m³/h, está sendo monitorado. A retomada está sendo feita nas porções superiores devido período chuvoso. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 22/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

Vistoria	Data	Estrutura	Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Percolação	Deformações e Recalques	Deterioração dos Taludes	Observações
004/2021	26/02/2021	B1	0	3	0	0	Barragem Inativa, não há armazenamento de água sobre a mesma. Feito vistoria no maciço, drenos, toda área da retomada e nenhuma anomalia foi identificada. Neste período desde a ultima inspeção choveu 105mm, as erosões superficiais caudadas pelas chuvas estão sendo corrigidas. Na Surgência próximo ao DHP 02 mantém uma vazão baixa de 0.3m³/h, está sendo monitorado. A retomada está sendo feita nas porções superiores devido período chuvoso. Está sendo feita a limpeza dos sumps na barragem b1. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
005/2021	15/03/2021	B1	0	3	0	0	Barragem Inativa, não há armazenamento de água sobre a mesma. Feito vistoria no maciço, drenos, toda área da retomada e nenhuma anomalia foi identificada. Neste período desde a ultima inspeção choveu 58mm, as erosões superficiais caudadas pelas chuvas estão continuam sendo corrigidas. Na Surgência próximo ao DHP 02 mantém uma vazão baixa de 0.09m³/h, está sendo monitorado. A retomada está sendo feita nas porções superiores devido período chuvoso. Barragem necessita poda da vegetação. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO PÁGINA 23/148
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002 REV. 1

Tabela 5.2 - Resumo das Pontuações das Vistorias Realizadas – Barragem B4

Vistoria	Data	Estrutura	Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Percolação	Deformações e Recalques	Deterioração dos Taludes	Observações
016/2021	26/08/2020	B4	0	0	0	0	Barragem sem operação. A pontuação acima refere-se ao maciço da barragem, para a região onde ocorreram os abatimentos, em terreno natural (fundo da bacia do reservatório) é feito outra ficha denominada Vortex da B4. Neste período desde a ultima inspeção choveu 17mm. Foi vistoriado todo o maciço e encontra-se em otimas condições e sem nenhuma alteração/anomalia. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
017/2021	15/09/2020	B4	0	0	0	0	Barragem sem operação. A pontuação acima refere-se ao maciço da barragem, para a região onde ocorreram os abatimentos, em terreno natural (fundo da bacia do reservatório) é feito outra ficha denominada Vortex da B4. Neste período desde a ultima inspeção não choveu. Foi vistoriado todo o maciço e encontra-se em otimas condições e sem nenhuma alteração/anomalia. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
018/2021	30/09/2020	B4	0	0	0	0	Barragem sem operação. A pontuação acima refere-se ao maciço da barragem, para a região onde ocorreram os abatimentos, em terreno natural (fundo da bacia do reservatório) é feito outra ficha denominada Vortex da B4. Neste período desde a ultima inspeção não choveu. Foi vistoriado todo o maciço e encontra-se em otimas condições e sem nenhuma alteração/anomalia. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
019/2021	15/10/2020	B4	0	0	0	0	Barragem sem operação. A pontuação acima refere-se ao maciço da barragem, para a região onde ocorreram os abatimentos, em terreno natural (fundo da bacia do reservatório) é feito outra ficha denominada Vortex da B4. Neste período desde a ultima inspeção choveu 24.1mm. Foi vistoriado todo o maciço e encontra-se em otimas condições e sem nenhuma alteração/anomalia. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
020/2021	30/10/2020	B4	0	0	0	0	Barragem sem operação. A pontuação acima refere-se ao maciço da barragem, para a região onde ocorreram os abatimentos, em terreno natural

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO PÁGINA 24/148
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002 REV. 1

Vistoria	Data	Estrutura	Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Percolação	Deformações e Recalques	Deterioração dos Taludes	Observações
							(fundo da bacia do reservatorio) é feito outra ficha denominada Vortex da B4. Neste período desde a ultima inspeção choveu 50mm. Foi vistoriado todo o maciço e encontra-se em ótimas condições e sem nenhuma alteração/anomalia. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
021/2021	15/11/2020	B4	0	0	0	0	Barragem sem operação. A pontuação acima refere-se ao maciço da barragem, para a região onde ocorreram os abatimentos, em terreno natural (fundo da bacia do reservatorio) é feito outra ficha denominada Vortex da B4. Neste período desde a ultima inspeção choveu 136mm. Foi vistoriado todo o maciço e encontra-se em otimas condições e sem nenhuma alteração/anomalia. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
022/2021	27/11/2020	B4	0	0	0	0	Barragem sem operação. A pontuação acima refere-se ao maciço da barragem, para a região onde ocorreram os abatimentos, em terreno natural (fundo da bacia do reservatorio) é feito outra ficha denominada Vortex da B4. Neste período desde a ultima inspeção choveu 77mm. Foi vistoriado todo o maciço e encontra-se em otimas condições e sem nenhuma alteração/anomalia. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
023/2021	15/12/2020	B4	0	0	0	0	Barragem sem operação. A pontuação acima refere-se ao maciço da barragem, para a região onde ocorreram os abatimentos, em terreno natural (fundo da bacia do reservatorio) é feito outra ficha denominada Vortex da B4. Neste período desde a ultima inspeção choveu 136mm. Foi vistoriado todo o maciço e encontra-se em otimas condições e sem nenhuma alteração/anomalia. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
024/2021	30/12/2020	B4	0	0	0	0	Barragem sem operação. A pontuação acima refere-se ao maciço da barragem, para a região onde ocorreram os abatimentos, em terreno natural (fundo da bacia do reservatorio) é feito outra ficha denominada Vortex da B4. Neste período desde a ultima inspeção choveu 129,36mm. Foi vistoriado todo o maciço e encontra-se em otimas condições e sem nenhuma alteração/anomalia. Necessário inicar poda da vegetação. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 25/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

Vistoria	Data	Estrutura	Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Percolação	Deformações e Recalques	Deterioração dos Taludes	Observações
001/2021	15/01/2021	B4	0	0	0	0	Barragem sem operação. A pontuação acima refere-se ao maciço da barragem, para a região onde ocorreram os abatimentos, em terreno natural (fundo da bacia do reservatório) é feito outra ficha denominada Vortex da B4. Neste período desde a ultima inspeção choveu 192.72mm. Foi vistoriado todo o maciço e encontra-se em otimas condições e sem nenhuma alteração/anomalia. Necessário iniciar poda da vegetação. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
002/2021	28/01/2021	B4	0	0	0	0	Barragem sem operação. A pontuação acima refere-se ao maciço da barragem, para a região onde ocorreram os abatimentos, em terreno natural (fundo da bacia do reservatório) é feito outra ficha denominada Vortex da B4. Neste período desde a ultima inspeção não choveu. Foi vistoriado todo o maciço e encontra-se em otimas condições e sem nenhuma alteração/anomalia. Necessário iniciar poda da vegetação. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
003/2021	15/02/2021	B4	0	0	0	0	Barragem sem operação. A pontuação acima refere-se ao maciço da barragem, para a região onde ocorreram os abatimentos, em terreno natural (fundo da bacia do reservatório) é feito outra ficha denominada Vortex da B4. Neste período desde a ultima inspeção choveu 184.5mm. Foi vistoriado todo o maciço e encontra-se em otimas condições e sem nenhuma alteração/anomalia. Necessário iniciar poda da vegetação. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.
004/2021	26/02/2021	B4	0	0	0	0	Barragem sem operação. A pontuação acima refere-se ao maciço da barragem, para a região onde ocorreram os abatimentos, em terreno natural (fundo da bacia do reservatório) é feito outra ficha denominada Vortex da B4. Neste período desde a ultima inspeção choveu 105mm. Foi vistoriado todo o maciço e encontra-se em otimas condições e sem nenhuma alteração/anomalia. Necessário iniciar poda da vegetação. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
		Nº HERCULANO	PÁGINA
		Nº GEOMIL	REV.
BARRAGEM B1/B4		074-2021-03-0002	26/148 1

Vistoria	Data	Estrutura	Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Percolação	Deformações e Recalques	Deterioração dos Taludes	Observações
005/2021	15/03/2021	B4	0	0	0	0	Barragem sem operação. A pontuação acima refere-se ao maciço da barragem, para a região onde ocorreram os abatimentos, em terreno natural (fundo da bacia do reservatório) é feito outra ficha denominada Vortex da B4. Neste período desde a ultima inspeção choveu 58mm. Foi vistoriado todo o maciço e encontra-se em ótimas condições e sem nenhuma alteração/anomalia. Necessário iniciar poda da vegetação. Foi efetuado um registro fotográfico da inspeção.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 27/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

6 CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM QUANTO À CATEGORIA DE RISCO E DANO POTENCIAL ASSOCIADO

6.1 BARRAGEM B1

Considerando que a estrutura se encontra em processo de escavação, com redução progressiva de seu volume e altura, a recente revisão do mapa de inundação e as alterações decorrentes da Resolução ANM nº 32/2020, considerou-se oportuno apresentar a classificação atualizada da barragem.

A barragem continua com classificação semelhante, conforme a seguir apresentado.

Tabela 6.1 - Classificação quanto à Categoria de Risco – Barragem B1

Quadro	Valor	Pontuação
1.1 – Características Técnicas		20
1.1 (a) Altura	Altura>60m	7
1.1 (b) Comprimento	Comprimento > 600m	3
1.1 (c) Vazão de Projeto	CMP- (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar	0
1.1 (d) Método Construtivo	Alteamento a montante ou desconhecido	10
1.1 (e) Auscultação	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico	0
1.2 – Estado de Conservação		3
1.2 (f) Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Estruturas civis bem mantidas e em operação normal /barragem sem necessidade de estruturas extravasoras	0
1.2 (g) Percolação	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes e ombreiras estáveis e monitorados	3
1.2 (h) Deformações e Recalques	Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura	0
1.2 (i) Deterioração dos Taludes / Paramentos	Não existe deterioração de taludes e paramentos	0
1.3 – Plano de Segurança da Barragem		3
1.3 (j) Documentação de Projeto	Projeto “como está” – “as is”	3
1.3 (k) Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem	0

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 28/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

Quadro	Valor	Pontuação
1.3 (l) Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento	Possui manuais de procedimentos para Inspeção, monitoramento e operação	0
1.3 (m) Plano de Ação Emergencial PAE	Possui PAE	0
1.3 (n) Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança	0

Tabela 6.2 – Classificação quanto ao Dano Potencial Associado – Barragem B1

Parâmetro	Classificação	Pontuação
Volume Total do Reservatório	Pequeno De 500 mil a 5 milhões m ³	2
Existência de população a Jusante	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas)	5
Impacto ambiental	POUCO SIGNIFICATIVO (área afetada a jusante da barragem - (não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe 11 8—Inertes, segundo a NBR 10004 da ABNT)	2
Impacto socioeconômico	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem)	1
Somatório		10

Tabela 6.3 – Classificação da Barragem B1

Parâmetro	Faixa	Pontuação
Categoria de Risco	CRI ≥ 65 ou EC = 10 Alto 37 < CRI < 65 Médio CRI ≤ 37 Baixo	Baixo
Dano Potencial Associado	DPA ≥ 13 Alto 7 < DPA < 13 Médio DPA ≤ 7 Baixo	Médio
Categoria de Risco		B

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 29/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

A matriz de classificação da barragem implica na elaboração dos seguintes documentos em função do DPA e/ou CRI para barragens classificadas como DPA Médio:

- A periodicidade máxima da RPSB, sendo:
DPA Alto: a cada 5 (três) anos, a ser concluída até 2023;
- DPA médio: o PSB deverá ser composto pelo volume V, referente ao PAEBM. Existe PAEBM;
- CRI (quando detectadas anomalias com pontuação 10 em qualquer coluna do 1.2 - Estado de Conservação): devem ser realizadas Inspeções de Segurança Especiais (ISE). Não foi identificada anomalia com pontuação superior a 10.

6.2 BARRAGEM B4

A barragem B4 não apresentou modificações geométricas no período entre a elaboração do RPSB, do último RISR e a data atual.

Tabela 6.4 - Classificação quanto à Categoria de Risco – Barragem B4

Quadro	Valor	Pontuação
1.1 – Características Técnicas		8
1.1 (a) Altura	30<Altura>60m	4
1.1 (b) Comprimento	200 m < Comprimento < 600m	2
1.1 (c) Vazão de Projeto	CMP- (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar	0
1.1 (d) Método Construtivo	Alteamento para jusante	2
1.1 (e) Auscultação	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico	0
1.2 – Estado de Conservação		0
1.2 (f) Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Estruturas civis bem mantidas e em operação normal /barragem sem necessidade de estruturas extravasoras	0
1.2 (g) Percolação	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem	0
1.2 (h) Deformações e Recalques	Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura	0
1.2 (i) Deterioração dos Taludes / Paramentos	Não existe deterioração de taludes e paramentos	0
1.3 – Plano de Segurança da Barragem		0
1.3 (j) Documentação de Projeto	Projeto executivo e “como construído”	0

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 30/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

Quadro	Valor	Pontuação
1.3 (k) Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem	0
1.3 (l) Manuais de Procedimentos para inspeções de Segurança e Monitoramento	Possui manuais de procedimentos para Inspeção, monitoramento e operação	0
1.3 (m) Plano de Ação Emergencial PAE	Possui PAE	0
1.3 (n) Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança	0

Tabela 6.5 – Classificação quanto ao Dano Potencial Associado – Barragem B4

Parâmetro	Classificação	Pontuação
Volume Total do Reservatório	Pequeno De 500 mil a 5 milhões m3	2
Existência de população a Jusante	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local)	3
Impacto ambiental	POUCO SIGNIFICATIVO (área afetada a jusante da barragem - (não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe 11 8—Inertes, segundo a NBR 10004 da ABNT)	2
Impacto socioeconômico	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica cultural na área afetada a jusante da barragem)	1
Somatório		8

Tabela 6.6 – Classificação da Barragem B4

Parâmetro	Faixa	Pontuação
Categoria de Risco	CRI >= 65 ou EC = 10 Alto	Baixo
	37 <CRI < 65 Médio	
	CRI <= 37 Baixo	
Dano Potencial Associado	DPA >= 13 Alto	Médio
	7 <DPA < 13 Médio	
	DPA <= 7 Baixo	

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 31/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

Parâmetro	Faixa	Pontuação
Categoria de Risco		E

A matriz de classificação da barragem implica na elaboração dos seguintes documentos em função do DPA e/ou CRI para barragens classificadas como DPA Médio:

- A periodicidade máxima da RPSB, sendo:
DPA Alto: a cada 5 (três) anos, a ser concluída até 2023;
- DPA médio: o PSB deverá ser composto pelo volume V, referente ao PAEBM. Existe PAEBM;
- CRI (quando detectadas anomalias com pontuação 10 em qualquer coluna do 1.2 - Estado de Conservação): devem ser realizadas Inspeções de Segurança Especiais (ISE). Não foi identificada anomalia com pontuação superior a 10.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 32/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

7 VISTORIA DE CAMPO

7.1 BARRAGEM B1

A barragem B1 está em processo de descaracterização por método de escavação de rejeitos, removendo progressivamente os rejeitos originalmente depositados e, com efeito, paulatinamente reduzindo tensões cisalhantes instabilizantes, ou seja, aumentando os fatores de segurança.

A estrutura foi integralmente percorrida, não observando-se nenhum indício de instabilidade, com continuidade dos bons resultados identificados na última auditoria, com os ganhos de segurança esperados pelas medidas de descomissionamento aplicadas nos últimos meses. Neste sentido, é considerada **segura**.

As atividades de retomada estão concentradas principalmente na ombreira direita e na porção central da estrutura, mantendo-se ritmo mais reduzido na ombreira esquerda considerando as condições de secagem dos rejeitos ali depositados.

Em alguns locais a escavação já ultrapassa 30 m de profundidade (remoção de uma camada de 30 m de altura). A remoção vem sendo realizada em sentido descendente, conforme projeto, e as praças remanescentes encontram-se secas, evidenciando a inexistência de processos de percolação nas porções já expostas do rejeito. As praças remanescentes são amplas, garantindo redução de cargas cisalhantes graduais. Inexistem indícios de riscos nas praças de trabalho.

Na ombreira esquerda (dique B1) as atividades de retomada vem sendo postergadas, considerando os seguintes condicionantes: (a) a instrumentação evidencia que os rejeitos nesta região não estão saturados, com saturação da fundação em profundidade; (b) garante barreira à comunidades da região.

Os taludes de retomada vêm tipicamente sendo conduzidos com pequena elevação, o que favorece a proteção à ocorrência de processos erosivos superficiais.

As operações de retomada são realizadas por escavação e carregamento mecânico. Destaca-se que todo o trabalho de retomada nesta estrutura, até o momento, foi realizado com a utilização combinada de escavadeiras/carregadeiras e caminhões. Como equipamentos de apoio destaca-se o uso de motoniveladoras, tratores e caminhões pipa. Não houve necessidade de construção de estruturas de drenagem para operação dos equipamentos de escavação.

Na ombreira esquerda, em trecho já descomissionado da estrutura, foi escavado canal, preenchido com materiais drenantes, brita e areia, recompondo o sistema de drenagem interna originalmente inexistente na estrutura. Este dispositivo vem funcionando eficientemente para evitar percolação de água nova para as porções remanescentes da

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 33/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

estrutura. Os fluxos deste sistema de drenagem são direcionados para caixa de passagem, monitorados por hidrômetros, retornando ao fluxo regular pela ombreira direita.

Na ombreira direita observa-se exposição de argila vermelha. Em diversos locais investigados evidenciou-se grande espessura deste solo argiloso, caracterizado como solo residual de filito dolomítico, especialmente na ombreira direita.

Em outras porções já retomadas, particularmente nas cotas mais elevadas da porção central da estrutura, observa-se a exposição de manganês, identificado nas investigações anteriores ao processo de retomada.

Tipicamente os níveis piezométricos estão posicionados no contato rejeito/fundação, associados à processos de percolação retidos na camada de menor permeabilidade.

Nas imediações da barragem estão posicionados galpão de sondagem e caixa australiana de recirculação de água, ambos não inseridos na ZAS da estrutura.

Parte dos taludes encontra-se protegido com enrocamento rochoso, especialmente na ombreira esquerda da estrutura. Nestes taludes, em função da proteção rochosa, inexistente qualquer evidência de processos erosivos. Os demais taludes encontram-se adequadamente vegetados e não apresentam processos erosivos superficiais. Tipicamente observou-se que a vegetação se desenvolveu muito nos últimos meses e, conforme a rotina de manutenção, deverá ser objeto de poda. A necessidade de poda, destaca-se, não foi considerada impeditiva para realização da vistoria.

A drenagem superficial é realizada por controle topográfico, inexistindo quaisquer evidências de mal funcionamento. Todas as praças contam com leira de proteção adequada. As caixas de passagem foram verificadas e encontram-se limpas.

Atualmente existem 3 sismógrafos em operação na estrutura, com a verificação em tempo real de vibrações com velocidade de partícula superior a 0,5 m/s.

Na porção central da estrutura foram perfurados poços tubulares profundos, com o objetivo de regular a piezometria durante a operação da estrutura. Ao longo dos últimos anos estas estruturas têm sido mantidas desligadas, mas preparadas para operação. Em sua utilização, entretanto, verificou-se vazões muito reduzidas, interferência imperceptível na instrumentação vizinha e baixa efetividade de seus filtros. Considerando estas características, combinadas com a evolução do processo de descaracterização, não faz mais sentido a utilização destes poços, identificando, inclusive, riscos associados à sua utilização, especialmente processos erosivos internos. Recomenda-se, assim, que sejam descomissionados (preenchidos com concreto) e retiradas as estruturas de operação.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 34/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

A jusante da barragem B1 estão localizados os diques B2 e B3. As drenagens da barragem B1 são direcionadas para estas duas estruturas, utilizadas para controle de sedimentos em tributário do Ribeirão do Silva.

O monitoramento de deformações é realizado com a leitura periódica de miniprismas. Seu monitoramento vem evidenciado a inexistência de deslocamentos, considerando-se, é claro, o limite de precisão dos equipamentos.

Em 2020 foi realizado adensamento da instrumentação na porção central da estrutura, e a realização de novos ensaios CPTu. Parte dos instrumentos foi automatizado. É mantido videomonitoramento 24 horas por dia da estrutura.

Não foi identificada nenhuma surgência anômala na estrutura, apesar da inexistência de sistema de drenagem interna conhecida da estrutura.

No pé da barragem existem drenos horizontais profundos, instalados em 2012, durante o período operacional da estrutura, para controle de seus níveis geotécnicos. Mesmo após a paralização de qualquer lançamento de rejeitos na estrutura e a construção de drenos de ombreira esta região apresenta fluxos perenes. Na saída dos drenos foram instalados drenos horizontais profundos, com a intenção de monitoramento da presença de sólidos nestes dispositivos de drenagem interna. Também é realizado o monitoramento da vazão dos drenos de fundo.

Em linhas gerais as vazões têm se mantido com baixa taxa de variação.

A seguir apresentam-se fotografias ilustrativas das condições anteriormente apresentadas.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 35/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 01 – Vista, a partir da ombreira direita da estrutura, do antigo reservatório da estrutura escavado, em alguns locais em mais de 30 m. A praça remanescente encontra-se seca, evidenciando a inexistência de processos de percolação nas porções já expostas do rejeito.



FOTO 02 – Trecho na ombreira direita da estrutura, escavado, com exposição de materiais de fundação na parede remanescente da estrutura. Nesta região foi escavado canal, preenchido com materiais drenantes, brita e areia, recompondo o sistema de drenagem interna originalmente inexistente na estrutura. Este instrumento vem funcionando eficientemente para evitar percolação de água nova para as porções remanescentes da estrutura.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 36/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 03 – Porção já encaixada em terreno natural na escavação da barragem de rejeitos.



FOTO 04 – Outra vista da barragem B1, em retomada adiantada. A linha divisória delimita, de forma aproximada, porção aflorante em manganês (material exposto de coloração mais escura), em porção região já retomada da barragem B1. Destaca-se que os taludes de retomada vêm tipicamente sendo conduzidos com pequena elevação, o que favorece a proteção à ocorrência de processos erosivos superficiais.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 37/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 05 – Ombreira esquerda da estrutura. Nesta região, anteriormente recoberta com cerca de 20 m de rejeito, o processo de retomada já foi concluído, com exposição de argila vermelha. Em diversos locais investigados evidenciou-se grande espessura deste solo argiloso, caracterizado como solo residual de filito dolomítico, especialmente na ombreira direita.



FOTO 06 – Outra vista de trecho na ombreira direita da estrutura, Elev. 1277 m, em região anteriormente recoberta com rejeitos e já geometrizada. Na região assinalada com setas, encontra-se o alinhamento aproximado do dreno de ombreira construído.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 38/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 07 – Caixa de passagem construída na ombreira direita para concentrar os fluxos do dreno de ombreira.



FOTO 08 – A saída dos fluxos da caixa de passagem é monitorada por hidrômetro dedicado, descarregado em tanque de PVC, e seguindo para a drenagem natural na descarga da caixa australiana, posicionada à sua jusante.
Coordenadas: 611689.7 m E, 7760481.7m N, Elev 1276m.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 39/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 09 – Foto da ombreira direita, em nível inferior ao da fotografia atual, El. 1264 m. Na praça apresentada inexistem surgências, com a praça apresentando-se operacional. A intenção é a abertura de um novo dreno de ombreira nas proximidades do talude. O trecho revegetado está em terreno natural argiloso.



FOTO 10 – Operação da escavadeira, removendo o rejeito e preparando a face do talude de retomada. Nesta região não é identificada a geração de poropressão na utilização de equipamentos, o que é mais comum ocorrer nas proximidades com a fundação.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 40/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 11 – Outra vista da bancada El. 1264 m, nas proximidades da ombreira direita da estrutura. Conforme pode ser observado, a praça encontra-se regularizada. À medida que os cortes são executados é realizado o rebaixamento dos instrumentos.



FOTO 12 – Detalhe da operação de escavação e carregamento mecânico realizado para retomada da barragem B1. Destaca-se que todo o trabalho de retomada nesta estrutura foi realizado com a utilização combinada de escavadeiras/carregadeiras e caminhões. Como equipamentos de apoio destaca-se o uso de motoniveladoras, tratores e caminhões pipa.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 41/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 13 – Detalhe do instrumento B1PZC34, posicionado nas coordenadas 611580.2m E, 7760369.6m N e Elev. 1267m, atualmente com profundidade de 21,5 m. Atualmente o nível d'água encontra-se, aproximadamente à 10 m de profundidade, indicando seu posicionamento no contato rejeito/fundação.



FOTO 14 – B1PZC02, posicionada na porção central da barragem, em porção em retomada, coordenadas 611536.7m E, 7760318.8m N e Elev. 1269 m. Este instrumento, inicialmente com 32 m, atualmente conta com apenas 13 m, confirmando que cerca de 20 m da barragem foram retomados. Leitura de nível d'água com 7 m de profundidade, indicando saturação no contato rejeito/fundação.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 42/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 15 – Praça de retomada da barragem, observando-se, ao fundo, a ombreira direita da estrutura, com redução da coluna de rejeitos em cerca de 20 m. As praças remanescentes são amplas, garantindo redução de cargas cisalhantes graduais. Inexistem indícios de riscos nas praças.



FOTO 16 – Outra visada da praça de retomada da barragem. Ao fundo, galpão de sondagem assentado sobre terreno natural e não inserido na ZAS da estrutura.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 43/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 17 – Porção central da barragem, evidenciando a inexistência de surgências nesta região. A intenção nesta região é continuar a escavação até atingir a fundação, construindo um dreno de ombreira dividindo a B1 da porção denominada dique da B1. É esperado observação de maior poropressão nas proximidades com a fundação.



FOTO 18 – Trecho em escavação para redivisão da estrutura em B1 e dique da B1. A instrumentação disponível e serviços de geofísica indicam que o dique da B1 se encontra seco, sem variações de poropressão. Neste sentido a intenção é separar trechos já secos da estrutura. Com a construção do dreno de ombreira a entrada de fluxos de água realimentando rejeitos deverá ser reduzida, favorecendo menores poropressões.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 44/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 19 – Porção central da estrutura, observando-se, ao fundo, eucaliptos plantados em terreno natural. A escavação deverá ter sequência até que seja atingido o terreno natural, atingindo, aproximadamente, o nível dos eucaliptos.



FOTO 20 – Banco em retomada na Elev. 1262 m, já nas proximidades de atingir o limite final da barragem de rejeitos. O acúmulo de materiais no pé do talude (seta) é resultando de carreamentos localizados dos taludes expostos em rejeito, material não coesivo. De modo geral não são identificados processos erosivos nas faces dos taludes.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 45/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 21 – Outra vista da porção central do talude Elev. 1262 m observando-se, ao fundo, instrumentos remanescentes em processo de corte. Não há qualquer indício de instabilização nas amplas praças escavadas para retomada.



FOTO 22 – Banco Elev. 1262 m e, ao fundo, galpão de sondagem, na ombreira direita da estrutura.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 46/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 23 – Instrumento B1PZC47, instalado na porção central da estrutura, automatizado e acompanhado em tempo real.



FOTO 24 – Talude remanescente da barragem B1, Elev. 1257 m a 1262 m (5m de altura), com reforço de itabirites compactos. Nesta região, em função da proteção rochosa, inexistente qualquer evidência de processos erosivos. Os demais taludes encontram-se adequadamente vegetados e não apresentam processos erosivos superficiais.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 47/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 25 – Sismógrafo instalado na proximidade da ombreira direita da estrutura, na Elev. 1257 m. Existem 3 sismógrafos em operação na estrutura atualmente, com a verificação em tempo real de vibrações com velocidade de partícula superior a 0,5 m/s.



FOTO 26 – Bancada na elev. 1257 m. A drenagem superficial é realizada por controle topográfico, inexistindo quaisquer evidências de mal funcionamento. Todas as praças contam com leira de proteção adequada.

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 48/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 27 – Poço tubular profundo originalmente construído para regular a piezometria durante a operação da estrutura. Ao longo dos últimos anos estas estruturas têm sido mantidas desligadas, mas preparadas para operação. Em sua utilização, entretanto, verificou-se vazões muito reduzidos, interferência imperceptível na instrumentação vizinha e baixa efetividade de seus filtros. Considerando estas características, combinadas com a evolução do processo de descaracterização, não faz mais sentido a utilização destes poços. Sua utilização pode inclusive resultar em riscos desnecessários. Recomenda-se, assim, que sejam descomissionados (preenchidos com concreto) e retiradas as estruturas de operação.



FOTO 28 – Linha de poços instalada no banco Elev. 1254 m, os quais deverão ser removidos. A vegetação gramínea nesta região vem apresentando certo desenvolvimento e deverá ser objeto de poda.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 49/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 29 – Diques B2 e B3 ao fundo da barragem B1. As drenagens da barragem B1 são direcionadas para estas duas estruturas, utilizadas para controle de sedimentos em tributário do Ribeirão do Silva.



FOTO 30 – Detalhe de miniprisma utilizado na verificação de deformações na estrutura. Seu monitoramento vem evidenciando a inexistência de deslocamentos, considerando-se o limite de precisão dos equipamentos.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 50/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 31 – Região dos poços, com destaque para a elevada densidade de instrumentos instalados nesta região (B1PZ19, B1PZC55, B1PZC56 e B1PZC59). Nesta região central da estrutura foi realizado adensamento de informações geotécnicas pela execução de campanha de perfuração sCPTu.



FOTO 32 – Banco na Elev. 1250 m, com destaque para os instrumentos B1PzC04a, B1PzC04b, B1PzC53, B1PzC54 (seta). Na ombreira são identificados materiais associados à fundação.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 51/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 33 – Detalhe dos instrumentos B1PzC04a, B1PzC04b, B1PzC53, B1PzC54, em parte automatizados.



FOTO 34 – Banco Elev. 1250 m. Inexistem indícios de movimentação ou processos erosivos superficiais. Com a ocorrência do período chuvoso a vegetação apresentou desenvolvimento e deverá ser objeto de poda.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 52/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 35 – Instrumento B1PZC05, instalado no banco Elev. 1240 m, no pé da barragem B1. Ao fundo, barragens B2 e B3.



FOTO 36 – Banco Elev. 1240 m. Nesta região existem drenos horizontais profundos, instalados em 2012, durante o período operacional da estrutura, para controle de seus níveis geotécnicos. Mesmo após a paralização de qualquer lançamento de rejeitos na estrutura e a construção de drenos de ombreira esta região apresenta fluxos perenes.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 53/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 37 – Detalhe de caixa de saída instalada em dreno horizontal profundo. A intenção destas caixas é o monitoramento da presença de sólidos nestes dispositivos de drenagem interna.



FOTO 38 – Detalhe das linhas de drenos horizontais profundos, interligados e com vazão monitorada por hidrômetro.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 54/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 39 – Banco Elev. 1236 m, no pé da barragem B1, observando-se, ao fundo, talude em fundação. Neste banco também existem drenos horizontais profundos originalmente instalados para a operação da estrutura. Estes drenos também têm fluxos perene e são monitorados por hidrômetro. Na rampa observa-se a ocorrência típica de processo erosivo raso, o que foi corrigido com a melhoria do sistema de drenagem superficial.



FOTO 40 – Vista do talude central da estrutura a partir da Elev. 1230. Os taludes não apresentam processos erosivos superficiais, inexistindo a ocorrência de surgências.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 55/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 41 – Caixa de passagem posicionada na cota El. 1230 m. As caixas de drenagem foram vistoriadas e encontram-se limpas.



FOTO 42 – Porção a jusante do dique da B1, na ombreira esquerda da estrutura, observando-se a presença de manganês aflorante nesta porção. Na ombreira esquerda (dique B1) as atividades de retomada vêm sendo postergadas, considerando os seguintes condicionantes: (a) a instrumentação evidencia que os rejeitos nesta região não estão saturados, com saturação da fundação em profundidade; (b) garante barreira à comunidades da região.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 56/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 43 – Banco na Elev. 1263 m, na ombreira esquerda da barragem. Nesta região inexistem indícios de movimentação, surgências ou processos erosivos superficiais. A vegetação gramínea encontra-se com necessidade de poda.



FOTO 44 – Ombreira esquerda da barragem B1. Nesta região o processo de retomada não foi iniciado, mantendo-se a observação da inexistência de processos erosivos superficiais, bem como garantindo menor impacto visual para as comunidades vizinhas.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 57/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 45 – Porção remanescente da barragem B1, na região denominada dique da B1. Os avanços nesta região são tipicamente realizados em período concentrados de chuva, por tratar-se de região bastante seca e com boa acessibilidade.



FOTO 46 – Trecho interno de retomada na ombreira direita da barragem B1. Nesta região evidenciam-se, em diversos pontos, que a retomada já alcançou a superfície topográfica natural.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 58/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 47 – Vista geral da barragem B1, em retomada, a partir da ombreira esquerda. Evidencia-se a formação de praças amplas, com ângulo geral de retomada bastante suave, e com redução progressiva das tensões cisalhantes para os taludes remanescentes.



FOTO 48 – Escavação central da barragem B1, dividindo a porção remanescente da ombreira direita e da ombreira esquerda (dique da B1). Ao fundo, planta de concentração no local denominado Tanque Seco.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 59/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 49 – Outra vista do trecho central em escavação, observando-se, ao fundo, exposição do terreno natural.



FOTO 50 – Talude remanescente na ombreira esquerda da estrutura, Elev. 1282 m. Nesta região observa-se desenvolvimento da vegetação, que necessita de poda. A necessidade de poda, destaca-se, não foi considerada impeditiva para realização da vistoria.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 60/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

7.2 BARRAGEM B4

A barragem B4 foi construída por alteamentos em material argiloso realizados para jusante. Por sua característica de menor risco associado quando comparada com a barragem B1, optou-se por recomendar que as atividades de retomada fossem concentradas na barragem B1, ainda não havendo sido iniciadas na barragem B4. Neste sentido a conformação geométrica da estrutura é a mesma verificada na auditoria anterior.

Em linhas gerais a instrumentação continua apresentando o comportamento típico verificado nos últimos anos, o que, combinado com a verificação da inexistência de indícios de instabilidade, resultou na conclusão de que a estrutura se encontra **estável**.

O talude de jusante encontra-se completamente vegetado, com sistema de drenagem superficial adequado, não sendo identificado nenhum processo erosivo ou potencial para seu desenvolvimento. Verificou-se que houve desenvolvimento da vegetação, que necessidade de poda. A dimensão da vegetação não repercutiu em dificuldade para realização da vistoria.

As estruturas de drenagem superficial encontram-se limpas e desobstruídas, verificando-se bom funcionamento no último período chuvoso. Todas as bermas contam com leira, conforme recomendação anterior.

O vertedouro encontra-se devidamente desobstruído, preparado para operar. Destaca-se que o reservatório vem se mantendo seco, ao menos nos últimos 6 anos, comportamento também verificado no último período chuvoso. Esta característica garantiu que o rejeito secasse no interior do reservatório e, desta maneira, inexistência de identificação de poropressões na instrumentação e nas investigações diretas e indiretas realizadas.

Conforme recomendação foi executado projeto de recomposição do vórtex, incluindo a revegetação das superfícies ajustadas. Deste então os monitoramentos não apresentam nenhum sinal de reativação do processo de formação do carste.

Parte da instrumentação foi automatizada. É mantido videomonitoramento 24 horas do maciço e do reservatório da estrutura.

A seguir apresentam-se algumas fotos obtidas durante a vistoria, evidenciando as informações anteriormente apresentadas.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 61/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 51 – Vista geral do talude de jusante da barragem B4, a partir do pé da estrutura. Verifica-se boa conformação geométrica dos bancos, com sistema de drenagem superficial na porção central da estrutura, em escada de descida d’água em concreto armado. No pé da estrutura, enrocamento de canga.



FOTO 52 – Detalhe do pé da estrutura, em enrocamento, instrumentado pelo piezômetro B4PZ05. Tipicamente este instrumento apresenta leitura seca, recentemente com elevações em 1,5 m em sua leitura, 13,5 m abaixo do nível topográfico. Existem consideráveis evidências de que o processo de percolação principal ocorre em profundidade.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 62/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 53 – Detalhe da saída do dreno de fundo da estrutura, com gotejamento de água, em vazão reduzidíssima, acompanhada por método volumétrico.



FOTO 54 – Em primeiro plano, instrumento B4PZ01. Trata-se do instrumento com maiores variações piezométricas do conjunto de instrumentos da estrutura, com variações típicas no final do período chuvoso. Atualmente este instrumento está com leituras em 9 m de profundidade, indicando que as variações estão associadas a mudança de poropressões na circulação pela fundação, sem ligação com o rejeito. O topo do enrocamento está posicionado na cota El. 1202 m.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 63/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 55 – Instrumento B4PZ06, automatizado, posicionado na cota El. 1206 m. Em todas os bancos, conforme recomendado, foi instalado leiras de proteção. Não há indícios de problemas no sistema de drenagem superficial.

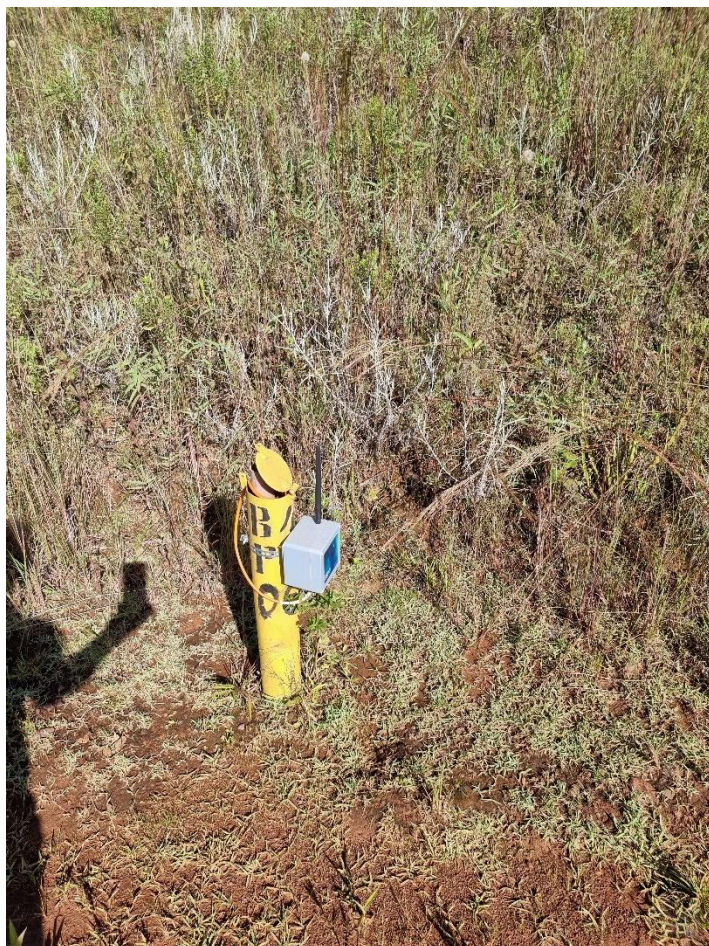


FOTO 56 – Detalhe do instrumento B4PZ06, automatizado.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 64/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 57 – Detalhe de escada de descida d'água utilizada para direcionamento da drenagem superficial na porção central da barragem B4. A estrutura encontra-se limpa e sem indícios de mal funcionamento.



FOTO 58 – Canal lateral de drenagem superficial instalado na ombreira direita da barragem B4, também para direcionamento das drenagens superficiais da estrutura. Há indícios de fluxo raso, sem obstruções.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 65/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 59 – Banco intermediário da barragem B4, El. 1220 m. Não há qualquer indicio de instabilização, particularmente a inexistência de indícios de movimentação e/ou trincas, bem como identifica-se que a estrutura encontra-se devidamente protegida para ocorrência de processos erosivos superficiais. A vegetação apresenta desenvolvimento e deverá ser objeto de poda.



FOTO 60 – Crista da barragem B4, posicionada na cota El. 1240 m. A conformação geométrica não indica nenhum risco de instabilização. As rotineiras investigações e monitoramentos realizados vem confirmando as observações de normalidade de comportamento.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 66/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 61 – Reservatório da barragem B4, nas proximidades de sua crista. Já há alguns anos não existe lançamento de rejeitos no reservatório da estrutura e, com efeito, o processo de adensamento dos rejeitos parece ter se encerado. Investigações apontam para a existência de rejeitos secos na região, confirmados pela instrumentação implantada no interior do reservatório.



FOTO 62 – Conforme recomendação anterior, o antigo vórtex foi objeto de recomposição, sendo geometrizado e revegetado. Deste então os monitoramentos não apresentam nenhum sinal de reativação do processo de formação do carste.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 67/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 63 – Vista geral do reservatório a partir do antigo vórtex da barragem B4, posicionado em sua porção de montante. Verifica-se que o reservatório não apresenta acúmulo de água, com a adução do vertedouro (seta) posicionado em cota bastante inferior à crista e, com efeito, garantindo borda livre ampla para o trânsito das precipitações críticas de projeto.



FOTO 64 – Reservatório encaixado na ombreira esquerda da estrutura, sem nenhuma zona de acúmulo de água. Em primeiro plano, serviço de recomposição da região do vórtex.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 68/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 65 – Detalhe do ponto de adução do vertedouro, em flauta. A adutora encontra-se limpa e sem riscos de obstruções. Não há qualquer indicio de risco estrutural da flauta extravasora.



FOTO 66 – Vista geral do maciço da barragem B4, a partir de sua ombreira esquerda.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 69/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



FOTO 67 – Talude de jusante da estrutura avistado pela ombreira direita da barragem B4. Não há evidências de riscos identificadas ao longo de toda a estrutura.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 70/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

8 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS REJEITOS

8.1 NATUREZA DO REJEITO

Os rejeitos armazenados na barragem da Herculano são rejeitos de minério de ferro gerados a partir de operações de britagem, peneiramento, concentração magnética de baixo e alto campo, concentração em espirais e espessamento.

Os rejeitos gerados anteriormente a 2004, integralmente armazenados na barragem B1, não foram objeto de concentração, sendo gerados a partir apenas de operações de britagem e classificação.

Nunca foram realizadas concentrações no empreendimento com a utilização de reagentes, como, por exemplo, atividades de flotação.

Os rejeitos são, assim, caracterizados como inertes e não perigosos.

8.2 GRANULOMETRIA

Do ponto de vista granulométrico o rejeito apresenta-se, conforme esperado, com granulometria siltosa, com percentual de finos médio da ordem de 70%. Ressalta-se que existe grande heterogeneidade de formação do depósito, observando-se que junto aos alteamentos os materiais são mais arenosos e a medida do distanciamento do ponto de lançamento os materiais tornam-se mais argilosos ou siltosos.

Tabela 8.1 - Granulometria Amostras Indeformadas em Rejeito

Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedregulho (%)
AM/3228-1	0,90	34,94	64,16	0,00
Amostra A - ST-01 0,00 a 1,00 m	7,03	38,34	54,57	0,06
Amostra A - ST-01 1,00 a 2,00 m	7,28	56,09	36,55	0,08
Amostra B - ST-02 0,00 a 1,00 m	0,70	17,03	82,27	0,00
Amostra B - ST-03 0,00 a 1,00 m	7,28	56,09	36,63	0,00
Amostra B - Mistura	3,99	36,56	59,13	0,32
Amostra C	8,89	51,04	40,07	0,00
Amostra D - ST-04 0,00 a 2,00 m	5,06	17,24	72,9	4,80
Amostra E - ST-05 0,00 a 1,00 m	9,91	29,47	42,22	18,40
Amostra F - ST-05 0,00 a 1,00 m	27,89	45,56	20,29	6,26
Amostra F - ST-05 1,00 a 2,00 m	23,46	43,14	25,27	8,13
0025	27,5	54,1	14,7	3,7
0397	13,5	60,2	26,3	0,1
0398	16,0	60,6	23,4	0,0
0399	17,4	65,0	17,6	0,0

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 71/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedregulho (%)
0829	9,8	19,5	70,7	0,1
0830	11,2	37,6	48,9	2,3
0832	16,1	55,5	28,4	0,1
0835	19,1	56,9	23,5	0,5
0838	16,4	63,1	20,5	0,0
0839	11,6	54,7	33,7	0,0
0052	16,7	52,5	30,3	0,5

8.3 MINERALOGIA

A barragem B1 foi objeto de avaliação de reservas junto ao DNPM (atual ANM), devidamente aprovada. A mineralogia dos rejeitos, evidentemente, é a mesma das litologias que alimentaram o processo, composta basicamente por itabiritos, com grãos de hematita e quartzo, com os seguintes teores médios:

Tabela 8.2 – Qualidade dos rejeitos dispostos na B1

RESERVAS MINERAIS BARRAGEM B1									
Reservas	Volume	Massa	Densidade	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	PPC
Medida	1.609.812.00	3.702.567.60	2,30	42,54	31,38	1,92	1,44	0,060	3,89
Indicada	2.134.500.00	4.909.350.00	2,30	41,47	33,17	1,82	1,35	0,061	3,78
Inferida	173.625.00	399.337.50	2,30	40,65	33,55	1,62	1,80	0,069	4,14
Total	3.917.937.00	9.011.255.10	2,30	41,88	32,45	1,85	1,41	0,061	3,84

8.4 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO REJEITO

Para compreender a caracterização química dos rejeitos é de fundamental importância compreender que:

- A lavra é desenvolvida em itabiritos, rocha bandada com intercalações de Hematita (Fe₂O₃) e Quartzo (SiO₂). Além de óxidos de Fe e de Si, que correspondem a maior concentração de elementos nas rochas itabiríticas, conta com Al₂O₃, P₂O₅ e MnO como elementos acessórios principais, e CaO, K₂O, MgO, Na₂O e TiO₂. Recentemente a Herculano realizou caracterização geológica das mineralizações presentes em sua Concessão de Lavra e estoques (antigas barragens), verificando que para estes elementos o fechamento estequiométrico é de 100%. Trata-se de óxidos bastante estáveis quimicamente, não havendo potencial de degradação e de reatividade;

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 72/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

- Estes minérios são desmontados mecanicamente (com a utilização de escavadeiras ou carregadeiras) ou com o auxílio de explosivos. Para o desmonte com explosivos utilizam-se cargas de ANFO (nitrato de amônia industrial) e Emulsões. Trata-se de cargas explosivas estáveis quimicamente, bem como utilizadas em concentrações muito baixas (<100 g/t), não resultando em potencial contaminação dos materiais envolvidos;
- Os minérios são carregados e transportados por caminhões até sua alimentação na moega da planta de britagem e concentração. Nesta planta os minérios são submetidos à cominuição (quebra em pedaços menores), classificação, concentração, espessamento e filtragem. As operações de concentração não incluem a adição de reagentes, tampouco operações unitárias capazes de modificar a estrutura química dos materiais envolvidos. Desta maneira, os rejeitos gerados têm características químicas semelhantes aquela verificada nos minérios “*in situ*”, apenas com maior concentração em Si e menor concentração em Fe (justamente o objeto de interesse de recuperação do empreendimento), constituindo um material inerte e quimicamente estável;
- Antes de ser encaminhado para pilha, o rejeito é direcionado para espessadores, de maneira a aumentar a recuperação de água do processo e, posteriormente, para filtros cerâmicos (ou baias desaguadoras). Nestes espessadores são adicionados floculantes para aumentar a eficiência do processo. Estes floculantes são também quimicamente estáveis e não modificam as características químicas do rejeito.

Diante do exposto, não há quaisquer modificações químicas do minério com as operações, mantendo-se ao longo de toda rota produtiva como inertes e não perigosos. Não estão armazenados, portanto, efluentes tóxicos ou materiais potencialmente perigosos.

De acordo com o fluxograma de processo e últimos resultados operacionais os rejeitos direcionados para empilhamento contam com teores de Fe entre 15 e 30%.

8.5 PLASTICIDADE DOS REJEITOS

Todas as amostras de rejeito foram caracterizadas como não plásticas, como esperado para amostras de rejeito. Apenas para a amostra E (ST-06 | 0,00 a 2,00) apresentou plasticidade, em função de seu maior percentual de argilas.

Tabela 8.3 - Índices Físicos

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)
3228/1	-	-	NP
Amostra A - ST-01 0,00 a 1,00 m	-	-	NP
Amostra A - ST-01 1,00 a 2,00 m	-	-	NP

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 73/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Amostra B - ST-02 0,00 a 1,00 m	-	-	NP
Amostra B - ST-03 0,00 a 1,00 m	-	-	NP
Amostra C - ST-02 0,00 a 1,00 m	-	-	NP
Amostra C - ST-03 0,00 a 1,00 m	-	-	NP
Amostra D - ST-04 0,00 a 2,00 m	-	-	NP
Amostra E - ST-05 0,00 a 1,00 m	34,1	28,9	5,2
0025	-	-	NP
0397	-	-	NP
0398	-	-	NP
0399	-	-	NP
0829	-	-	NP
0830	-	-	NP
0832	-	-	NP
0835	-	-	NP
0838	-	-	NP
0839	-	-	NP
0052	-	-	NP

8.6 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA EM CONDIÇÕES DRENADAS

A seguir apresentam-se os resultados, em resumo, dos ensaios triaxiais para determinação dos parâmetros de resistência dos rejeitos em condições drenadas. Estas análises ponderaram a avaliação de amostras deformadas e indeformadas.

8.6.1 Amostras Deformadas

8.6.1.1 Amostra com Teor de Fe reduzido

Para a Amostra 3228/1 (2015) observou-se que as trajetórias de tensão para tensões efetivas são muito similares aquelas para tensões totais, provavelmente em função de sua elevada permeabilidade. Na análise da tensão desviadora versus deformação axial observa-se comportamento típico de areia fofas⁴, inexistindo um pico de resistência bem definido.

8.6.1.2 Ensaios Realizados em 2004

No caso da Amostra A (2004) observou-se também trajetórias de tensões efetivas e totais muito similares, verificando-se desenvolvimento de sucção da porção final da deformação. Como efeito, observa-se aumento da inclinação na envoltória de resistência para tensões efetivas (ângulo de atrito de 36,5°).

⁴ Este comportamento é surpreendente, uma vez que a amostra foi submetida ao cisalhamento com índice de vazios reduzido.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 74/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

A trajetória de tensões para as amostras B, C e D tem comportamento idêntico àquele verificado para a amostra A, configurando uma superfície de ruptura bem definida e formatada por efeitos de sucção.

Para a amostra D, em função do elevado peso específico natural e dos grãos, observa-se uma elevação consistente dos parâmetros de resistência em condições de tensões efetivas, com ângulo de atrito de 38,5°.

No caso da amostra E observam-se trajetórias de tensões efetivas com o desenvolvimento de poropressões. Desta maneira para esta amostra verificou-se ângulo de atrito efetivo elevado, mas uma redução considerável da resistência em carregamentos rápidos (tensões totais).

Esta redução para tensões totais é também verificada no caso da amostra F, em função da presença de uma fração considerável de argila, que condiciona modificações bastante relevantes no comportamento não drenado e no desenvolvimento de poropressões, reduzindo bastante o ângulo de atrito em carregamentos por tensões totais. O comportamento para tensões efetivas, é importante destacar, mantêm-se típico de areias compactas, com elevado ângulo de atrito.

8.6.2 Amostras Indeformadas

8.6.2.1 Amostras com múltiplos CP's

A amostra 0052 foi submetida a ensaios triaxial do tipo CIU (consolidado não drenado), com 3 corpos de prova cada, em tensões confinantes de 100, 200 e 400 kPa. Conforme pode ser observado, todos os corpos de prova apresentam desenvolvimento de poropressões positivas elevadas para baixas deformações, passando, a partir daí, a desenvolver poropressões negativas, o que indica comportamento tipicamente dilatante durante a ruptura. Com efeito, para o índice de vazios adotado e tensões confinantes avaliadas, o rejeito não seria susceptível à liquefação.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 75/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

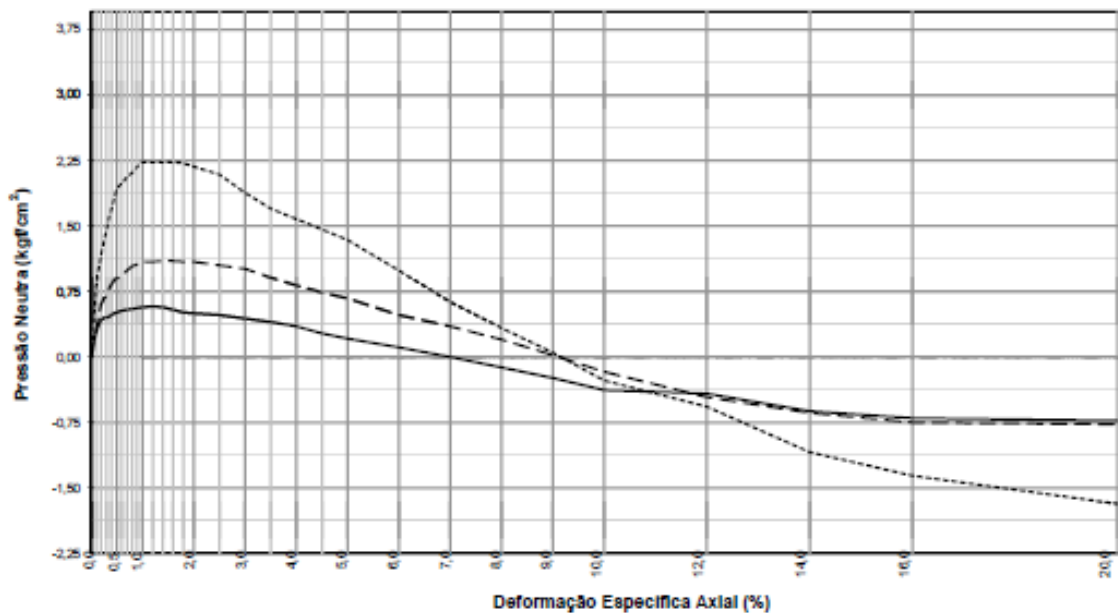


Figura 8.1 - Desenvolvimento de pressão neutra vs. deformação axial (Am. 0052).

Este comportamento é evidenciado avaliando-se a curva de tensão deformação, observando-se a inexistência, neste caso, de comportamento de colapso.

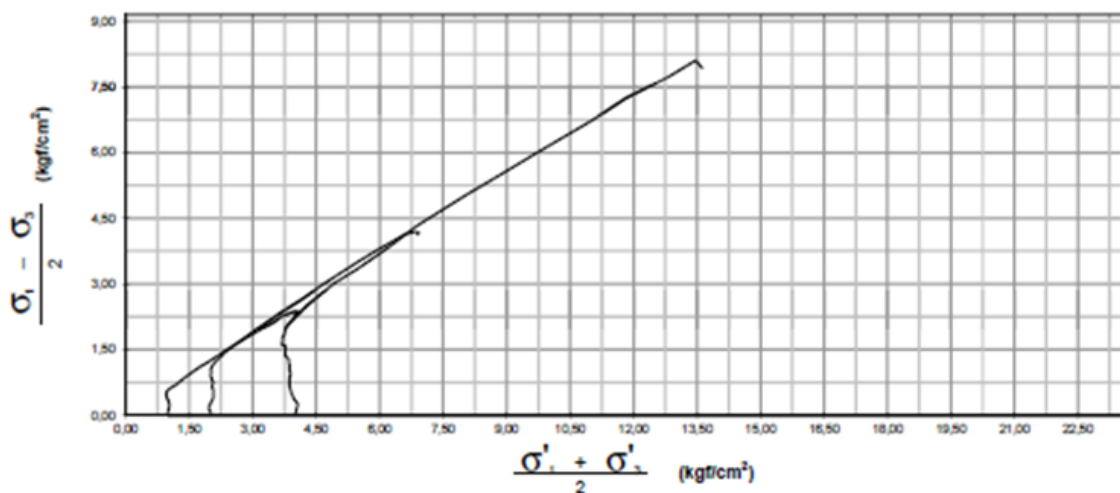


Figura 8.2 - Trajetória de Tensões (Am. 0052)

Para condições drenadas verifica-se que a resistência coesiva dos materiais é aproximadamente igual a 5 kPa, observando-se, ainda elevada resistência friccional, 36,5°, conforme esperado.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 76/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

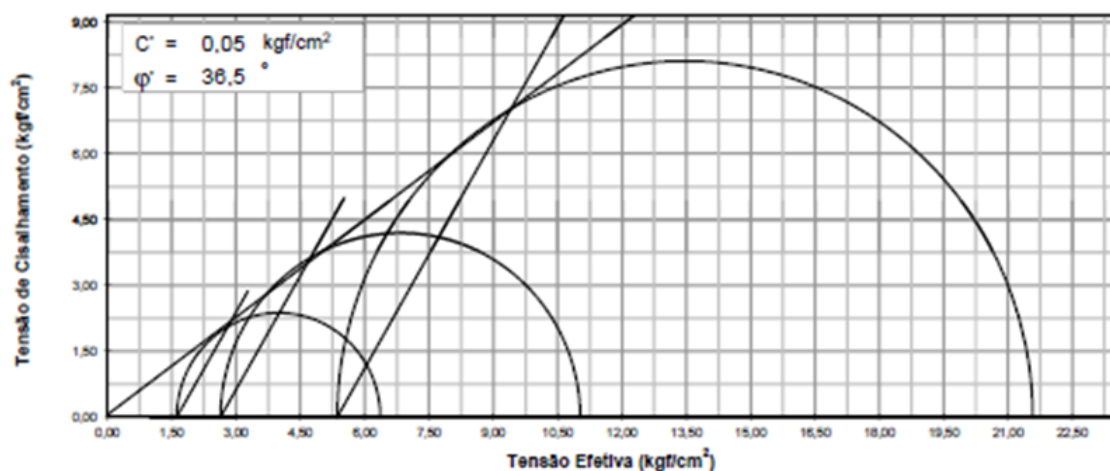


Figura 8.3 - Círculo de Mohr – Tensões Efetivas (Amostra 0052)

Para condições não drenados verificou-se um aumento considerável da resistência coesiva, 17 kPa, e aumento da resistência friccional (40,4°). Este comportamento ocorreu em virtude do desenvolvimento de sucção durante a ruptura.

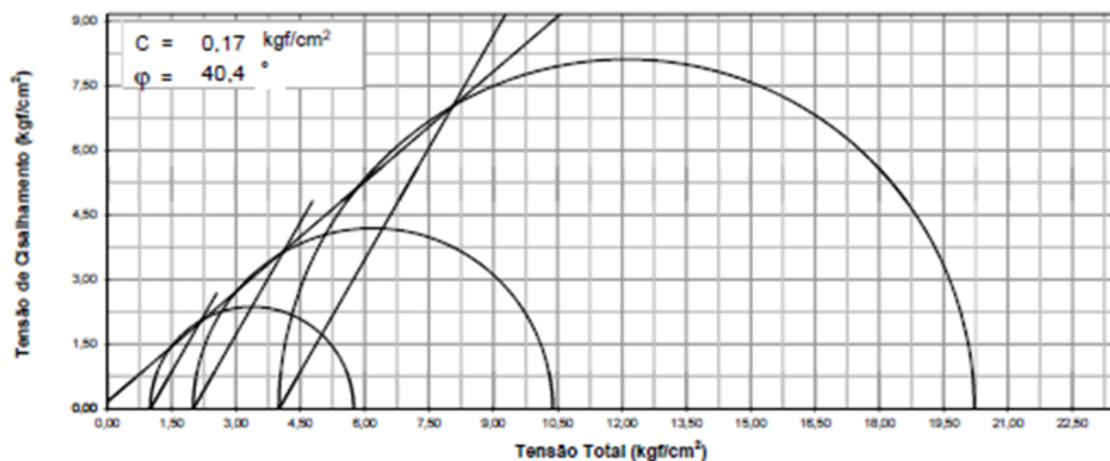


Figura 8.4 - Círculo de Mohr – Tensões Totais (Amostra 0052)

A segunda amostra de rejeitos submetida a ensaios em mais de um corpo de prova foi a amostra 0830, extraída no furo SM-14, a 16,5 m de profundidade.

A amostra 0830 foi submetida a ensaios triaxial do tipo CIU (consolidado não drenado), com 4 CP's, em tensões confinantes de 50, 100, 200 e 400 kPa. Como pode ser observado, todos os corpos de prova apresentam desenvolvimento de poropressões positivas elevadas para baixas deformações, passando, a partir daí, a desenvolver poropressões negativas.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 77/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

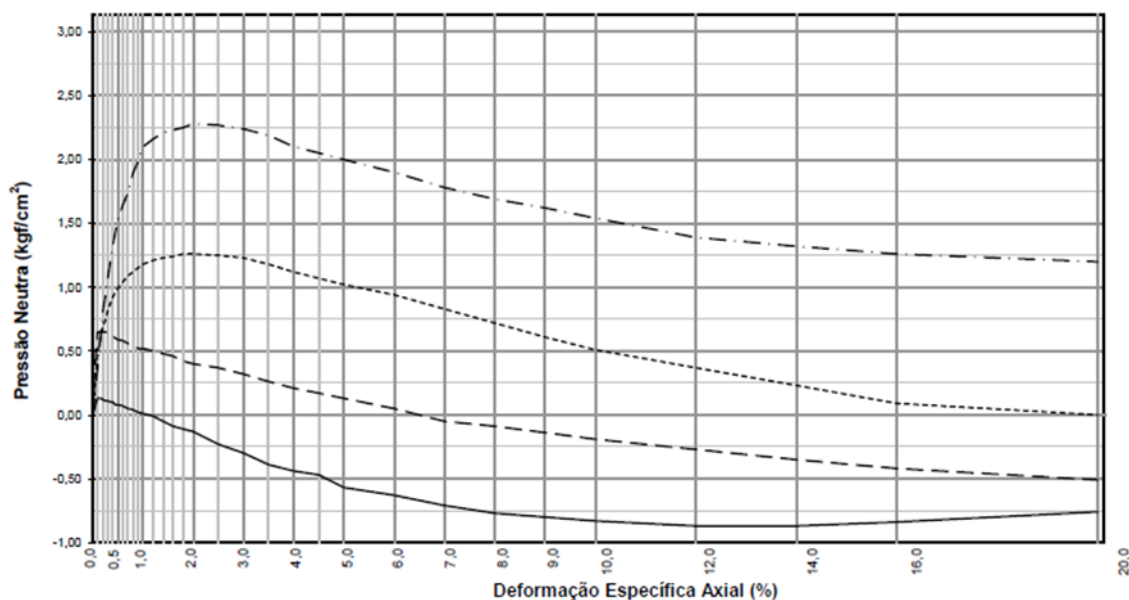


Figura 8.5 - Desenvolvimento de pressão neutra vs. deformação axial (Am. 0830)

O gráfico de trajetória de tensões evidencia a inexistência de comportamento associado a redução brusca de tensões efetivas (colapso).

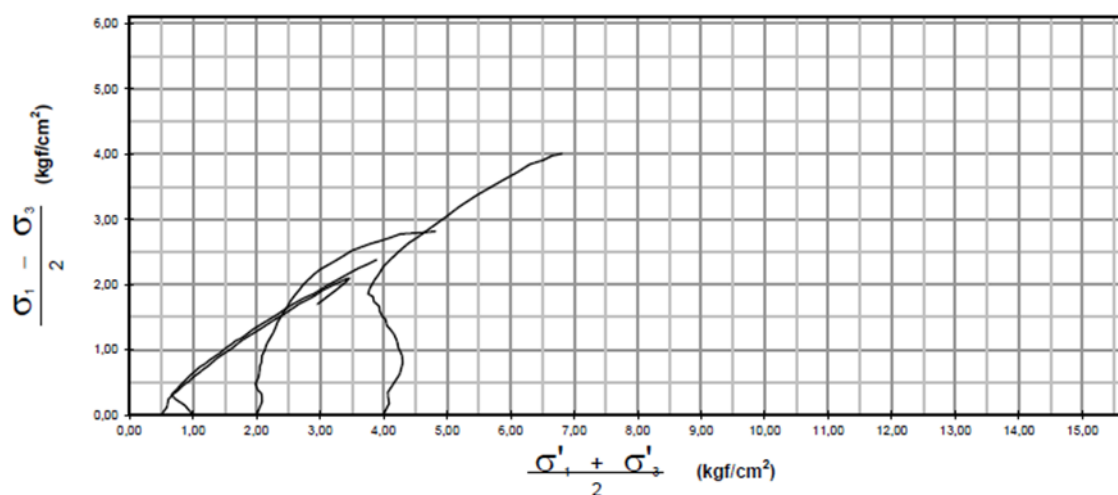


Figura 8.6 - Trajetória de Tensões (Am. 0052)

Para condições drenadas verifica-se que a resistência coesiva dos materiais é aproximadamente igual a 26 kPa, observando-se, ainda elevada resistência friccional, 33,3°. Esta maior resistência coesiva provavelmente deve-se a elevada resistência identificada para o CP submetido o cisalhamento com tensão confinante de 50 kPa, podendo indicar a redução da resistência cisalhante com o aumento da tensão efetiva.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 78/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

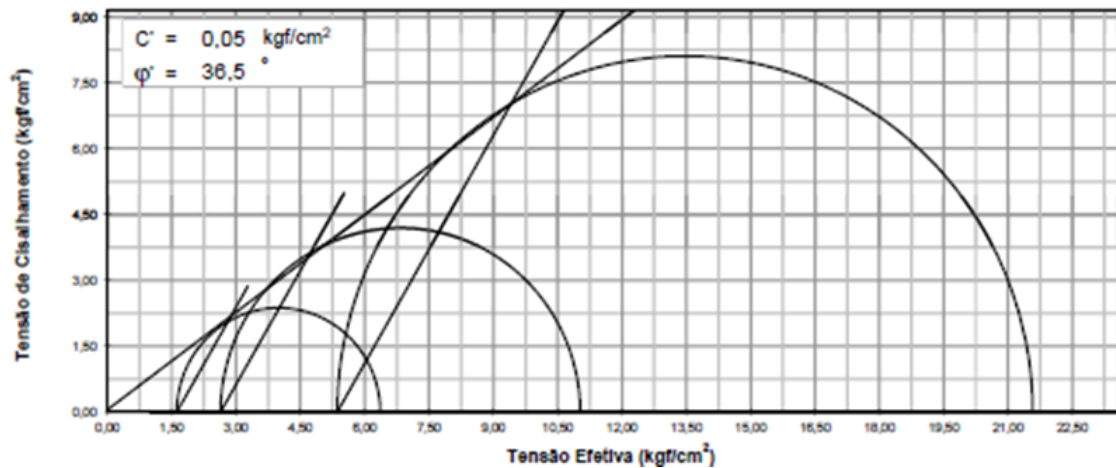


Figura 8.7 - Círculo de Mohr – Tensões Efetivas (Am. 0052)

Para condições não drenados verificou-se um aumento considerável da resistência coesiva, 120 kPa e redução da resistência friccional (20,7°). Trata-se de um comportamento esperado.

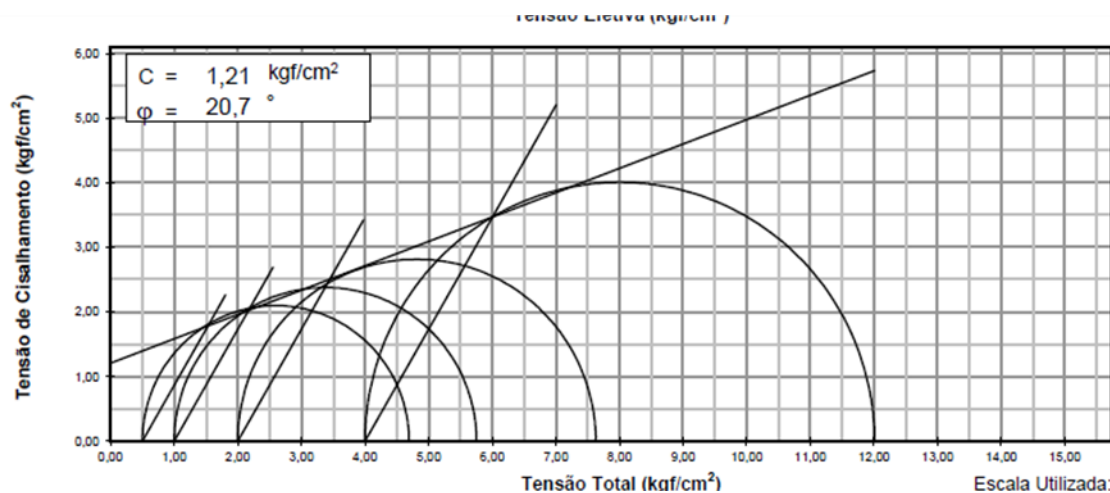


Figura 8.8 - Círculo de Mohr – Tensões Totais (Am. 0052)

8.6.2.2 Amostras com 1 CP's

Para fins de determinação dos parâmetros de resistência e, em particular das trajetórias de tensões durante o cisalhamento, foram coletadas amostras de rejeitos em diversos pontos da barragem, com a realização de ensaios CIU e CID para um único CP. A seguir apresentam-se os resultados.

				RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4				Nº HERCULANO	PÁGINA 79/148
				Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

Tabela 8.4 - Interpretação dos ensaios em rejeito com apenas um CP

ID	Tipo de Ensaio	Tensão Confinante (kPa)	Material	Características do Ensaio	ϕ' (°) ($c' = 0$ kPa)
0025	CIU	100	Rejeito escavada da B2/B3 após o evento de 2014 e armazenado na porção de montante da área da Tromba. SM-25A, de 7 a 8 m	Desenvolvimento de excessos de poropressão positivos até 1% de deformação axial, passando a desenvolver sucção a partir deste momento. Deformação de pico igual a 16%. Ensaio realizado até 30% de deformação. Não ocorre equilíbrio da tensão desviadora (estado quase estático?)	42,1
0397	CIU	100	Porção central da barragem B1, PzC 02, de 7 a 8 m, em local com resistência não drenada mais reduzida (ensaio de palheta).	Desenvolvimento de excessos de poropressão positivos até 1% de deformação axial, passando a desenvolver sucção a partir deste momento. Deformação de pico igual a 30%. Ensaio realizado até 30% de deformação. Tensão desviadora equilibra apenas no final do ensaio.	39,1
0398	CIU	250	Porção central da barragem B1, PzC 02, de 18,5 a 19,5 m, em local com resistência de ponta reduzida (CPTu)	Desenvolvimento de excessos de poropressão positivos até 1,6% de deformação axial, passando a desenvolver sucção a partir deste momento. Deformação de pico igual a 30%. Ensaio realizado até 30% de deformação. Tensão desviadora equilibra apenas no final do ensaio.	39,8
	CID	250		Deformação de pico com 8%, apresentando contração até 5% de deformação axial, passando a apresentar dilatação a partir deste ponto.	40,3
0399	CIU	400	Porção central da barragem B1, PzC 02, de 23,7 a 25,3 m, em local com resistência de ponta reduzida (CPTu)	Pico de excesso de poropressão com 3% de deformação axial, com poropressões positivas ao longo de todo ensaio. Deformação de pico igual a 14%. Ensaio realizado até 30% de deformação. Redução da tensão principal menor ao longo do ensaio. Aparentemente equilíbrio quase estático	36,7
	CID	400		Deformação de pico com 10%, apresentando contração até 7% de deformação axial, passando a apresentar dilatação a partir deste ponto.	38,7
0829	CIU	50	Barragem B1, PzC14, de 3 a 4 m	Pico de excesso de poropressão com 0,4% de deformação axial, passando a desenvolver poropressões negativas a partir deste ponto.	62,4

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	80/148 REV. 1

ID	Tipo de Ensaio	Tensão Confinante (kPa)	Material	Características do Ensaio	φ' (°) ($c' = 0$ kPa)
				Deformação de pico igual a 16%. Ensaio realizado até 30% de deformação. Aumento da tensão principal menor ao longo do ensaio. Não há estabilização da tensão principal menor.	
	CID	600		Deformação de pico com 6% de deformação axial, apresentando contração até 0,84% (ϵ_v). Deformações volumétricas pouco estabilizadas ao longo do ensaio.	39,5
0832	CIU	100	Barragem B1, PzC24, de 5 a 6 m, no reservatório do dique da B1.	Pico de excesso de poropressão com 0,25% de deformação axial, passando a desenvolver poropressões negativas a partir deste ponto. Deformação de pico igual a 10%. Ensaio realizado até 30% de deformação. Aumento da tensão principal menor ao longo do ensaio, com estabilização após 12% de deformação axial.	40,0
0835	CIU	200	Barragem B1, PzC33, de 15 a 16 m, rejeito remanescente do evento de 2014.	Pico de excesso de poropressão com 2,0% de deformação axial, passando a desenvolver poropressões negativas a partir deste ponto. Deformação de pico igual a 30%. Ensaio realizado até 30% de deformação. Tensão principal menor no final do ensaio similar a tensão principal menor no princípio do ensaio. Não há estabilização da tensão principal menor.	39,0
	CID	200		Deformação de pico com 10% de deformação axial, apresentando contração até 0,83% (ϵ_v), passando a dilatar. Não ocorre estabilização das deformações volumétricas.	40,0
0838	CIU	150	Barragem B1, PzC33, de 9 a 10 m, rejeito remanescente do evento de 2014.	Pico de excesso de poropressão com 0,90% de deformação axial, passando a desenvolver poropressões negativas a partir deste ponto. Deformação de pico igual a 14%. Ensaio realizado até 30% de deformação.	37,1

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 81/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

ID	Tipo de Ensaio	Tensão Confinante (kPa)	Material	Características do Ensaio	ϕ' (°) ($c' = 0$ kPa)
				Aumento da tensão principal menor ao longo do ensaio, com estabilização após 16% de deformação axial.	
	CID	400		Deformação de pico com 7% de deformação axial, apresentando contração até 0,32% (ϵ_v), passando a dilatar até cerca de 15% de deformação axial, quando as variações volumétricas se estabilizaram (e_c).	36,7
0839	CIU	300	Barragem B1, PzC33, de 19 a 20 m, rejeito remanescente do evento de 2014.	Pico de excesso de poropressão com 1,2% de deformação axial, passando a desenvolver poropressões negativas a partir deste ponto. Deformação de pico igual a 25%. Ensaio realizado até 30% de deformação. Aumento da tensão principal menor ao longo do ensaio.	36,9
	CID	600		Deformação de pico com 9%, apresentando contração até 1,36% (ϵ_v) de deformação axial, com variações volumétricas mínimas a partir deste ponto.	39,8

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 82/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

Amostras com 5 CP's

Para fins de validação dos resultados foram realizadas análises laboratoriais dos materiais em condições bastante críticas. Optou-se pela realização de ensaios para uma amostra com elevado percentual de finos, superior a 90%, selecionada diretamente no reservatório da B1.

A amostra foi coletada deformada, realizando-se a medição da densidade, da umidade e dos teores in situ. A amostra selecionada apresentou um percentual de Fe igual a 46,33%, umidade de 25,5% e densidade seca de 1,91 t/m³.



Material argiloso amostrado no reservatório da estrutura. Foi selecionado, estrategicamente, material com umidade mais elevada, buscando simular condições críticas da estrutura.

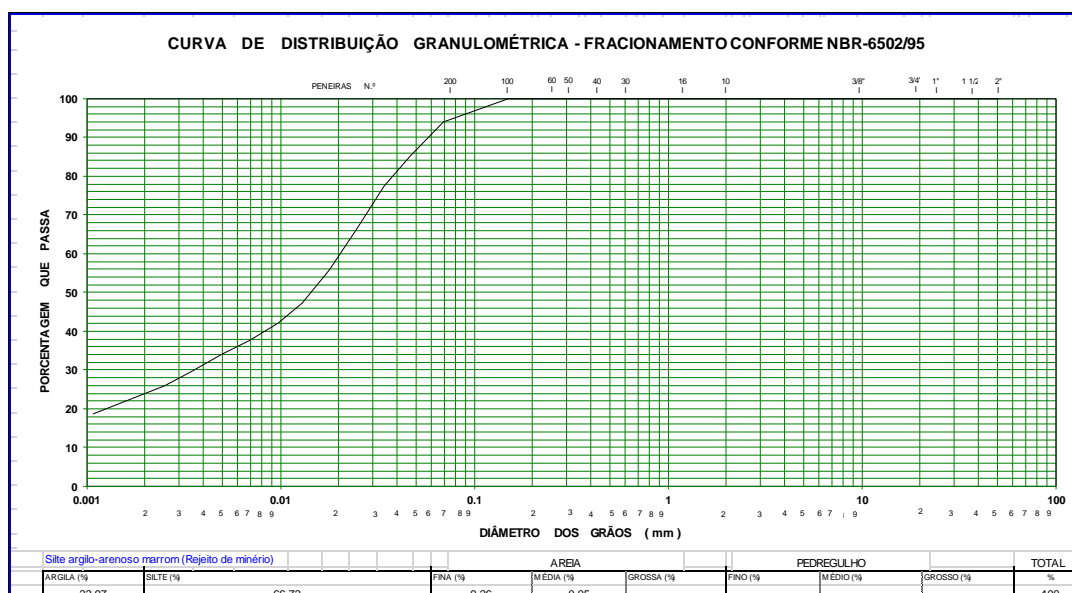


Figura 8.9 – Ensaio granulométrico

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 83/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

Este material apresenta uma densidade dos grãos de $3,714 \text{ g/cm}^3$, sendo moldado com uma umidade igual a 24%. O ensaio triaxial realizado para estas condições de moldagem extremas confirmou os resultados dos ensaios anteriores, apresentando coesão igual a 2 kPa e ângulo de atrito igual a $36,1^\circ$.

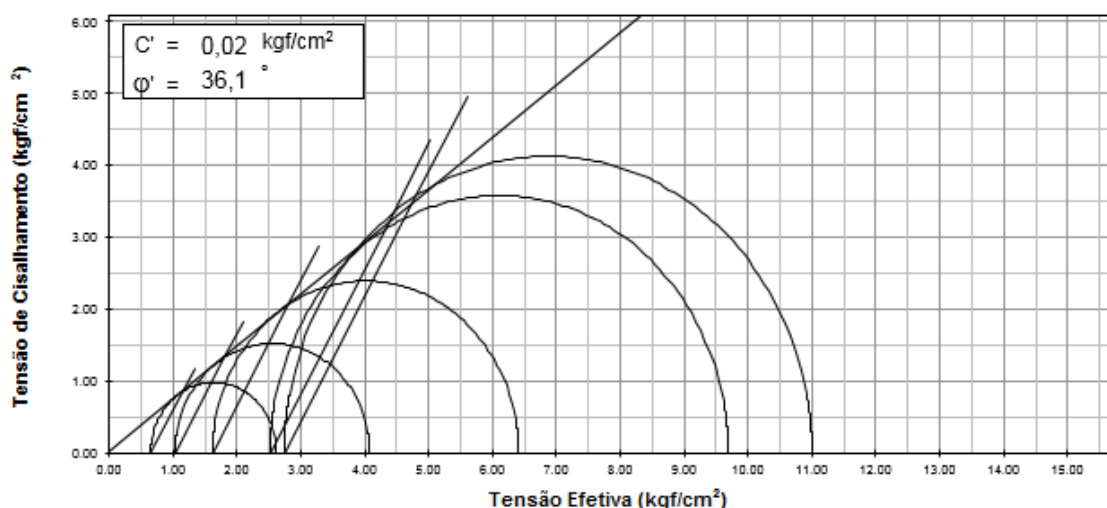


Figura 8.10 – Ensaio Triaxial para 5 CPs | $e_{inicial} = 0,99$ | $w = 24,1\%$

Para fins de análise geotécnica considerou-se os seguintes parâmetros para resistência drenada:

Tabela 8.5 - Parâmetros de Resistência Drenada

Característica do Rejeito	Peso Específico (KN/m^3)	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito Φ ($^\circ$)
Rejeito	22	5	35
Rejeito Fofo (baixa resistência SPT ou CPTu)	18	2	30

Conforme pode ser observado, trata-se de parâmetros de resistência inferiores àqueles identificados nos ensaios de laboratório. Optou-se por uma análise mais conservadora considerando a dificuldade de amostragem de materiais de menor resistência, bem como as distorções provocadas pelas condições de amostragem, transporte até o laboratório, acondicionamento e de representatividade do ensaio em laboratório versus condições efetivas de campo.

8.7 SUSCEPTIBILIDADE DOS REJEITOS AO FENÔMENO DA LIQUEFAÇÃO

A determinação da susceptibilidade dos rejeitos à liquefação envolve considerar, necessariamente se as condições requeridas para liquefação estão postas no rejeito

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 84/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

incluindo, necessariamente, a presença de rejeito saturados ou quase saturados, bem como se as características dos materiais envolvem sua susceptibilidade à liquefação.

No que se refere às propriedades do material, simplificadamente, estas características envolvem o índice de vazios, relação entre o volume de vazios (água ou ar) e o volume de sólidos, e as tensões a que o material está envolvido. A combinação destes parâmetros permite determinar a propensão do material em se expandir ou contrair durante o cisalhamento, determinando materiais susceptíveis ou não susceptíveis à liquefação. A combinação destes dois parâmetros é expressa pelo Parâmetro de Estado (ψ), a seguir detalhado.

Para as análises de susceptibilidade à liquefação considerou-se amplamente a realização de ensaios de piezocone (CPTu), os quais permitem a obtenção com precisão dos parâmetros necessários à verificação da susceptibilidade à liquefação.

Para os resultados de CPTu os parâmetros foram considerados fundamentais, sendo o primeiro o parâmetro de poropressão (B_q), que expressa a diferença entre a poropressão gerada durante o ensaio e a poropressão de equilíbrio, verificando-se comportamentos associados ao aumento de poropressões em carregamentos não drenados além de verificar-se o tempo de dissipação do excesso de poropressões geradas (ensaios de dissipação).

Considerou-se ainda a realização de ensaios de resistência do tipo palheta (Vane Test) para correlacionar a resistência não drenada (S_u) diretamente obtida em campo com as estimativas realizadas por correlações.

Na barragem B1 foram realizados 13 ensaios de CPTu avançando integralmente sobre os rejeitos depositados no reservatório. Em 2020 foram realizados 10 novos ensaios, os quais ainda estão em processamento.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 85/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1



Figura 8.11 - Posição dos ensaios de CPTu realizados, barragem B1.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 86/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

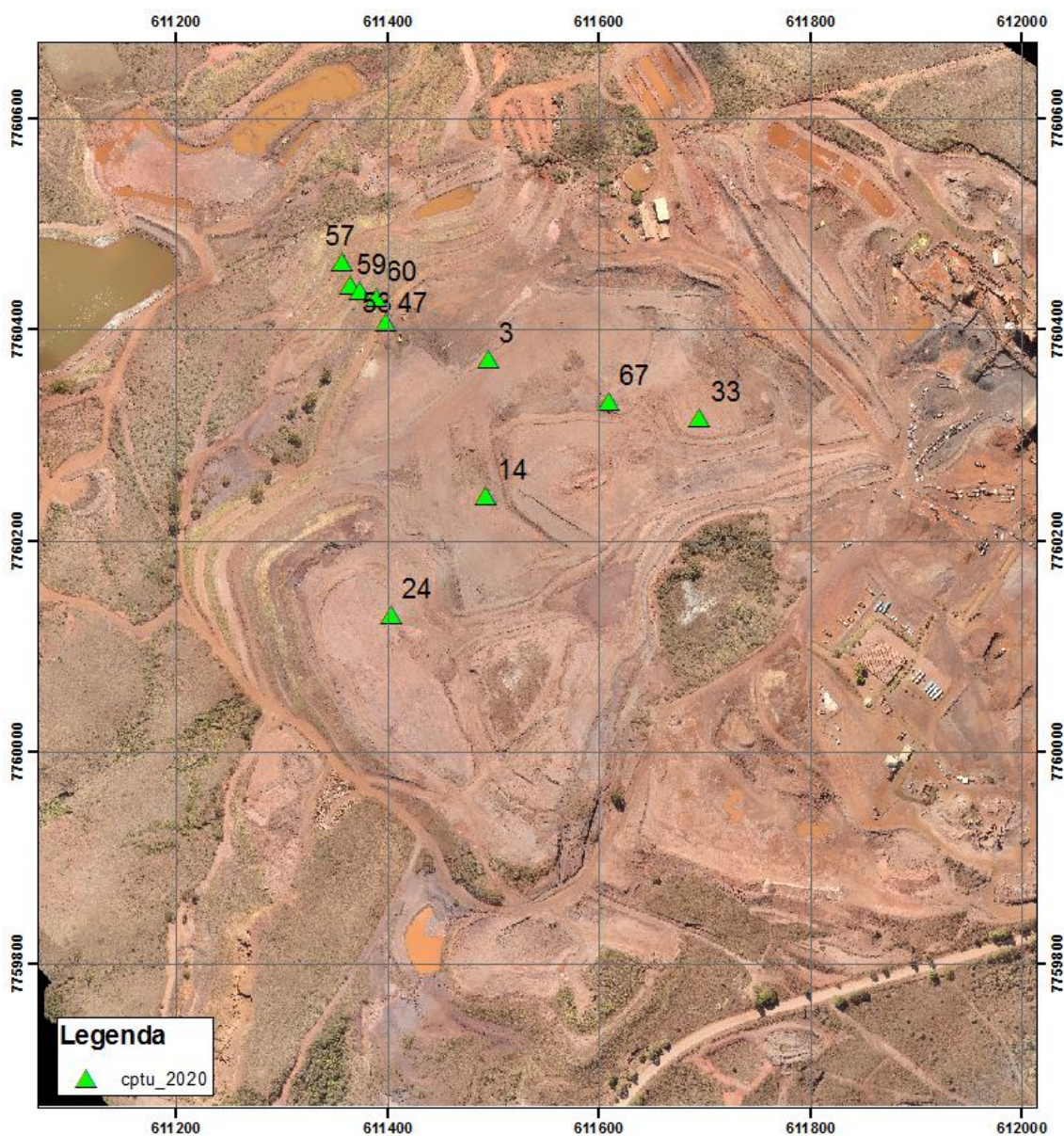


Figura 8.12 - Posição dos ensaios de CPTu realizados em 2020, barragem B1.

Outras variáveis são consideradas relevantes para avaliação do comportamento para liquefação, tais como a plasticidade do material e sua granulometria, para os quais serão apresentados comentários.

8.7.1.1 Variações de Volume, Resistência não drenagem e liquefação

Diferentes condições de carregamento podem induzir a liquefação estática. Uma das condições possíveis é a ocorrência de um cisalhamento rápido. Neste caso, quando a trajetória de tensões atinge o envelope de resistência é atingida a condição e liquefação. Como a resistência ao cisalhamento reduz em função do incremento rápido da

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 87/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

poropressão, a trajetória de tensões reduz-se rapidamente, até atingir um nível de baixa de resistência, denominado resistência liquefeita.

No segundo caso, ao invés de se carregar rapidamente o solo, o material pode ser lateralmente descarregado, por espalhamento horizontal. Neste caso o descarregamento é realizado lentamente em condições drenadas. Quando é atingido o envelope de resistência ocorre a mesma redução de para condições de pós gatilho.

Verifica-se, portanto, que tanto para condições de carregamentos rápidos quanto lentos podem ocorrer fenômenos de liquefação. Desta maneira é fundamental avaliar as condições intrínsecas do material, comportamento muito mais amplo que necessariamente as condições de carregamento. Isto porque, ainda se sejam impostas, caso os materiais apresentem características dilatantes a liquefação não irá ocorrer.

Desta maneira a propriedade mais importante é a tendência de variação de volume durante o cisalhamento. Conforme já antecipado este comportamento é dependente de dois fatores: (a) o índice de vazios caracteriza o material como compacto ou fofo e (b) o nível de tensão a que está submetido.

Para um mesmo índice de vazios o material pode ser considerado dilatante ou contrátil, dependendo da tensão a que está submetida. A linha de estado crítico (CSL) delimita a divisória entre materiais dilatantes (não susceptíveis à liquefação) e contrativos (susceptíveis à liquefação).

Desta condição uma característica fica evidenciada, para maiores níveis de tensão o percentual de materiais susceptíveis à liquefação é consideravelmente elevado.

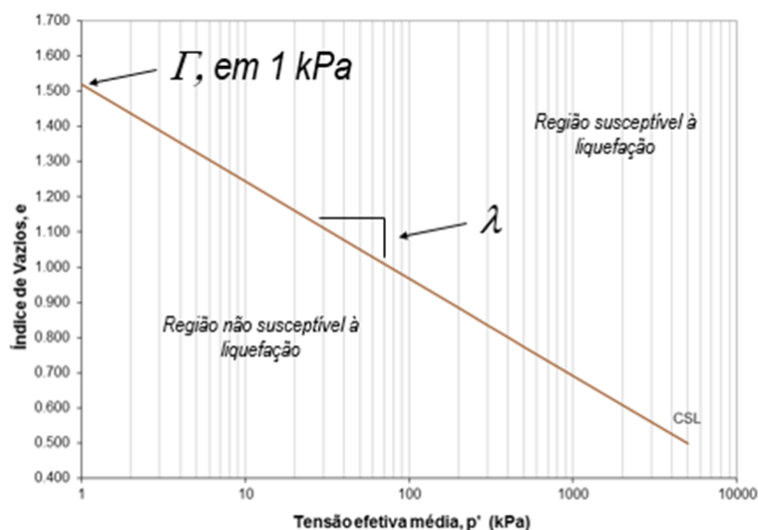


Figura 8.13 - Linha de Estado Crítico - CSL

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 88/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

Materiais com $\psi > 0$ são considerados contráteis enquanto $\psi < 0$ são considerados dilatantes. Na prática, conforme recomendação de Shuttle e Cuning (2008), materiais com $\psi > -0,05$ são considerados como contráteis, apresentando susceptibilidade à liquefação.

Nesta base, os seguintes percentuais de materiais amostrados são considerados contráteis ou dilatantes são os seguintes:

Tabela 8.6 - Parâmetros de Resistência Drenada

CPTu	$\psi < 0,00$	$0,00 < \psi < -0,05$	$\psi > -0,05$
B1-CPTu-02	16%	36%	48%
B1-CPTu-03	0%	5%	95%
B1-CPTu-04	45%	6%	48%
B1-CPTu-07	7%	11%	82%
B1-CPTu-08	0%	0%	100%
B1-CPTu-13	0%	0%	100%
B1-CPTu-14	3%	22%	76%
B1-CPTu-23	0%	0%	100%
B1-CPTu-24	9%	14%	77%
B1-CPTu-25	23%	8%	68%
B1-CPTu-33	24%	16%	60%
B1-CPTu-34	6%	32%	62%
B1-CPTu-37	3%	10%	86%

Conforme pode ser observado, para esta análise os furos B1-CPTu-03, B1-CPTu-07, B1-CPTu-08, B1-CPTu-13, B1-CPTu-14, B1-CPTu-23, B1-CPTu-34 e B1-CPTu-37 apresentam percentuais bastante elevados de materiais com comportamento tipicamente dilatante, podendo ser considerados como não passíveis de liquefação.

Os furos B1-CPTu-02, B1-CPTu-25, B1-CPTu-33 e B1-CPTu-34 apresentam comportamento intermediário, podendo ser considerados de comportamento múltiplo.

Os resultados que indicam o maior potencial de liquefação referem-se especialmente ao furo B1-CPTu-04, apresentando-se grande parte dos materiais posicionados na zona considerada puramente contrátil. Nesta região, destaca-se, foi realizado furo de sondagem com a coleta de testemunho e envio de materiais para análise laboratorial. Estes resultados indicam a presença de materiais de fundação de baixa resistência, com elevada presença de argilominerais, não sendo aplicáveis as correlações para determinação do parâmetro de estado, tampouco para determinação do potencial de liquefação.

Todos estes resultados indicam baixa susceptibilidade à liquefação, o que é confirmado pela pequena dimensão dos eventos ocorridos em 2014. Rupturas por liquefação, tipicamente, após atingido a resistência de pico (gatilho), resultam em rupturas de grandes dimensões, ao contrário do observado naquela oportunidade.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 89/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

8.7.2 Dissipação da Poropressão

De acordo com um grande número de pesquisadores (Finnie & Randolph 1994, Chung et al. 2006, Kim et al. 2008), a transição da condição completamente não drenada para drenada ocorre, para os CPT típicos utilizados em mercado (10 cm²) com avanço a uma taxa de 2 cm/s, para t_{50} igual a 30 s. Desta forma, ensaios de dissipação com t_{50} inferiores a 30s indicariam comportamento completamente drenado e, acima disto, potencial de liquefação. De acordo com este critério os ensaios indicam susceptibilidade, apesar de verificaram-se tempos próximos daqueles considerados de transição.

Também é fundamental compreender que grande parte dos ensaios de CPTu foram realizados sem observação de geração de excessos de poropressão, o que justifica a realização de poucos ensaios de dissipação no rejeito (17) e de elevados tempos de dissipação quando este comportamento foi experimentado.

Este resultado indica perfis tipicamente não susceptíveis à liquefação intercaladas por zonas com rejeito fofo, saturados ou quase saturados, susceptíveis à liquefação.

Tabela 8.7 - Ensaios de Dissipação

Furo	Profundidade (m)	t_{50} (s)
B1-CPTu-02	5,3	105
	11,9	41
	14,4	103
	22,7	36
B1-CPTu-03	4,2	201
	13,7	60
	37,4	58
B1-CPTu-04	5,6	199
	8,3	441
	10,0	82
	13,0	52
	17,0	244
	21,0	21
	24,7	67
	32,8	20
	35,0	18
B1-CPTu-07	13,0	45
	17,1	26
	23,0	158
B1-CPTu-08	6,2	1360
	9,0	211
	12,5	70
	15	11

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 90/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

Furo	Profundidade (m)	t ₅₀ (s)
	18	45
	21	51
	24	30
B1-CPTu-14	4,5	53
	20,5	115
	24,4	180
	27,4	39
B1-CPTU-23	8,2	752
B1-CPTU-24	4,8	22
	17,2	450
	18,3	322
	21,0	180
	26,3	224
	30,3	212
	32,4	173
B1-CPTU-25	7,6	103
	9,9	74
	18,4	76
	21,7	47
	25,0	115
	27,2	435
	30,6	147
	36,9	197
B1-CPTU-33	5,6	170
	9,4	23
	12	10
	15	165
	28,7	102
	30	58
	32,2	60
B1-CPTU-34	5,3	96
	11,9	160
B1-CPTU-37	7,2	167

Obs.: Itens em cinza indicam ensaio em rejeito

8.7.3 Saturação

A saturação é outra condição fundamental para que ocorra ruptura por liquefação. É fundamental considerar os resultados das seções nos controles de instrumentação, que exibem diversas seções com perfil de rejeito não saturado.

Para fins de análise será considerada a susceptibilidade à liquefação de todos os rejeitos saturados para a condição considerada crítica de saturação, qual seja, o nível de emergência. Desta maneira considera-se que a carta de risco é suficiente para avaliar o risco de liquefação decorrente de elevação do nível d'água e/ou por uma liquefação por causa indeterminada.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 91/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

8.8 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA EM CONDIÇÕES NÃO DRENADAS

Seis (6) furos CPTu foram combinados com a execução, na mesma praça, de ensaios de palheta, buscando determinar correlações entre a resistência não drenada medida “in situ” com os resultados observados no ensaio de CPTu.

Após uma ampla análise dos parâmetros medidos verificou-se uma correlação razoável entre a resistência de ponta normalizada Q_{cc} ($=Q(1-B_q)+1$) e a resistência não drenada de pico observado no ensaio de palheta.

Para o cálculo da resistência normalizada considerou-se as seguintes equações:

$$Q = \frac{(q_t - \sigma_v)}{\sigma'_v}$$

determinando, portanto, a resistência de ponta normalizada pela tensão vertical.

$$Q_{cc} = Q (1 - B_q) + 1$$

conforme sugerido por Houlsby (1988) a introdução do parâmetro de poropressão B_q garante maior diferenciação entre siltes argilosos e argilas siltosas para menores resistências de ponta.

Conforme pode ser observado no gráfico apresentado a seguir, traçou-se uma linha média, com correlação de 68%, bastante elevada, traçando-se uma linha delimitadora dos valores máximos e mínimos. Para fins de análise de estabilidade considerou-se a linha de resistência mínima, definida por:

$$Su/\sigma'_v = 0,05 + 0,012 Q_{cc}$$

Tabela 8.8 - Resistências não drenadas adotadas em função da resistência de ponta adimensional

Q_{cc}	Su/σ'_v
2 – 10	0,12
10 – 20	0,23
20 – 30	0,35
> 30	0,50

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 92/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

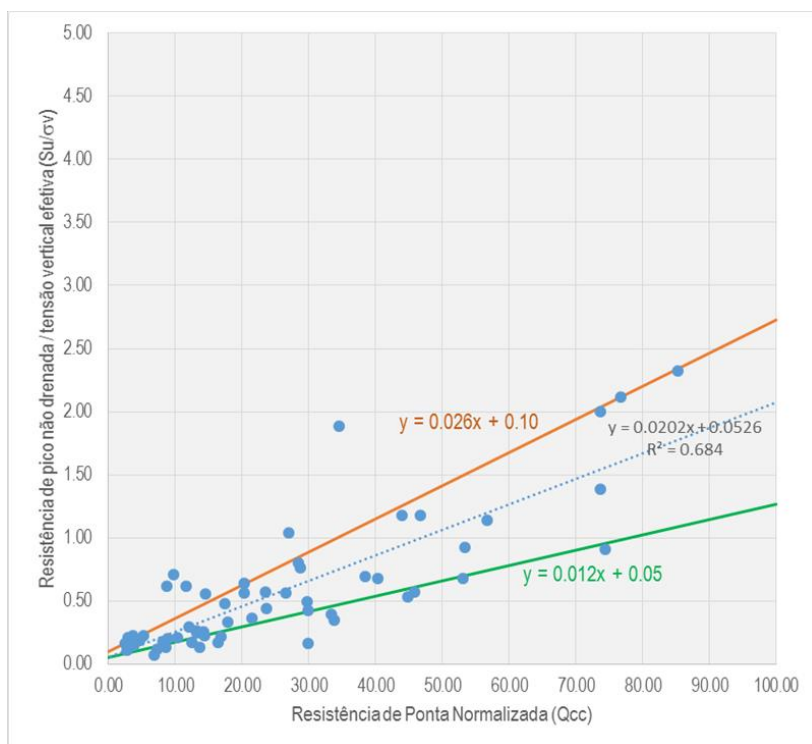


Figura 8.14 - Correlação S_u/σ'_v e Q_{cc}

Nas condições em que não foi possível distinguir a Q_{cc} do rejeito adotou-se resistência não drenada igual a $S_u/\sigma'_v = 0,23$, associado a uma resistência normalizada de menor que 20, correspondente a 20% dos rejeitos verificados na sondagem CPTu.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 93/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

9 CONTROLE DA INSTRUMENTAÇÃO

Conforme pode ser nas figuras em anexo, os instrumentos das barragens B1 e B4 apresentam-se tipicamente com variações pequenas, com alguns instrumentos mantendo leituras secas ao longo de todo o período.

Parte dos instrumentos apresentam-se com grandes variações sazonais, muito similares aquilo verificado em anexos anteriores. Estes instrumentos estão integralmente posicionados sobre a fundação e evidenciam a complexidade geológica / hidrogeológica das fundações.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 94/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

10 ANÁLISES DE ESTABILIDADE

As análises de constantes no RPSB continuam válidas para a maior parte das seções avaliadas uma vez que:

- (a) não houve modificações nos parâmetros de resistência;
- (b) não houve modificação da geometria. Nas seções em que houve modificação da geometria esta foi associada ao descarregamento do topo da superfície em análise, resultando em fator de segurança incremental;
- (c) As análises de estabilidade, tipicamente, ponderam condições de carregamento diferentes daquelas existentes em campo representando, assim, a condição de segurança da estrutura na eventualidade de elevação do NA (ou redução das tensões efetivas). Neste sentido são representativas da carta de risco, que permanece válida, não sendo atingidos níveis de emergência mesmo em condições críticas de precipitação, notadamente Janeiro de 2020;
- (d) Houve confirmação do perfil típico da barragem pela realização dos 10 novos furos de CPTu. Oportunamente estes serão detalhados, o que justificará a revisão dos fatores de segurança;
- (e) As variações piezométricas são consistentes com o histórico da estrutura.

A seguir são apresentadas seções representativas da estrutura, avaliando principalmente as modificações decorrentes das atividades de retomada.

As poropressões foram baseadas nos resultados críticos considerados na carta de risco e refletem uma condição de saturação superior àquela atualmente observada.

Nas análises foram considerados seguintes fatores de segurança mínimos:

Tabela 10.1 - Fatores de Segurança Mínimos Adotados

Parâmetros de resistência	Característica de poropressão	Fator de segurança mínimo
Tensões efetivas (resistência drenada)	^a Condição atual de poropressão	1,5
	^b Condição crítica de poropressão	1,3
Tensões totais	Não se aplica. O carregamento por tensões totais já considera a presença de carregamento rápido com saturação.	1,5
Pseudo-estática	Condição atual de poropressão.	1,1

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 95/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

Parâmetros de resistência	Característica de poropressão	Fator de segurança mínimo
Resistência não drenada de pico	Material com característica de baixa permeabilidade, que sob condições de carregamento não libera de imediato a água intersticial, gerando excesso de poropressão. Condição crítica de poropressão. Considerou-se como gatilho a elevação da poropressão.	1,3
Resistência não drenada residual *	Material com característica de baixa permeabilidade, que sob condições de carregamento não libera de imediato a água intersticial, gerando excesso de poropressão. Condição crítica de poropressão. Considerou-se como gatilho a elevação da poropressão.	1,1

* Parâmetro não definido na norma ABNT nº 13.028/2017 ou na resolução ANM nº 013/2019.

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
		Nº HERCULANO	PÁGINA
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	96/148 REV. 1

BARRAGEM B1/B4

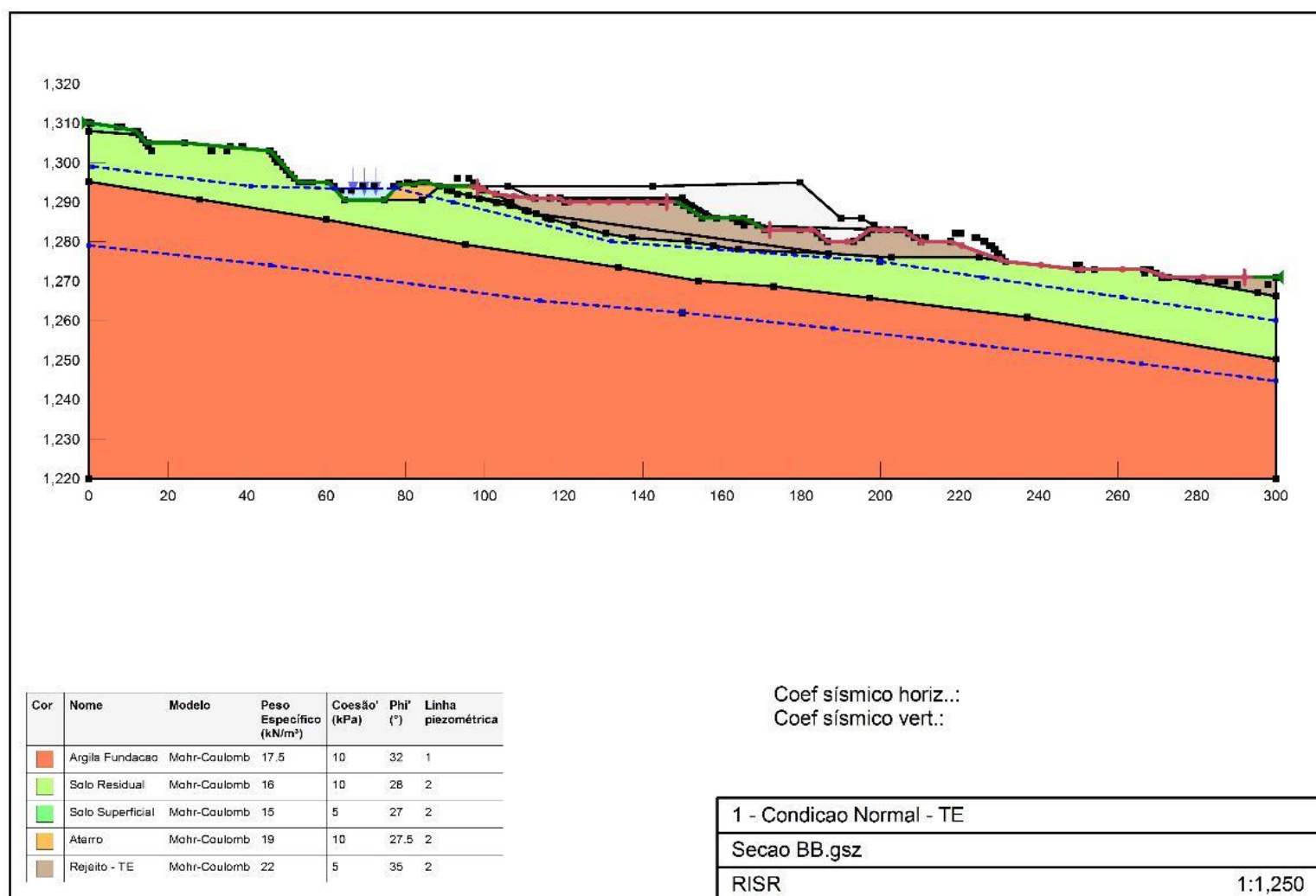


Figura 10.1 – Fator de Segurança – B01 – Seção BB – Seção de Modelagem

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
		Nº HERCULANO	PÁGINA
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	97/148 REV. 1

BARRAGEM B1/B4

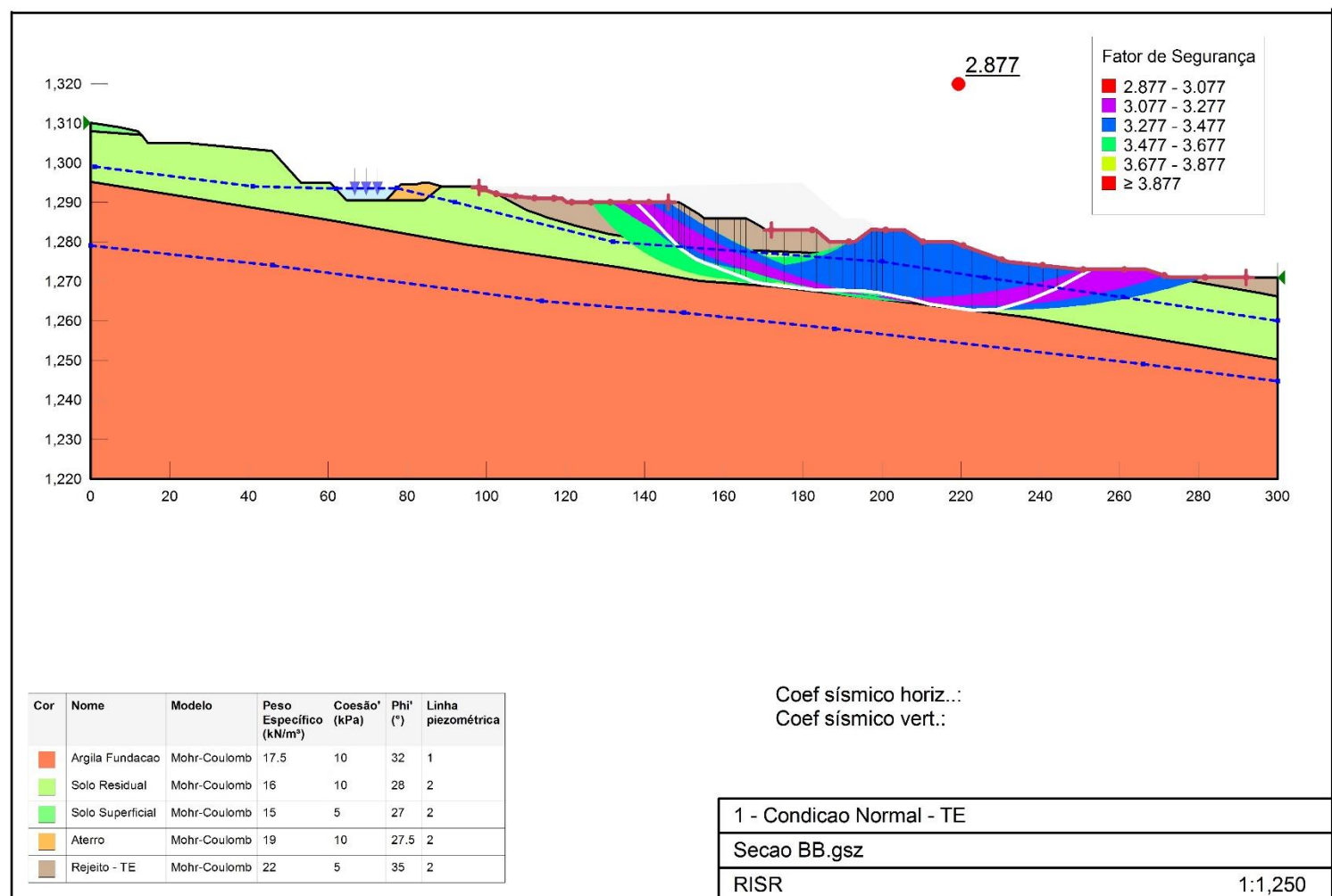


Figura 10.2 – Fator de Segurança – B01 – Seção BB – Condição Normal – Tensão Efetiva (FS = 2,877)

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	98/148 REV. 1

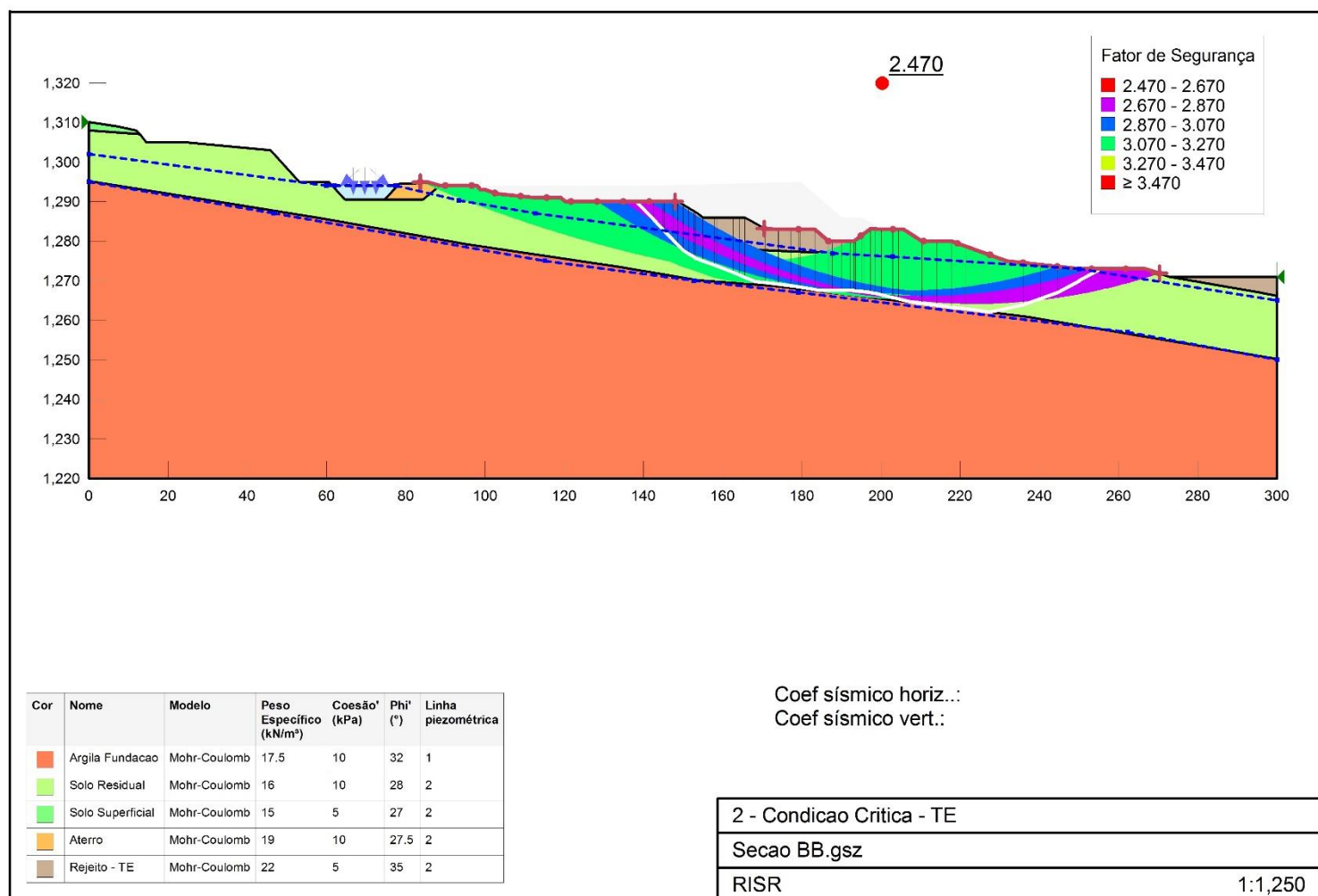


Figura 10.3 – Fator de Segurança – B01 – Seção BB – NA Crítico – Tensão Efetiva (FS = 2,470)

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
		Nº HERCULANO	PÁGINA
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	99/148 REV. 1

BARRAGEM B1/B4

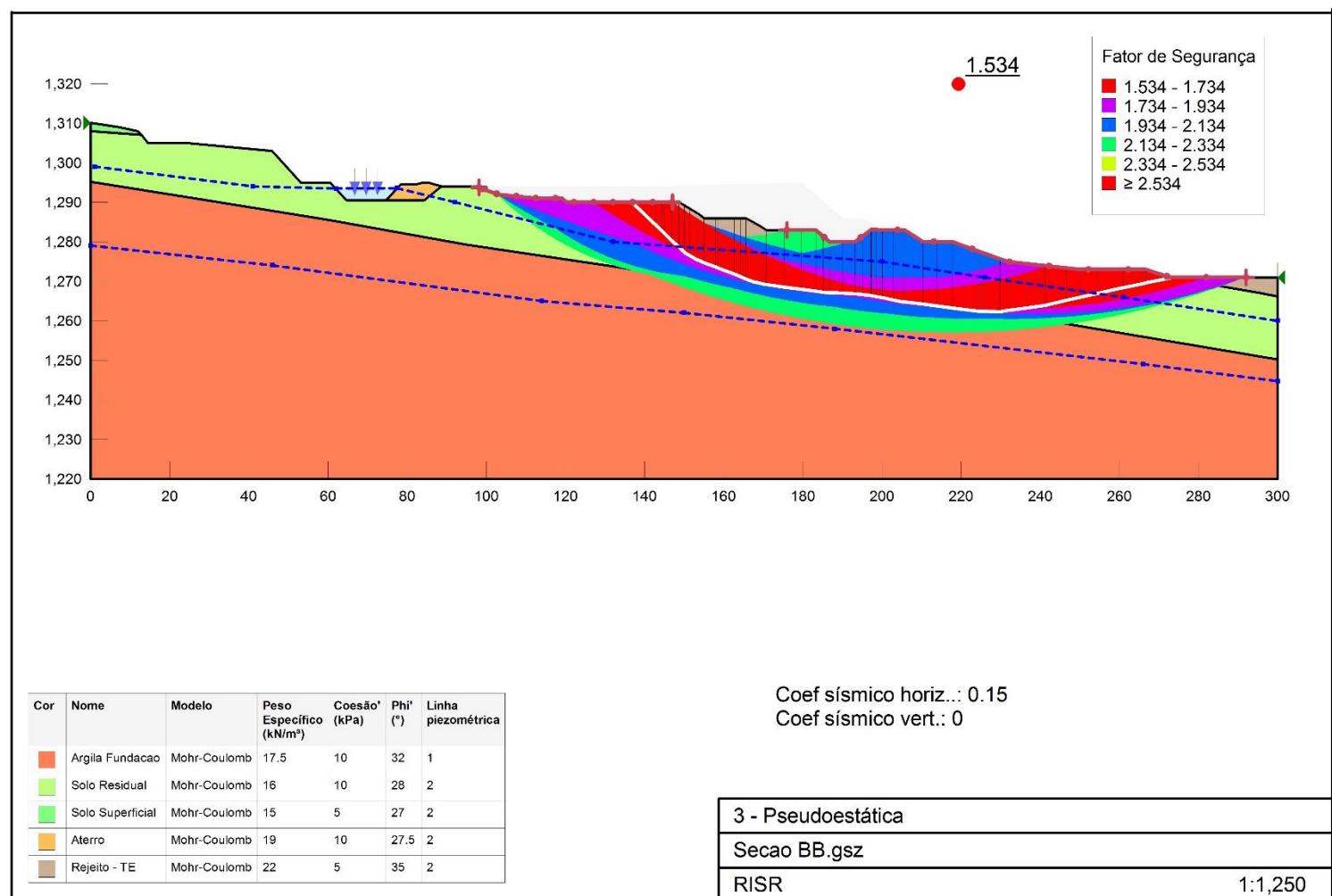


Figura 10.4 – Fator de Segurança – B01 – Seção BB – Pseudoestática (FS = 1,534)

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
		Nº HERCULANO	PÁGINA
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	100/148 REV. 1

BARRAGEM B1/B4

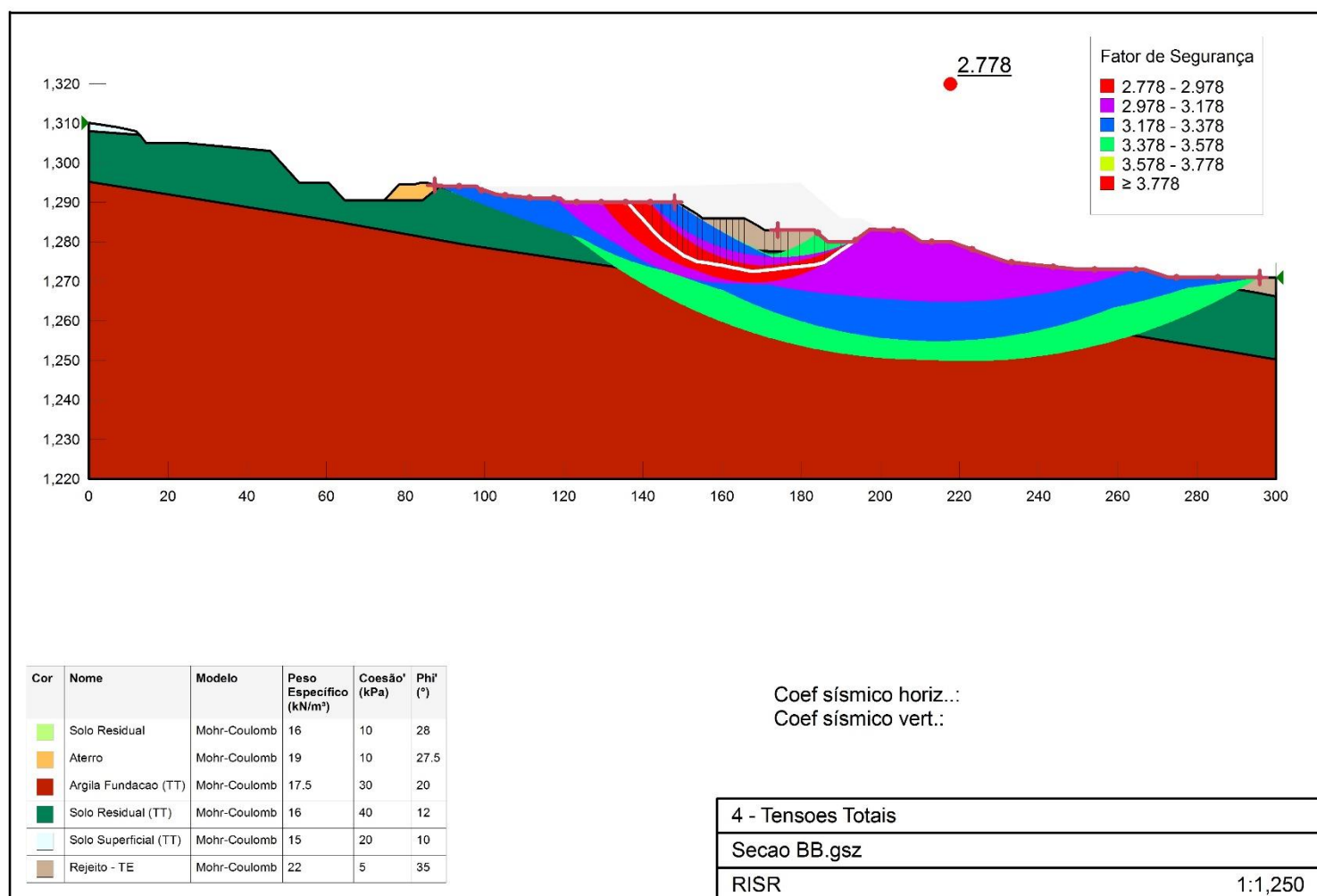


Figura 10.5 – Fator de Segurança – B01 – Seção BB – Tensões Totais (FS = 2,778)

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 101/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

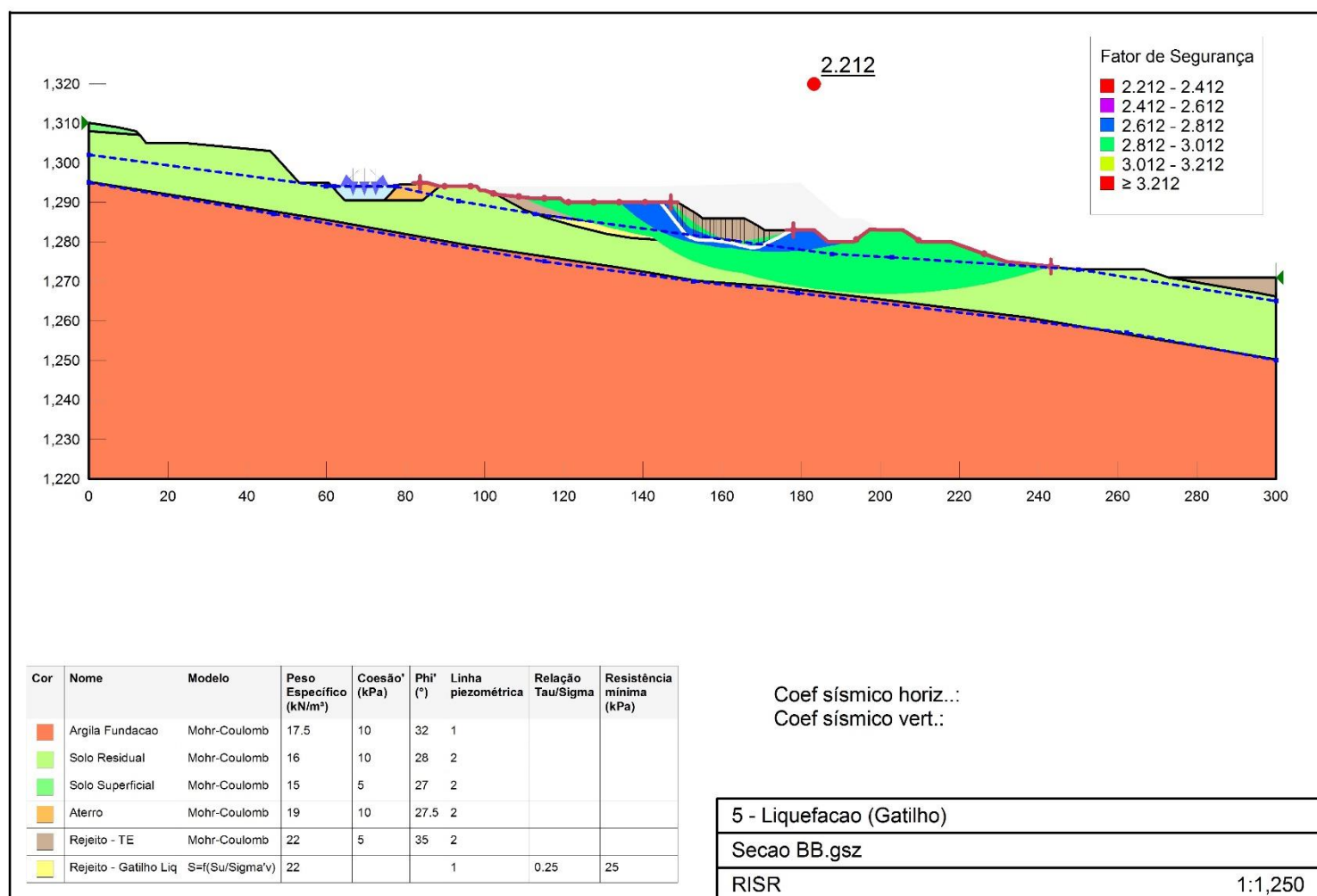


Figura 10.6 – Fator de Segurança – B01 – Seção BB – Liquefação - Gatilho (FS = 2,212)

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 102/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

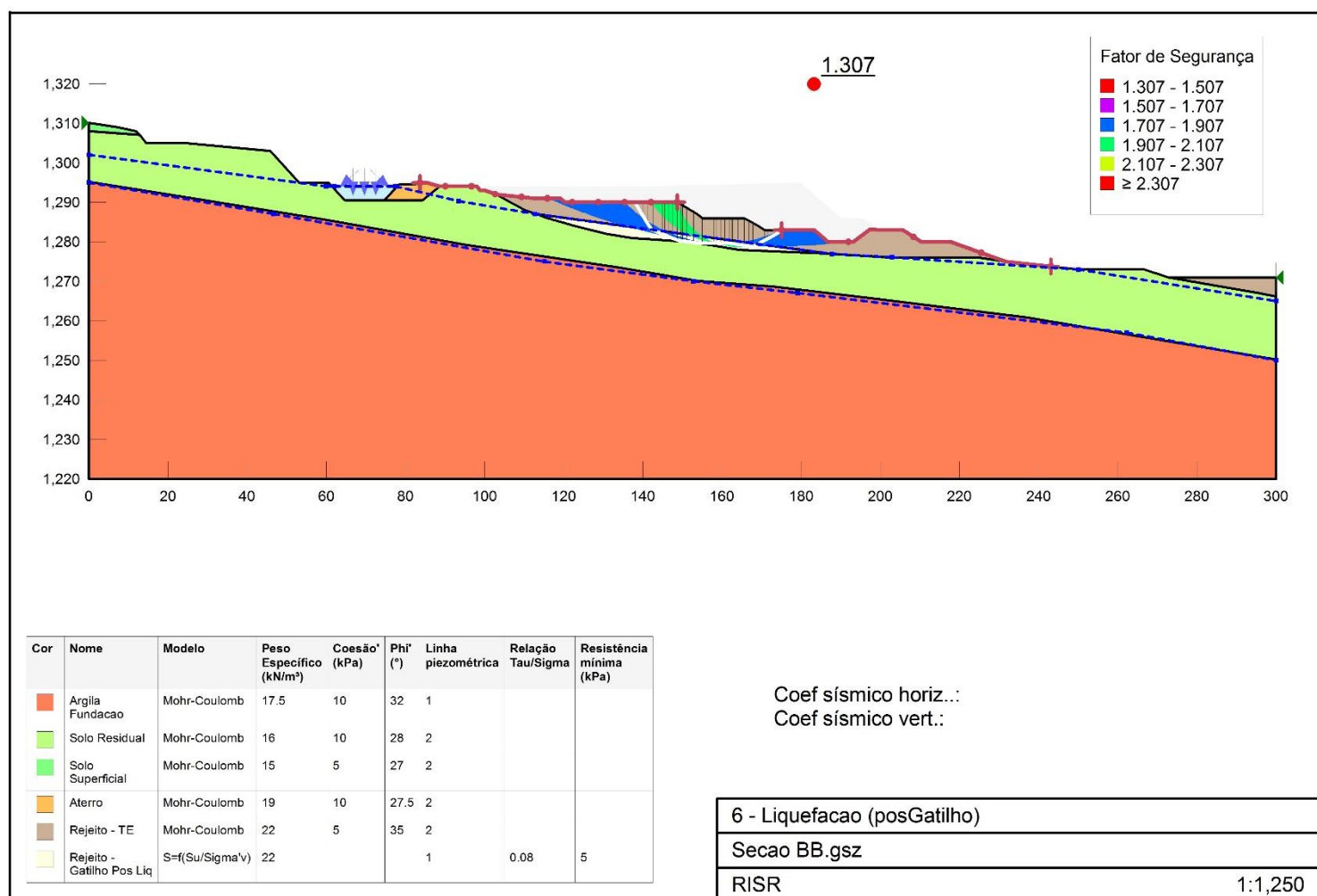


Figura 10.7 – Fator de Segurança – B01 – Seção BB – Liquefação – pós Gatilho (FS = 1,307)

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 103/148
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

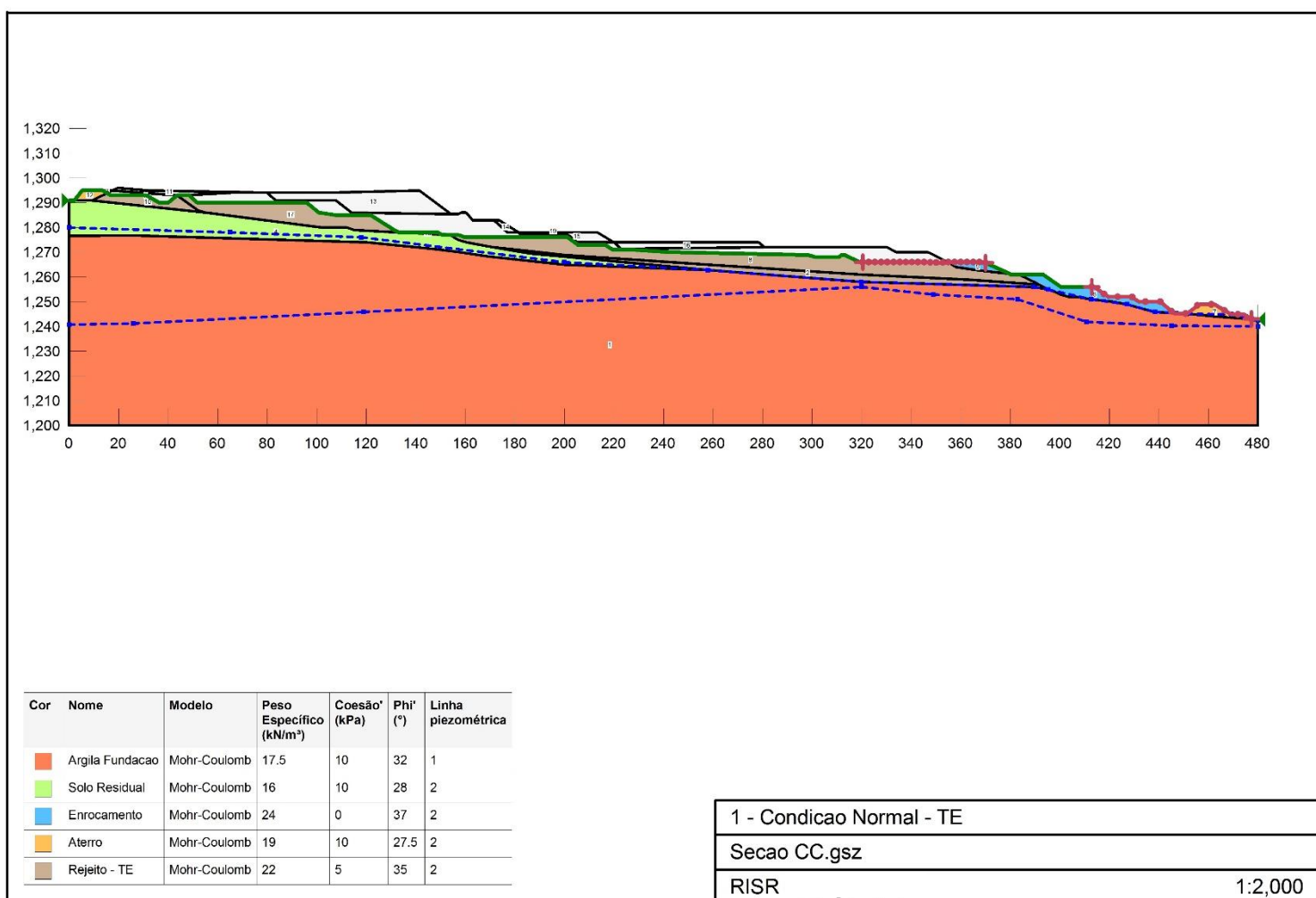


Figura 10.8 – Fator de Segurança – B01 – Seção CC – Seção de Modelagem

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 104/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

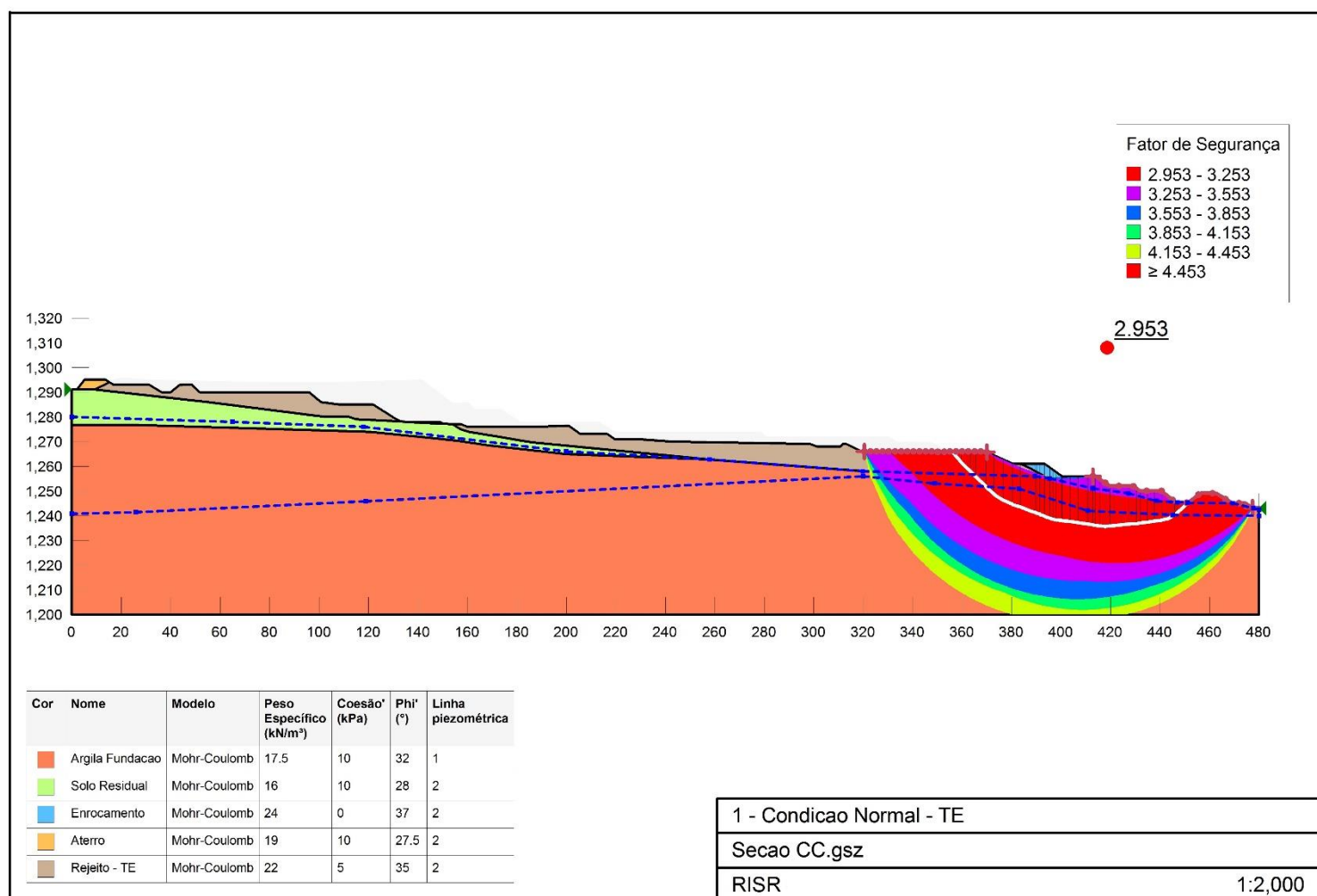


Figura 10.9 – Fator de Segurança – B01 – Seção CC – Condição Normal – Tensão Efetiva (FS = 2,953)

 HERCULANO MINERAÇÃO		 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4			Nº HERCULANO	PÁGINA 105/148
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

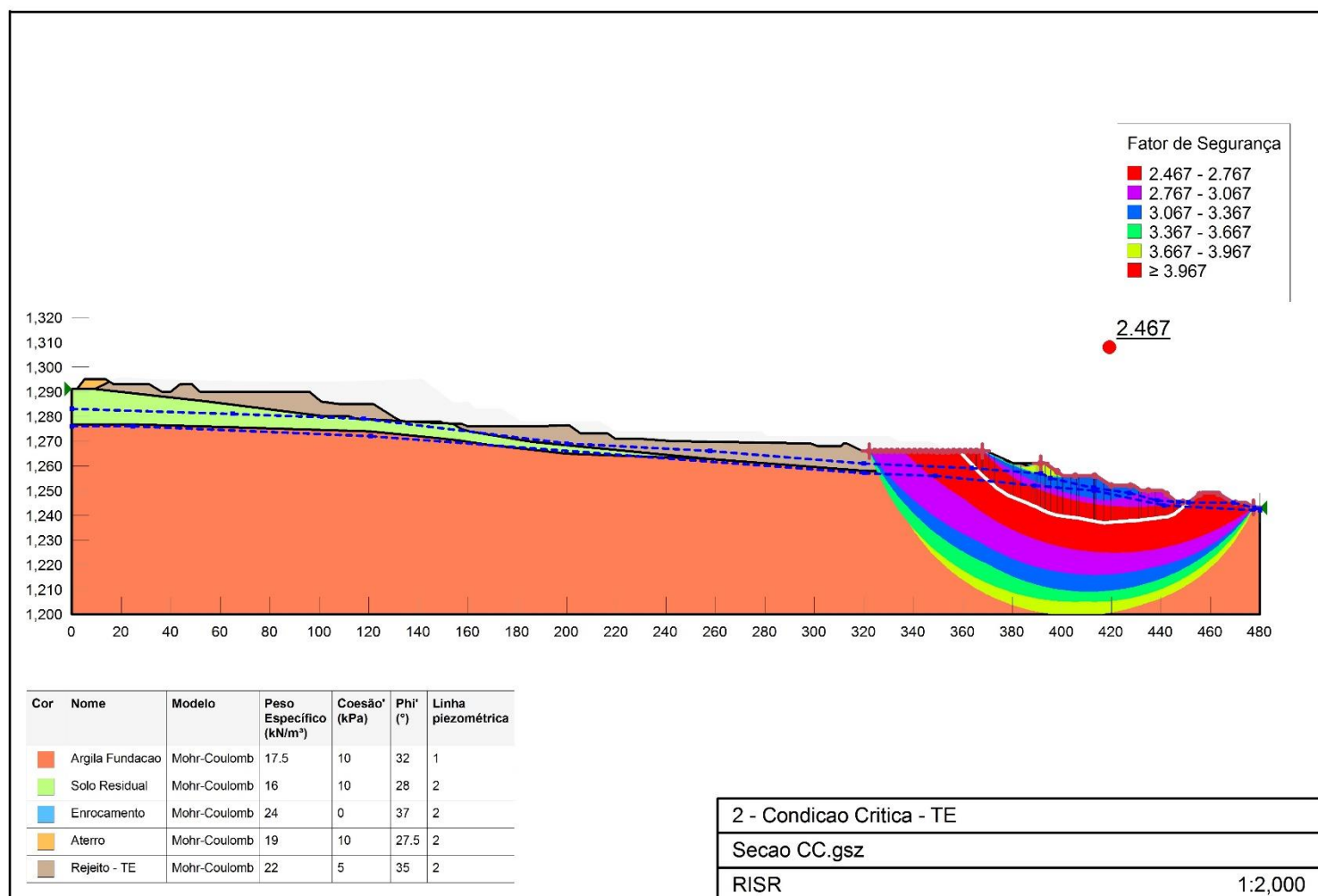


Figura 10.10 – Fator de Segurança – B01 – Seção CC – NA Crítico – Tensão Efetiva (FS = 2,467)

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 106/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

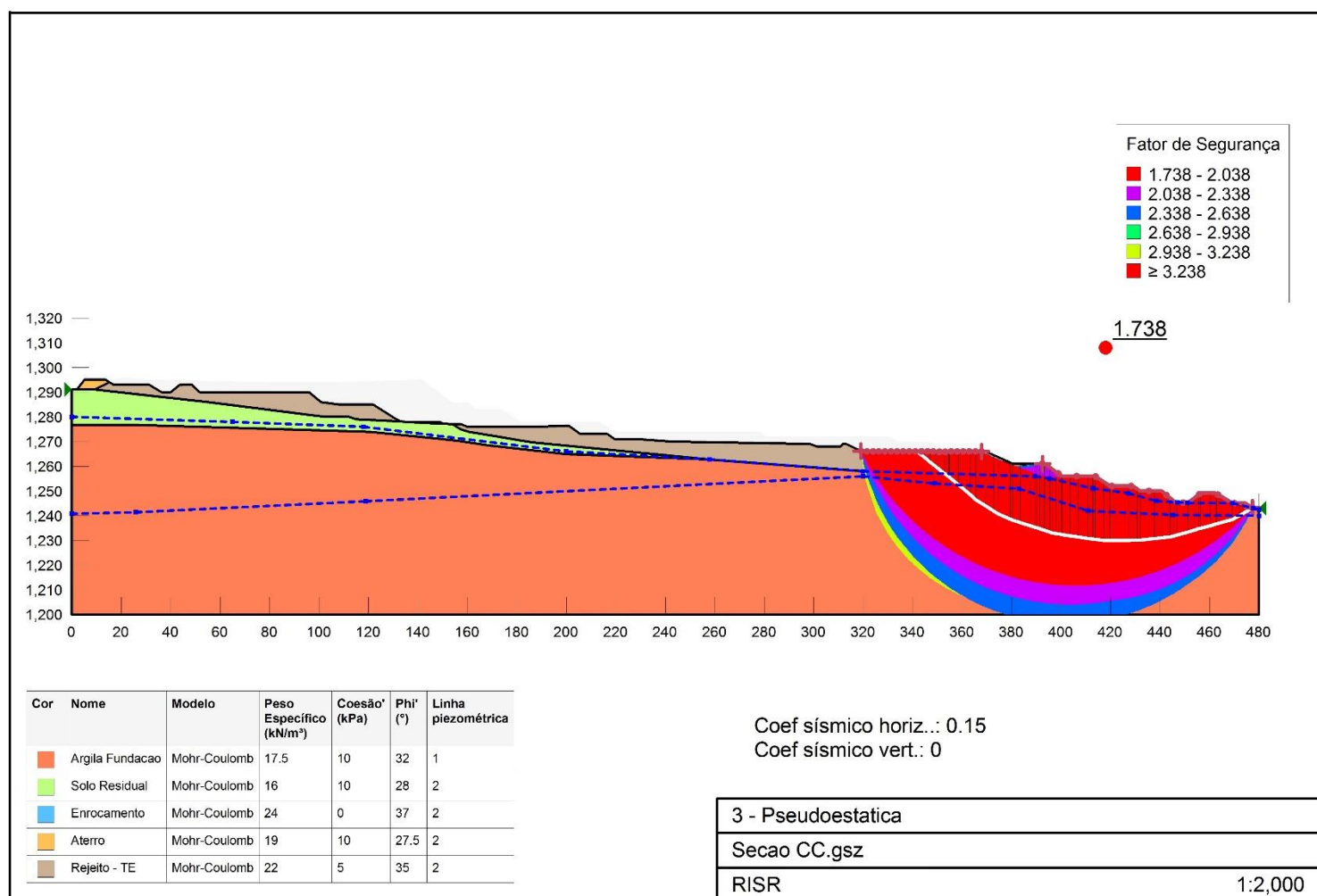


Figura 10.11 – Fator de Segurança – B01 – Seção CC – Pseudoestática (FS = 1,738)

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 107/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

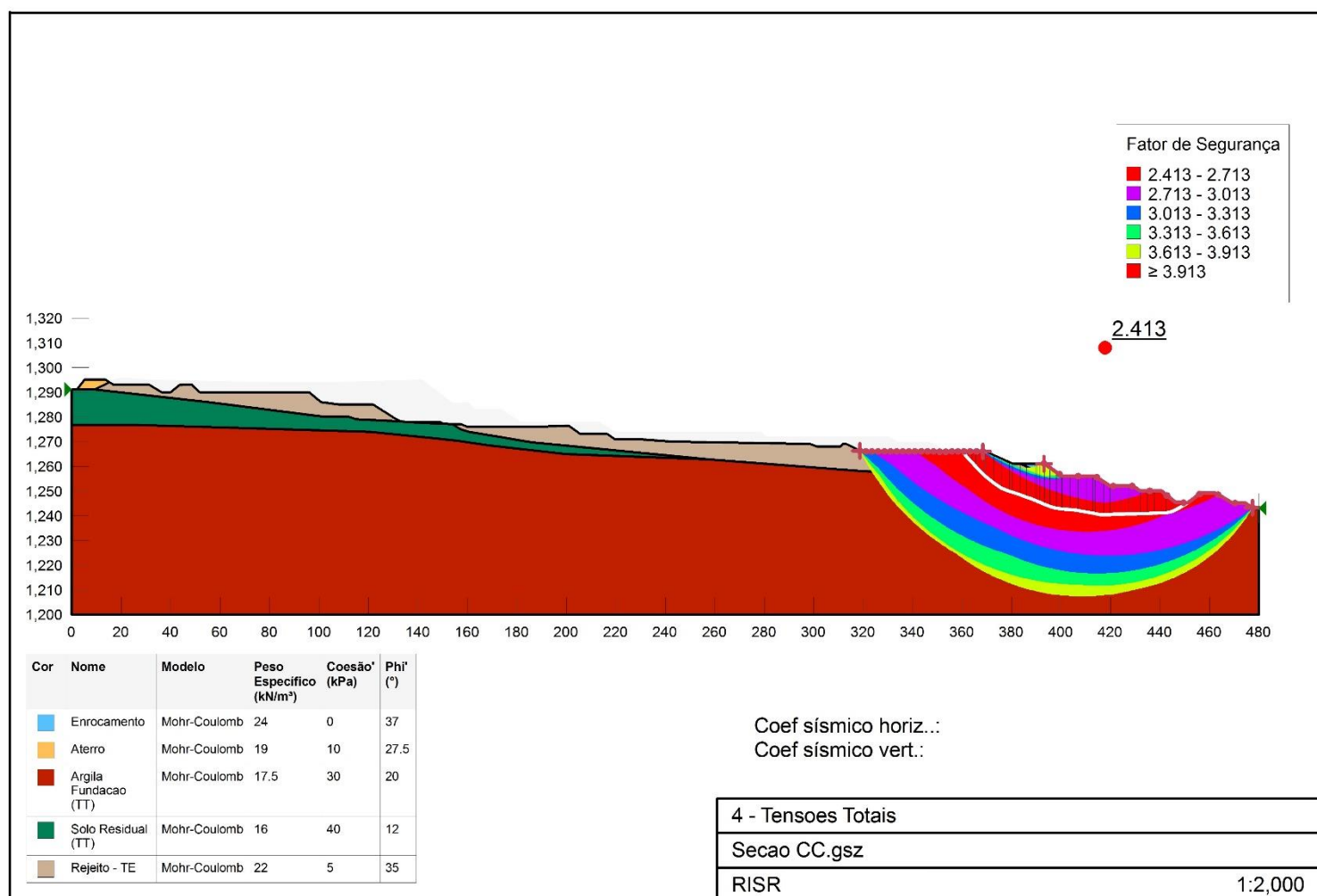


Figura 10.12 – Fator de Segurança – B01 – Seção CC – Tensões Totais (FS = 2,413)

 HERCULANO MINERAÇÃO		 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4			Nº HERCULANO	PÁGINA 108/148
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

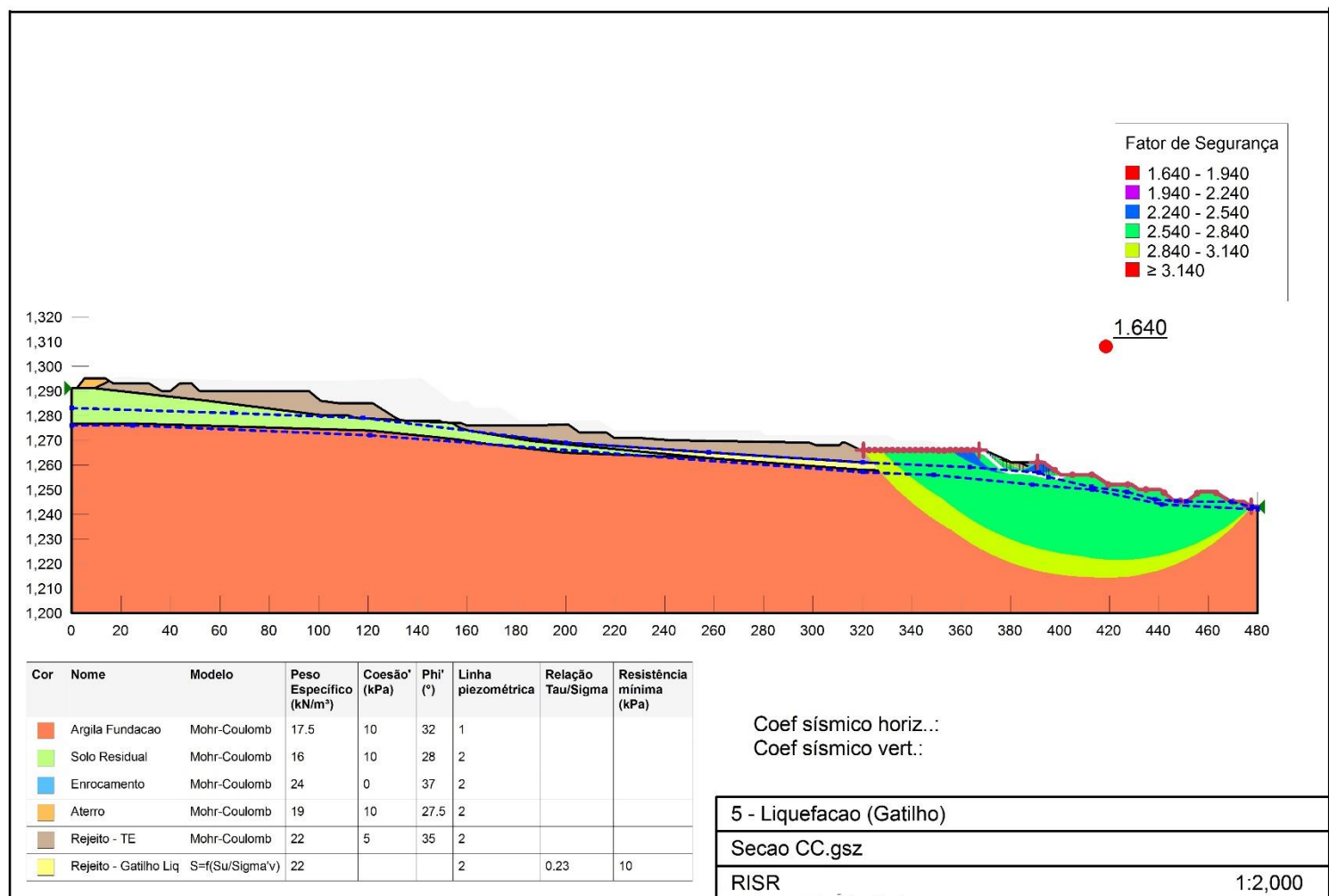


Figura 10.13 – Fator de Segurança – B01 – Seção CC – Liquefação - Gatilho (FS = 1,640)

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO Nº GEOMIL 074-2021-03-0002
			PÁGINA 109/148 REV. 1

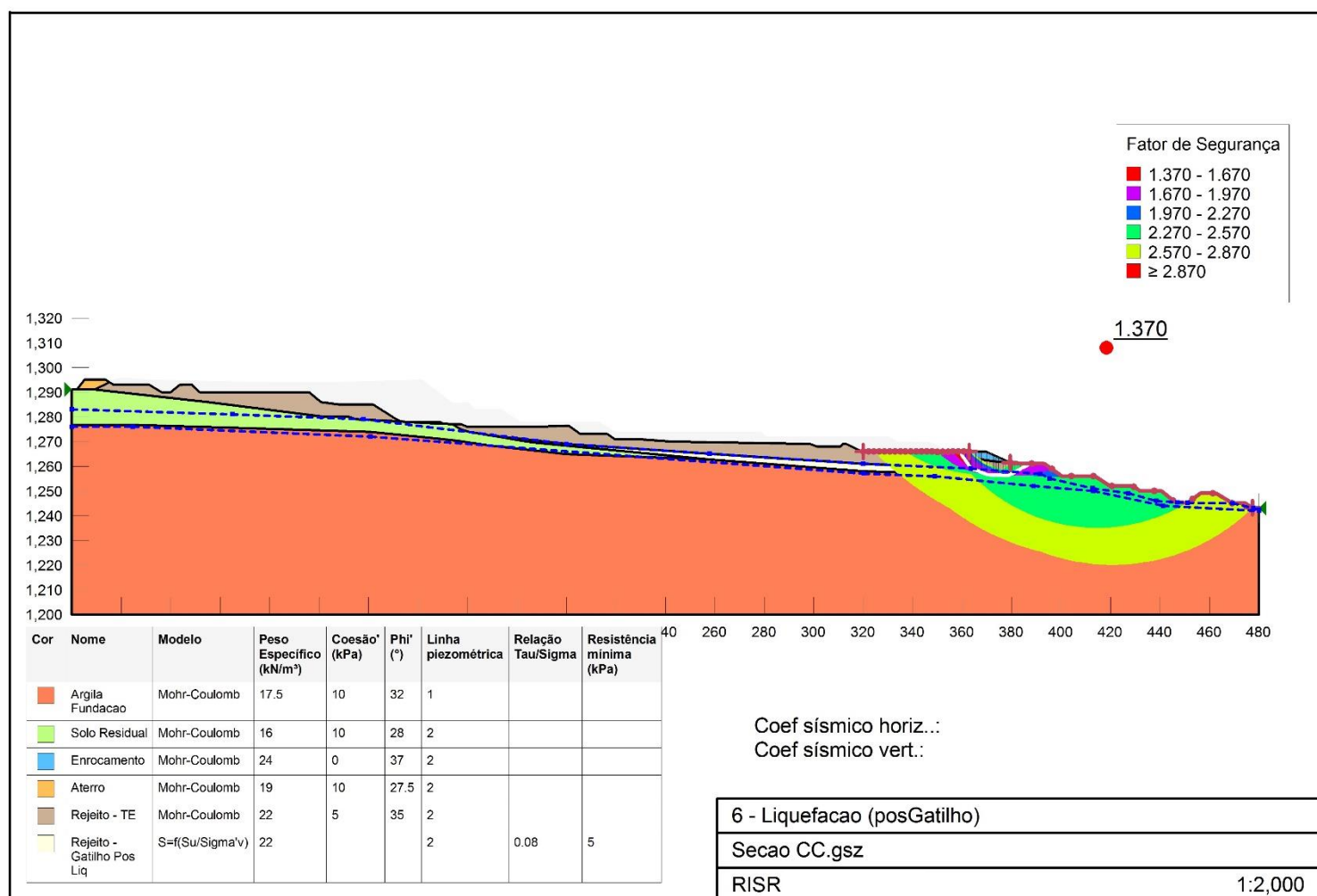


Figura 10.14 – Fator de Segurança – B01 – Seção CC – Liquefação – pós Gatilho (FS = 1,370)

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 110/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

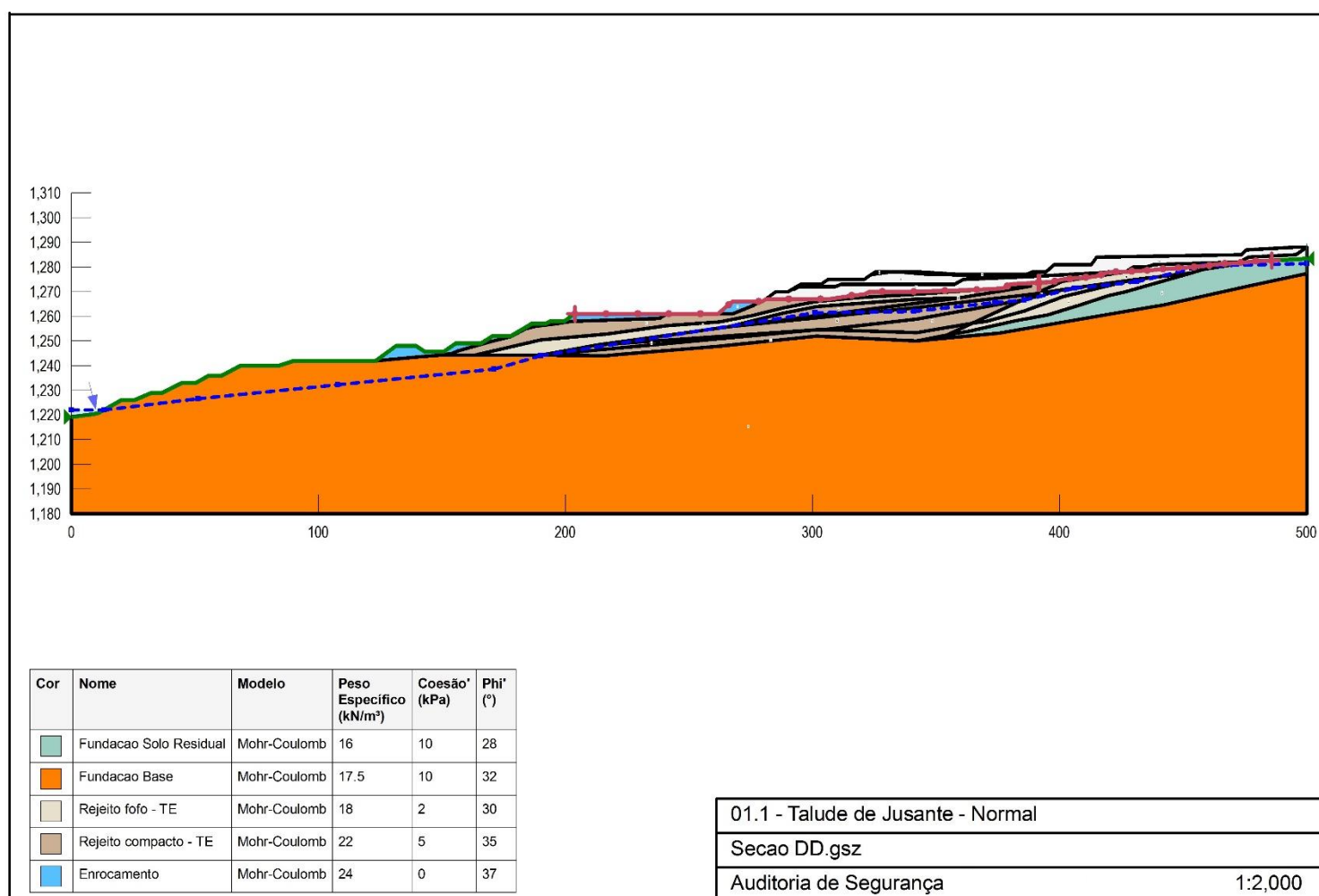


Figura 10.15 – Fator de Segurança – B01 – Seção DD – Seção de Modelagem

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 111/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

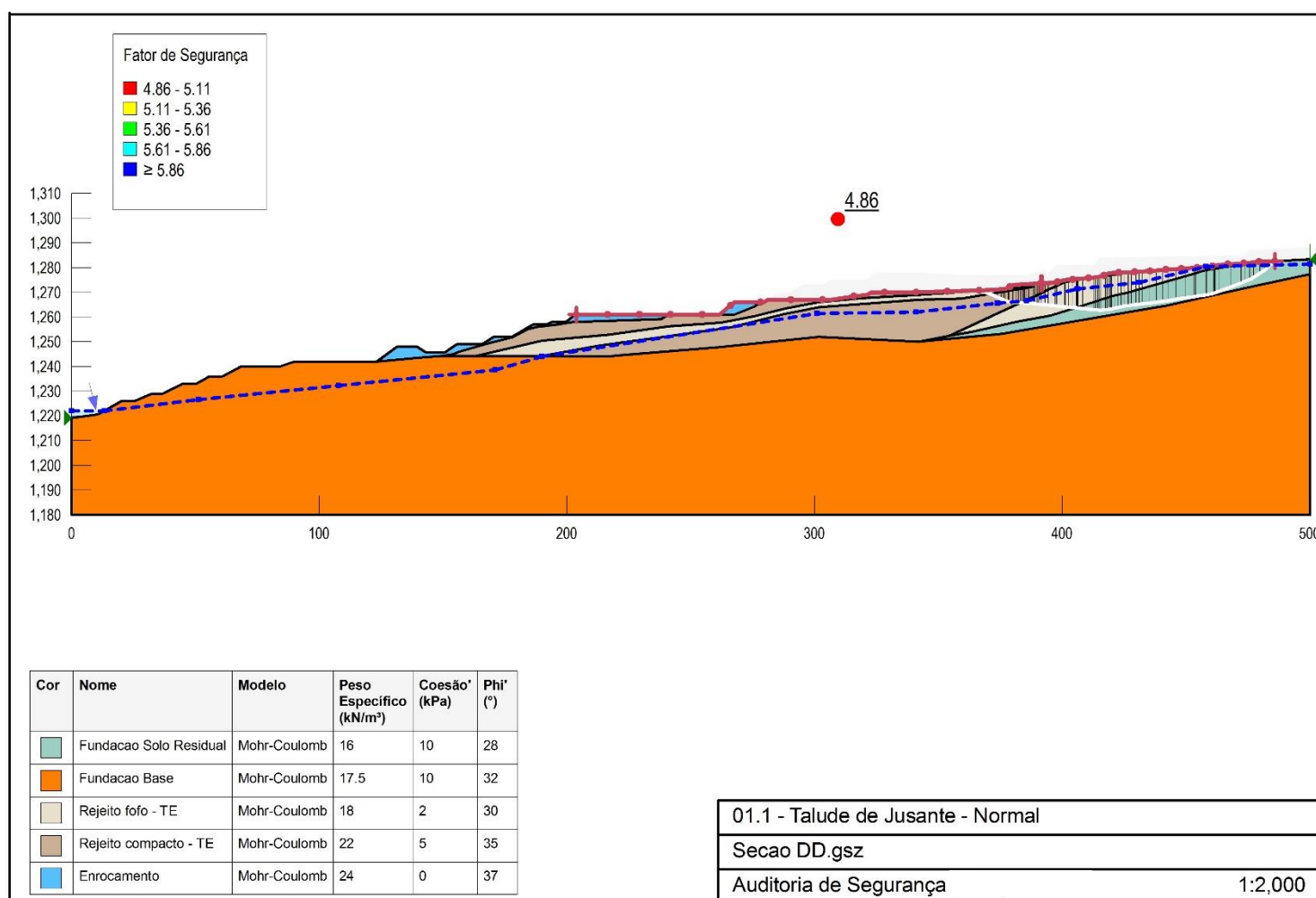


Figura 10.16 – Fator de Segurança – B01 – Seção DD – Condição Normal – Tensão Efetiva (topo) (FS = 4,86)

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 112/148
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

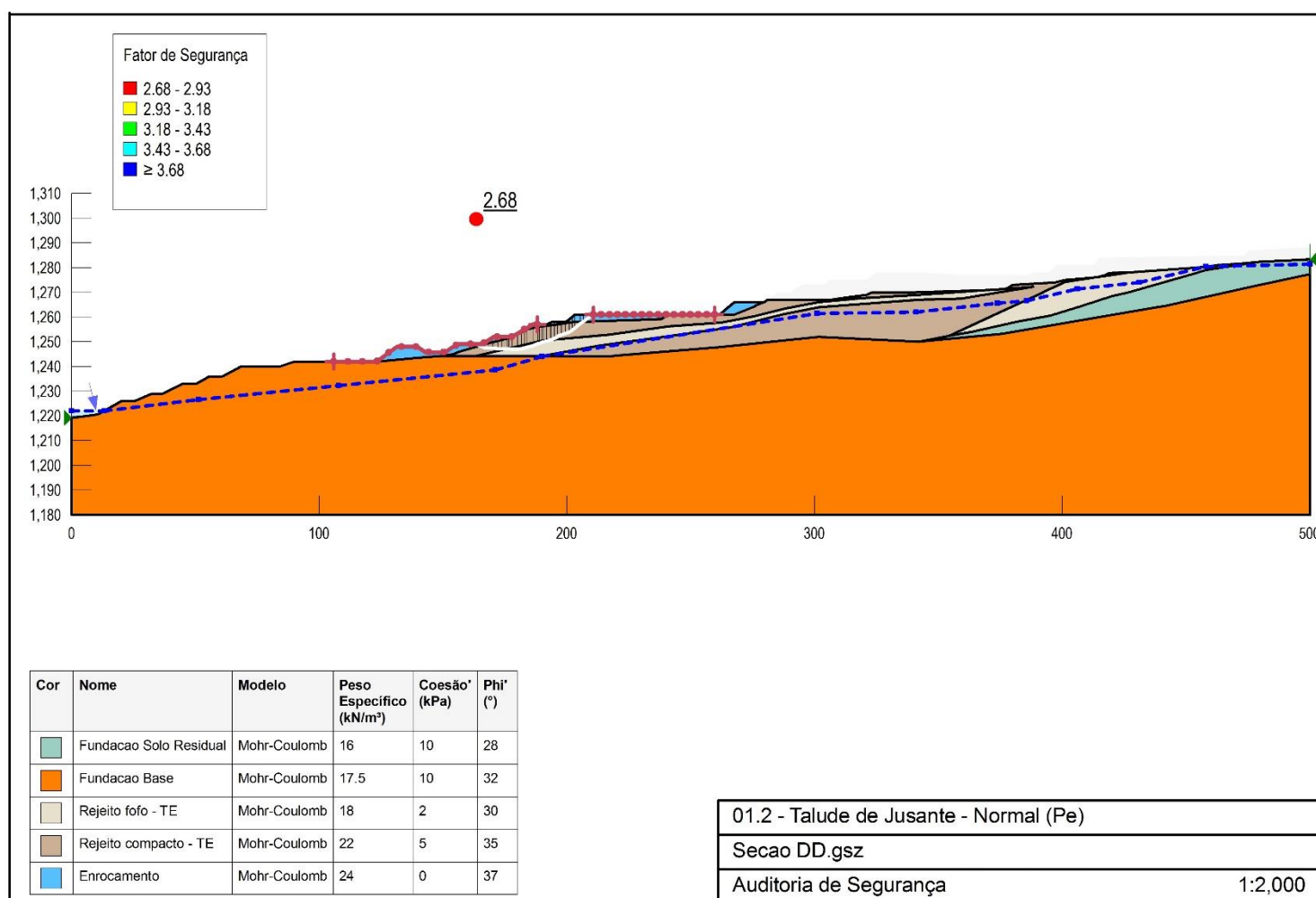


Figura 10.17 – Fator de Segurança – B01 – Seção DD – Condição Normal – Tensão Efetiva (pé) (FS = 2,68)

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 113/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

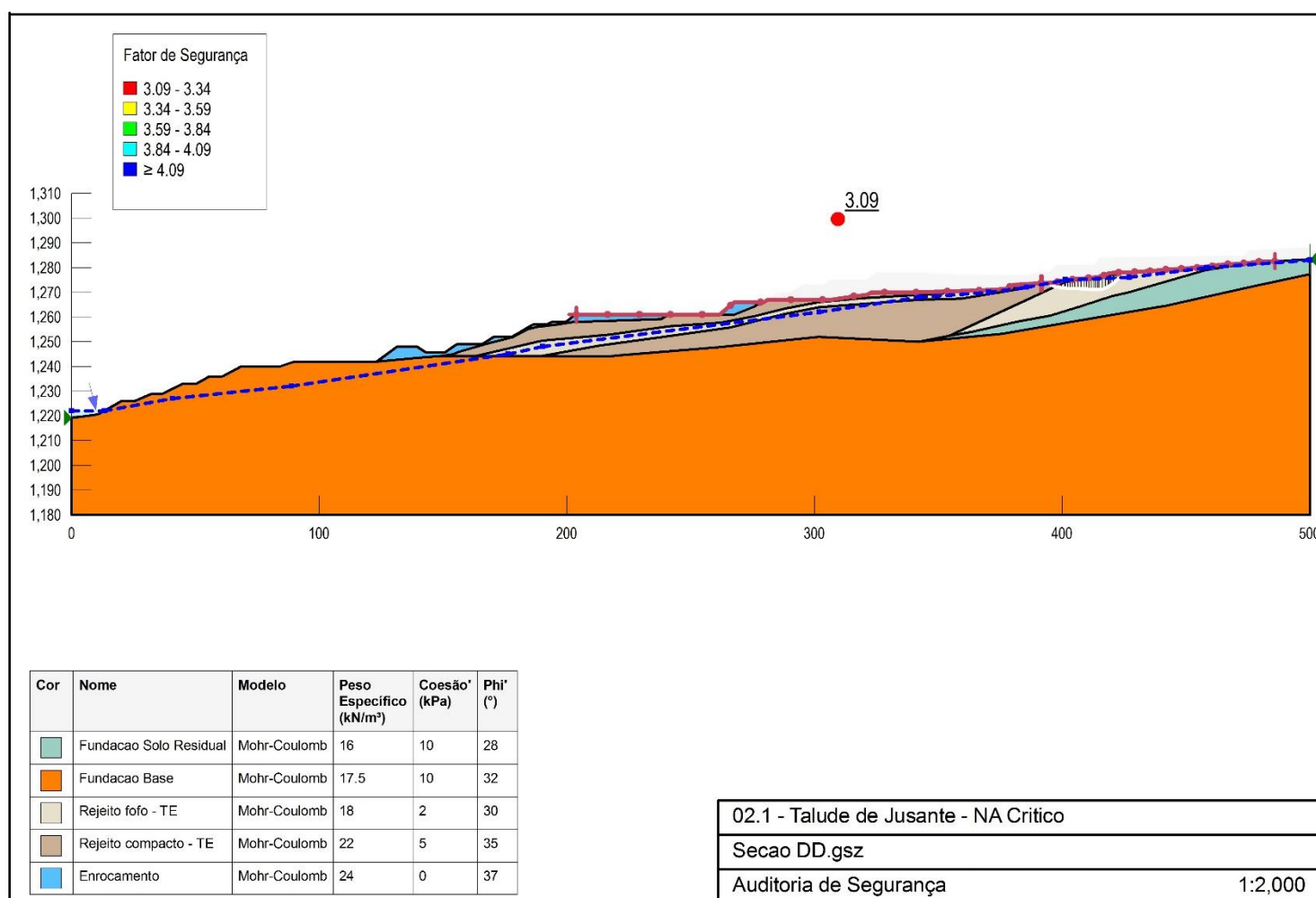


Figura 10.18 – Fator de Segurança – B01 – Seção DD – NA Crítico – Tensão Efetiva (topo) (FS = 3,09)

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO PÁGINA 114/148
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002 REV. 1

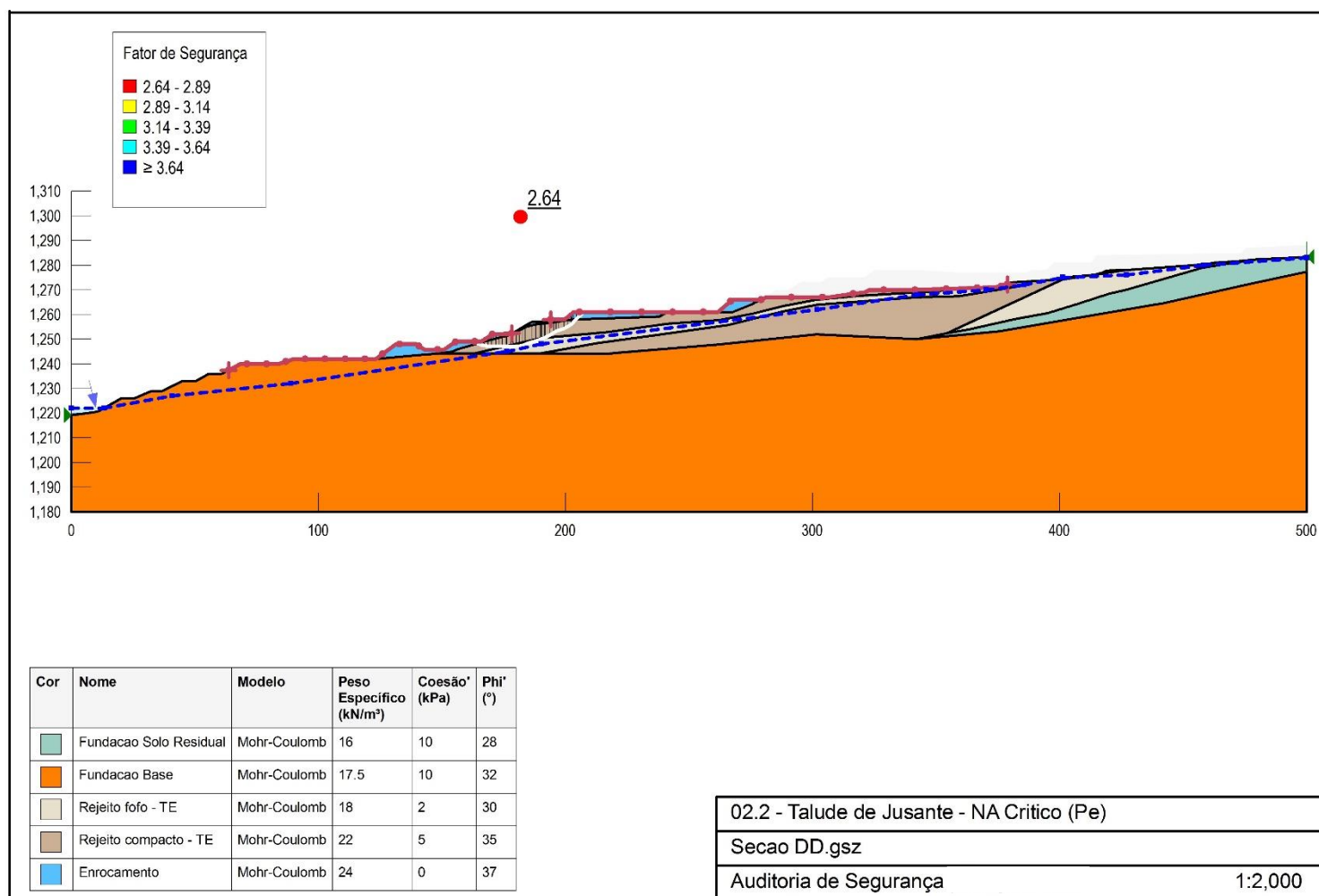


Figura 10.19 – Fator de Segurança – B01 – Seção DD – NA Crítico – Tensão Efetiva (topo) (FS = 2,64)

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO PÁGINA 115/148
	Nº GEOMIL 074-2021-03-0002		REV. 1

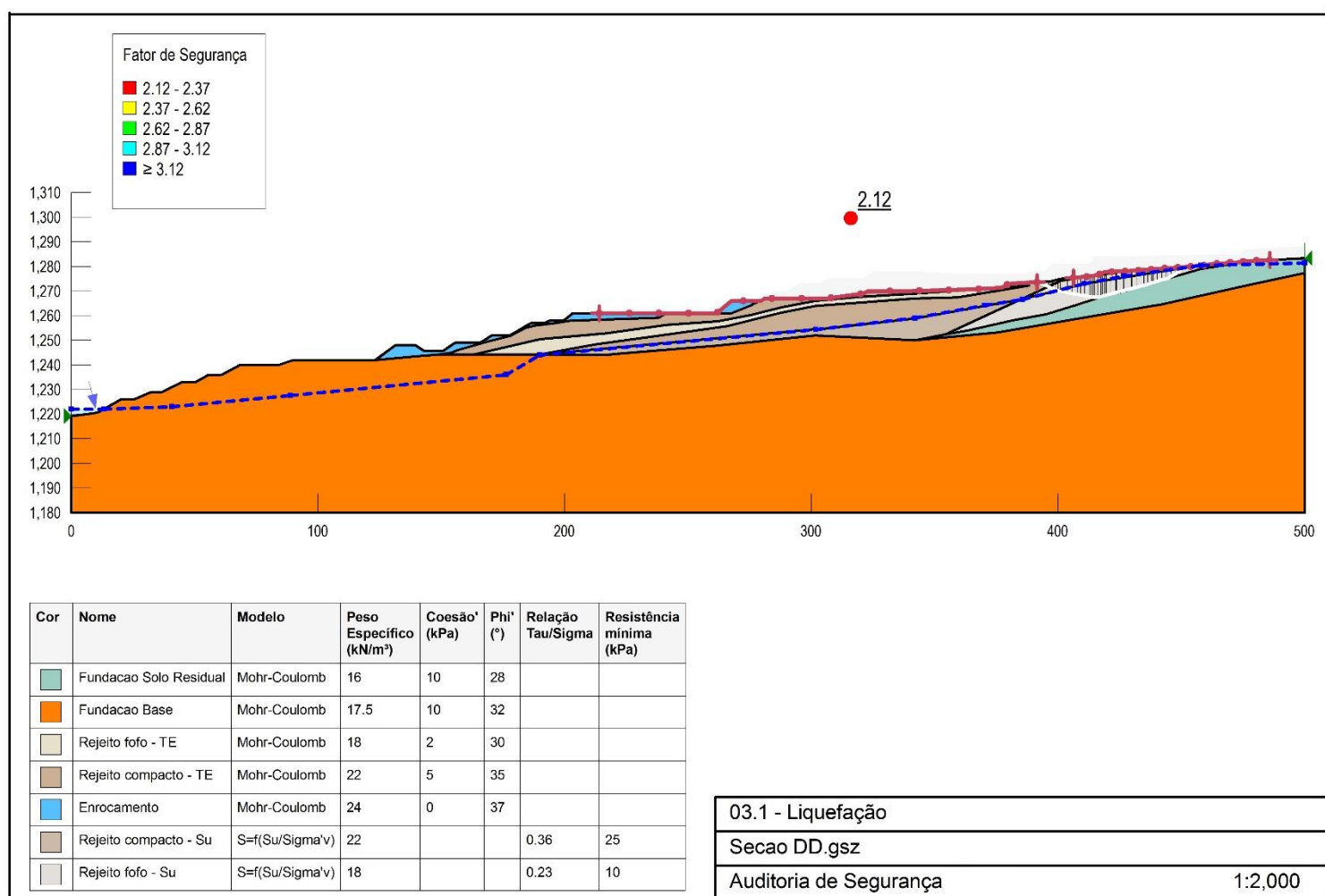


Figura 10.20 – Fator de Segurança – B01 – Seção DD – Liquefação – Gatilho (topo) (FS = 2,12)

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 116/148
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

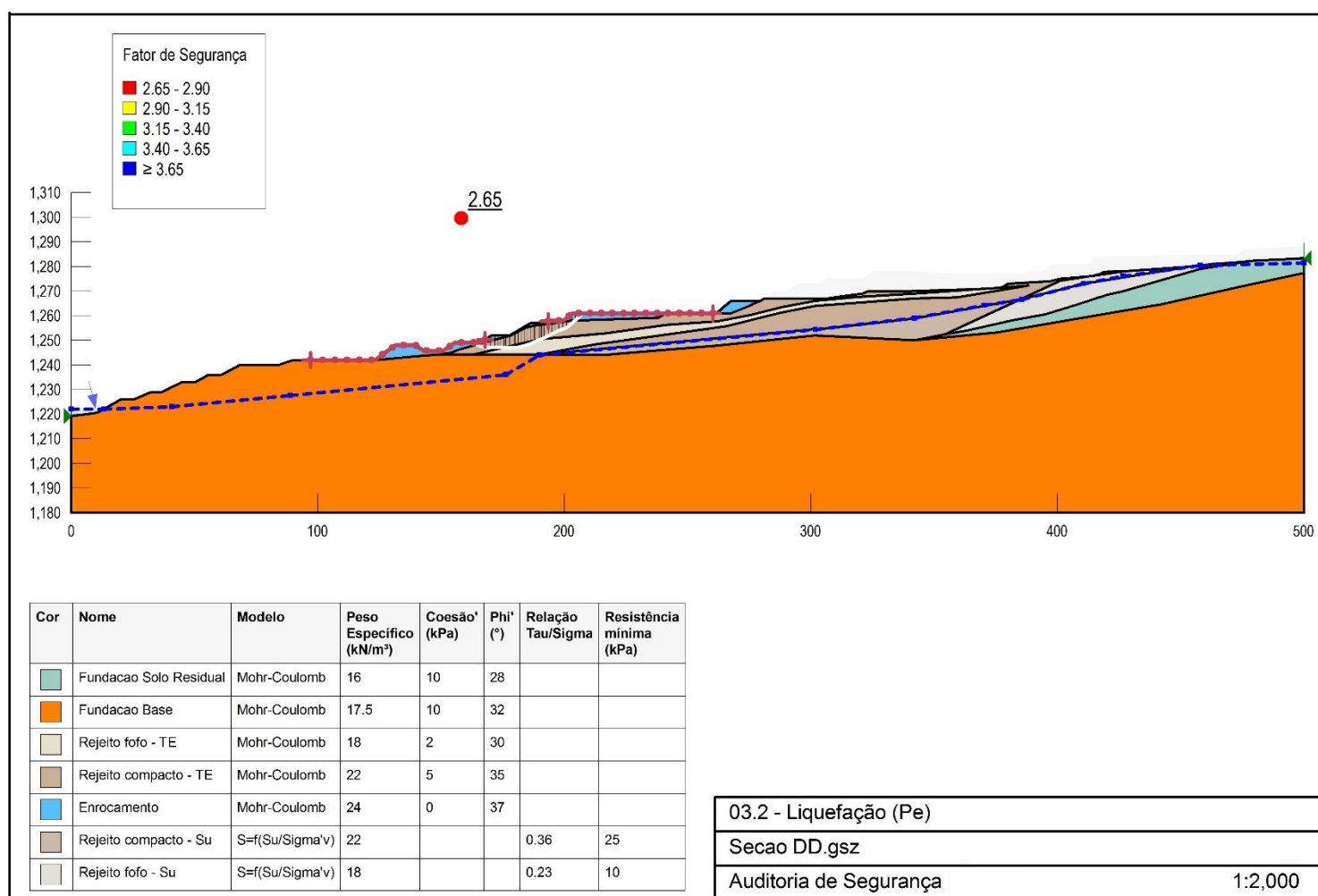


Figura 10.21 – Fator de Segurança – B01 – Seção DD – Liquefação – Gatilho (topo) (FS = 2,65)

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 117/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

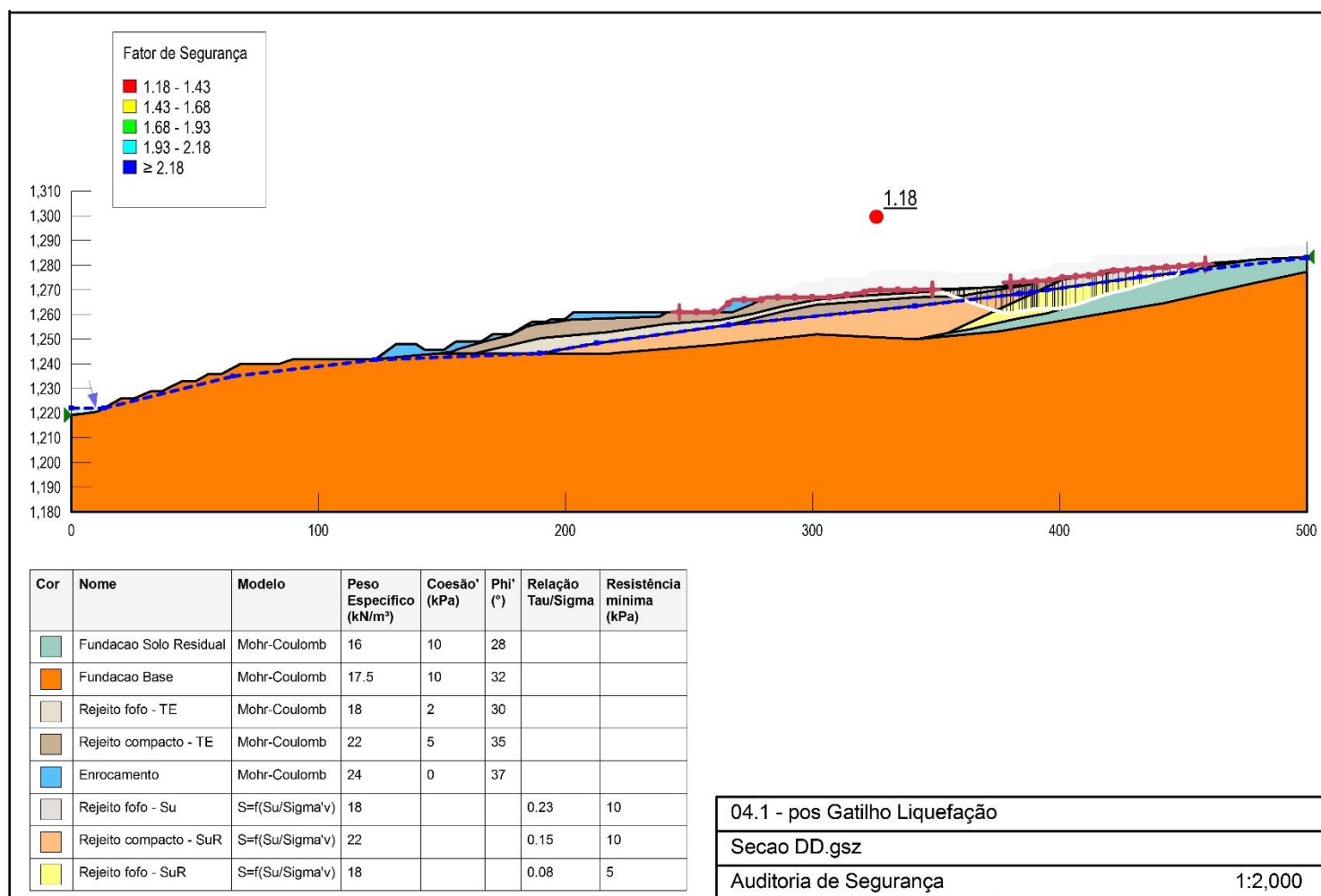


Figura 10.22 – Fator de Segurança – B01 – Seção DD – Liquefação – pós Gatilho (topo) (FS = 1,18)

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 118/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

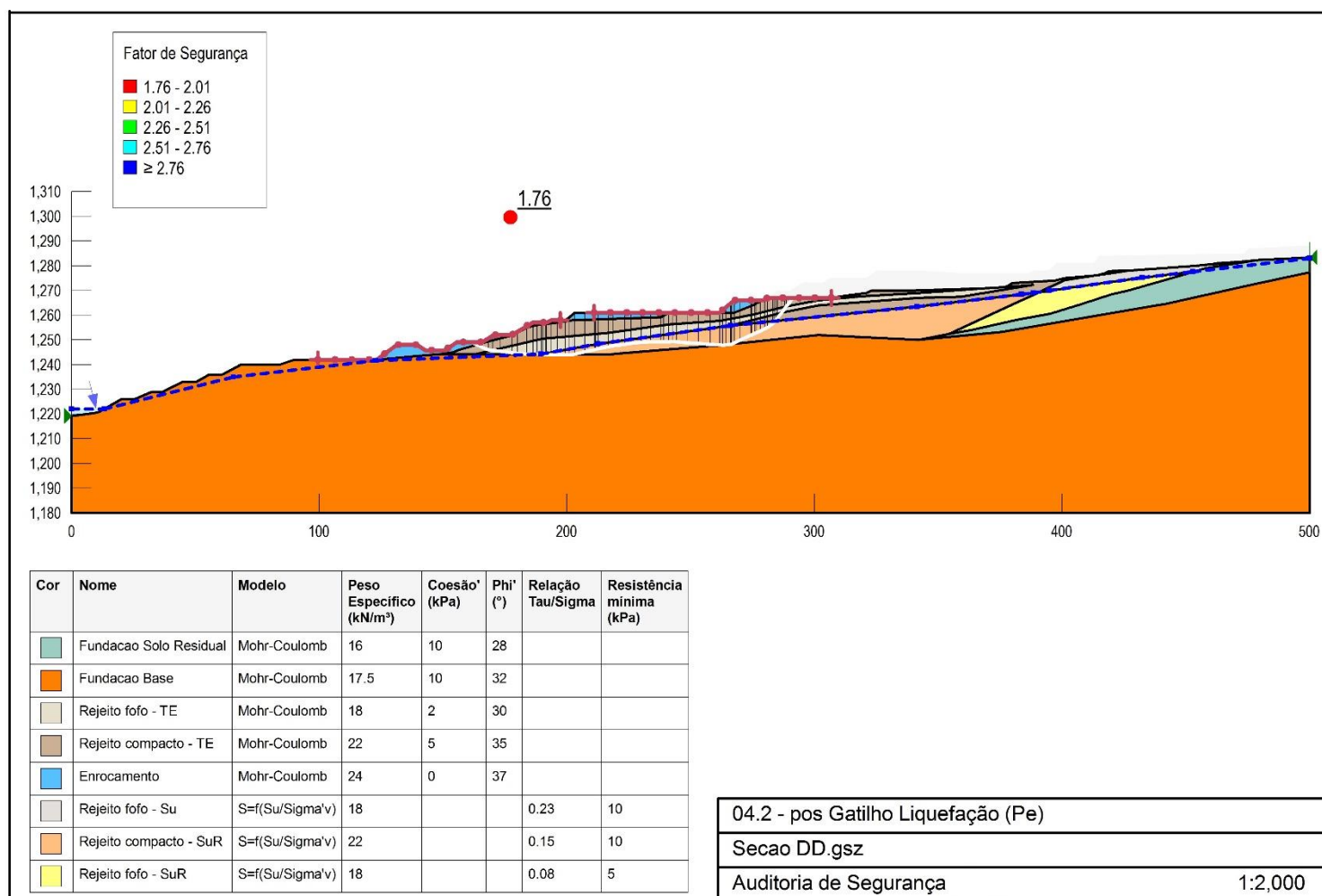


Figura 10.23 – Fator de Segurança – B01 – Seção DD – Liquefação – pós Gatilho (pé) (FS = 1,76)

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 119/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

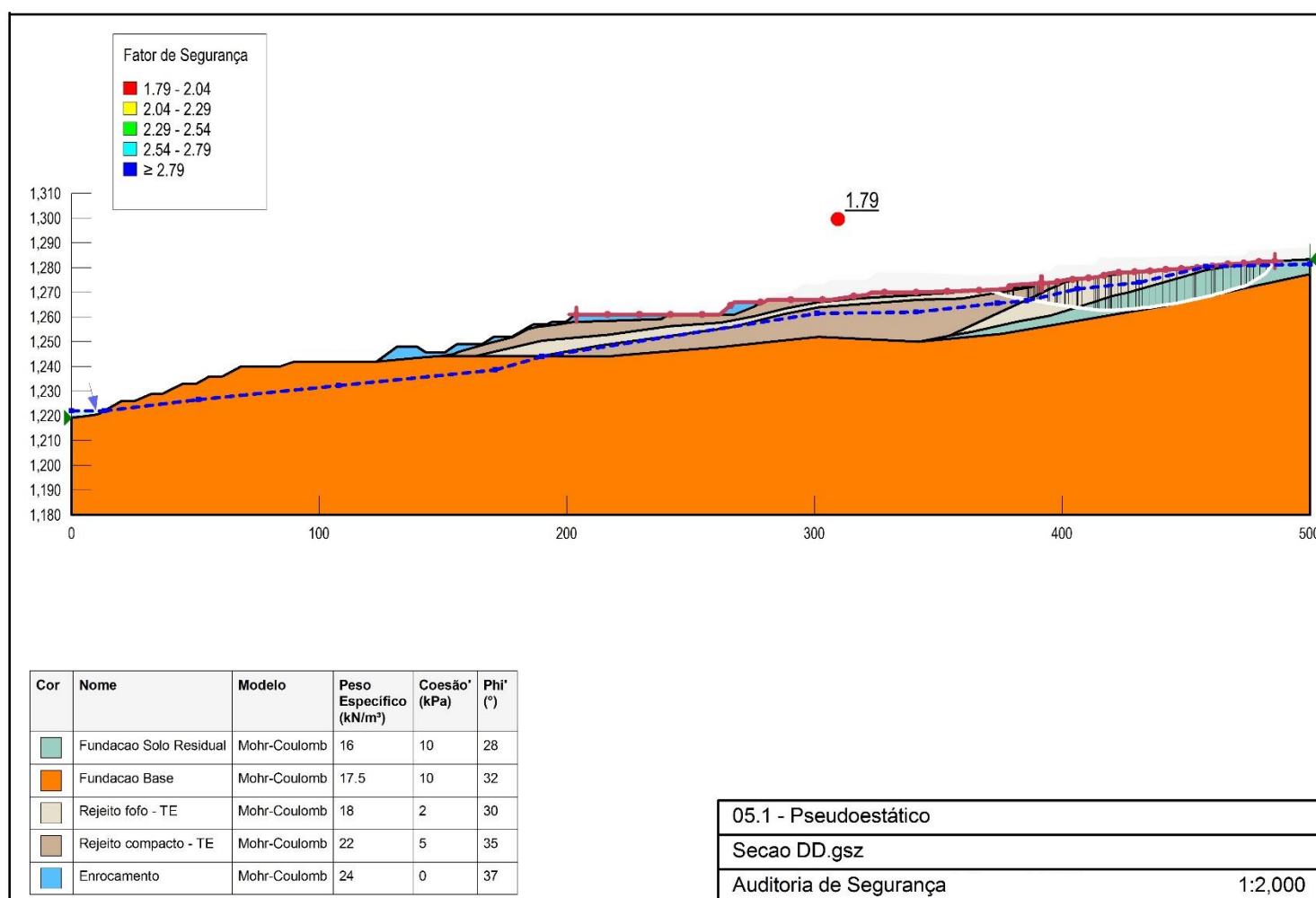


Figura 10.24 – Fator de Segurança – B01 – Seção DD – Pseudoestática (topo) (FS = 1,79)

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 120/148
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

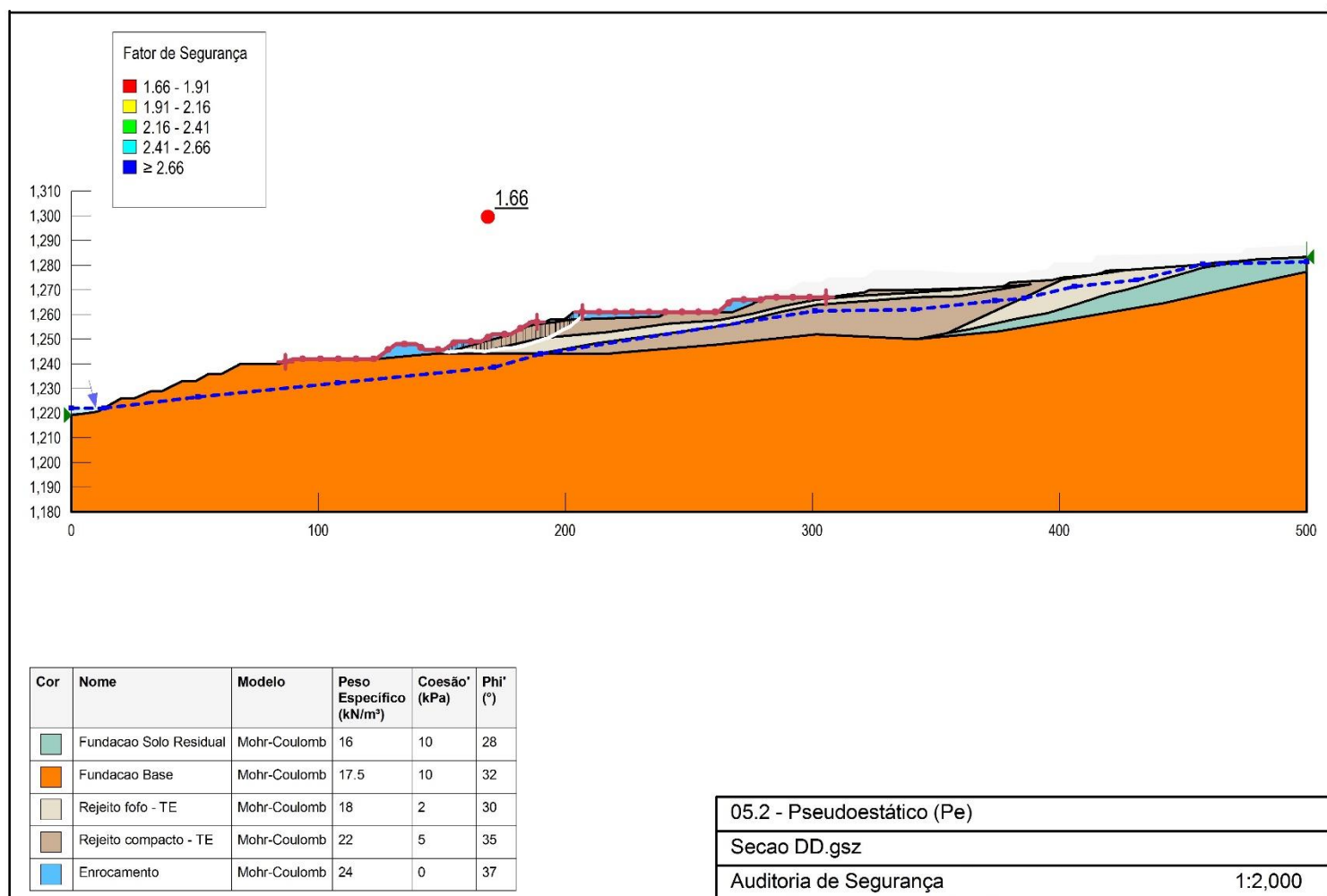


Figura 10.25 – Fator de Segurança – B01 – Seção DD – Pseudoestática (pé) (FS = 1,66)

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 121/148
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

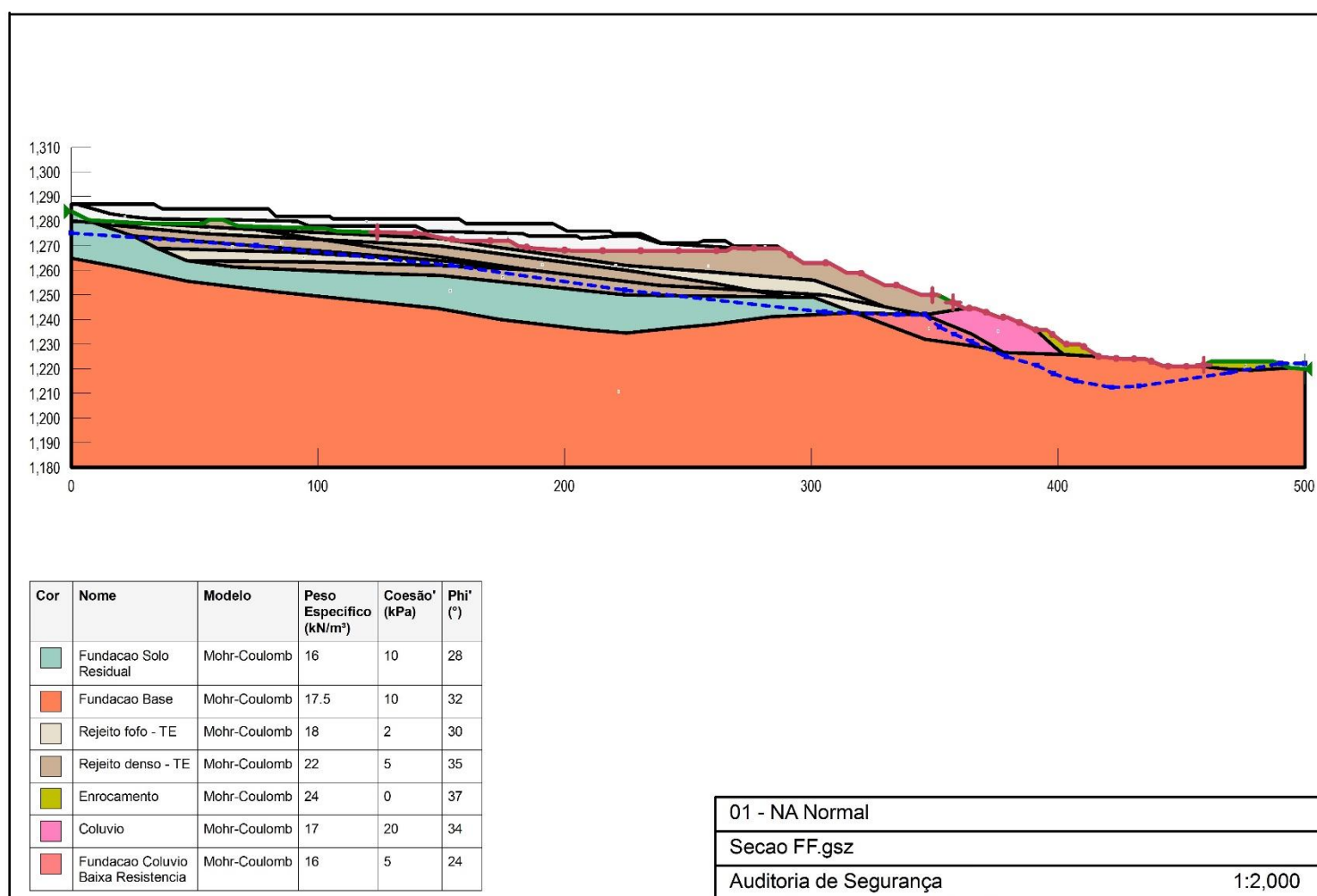


Figura 10.26 – Fator de Segurança – B01 – Seção FF – Seção de Modelagem

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO PÁGINA 122/148
	Nº GEOMIL 074-2021-03-0002		REV. 1

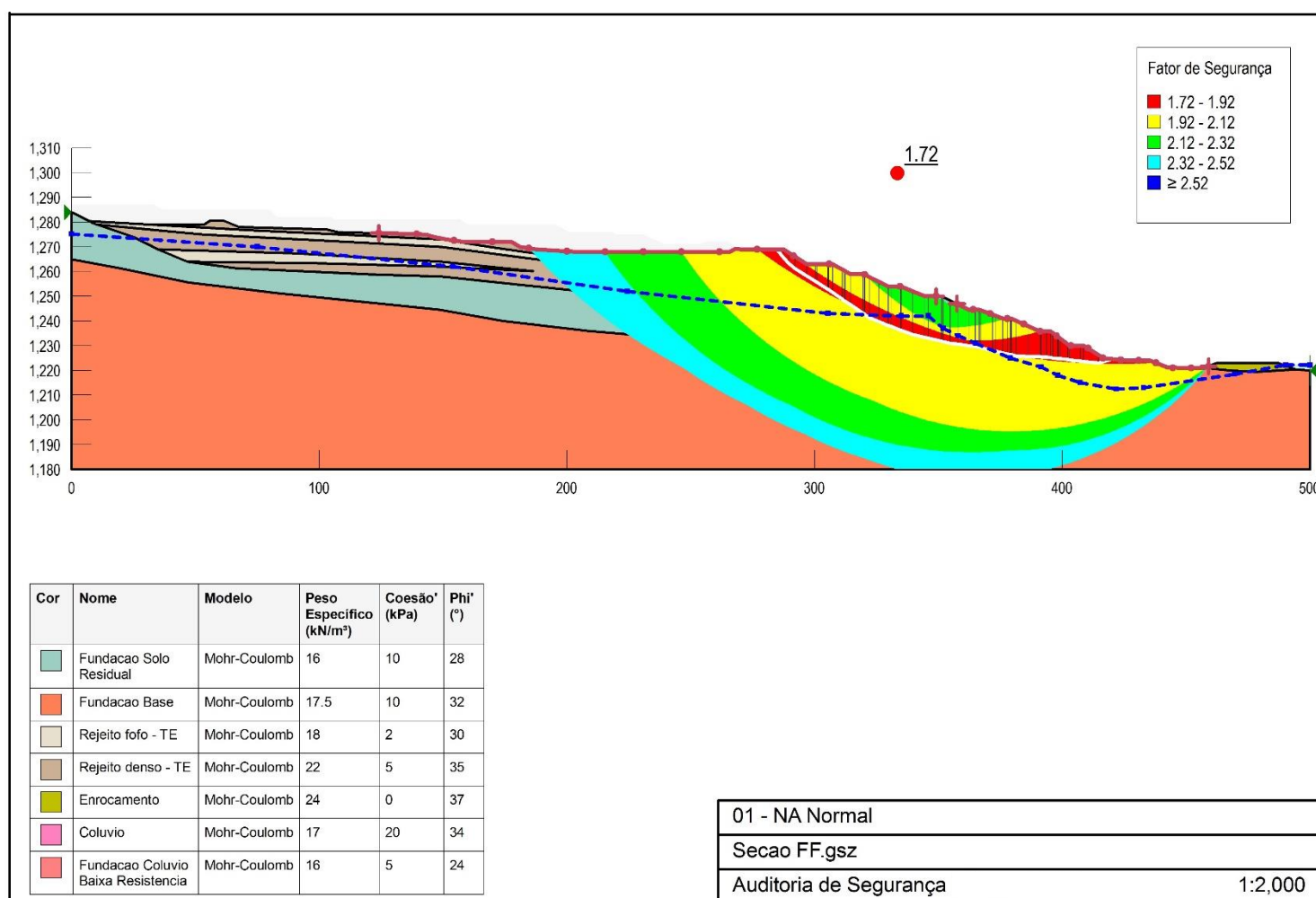


Figura 10.27 – Fator de Segurança – B01 – Seção FF – Condição Normal – Tensão Efetiva (FS = 1,72)

 HERCULANO MINERAÇÃO		 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4			Nº HERCULANO	PÁGINA 123/148
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

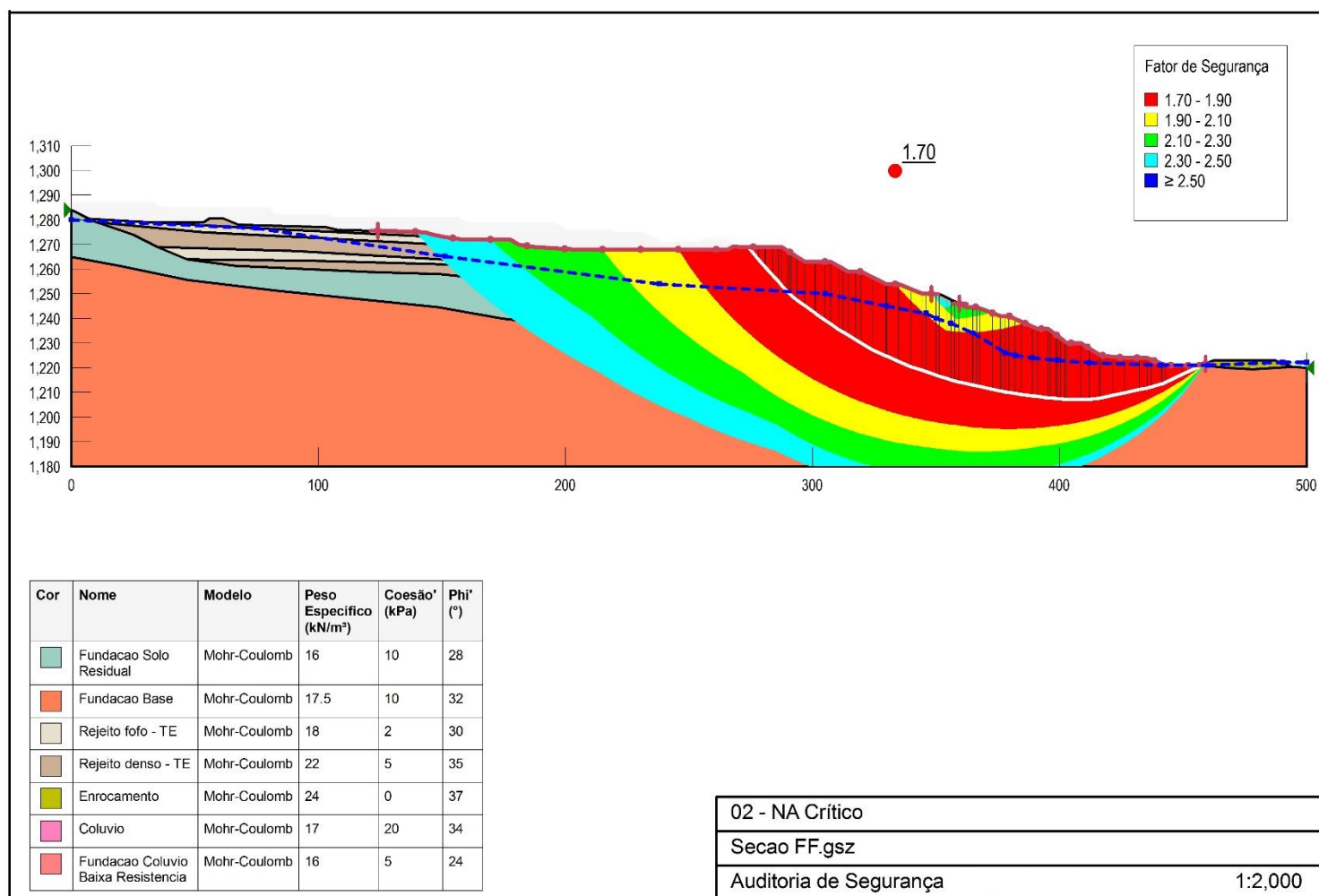


Figura 10.28 – Fator de Segurança – B01 – Seção FF – NA Crítico – Tensão Efetiva (FS = 1,70)

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	124/148 REV. 1

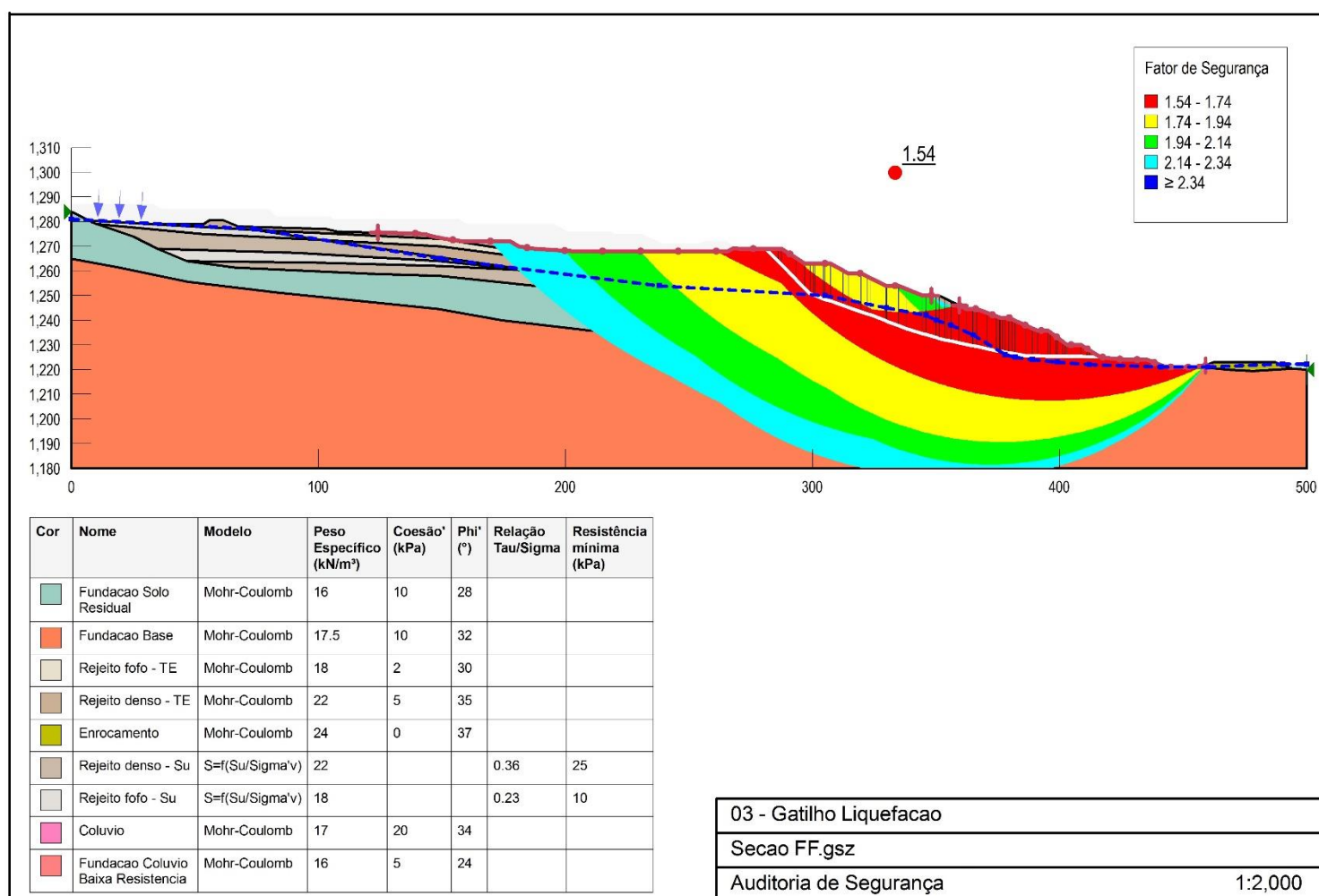


Figura 10.29 – Fator de Segurança – B01 – Seção FF – Liquefação - Gatilho (FS = 1,54)

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	125/148 REV. 1

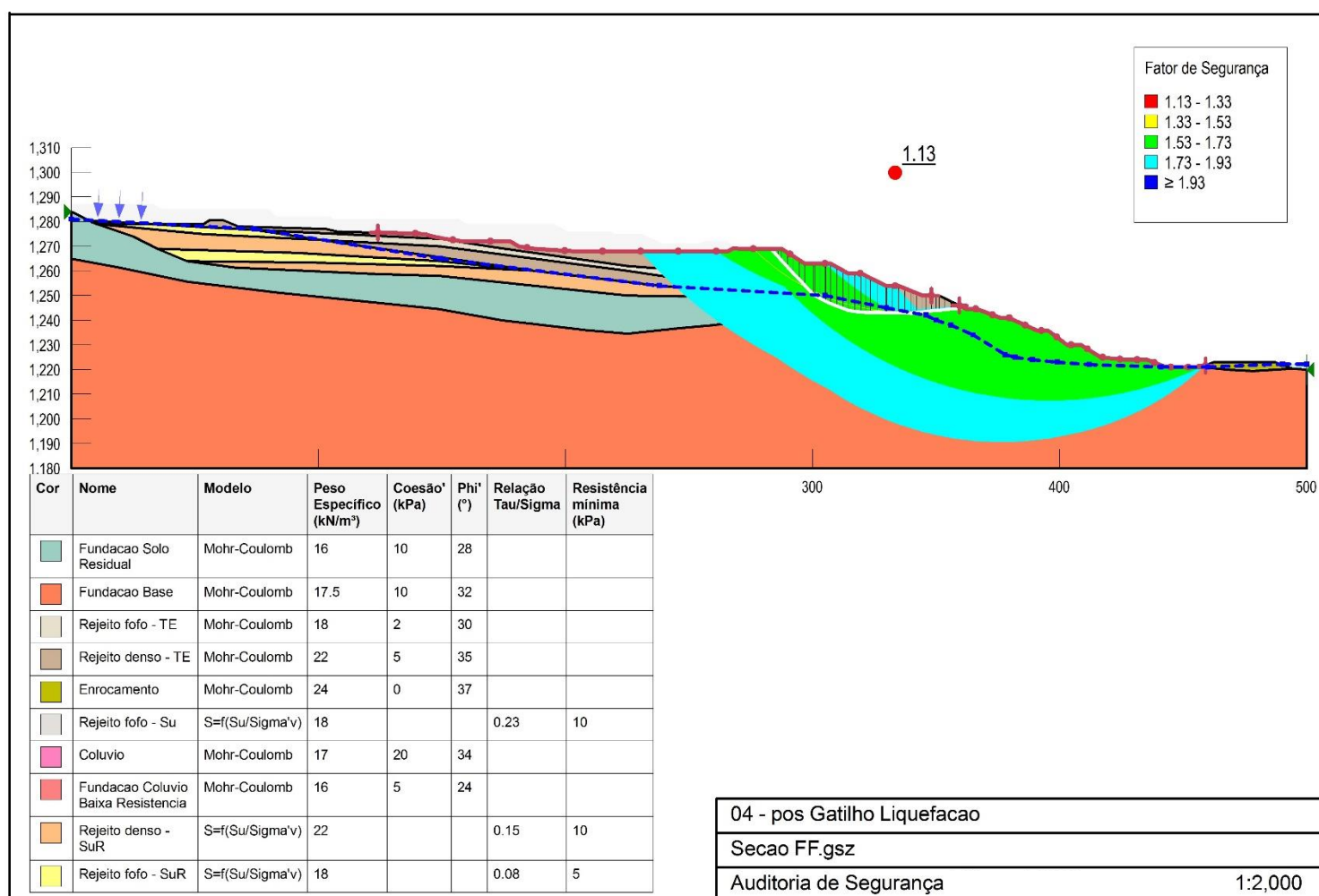


Figura 10.30 – Fator de Segurança – B01 – Seção FF – Liquefação – pós Gatilho (FS = 1,13)

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 126/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

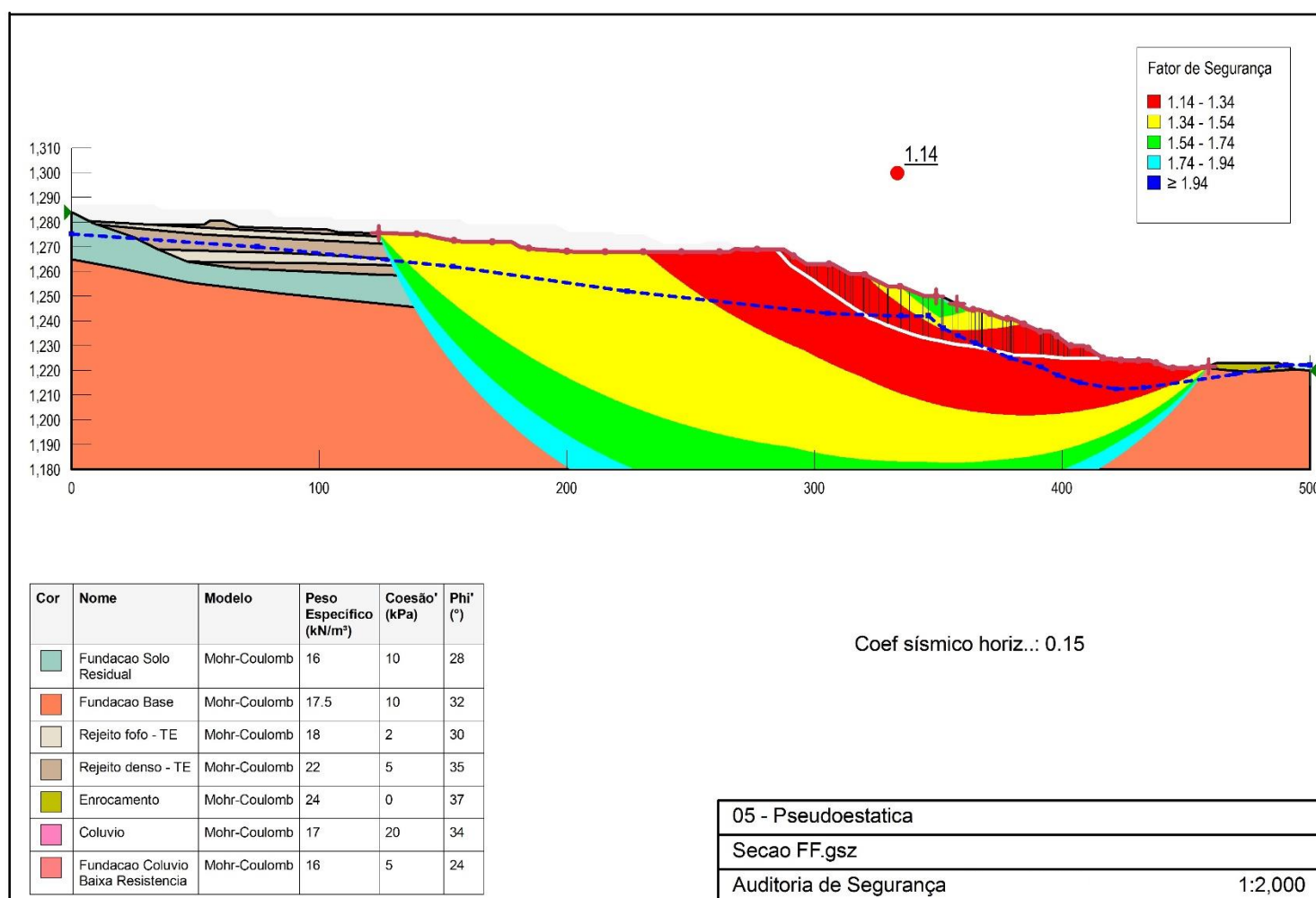


Figura 10.31 – Fator de Segurança – B01 – Seção FF – Pseudoestática (FS = 1,14)

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4	Nº HERCULANO	PÁGINA	
	Nº GEOMIL	REV.	
	074-2021-03-0002	127/148	
		1	

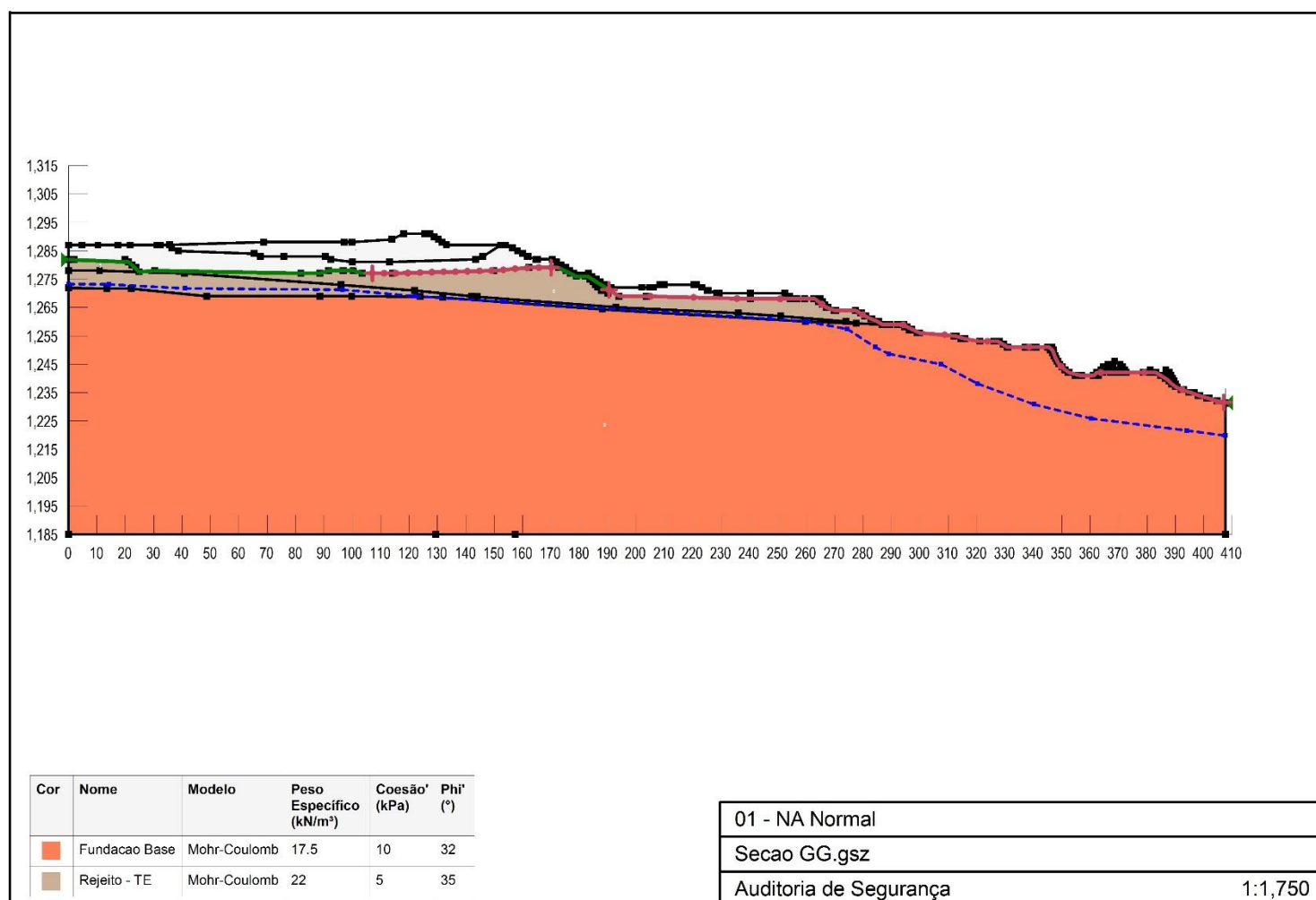


Figura 10.32 – Fator de Segurança – B01 – Seção GG – Seção de Modelagem

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 128/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

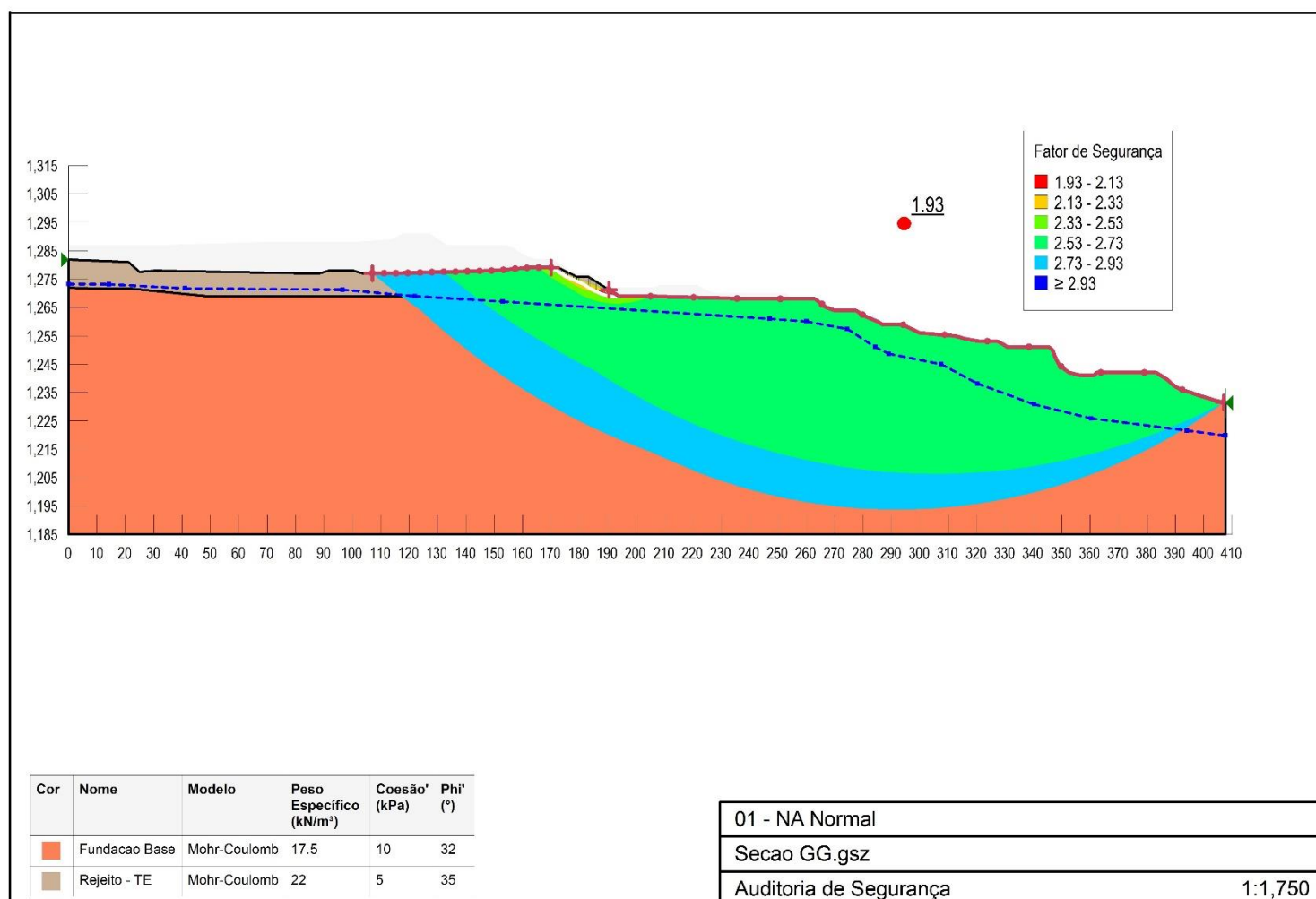


Figura 10.33 – Fator de Segurança – B01 – Seção GG – Condição Normal – Tensão Efetiva (FS = 1,93)

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 129/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

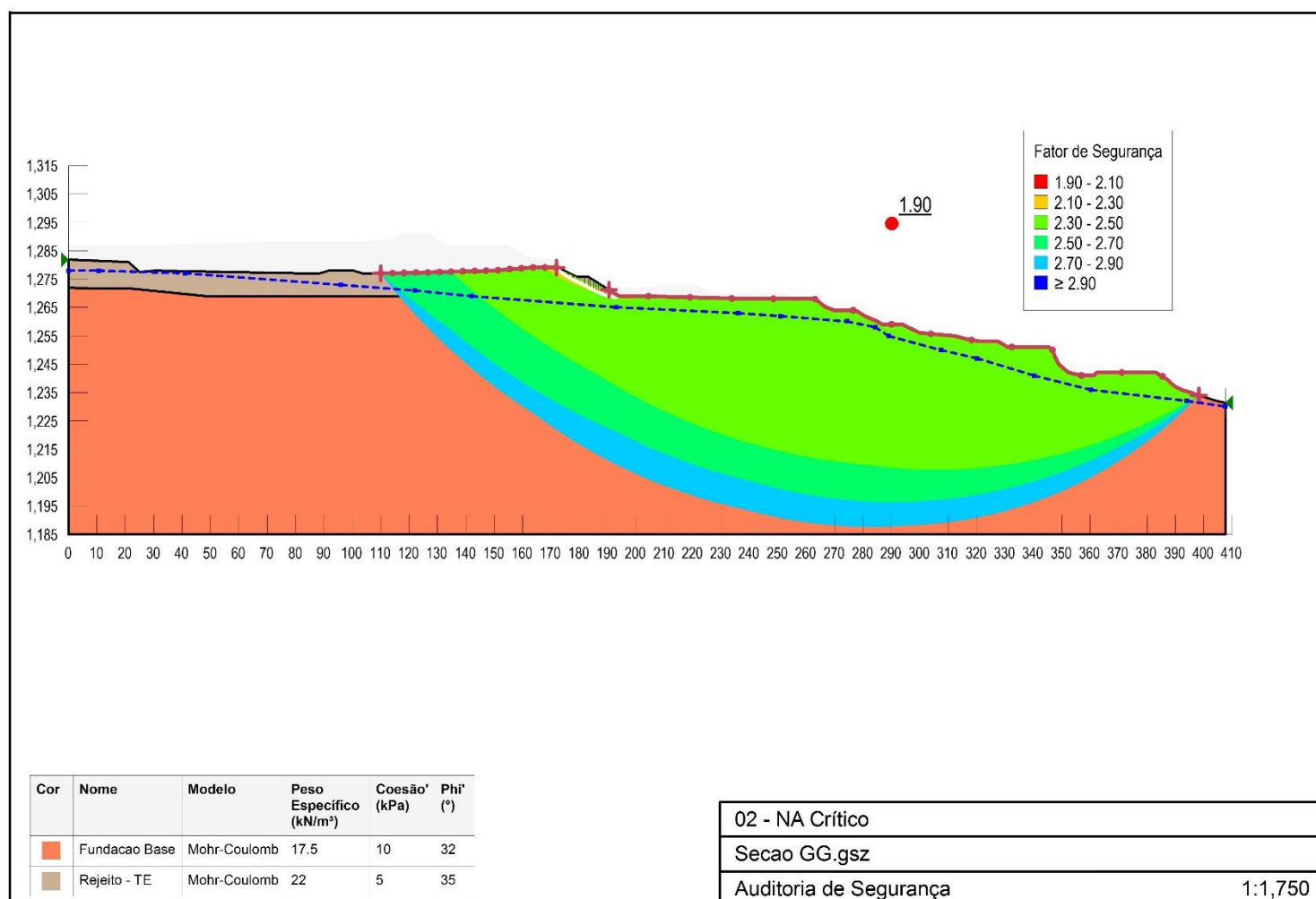


Figura 10.34 – Fator de Segurança – B01 – Seção GG – NA Crítico – Tensão Efetiva (FS = 1,90)

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 130/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

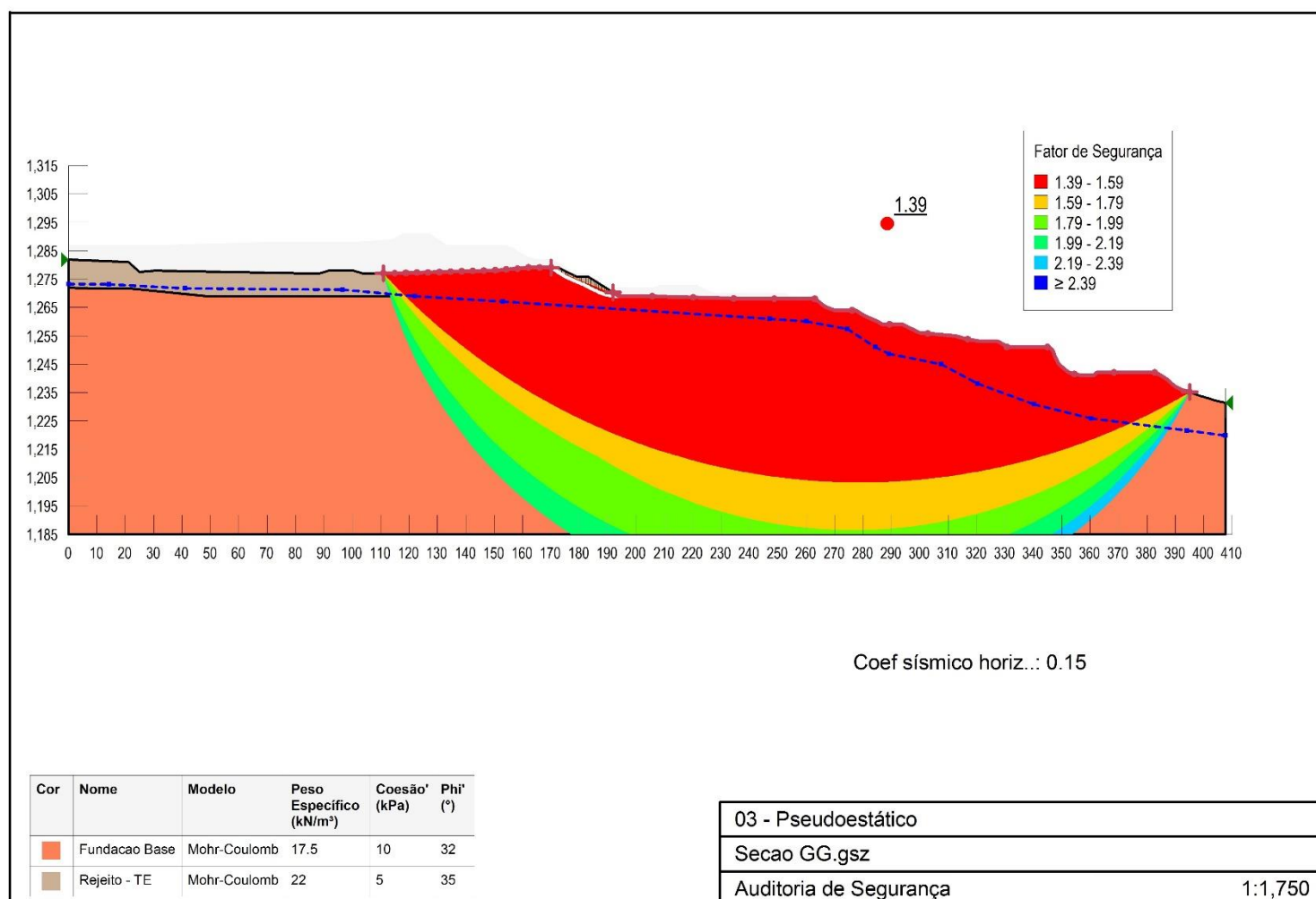


Figura 10.35 – Fator de Segurança – B01 – Seção GG – Pseudoestática (FS = 1,39)

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 131/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

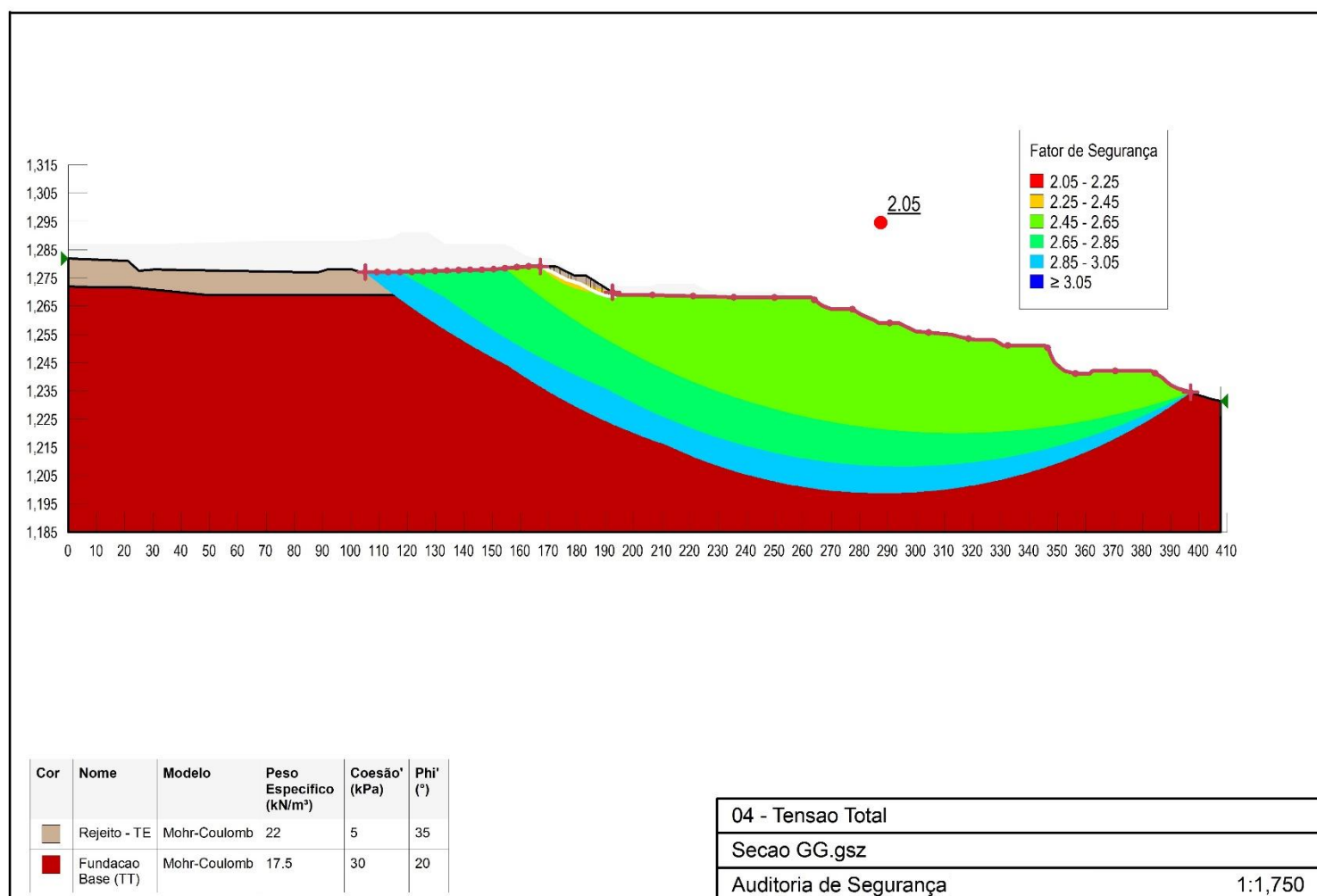


Figura 10.36 – Fator de Segurança – B01 – Seção GG – Tensões Totais (FS = 2,05)

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 132/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

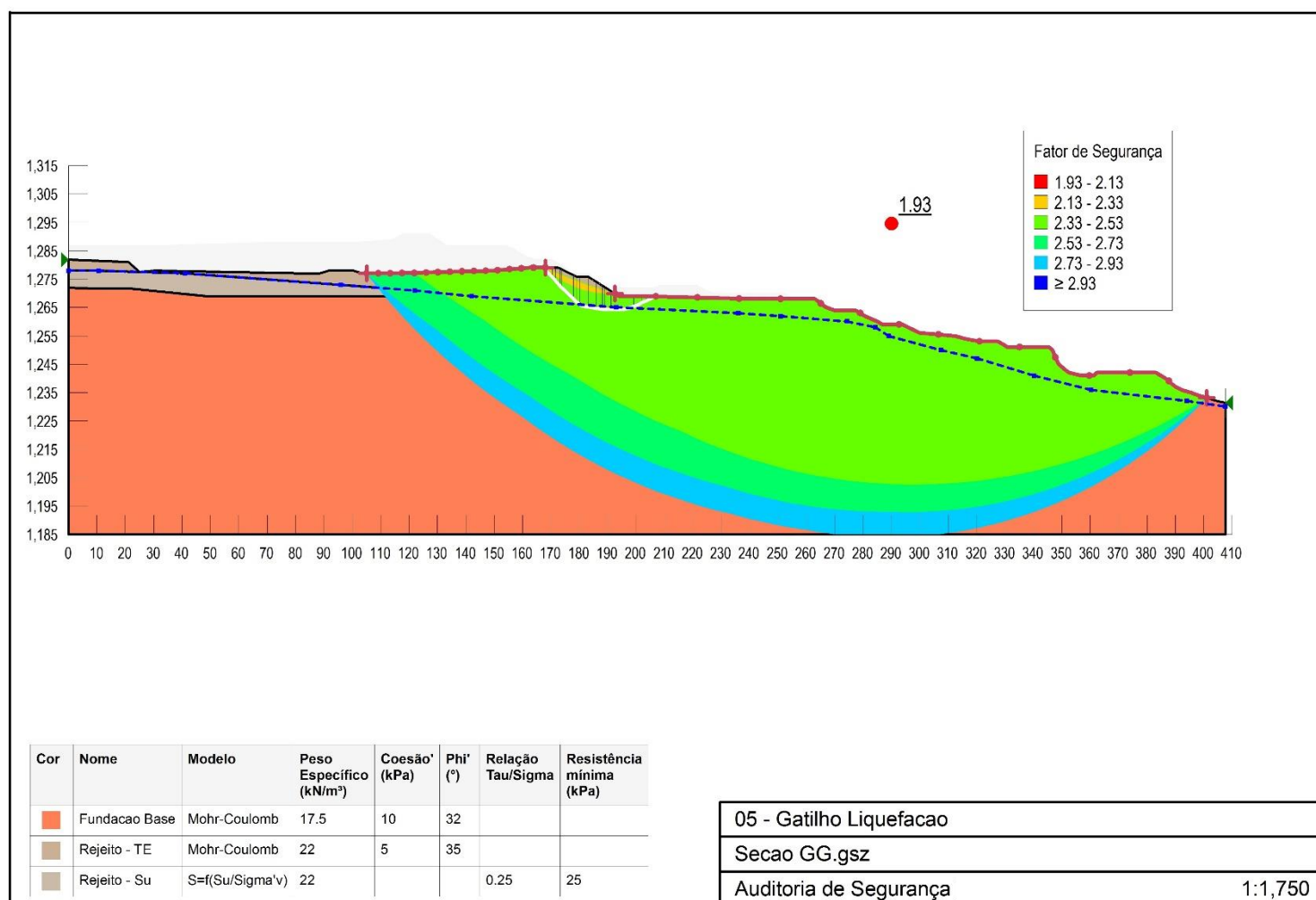


Figura 10.37 – Fator de Segurança – B01 – Seção GG – Liquefação - Gatilho (FS = 1,93)

 HERCULANO MINERAÇÃO		 Geomil serviços de mineração		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4				Nº HERCULANO	PÁGINA 133/148
				Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

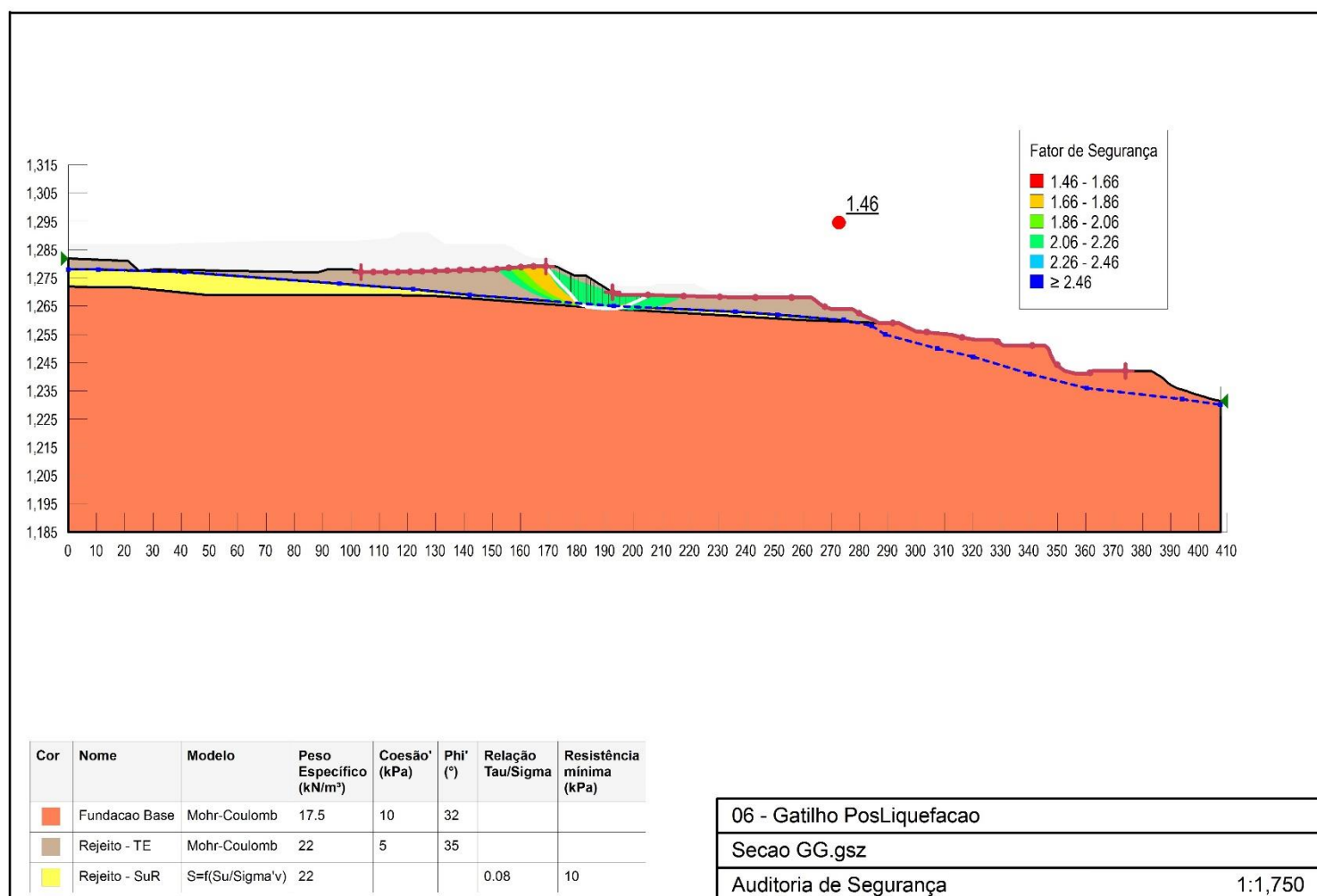


Figura 10.38 – Fator de Segurança – B01 – Seção GG – Liquefação – pós Gatilho (FS = 1,46)

 HERCULANO MINERAÇÃO		 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4			Nº HERCULANO	PÁGINA 134/148
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

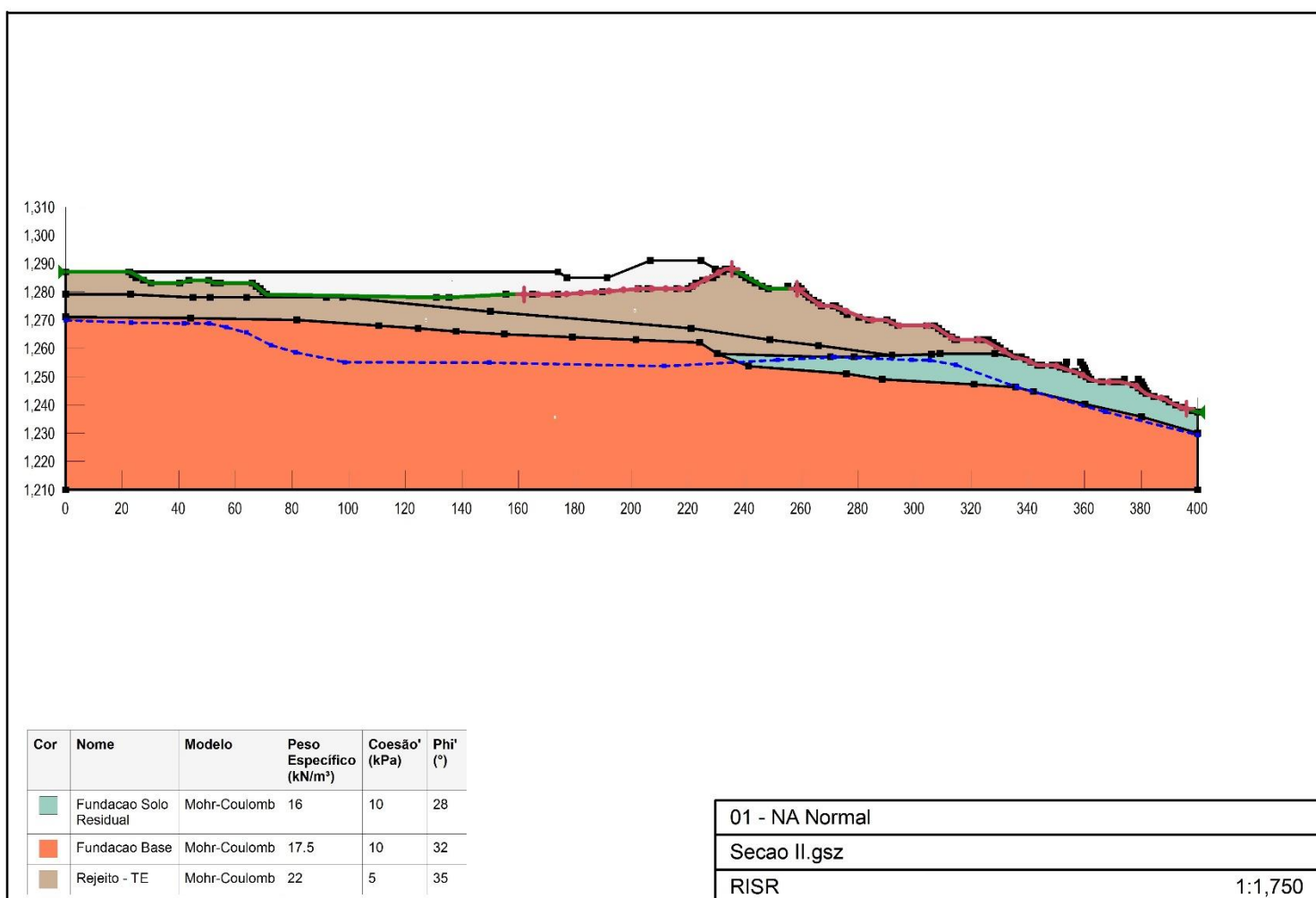
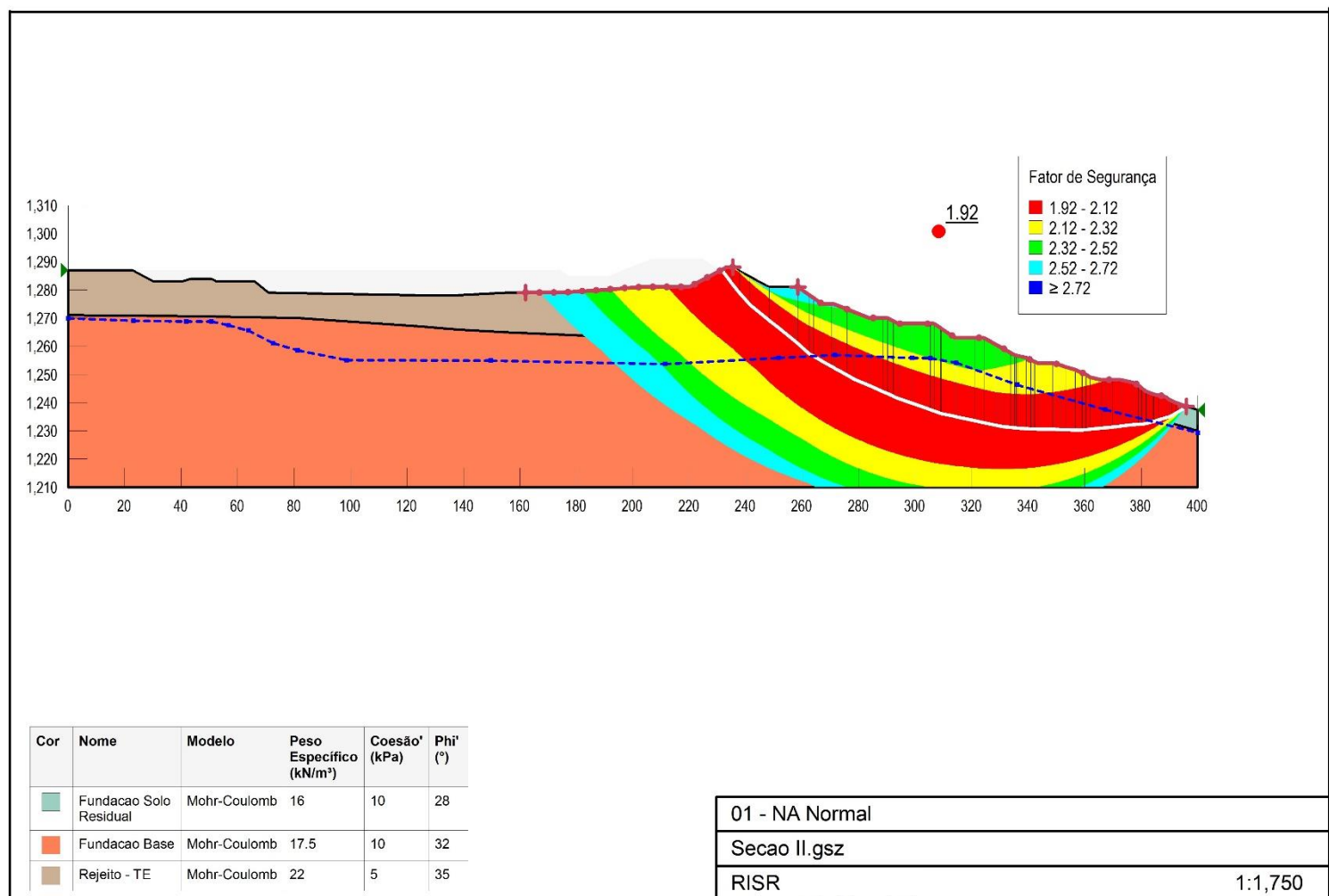


Figura 10.39 – Fator de Segurança – B01 – Seção II – Seção de Modelagem

HERCULANO MINERAÇÃO	 serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
		Nº HERCULANO	PÁGINA
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	135/148 REV. 1

BARRAGEM B1/B4



Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)
	Fundacao Solo Residual	Mohr-Coulomb	16	10	28
	Fundacao Base	Mohr-Coulomb	17.5	10	32
	Rejeito - TE	Mohr-Coulomb	22	5	35

01 - NA Normal
Secao II.gsz
RISR 1:1,750

Figura 10.40 – Fator de Segurança – B01 – Seção II – Condição Normal – Tensão Efetiva (FS = 1,92)

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
		Nº HERCULANO	PÁGINA
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	136/148 REV. 1

BARRAGEM B1/B4

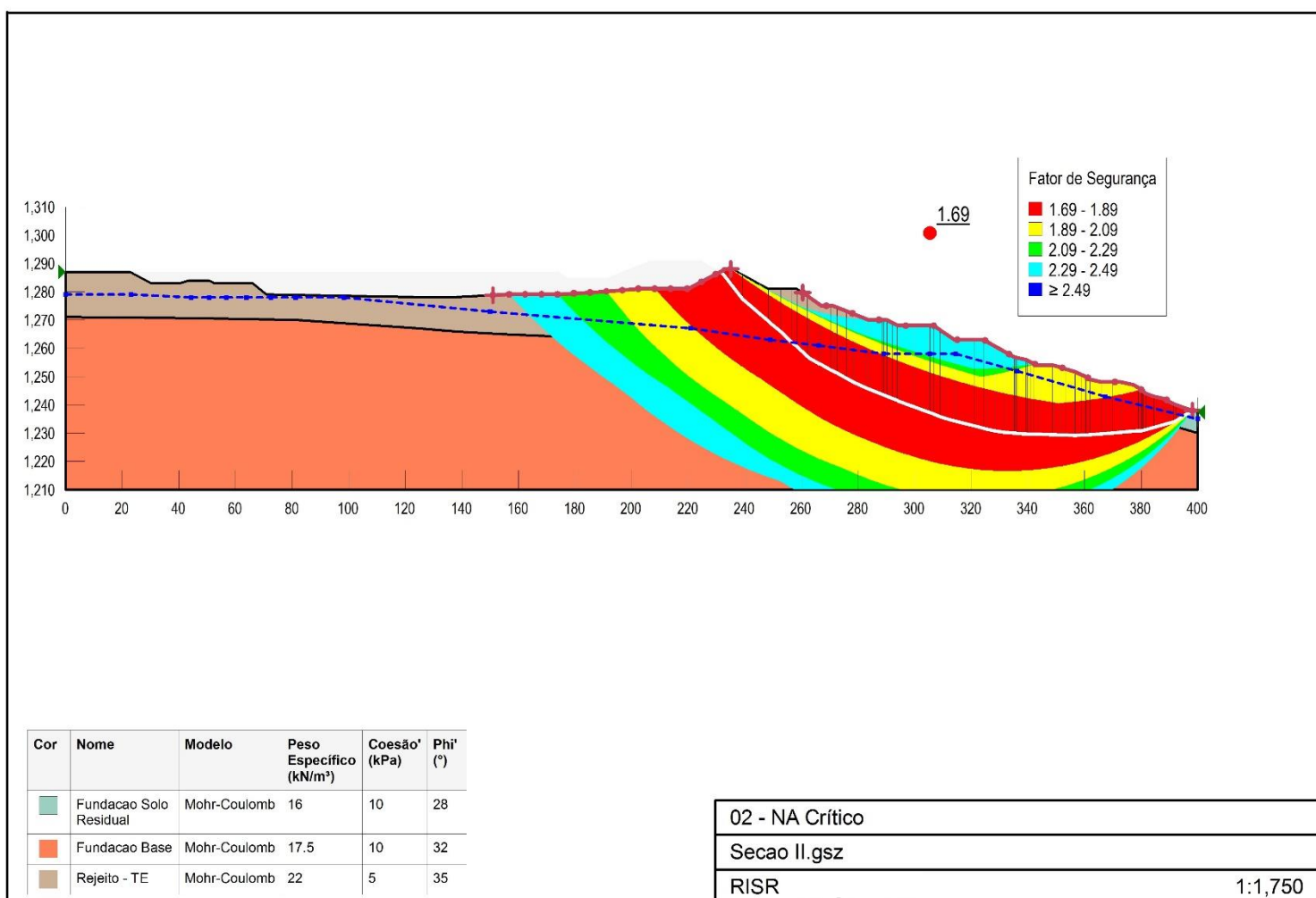


Figura 10.41 – Fator de Segurança – B01 – Seção II – NA Crítico – Tensão Efetiva (FS = 1,69)

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
		Nº HERCULANO	PÁGINA
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	137/148 REV. 1

BARRAGEM B1/B4

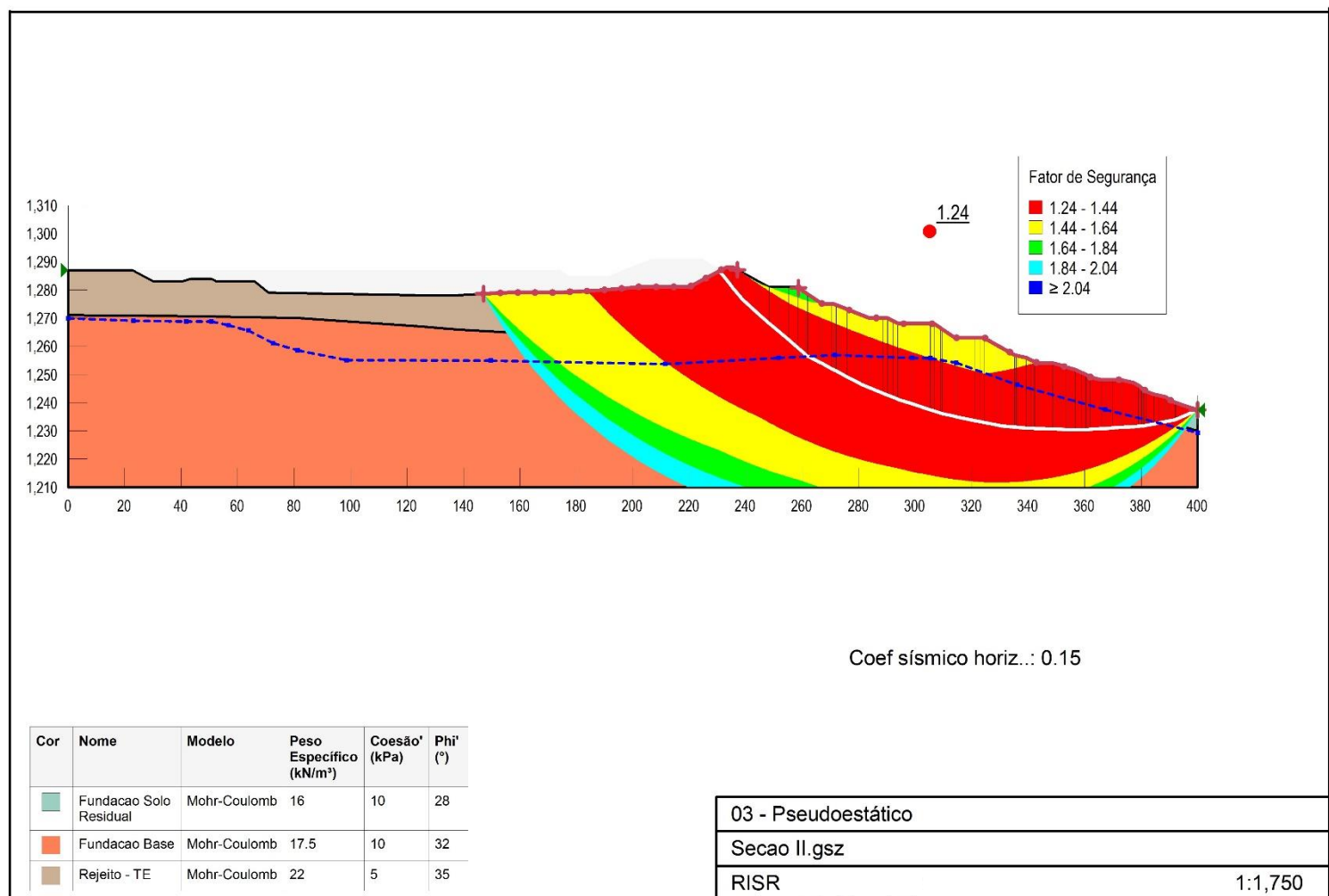


Figura 10.42 – Fator de Segurança – B01 – Seção II – Pseudoestática (FS = 1,24)

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
		Nº HERCULANO	PÁGINA
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	138/148 REV. 1

BARRAGEM B1/B4

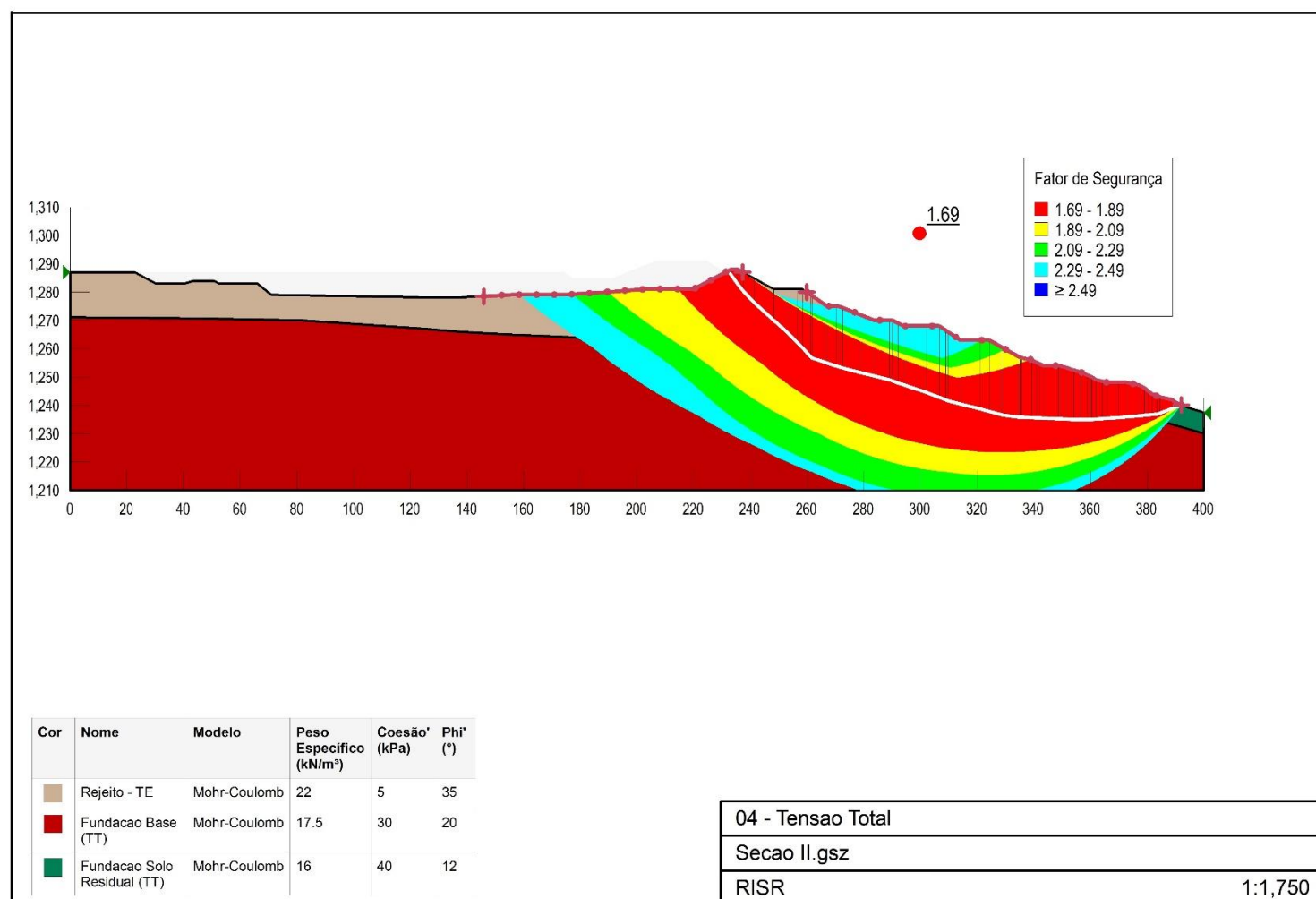


Figura 10.43 – Fator de Segurança – B01 – Seção II – Tensões Totais (FS = 1,69)

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
		Nº HERCULANO	PÁGINA
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	139/148 REV. 1

BARRAGEM B1/B4

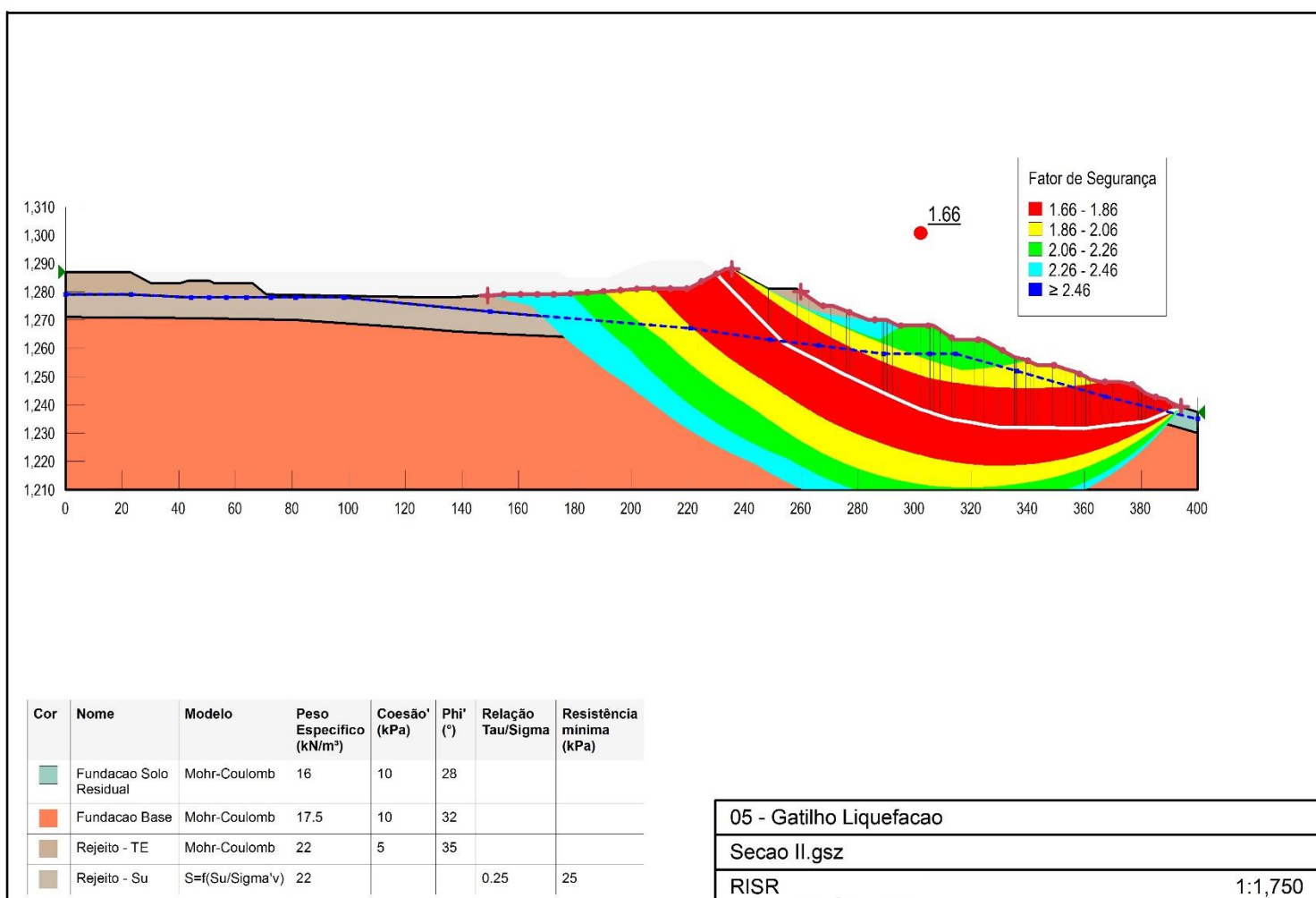


Figura 10.44 – Fator de Segurança – B01 – Seção II – Liquefação - Gatilho (FS = 1,66)

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 140/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

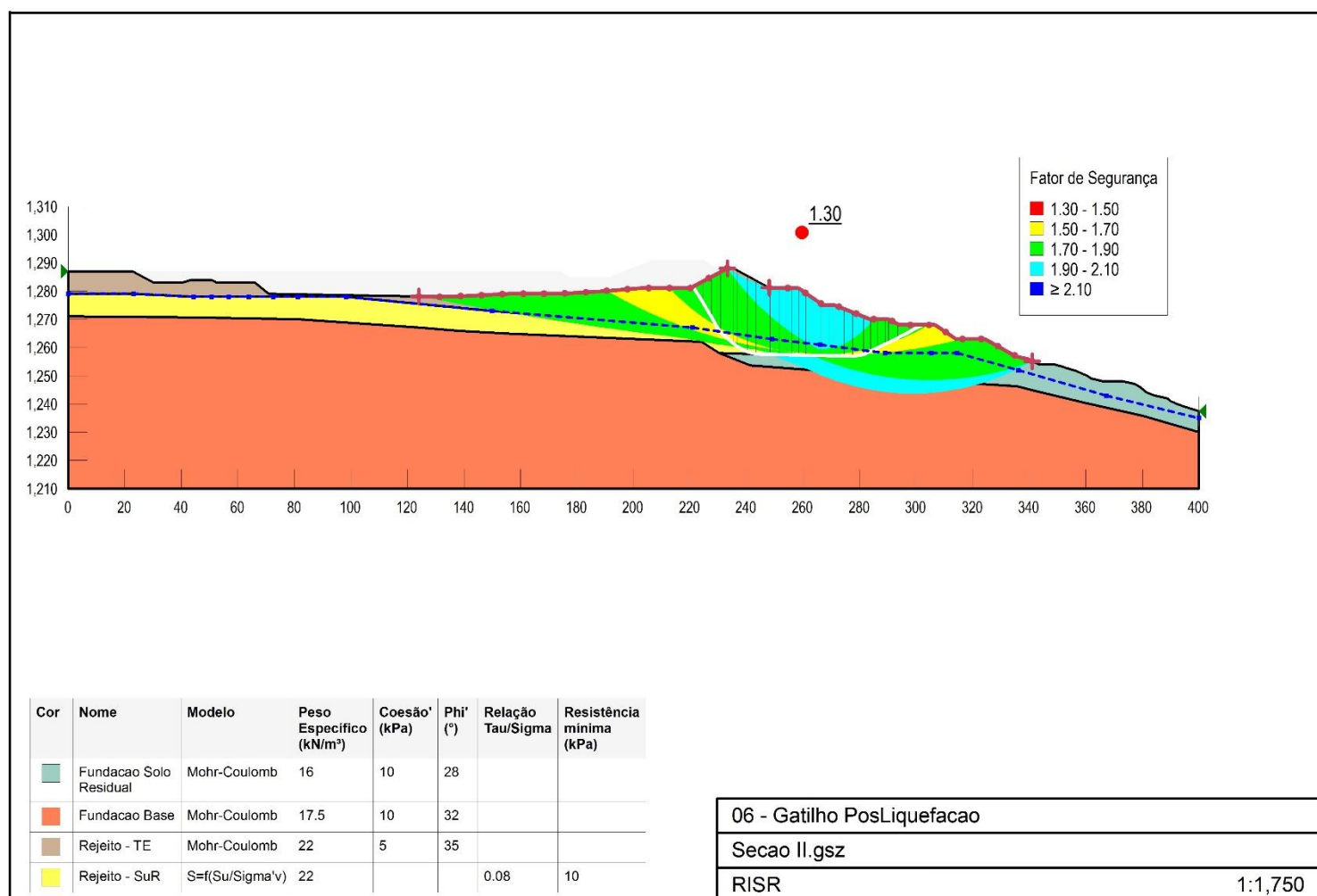


Figura 10.45 – Fator de Segurança – B01 – Seção II – Liquefação – pós Gatilho (FS = 1,30)

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
		Nº HERCULANO	PÁGINA
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	141/148 REV. 1

BARRAGEM B1/B4

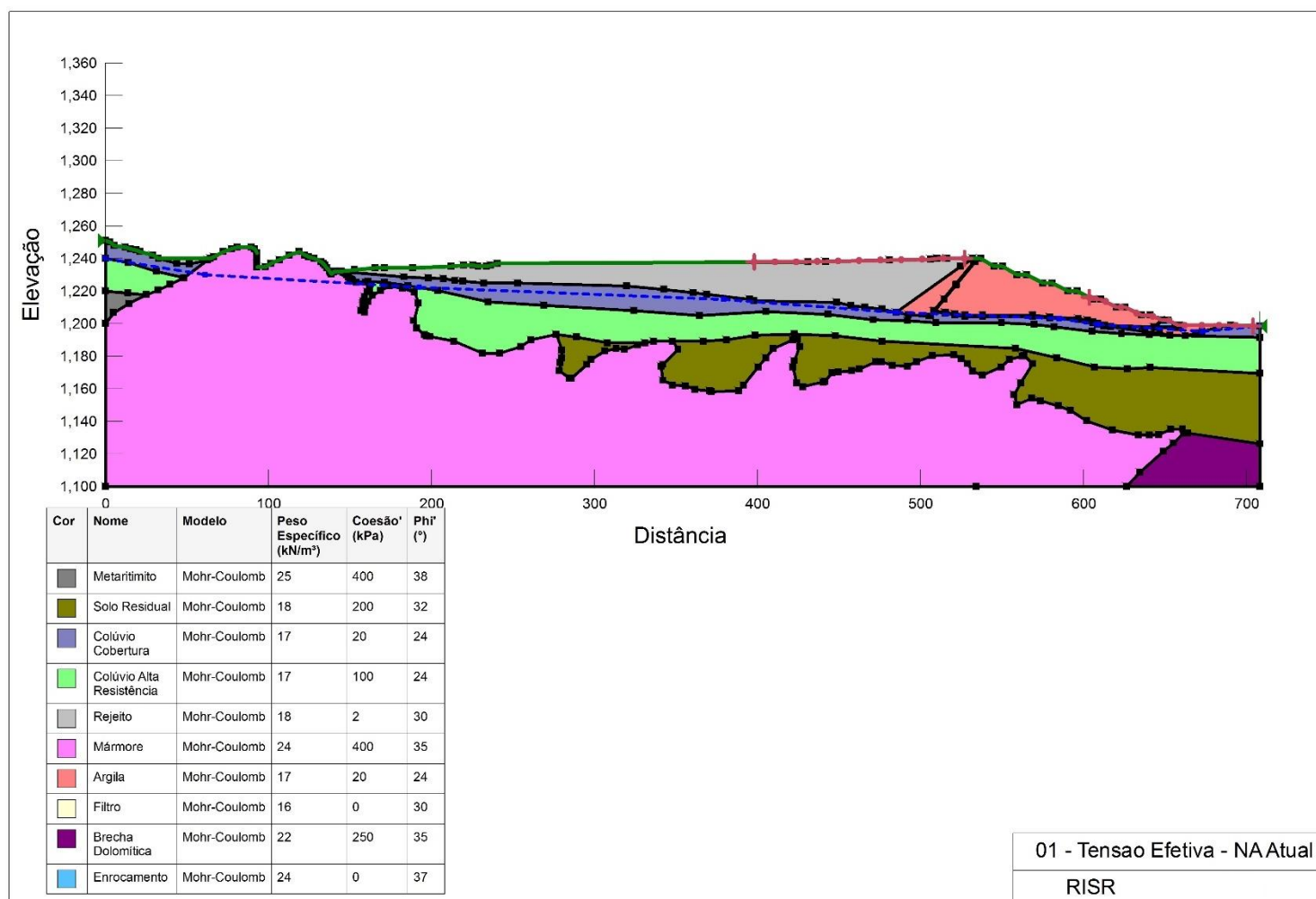


Figura 10.46 – Fator de Segurança – B04 – Seção NN – Seção de Modelagem

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	PÁGINA 142/148 REV. 1

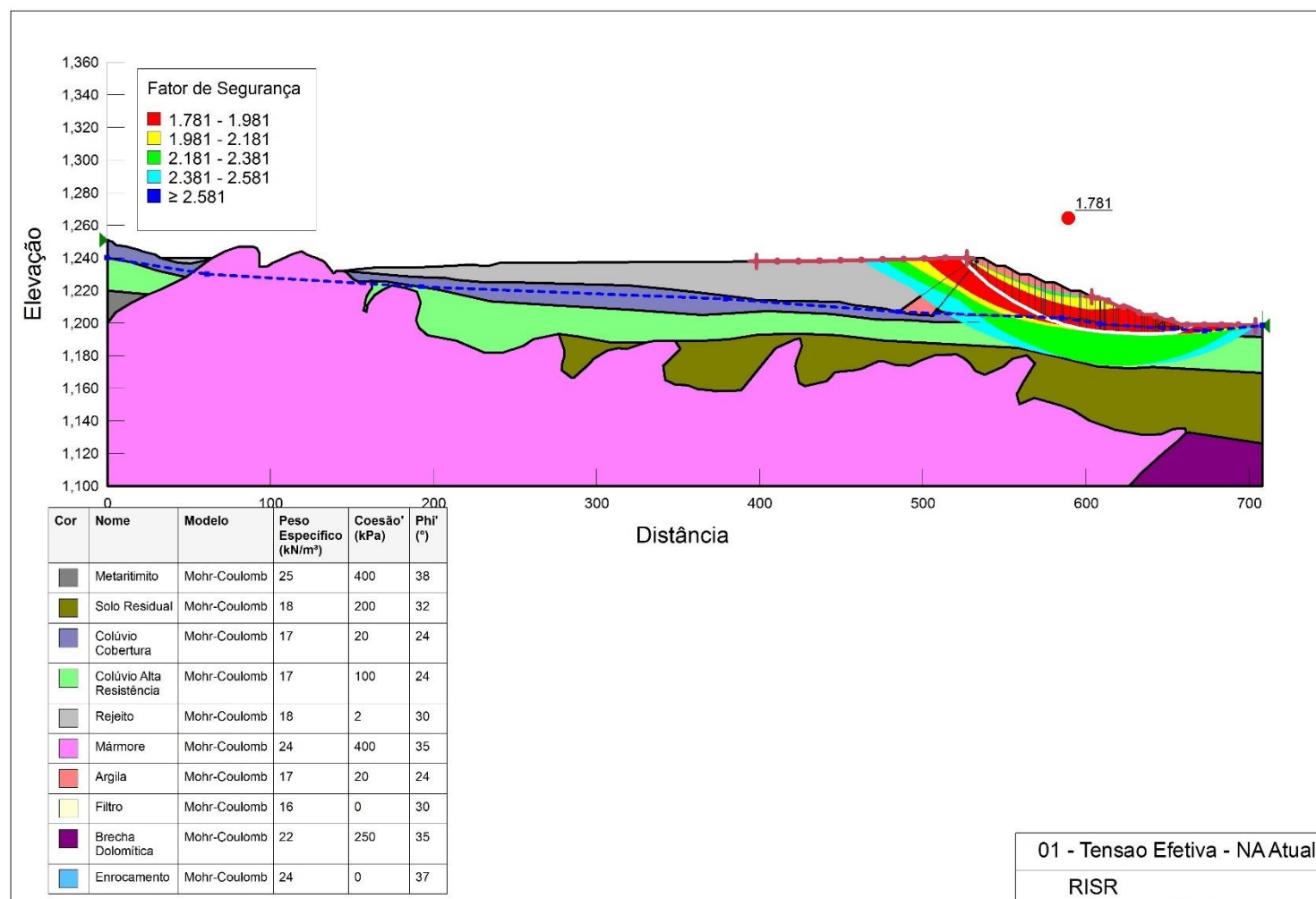


Figura 10.47 – Fator de Segurança – B04 – Seção NN – Condição Normal – Tensão Efetiva (FS = 1,781)

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	143/148 REV. 1

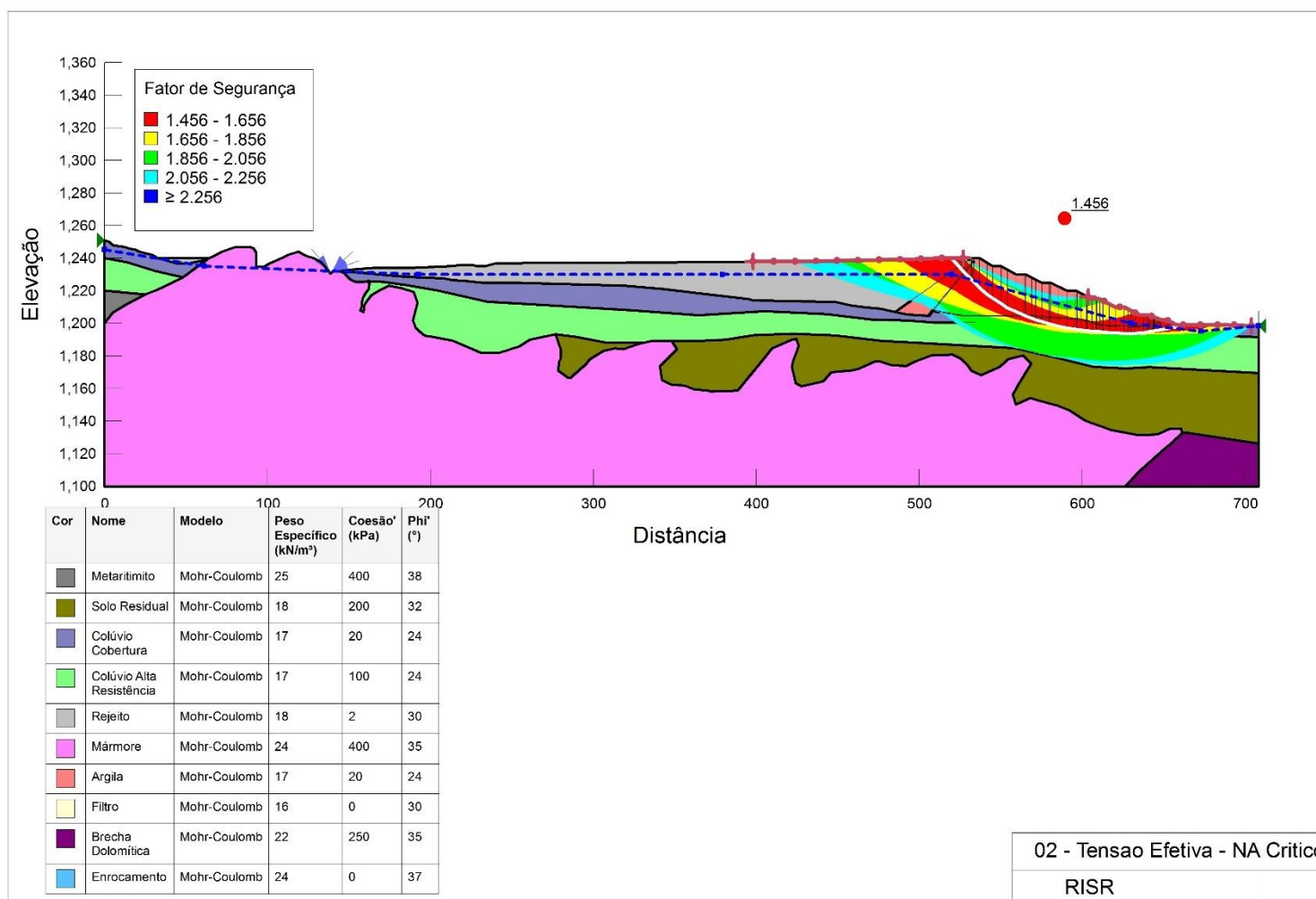


Figura 10.48 – Fator de Segurança – B04 – Seção NN – NA Crítico – Tensão Efetiva (FS = 1,456)

			RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
	BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 144/148
			Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

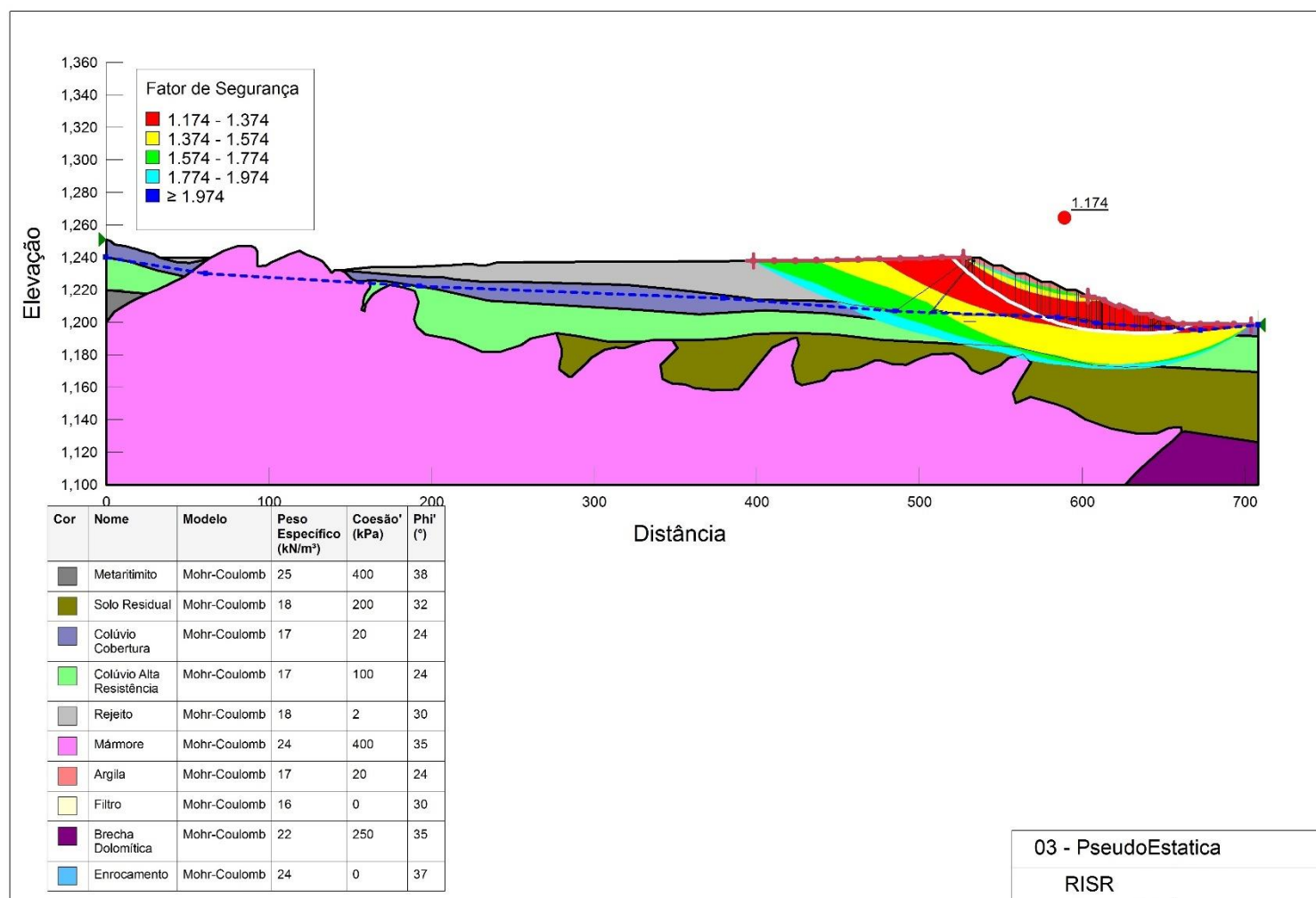


Figura 10.49 – Fator de Segurança – B04 – Seção NN – Pseudoestática (FS = 1,174)

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 145/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

11 RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES

As estruturas em análise, Barragem B1 e B4, se encontram em boa condição de estabilidade não sendo verificando-se indícios de instabilização ou de carregamentos que possam indicar risco para as estruturas. Foram julgadas, desta maneira, **como estáveis**.

Tais conclusões ponderaram os resultados de vistoria de campo, interpretação da instrumentação, análises de ensaios de campo e laboratório, bem como análises de percolação e estabilidade, todas confrontadas com padrões de segurança internacionais e aqueles determinados na recente revisão da norma ABNT NBR 13028/2017, tanto para condições de carregamento atual como para as condições de carregamento críticas.

Ressalta-se que as duas estruturas não vêm sendo utilizada, já há alguns anos, para disposição de rejeito. A barragem B1 se encontrando em processo de descaracterização desde 2018, já com 2,3 Mm³ retomados, aproximadamente 57% de seu volume total original. Esta considerável redução dos volumes acumulados tem tido como repercussão o aumento progressivo do fator de segurança da estrutura, em condições drenadas e não drenadas; e redução das áreas potencialmente afetadas em virtude de eventual ruptura, reduzindo a área do mapa de inundação/dano potencial associado.

Para o próximo período de estiagem a intenção é continuar priorizando a retomada da barragem B1, que deverá seguir um ritmo de retomada médio de aproximadamente 100.000 m³/mês. Neste ritmo, até setembro/2021, data da próxima auditoria de segurança, deve atingir menos que 1,5 Mm³.

Destaca-se que as atividades programadas para serem realizadas no semestre, recomendações constantes da auditoria realizada em 09/2020, foram adequadamente realizadas ou estão sendo adequadamente cumpridas. Desta maneira, recomenda-se, para o próximo semestre, que:

Tabela 11.1 – Recomendações, Barragem B1

ID	Recomendação	Prazo	Observação / Justificativa
01	Providenciar a poda da vegetação das faces dos taludes	30/05/2021	Foi verificado, ao final do período de chuvas, que houve crescimento considerável da vegetação gramínea sobre as faces dos taludes, recomendando-se sua poda.
02	Realizar o combate às pragas (formigueiros e cupinzeiros).	30/05/2021	A identificação de pragas na barragem B1 é difusa e pouco frequente. De qualquer forma é recomendável que deve ser realizado o combate aos formigueiros e cupins. Seguindo a rotina de manutenção da estrutura, deverá ser realizado o combate, impedindo sua evolução.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 146/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

ID	Recomendação	Prazo	Observação / Justificativa
03	Realização de serviços de mapeamento geofísico da barragem.	29/07/2021	Com fins de continuidade do monitoramento, permitindo a avaliação de eventuais modificações, recomenda-se que seja realizada nova campanha de investigação geofísica, incluindo métodos de medição de resistividade por método induzido e por potencial espontâneo.
04	Escavação de canal de drenagem interna na ombreira direita, entre as cotas El. 1270 e 1264 m	29/07/2021	Para condução dos fluxos de drenagem internos afluentes na estrutura foi construído um canal na ombreira direita da estrutura entre as cotas El. 1287 m e 1278 m, evitando consideráveis aportes de água para os rejeitos. Recomenda-se que seja realizado, também na ombreira direita, em seção similar aquela já utilizada, novo canal de drenagem, entre as cotas El. 1270 m e 1264 m (alinhamento: 611778E, 7760358N, 1270m 611535E, 776049N, 1261m).
05	Escavação de canal de drenagem interna para "redivisão da barragem B1 e do dique da barragem B1", entre as cotas El. 1270 e 1259 m	29/07/2021	Construção de um canal na porção central da estrutura atual, conformando, em campo, a divisão da barragem B1 original e do dique da barragem B1. Este canal deve ser integral escavado em terreno natural, já em grande parte exposto na região (alinhamento: 611501E, 7760184N, 1270m 611346E, 7760328N, 1259m)
06	Desativação e tamponamento dos poços de bombeamento	29/07/2021	Os poços de bombeamento não vêm sendo utilizados já há algum tempo, confirmando que sua operação tem pouco impacto no nível d'água da barragem. Considerando que há necessidade de eliminar riscos de deformação na região dos poços e que o nível de retomada da barragem B1 irá atingir o nível dos poços, recomenda-se que estes poços sejam desativados e tamponados (critérios definidos pelo IGAM).
07	Geometrização dos bancos de rejeitos expostos.	30/05/2021	Durante o período de chuvas ocorre carreamento localizado de rejeitos para as praças de retomada. Com o início do período seco estas zonas de acúmulo devem ser objeto de geometrização, realizando serviços com motoniveladora e recomposição de leiras.
08	Dar prosseguimento às atividades de retomada, com foco na descaracterização da barragem B1.	20/02/2022	Conforme estabelecido na legislação, as atividades de descaracterização deverão continuar sendo realizadas com foco na alteração da geometria da barragem B1 para que esta possa ser descaracterizada. Os volumes já escavados representam mais de 50% dos volumes originais da estrutura.
09	Realizar o planejamento das atividades para o período chuvoso.	29/06/2021	Definir a geometria a ser atingida para a preparação para o próximo período chuvoso, com foco na redução de volumes e aumento dos fatores de segurança.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 147/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

No caso da barragem B4 a recomendação é para que os trabalhos de retomada ainda não sejam iniciados, recomendando-se as seguintes ações:

Tabela 11.2 – Recomendações, Barragem B4

ID	Recomendação	Prazo	Observação / Justificativa
01	Providenciar a poda da vegetação das faces dos taludes	30/05/2021	Foi verificado, ao final do período de chuvas, que houve crescimento considerável da vegetação gramínea sobre as faces dos taludes, recomendando-se sua poda.
02	Realizar o combate às pragas (formigueiros e cupinzeiros).	30/05/2021	Na área da barragem B4 identifica-se, provavelmente em função de sua composição com solo argilosos, uma tendência mais acentuada de identificação de formigueiros e cupins. Neste sentido, seguindo a rotina de manutenção da estrutura, deverá ser realizado o combate às pragas, impedindo sua evolução.
03	Realizar ajustes na saída do sistema de drenagem da área recomposta do vórtex	29/06/2021	Foi identificado, no canal de condução de retificação da área recomposta da antiga abertura do vórtex, em função da maior velocidade de fluxos, a presença de processos erosivos de pequeno porte. Este canal deverá ser objeto de correção geométrica, podendo incluir o aumento da inclinação das paredes do canal ou, alternativamente, seu revestimento.
04	Realização de serviços de mapeamento geofísico da barragem.	29/07/2021	Com fins de continuidade do monitoramento, permitindo a avaliação de eventuais modificações, recomenda-se que seja realizada nova campanha de investigação geofísica, incluindo métodos de medição de resistividade por método induzido e por potencial espontâneo. Preferencialmente os levantamentos deverão ser realizados em seções similares.
05	Realizar os serviços de limpeza nas laterais do emboque do extravassor em flauta, garantindo sua adequação de funcionamento para o próximo período chuvoso.	28/08/2021	Uma vez que a drenagem superficial do reservatório da barragem B4 é direcionada para o emboque do vertedouro, posicionado em sua porção de montante, na ombreira direita, anualmente é necessário que seja realizada a limpeza de seu emboque. Ressalta-se que no último ano o aporte de sedimentos para o emboque manteve-se reduzido, ainda havendo volume de amortecimento remanescente. Neste sentido trata-se de uma medida preventiva para o bom funcionamento no próximo período de chuvas.

 HERCULANO MINERAÇÃO	 Geomil serviços de mineração	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR - RISR	
BARRAGEM B1/B4		Nº HERCULANO	PÁGINA 148/148
		Nº GEOMIL 074-2021-03-0002	REV. 1

ID	Recomendação	Prazo	Observação / Justificativa
06	Manter os esforços de escavação para descaracterização concentrados na barragem B1, não sendo previstas a realização de escavações na barragem B4 durante o próximo ano.	20/02/2022	Considerando-se a necessidade de concentrar esforços para descaracterização de estruturas com alteamento para montante, barragem B1 no presente caso, recomenda-se que os serviços de escavação sejam novamente postergados por mais 1 ano, concentrando os esforços na plena descaracterização da barragem B1. Reforça-se que o planejamento de retomada é uma atividade dinâmica e, neste sentido, esta recomendação poderá ser alterada de acordo com os ajustes de planejamento, sempre considerando as variáveis geotécnicas neste caso.

Termos em que,

Apresentamos em sequência a respectiva Declarações de Condição de Estabilidade – DCE, acompanhadas de Anotação de Responsabilidade Técnica – ART, nos termos do artigo 17º da Portaria Lei nº 23.291/2019, parágrafo primeiro, bem como ciente do empreendedor da íntegra do conteúdo do presente documento e da importância do cumprimento de todas as recomendações ora apresentadas.

Belo Horizonte, 26 de março de 2021.

Gustavo de Azevedo Pereira
Engenheiro de Minas
CREA nº 90.526/D

Ciente:

Herculano Mineração Ltda.