



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANTONIO BERNARDO DE MOURA NETO

**INFLUÊNCIA DA INFILTRAÇÃO NA ESTABILIDADE DE TALUDE EM SOLO NÃO
SATURADO: ESTUDO DE CASO EM UMA ENCOSTA NO ALTO DA TELHA -
RECIFE (PE)**

Recife
2025

ANTONIO BERNARDO DE MOURA NETO

**INFLUÊNCIA DA INFILTRAÇÃO NA ESTABILIDADE DE TALUDE EM SOLO NÃO
SATURADO: ESTUDO DE CASO EM UMA ENCOSTA NO ALTO DA TELHA -
RECIFE (PE)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal
de Pernambuco, como requisito parcial
para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Romero de Melo Ferreira

Recife

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Moura Neto, Antonio Bernardo de.

INFLUÊNCIA DA INFILTRAÇÃO NA ESTABILIDADE DE TALUDE EM
SOLO NÃO SATURADO: ESTUDO DE CASO EM UMA ENCOSTA NO
ALTO DA TELHA - RECIFE (PE) / Antonio Bernardo de Moura Neto. -
Recife, 2025.

78 : il., tab.

Orientador(a): Silvio Romero de Melo Ferreira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Civil -
Bacharelado, 2025.

Inclui referências, apêndices, anexos.

1. estabilidade de taludes. 2. fluxo subterrâneo. 3. modelagem numérica. 4.
Fator de Segurança. 5. infiltração. I. Ferreira, Silvio Romero de Melo. (Orientação).
II. Título.

620 CDD (22.ed.)

ANTONIO BERNARDO DE MOURA NETO

INFLUÊNCIA DA INFILTRAÇÃO NA ESTABILIDADE DE TALUDE EM SOLO NÃO SATURADO: ESTUDO DE CASO EM UMA ENCOSTA NO ALTO DA TELHA - RECIFE (PE)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 22/08/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Silvio Romero de Melo Ferreira (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Larissa Ferreira Gomes de Araújo (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Luiz Fillipe da Silva Oliveira (Examinador Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho a Maria das Dores da Conceição, Edson Lopes da Silva, Maria Betânia da Cruz Moura e Antonio Bernardo de Moura (*in memorian*), meus avós, que sempre me acolheram com amor e sabedoria, sendo fontes de inspiração e referência ao longo da minha jornada.

E a Gleice Lopes da Silva e Antonio Bernardo de Moura Filho, meus pais, que sempre me deram apoio incondicional e incentivaram meu crescimento educacional, com coragem, dedicação e muito carinho.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela Sua presença constante e eterna em minha vida, guiando-me com sabedoria e força em cada momento dessa jornada.

Aos meus pais, Gleice e Antonio, por todo o apoio, amor e dedicação incondicionais. Sem o incentivo de vocês, eu não teria chegado até aqui. Vocês sempre foram minha base, me ensinando a perseverar e a lutar pelos meus sonhos.

A minha irmã, Geyse, pela amizade, paciência e pelas palavras de encorajamento em todos os momentos. Sua presença e compreensão foram fundamentais para o meu crescimento e equilíbrio durante essa trajetória

Aos meus avós, Dorinha, Edson, Betânia e Antonio, por todo o amor e exemplo de vida que me transmitiram. Eles sempre foram fontes de sabedoria e inspiração, e suas lembranças continuam a ser um pilar importante em minha vida.

Ao prof. Silvio Romero, pelo apoio incondicional durante toda a minha jornada acadêmica. Seus ensinamentos, orientação e incentivo foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu amadurecimento profissional.

Agradeço, de forma especial, ao engenheiro e amigo Maurício Filho, pelo apoio técnico, incentivo constante e pela generosa colaboração ao longo da construção deste trabalho. Sua experiência e disponibilidade foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores da graduação, que contribuíram com seu conhecimento, dedicação e paixão pelo ensino. Cada um, à sua maneira, fez parte da construção de minha formação

A Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), pela oportunidade de crescimento acadêmico e pessoal, pela qualidade de ensino oferecida e pelos recursos que possibilitaram a realização deste trabalho.

A equipe do Laboratório de Solos e Instrumentação da Universidade Federal de Pernambuco, pela colaboração técnica e pelo ambiente de aprendizado proporcionado. Agradeço a todos que contribuíram para o desenvolvimento das atividades práticas e experimentais durante o curso.

Aos amigos da graduação, que sempre estiveram ao meu lado, compartilhando experiências, desafios e conquistas. Cada um de vocês foi fundamental para tornar essa trajetória mais leve e prazerosa.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - FACEPE e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio ao projeto com processo nº 408102/2023-3.

Agradeço à empresa TPF Engenharia pela oportunidade concedida e pelo apoio técnico. A colaboração da equipe, a confiança depositada e o ambiente profissional proporcionado foram fundamentais para a realização desta pesquisa.

E a todos que contribuíram diretamente e indiretamente para a realização deste trabalho, sua colaboração foi essencial para que eu pudesse concluir esta etapa com sucesso.

RESUMO

Deslizamentos de terra em áreas urbanas representam um risco significativo à segurança de comunidades vulneráveis, especialmente em cidades como Recife, onde a ocupação desordenada de encostas é comum. Dentre os fatores que influenciam a instabilidade de taludes, destaca-se a infiltração de água em solos não saturados, cuja variação ao longo do tempo pode reduzir significativamente o fator de segurança (FS) das encostas. Diante disso, este trabalho tem como objetivo avaliar a estabilidade de um talude localizado na comunidade Alto da Telha, bairro de Passarinho, Zona Norte do Recife, considerando a influência da infiltração de água em solo não saturado ao longo do perfil da encosta. A análise é realizada por meio de modelagem numérica utilizando o *software Slide2*, através da elaboração de três cenários distintos, um com condição natural (sem infiltração), um com regime de fluxo transitório e outro com saturação progressiva do perfil. Os dados de infiltração foram obtidos a partir da realização do ensaio de anéis concêntricos na encosta analisada no Alto da Telha, Passarinho, Recife-PE. A partir da simulação dos campos de poropressão e das superfícies freáticas, foram avaliadas as variações no fator de segurança (FS) de cada cenário. Os resultados mostraram que a condição natural apresentou o maior fator de segurança, por não haver presença de fluxo subterrâneo. O cenário transiente apresentou maior capacidade de representar as interações hidromecânicas ao longo do tempo, embora, no caso específico deste estudo, a curta duração do intervalo analisado não tenha promovido variações significativas na superfície freática nem no FS. Já a saturação progressiva revelou redução do FS até a saturação completa da zona de ruptura, destacando a importância da infiltração na estabilidade de taludes urbanos.

Palavras-chave: estabilidade de taludes; fluxo subterrâneo; modelagem numérica; Fator de Segurança; infiltração.

ABSTRACT

Landslides in urban areas represent a significant risk to the safety of vulnerable communities, especially in cities like Recife, where the unplanned occupation of slopes is common. Among the factors influencing slope instability, water infiltration in unsaturated soils stands out, as its variation over time can significantly reduce the factor of safety (FS) of slopes. In this context, the objective of this study is to evaluate the stability of a slope located in the Alto da Telha community, Passarinho neighborhood, in the northern zone of Recife, considering the influence of water infiltration in unsaturated soil along the slope profile. The analysis was carried out through numerical modeling using the Slide2 software, by developing three distinct scenarios: one under natural conditions (without infiltration), one with transient flow regime, and another with progressive saturation of the profile. The infiltration data were obtained through the concentric ring infiltrometer test conducted on the slope analyzed in Alto da Telha, Passarinho, Recife-PE. Based on the simulation of pore pressure fields and groundwater tables, variations in the factor of safety (FS) were assessed for each scenario. The results showed that the natural condition presented the highest factor of safety, since there was no presence of subsurface flow. The transient scenario demonstrated a greater ability to represent hydro-mechanical interactions over time; however, in this specific case, the short duration of the analyzed interval did not lead to significant variations in the groundwater table or the FS. On the other hand, progressive saturation revealed a reduction in FS until the complete saturation of the failure zone, highlighting the importance of infiltration in the stability of urban slopes.

Keywords: slope stability; subsurface flow; numerical modeling; Factor of Safety; infiltration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Método de Fellenius: Forças aplicadas a uma fatia de solo.	19
Figura 2 - Método de Bishop: Forças aplicadas a uma fatia de solo.	20
Figura 3 - Método de Jambu (Simplificado): Forças aplicadas a uma fatia de solo.	21
Figura 4 - Método de Spencer: Forças aplicadas a uma fatia de solo.	22
Figura 5 - Determinação do Fator de Segurança.	23
Figura 6 - Método de Morgenstern-Price: Forças aplicadas a uma fatia de solo.	24
Figura 7 - Interface do Software Slide2.	30
Figura 8 - Mapa representativa da região estudada.	32
Figura 9 - Mapa de localização do ensaio.	33
Figura 10 - Região de localização do ensaio.	34
Figura 11 - Materiais utilizados no ensaio.	34
Figura 12 - Cravação do instrumento no solo.	35
Figura 13 - Abastecimento de água para realização do ensaio.	35
Figura 14 - Fase final do ensaio, realização de leituras.	36
Figura 15 – Curva: Velocidade de infiltração x tempo (Ensaio de Duplo Anel)	38
Figura 16 - Precipitação mensal da região.	39
Figura 17 - Representação do cenário 1.	41
Figura 18 - Representação do cenário 2.	43
Figura 19 - Configuração inicial e estágio 01 (0 minutos), respectivamente.	44
Figura 20 - Estágio 02 (1 minuto) e 03 (3 minutos), respectivamente.	44
Figura 21 - Estágio 04 (5 minutos) e 05 (10 minutos), respectivamente.	44
Figura 22 - Estágio 06 (15 minutos) e 07 (20 minutos), respectivamente.	45
Figura 23 - Estágio 08 (25 minutos) e 09 (30 minutos), respectivamente.	45
Figura 24 - Estágio 10 (40 minutos) e 11 (50 minutos), respectivamente.	45
Figura 25 - Estágio 12 (60 minutos) e 13 (75 minutos), respectivamente.	46
Figura 26 - Estágio 14 (90 minutos) e 15 (120 minutos), respectivamente.	46
Figura 27 - Estágio 16 (150 minutos) e 17 (180 minutos), respectivamente.	46
Figura 28 - Saturação do aterro e 1 metro abaixo, respectivamente.	48
Figura 29 - Saturação de 2 e 3 metros abaixo do aterro, respectivamente.	48
Figura 30 - Saturação de 4 e 5 metros abaixo do aterro, respectivamente.	48
Figura 31 - Saturação de 6 e 7 metros abaixo do aterro, respectivamente.	49
Figura 32 - Saturação de 8 e 9 metros abaixo do aterro, respectivamente.	49
Figura 33 - Saturação de 10 metros abaixo do aterro e total, respectivamente.	49
Figura 34 - Análise de Estabilidade do cenário 01.	51
Figura 35 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Configuração inicial e estágio 01 (0 minutos), respectivamente.	52
Figura 36 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Estágio 02 (1 minuto) e 03 (3 minutos), respectivamente.	52
Figura 37 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Estágio 04 (5 minutos) e 05 (10 minutos), respectivamente.	52
Figura 38 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Estágio 06 (15 minutos) e 07 (20 minutos), respectivamente.	53
Figura 39 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Estágio 08 (25 minutos) e 09 (30 minutos), respectivamente.	53

Figura 40 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Estágio 10 (40 minutos) e 11 (50 minutos), respectivamente.	53
Figura 41 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Estágio 12 (60 minutos) e 13 (75 minutos), respectivamente.	54
Figura 42 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Estágio 14 (90 minutos) e 15 (120 minutos), respectivamente.	54
Figura 43 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Estágio 16 (150 minutos) e 17 (180 minutos), respectivamente.	54
Figura 44 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro.	56
Figura 45 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 1 metro abaixo dele.	56
Figura 46 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 2 metros abaixo dele.	57
Figura 47 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 3 metros abaixo dele.	57
Figura 48 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 4 metros abaixo dele.	58
Figura 49 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 5 metros abaixo dele.	58
Figura 50 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 6 metros abaixo dele.	59
Figura 51 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 7 metros abaixo dele.	59
Figura 52 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 8 metros abaixo dele.	60
Figura 53 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 9 metros abaixo dele.	60
Figura 54 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 10 metros abaixo dele.	61
Figura 55 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação total do perfil.	61
Figura 56 - Variação do Fator de Segurança com o nível de saturação.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nível de Segurança desejado contra a perda de vidas humanas.	25
Tabela 2 - Nível de Segurança desejado contra danos materiais e ambientais.....	25
Tabela 3 - Fatores de segurança mínimos para deslizamentos.	26
Tabela 4 - Dados obtidos no ensaio de anéis concêntrico.	37
Tabela 5 - Dados utilizados na análise transiente.....	42
Tabela 6 - Resumo dos Fatores de Seguranças em cada cenário, por métodos.	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos.....	15
1.2	JUSTIFICATIVAS	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES.....	17
2.1.1	Método de Fellenius.....	17
2.1.2	Método de Bishop	19
2.1.3	Método de Janbu	20
2.1.4	Método de Spencer.....	21
2.1.5	Método de Morgenstern-Price.....	23
2.2	FATOR DE SEGURANÇA.....	24
2.3	SOFTWARE SLIDE2.....	29
2.4	ANÁLISE DO FLUXO DE ÁGUA.....	26
2.4.1	Fluxo Permanente (<i>Steady State Groundwater</i>)	27
2.4.2	Fluxo Transitório (<i>Transient Groundwater</i>).....	27
2.5	ENSAIO DE INFILTRAÇÃO COM DUPLO ANEL	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	29
3.2	ENSAIO DE INFILTRAÇÃO COM DUPLO ANEL	33
3.3	ANÁLISE HIDROLÓGICA DA REGIÃO	38
3.4	MODELAGEM DOS CENÁRIOS ANALISADOS.....	40
3.4.1	Cenário 1: Condição Natural.....	40
3.4.2	Cenário 2: Regime transitório com Infiltração variável	41
3.4.3	Cenário 3: Simulação de infiltração progressiva	47
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS	50
5	CONCLUSÃO	65

1 INTRODUÇÃO

A estabilidade de taludes em áreas urbanas representa um desafio significativo para a engenharia geotécnica, especialmente em regiões sujeitas a variações climáticas acentuadas, como o Recife. A cidade, caracterizada por períodos de intensas precipitações, frequentemente sofre com deslizamentos de terra que afetam a segurança de infraestruturas e comunidades locais. Uma das principais causas desses deslizamentos é o aumento da infiltração de água no solo, o que altera suas propriedades mecânicas e, em particular, a resistência ao cisalhamento, fator determinante para a estabilidade de encostas.

Neste contexto, o presente trabalho visa avaliar a estabilidade de um talude localizado na comunidade Alto da Telha, no bairro de Passarinho, na Zona Norte do Recife, com foco na análise da influência da infiltração de água em solo não saturado ao longo de seu perfil. A infiltração de água, seja por chuvas intensas ou outras fontes, como vazamento de tubulações, pode alterar significativamente as características geotécnicas do solo, reduzindo sua capacidade de resistir ao deslizamento e aumentando o risco de colapsos em encostas.

O estudo foca em dois aspectos principais: a avaliação do coeficiente de permeabilidade do solo e a simulação do efeito da infiltração e intensidade de chuvas sobre o perfil do solo. Esses fatores são essenciais para entender os mecanismos que levam à instabilidade de taludes e, conseqüentemente, para propor soluções e medidas de mitigação.

Com isso, a pesquisa busca fornecer uma contribuição relevante para o entendimento dos processos que impactam a segurança de taludes em áreas urbanas vulneráveis, como o Alto da Telha, de modo que ajude a fornecer subsídios para a adoção de estratégias de prevenção e controle de deslizamentos, fundamentais para a proteção das comunidades e infraestruturas locais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a estabilidade de um talude localizado na comunidade Alto da Telha, Zona Norte do Recife, considerando a influência da infiltração de água em solo não saturado ao longo do perfil geotécnico da encosta.

1.1.2 Objetivos Específicos

Entre os objetivos específicos, destacam-se:

- a) Avaliar o coeficiente de permeabilidade do solo por meio do ensaio de duplo anel, a fim de caracterizar a capacidade do solo de permitir o fluxo de água em diferentes condições de umidade.
- b) Simular o efeito da infiltração de água e a intensidade de chuvas no perfil do solo, por meio de modelagem computacional, para analisar como esses fatores contribuem para a instabilidade do talude e potenciais deslizamentos.
- c) Compreender como as variações nas condições de umidade afetam a resistência ao cisalhamento do solo da encosta.
- d) Investigar os fatores que contribuem para que ocorra potenciais deslizamentos e fornecer subsídios técnicos para a adoção de medidas preventivas e corretivas que garantam a segurança estrutural da área estudada.

1.2 JUSTIFICATIVAS

A escolha do tema para este Trabalho de Conclusão de Curso, que trata da análise da influência da infiltração em solo não saturado na estabilidade de um talude localizado no Alto da Telha, Zona Norte do Recife, é justificada pela relevância social, científica e prática da pesquisa no contexto da segurança geotécnica e prevenção de desastres em áreas urbanas vulneráveis.

Do ponto de vista social, a região do Alto da Telha, assim como diversas outras áreas urbanas do Recife, enfrenta sérios problemas relacionados à instabilidade de taludes e a suscetibilidade à deslizamentos, agravados pelos períodos chuvosos que ocorrem na cidade. Os deslizamentos representam uma ameaça direta à vida e à segurança das populações que vivem em encostas, além de impactarem a infraestrutura local. Portanto, compreender os fatores que afetam a estabilidade dessas encostas, especialmente em relação à infiltração de água no solo, é essencial para a prevenção de desastres naturais e a preservação da vida.

No aspecto científico, este estudo contribui para a ampliação do conhecimento geotécnico sobre o comportamento de solos não saturados, especialmente em regiões de climas tropicais e com alta urbanização. A infiltração de água no solo pode alterar drasticamente suas propriedades mecânicas, como a resistência ao cisalhamento, um parâmetro muito importante para a estabilidade de taludes. Assim, esta pesquisa fornece uma análise detalhada da relação entre infiltração e instabilidade em áreas urbanas, além de servir como base para estudos futuros.

Além disso, o trabalho possui relevância prática no desenvolvimento de soluções técnicas para a engenharia geotécnica e o planejamento urbano. Os resultados esperados, incluindo a avaliação do coeficiente de permeabilidade do solo, a análise da variação da resistência ao cisalhamento e a simulação dos efeitos das chuvas, poderão ser utilizados para propor medidas preventivas e corretivas que minimizem o risco de deslizamentos nas áreas suscetíveis. Essas informações são fundamentais para a formulação de políticas públicas e estratégias de intervenção em áreas de risco, contribuindo para a proteção da infraestrutura e das comunidades.

Portanto, a presente pesquisa é justificada por sua contribuição tanto para a ciência, ao aprofundar o entendimento do comportamento de solos em áreas urbanas sob condições climáticas adversas, quanto para a sociedade, ao fornecer subsídios para a gestão sustentável de áreas de risco e a prevenção de deslizamentos em regiões de grande vulnerabilidade geotécnica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados os conceitos fundamentais de estabilidade de taludes e de fator de segurança, os métodos de análise e o software utilizado no desenvolvimento das análises, a fim de fundamentar o presente trabalho.

2.1 ESTABILIDADE DE TALUDES

A estabilidade de taludes é um dos principais temas da geotecnia, especialmente em áreas urbanas com ocupação em encostas. Um talude é considerado estável enquanto as forças resistentes (coesão, atrito interno e sucção em solos não saturados) forem maiores do que as forças atuantes (peso próprio, água, atividades humanas etc.). Quando essa condição não é satisfeita, ocorre a ruptura ou deslizamento (LAMBE; WHITMAN, 1979).

A análise da estabilidade pode ser realizada por métodos determinísticos, como o método de Bishop e o método de Morgenstern-Price, por abordagens probabilísticas que consideram a variabilidade das propriedades do solo, ou ainda por modelos numéricos que simulam o comportamento do talude sob diferentes condições de carregamento e infiltração (DUNCAN; WRIGHT; WAN, 2014). Os métodos determinísticos abordados neste trabalho foram: Fellenius, Bishop, Janbu, Spencer e Morgenstern-Price.

2.1.1 Método de Fellenius

O método de Fellenius juntamente com o método de Bishop são chamados de métodos das fatias, sendo os mais utilizados para o estudo da estabilidade de taludes. O método de fatias consiste em:

- 1) Dividir o talude em fatias de base com material único.
- 2) As tensões da base são geradas pelo peso da fatia.
- 3) calcula-se o equilíbrio do conjunto pela equação de equilíbrio em relação ao centro do círculo.

No método de Fellenius, o equilíbrio de forças em cada fatia é feito na direção normal e tangencial à superfície de ruptura. A força normal é obtida pela Equação 1.

$$N = (W + X_n - X_{n-1}) \times \cos \alpha - (E_n - E_{n+1}) \times \sin \alpha \quad (1)$$

Onde W é a força peso das lamelas, X e E são forças interlamelares, e o ângulo α é o ângulo entre o centro do círculo de ruptura e o eixo da força peso da lamela. O método de Fellenius elimina os termos de X e E , dessa forma o fator de segurança fica definido pela Equação 2 que relaciona a coesão efetiva do solo (c'), a largura da base inclina (l), o peso por metro do solo (W) e a poropressão (u).

$$FS = \frac{\sum [c' \times l + (W \times \cos \alpha - u \times l) \times \tan \varphi']}{\sum W_i \times \sin \alpha} \quad (2)$$

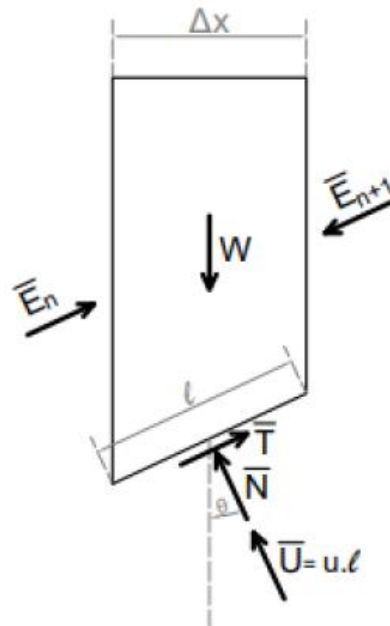
As equações 3 e 4, a seguir, detalham respectivamente peso por metro de material e largura da base inclinada.

$$W = \gamma \times A \quad (3)$$

$$l = \frac{b}{\cos \alpha} \quad (4)$$

O método de Fellenius é considerado um método que fornece baixos valores de fator de segurança quando comparado aos demais métodos, ou seja, é um método conservador. Entretanto, para círculos de ruptura profundos ou para altos valores de poropressão, o método de Fellenius não é muito confiável. Para casos em que o ângulo α é negativo, deve-se anular esses valores pois resultam em tensão efetiva negativa. A Figura 1 exemplifica o método de Fellenius.

Figura 1 - Método de Fellenius: Forças aplicadas a uma fatia de solo.

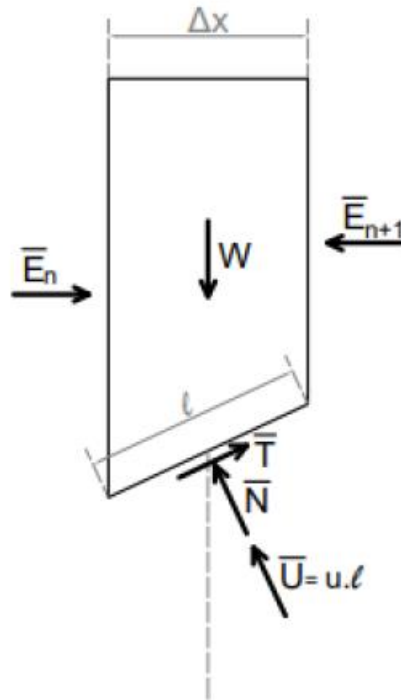


Fonte: Massad (2003).

2.1.2 Método de Bishop

O método de Bishop foi apresentado em 1955 e tinha como intuito inicial a análise de superfícies circulares, embora possa ser aplicado a superfícies não circulares. O cálculo do fator de segurança é feito ignorando as forças de corte entre as fatias, satisfazendo apenas o equilíbrio de momentos. Os bons resultados do fator de segurança fornecidos por este método, desencadearam uma série de estudos com o intuito de efetuar um estudo mais aprofundado sobre o método. Zhu (2008) mostra que o fato de as forças de corte entre fatias não entrarem na expressão de cálculo de FS, não quer dizer que estas sejam nulas, mas sim que um dos termos dessa equação seja zero. Isso acontece quando se adota uma distribuição ajustada das forças de corte verticais entre fatias que satisfaça, ao mesmo tempo, o equilíbrio de forças horizontais. Daí resulta a sua precisão quando comparado com outros métodos. A reação normal na base da fatia é obtida através do equilíbrio de forças segundo a direção vertical. As forças aplicadas a cada fatia encontram-se ilustradas na *Figura 2*.

Figura 2 - Método de Bishop: Forças aplicadas a uma fatia de solo.



Fonte: Massad (2003).

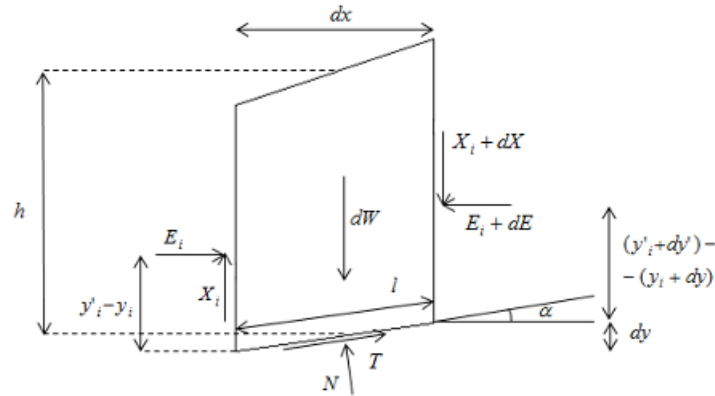
O cálculo do fator de segurança pelo método de Bishop é feito de forma iterativa e é dado pela equação 5, a seguir.

$$FS = \frac{\sum (c' \times l + (\frac{W - u \times b - (c' \times b \times \tan \alpha)/FS}{\cos \alpha + (\tan \phi' \times \sin \alpha)/FS}) \times \tan \phi'}{\sum W \times \sin \alpha} \quad (5)$$

2.1.3 Método de Janbu

O método de Janbu (simplificado) ignora as forças normais e de corte entre fatias e satisfaz apenas o equilíbrio de forças. Existe uma variante deste método que pode ser intitulada como sendo o método de Janbu corrigido. Esta variante introduz um fator corretivo (f_o) que é multiplicado pelo fator de segurança resultante do equilíbrio de forças. Este fator corretivo existe para ter em conta as forças de interação entre fatias desprezadas pelo método, e depende do tipo de solo que constitui o talude. A reação normal na base da fatia é obtida através do equilíbrio de forças segundo a direção vertical. A Figura 3 mostra as forças aplicadas a cada fatia.

Figura 3 - Método de Jambu (Simplificado): Forças aplicadas a uma fatia de solo.



Fonte: Ferreira (2012).

O valor do fator de segurança é dado através de um processo iterativo, conforme demonstrado na equação 6.

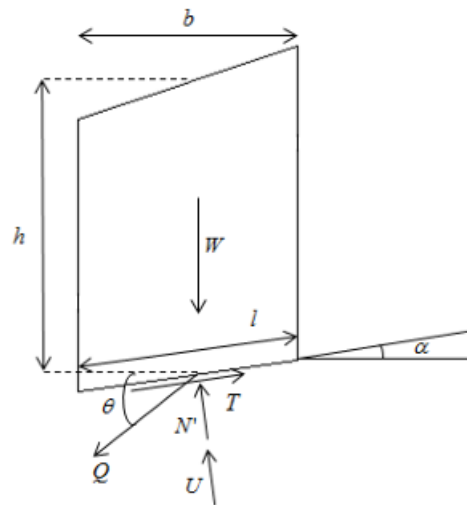
$$FS = \frac{1}{\sum W \tan \alpha} \times \sum \left[\left[c' \times b + (W - u \times b) \tan \phi' \right] \frac{\sec^2 \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \times \tan \phi'}{FS}} \right] \quad (6)$$

2.1.4 Método de Spencer

O método de Spencer, apresentado em 1967, é considerado como sendo um método rigoroso uma vez que satisfaz todas as equações de equilíbrio (forças e momentos). Neste método as forças de interação entre fatias (X e E) são substituídas por uma resultante estaticamente equivalente (Q), atuante no ponto médio da base da respectiva fatia (Figura 4). A resultante (Q) resulta da manipulação das equações de equilíbrio e tem a forma apresentada na Equação 7, na qual (θ) é a inclinação da resultante (Q) em cada fatia.

$$Q = \frac{\frac{c' \times l}{FS} + \frac{(W \cos \alpha - u \times l) \tan \phi'}{FS} - W \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \times \left(1 + \frac{\tan \phi' \times \tan(\alpha - \theta)}{FS} \right)} \quad (7)$$

Figura 4 - Método de Spencer: Forças aplicadas a uma fatia de solo.



Fonte: Ferreira (2012).

Se a soma dos momentos das forças exteriores em relação a um ponto arbitrário for nula, ele sucede quanto à soma dos momentos das forças de interação relativamente a esse centro de rotação, conforme a Equação 8, onde (r) é o raio da superfície de deslizamento.

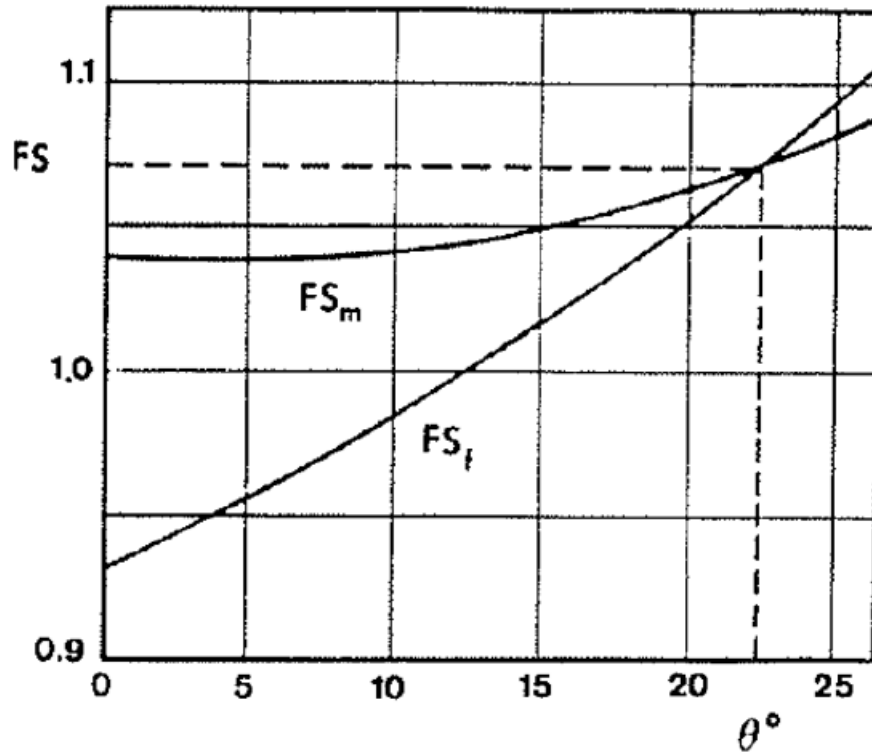
$$\sum (Q \times r \times \cos(\alpha - \theta)) = 0 \quad (8)$$

Tomando como hipóteses, raio constante; forças exteriores ao talude em equilíbrio, logo soma vetorial das forças de interação nula; e resultantes das forças de interação paralelas, logo (θ_i) sempre constante, tem-se:

$$\sum Q = 0 \quad (9)$$

Desta forma a solução final é obtida arbitrando vários valores de (θ) e para cada um determinando o FS para o equilíbrio de forças (FS_f) e equilíbrio de momentos (FS_m). Com os valores obtidos traça-se as curvas FS_f e FS_m com (θ) e onde se der a interseção corresponde ao valor de FS , conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Determinação do Fator de Segurança.



Fonte: Spencer (1967).

2.1.5 Método de Morgenstern-Price

O método de Morgenstern-Price foi apresentado em 1965 e cumpre todas as condições de equilíbrio, pertencendo por isso ao grupo dos métodos rigorosos. A aplicação do método recorre a equações diferenciais que governam o equilíbrio de momentos (Equação 10) e o equilíbrio de forças numa fatia (Equação 11).

$$(y'_1 - y_1) \frac{dE}{b} + E_1 \frac{dy'}{b} - X_1 = 0 \quad (10)$$

$$\frac{c'}{FS} [1 + \tan^2 \alpha] + \frac{\tan \phi'}{FS} \left[\frac{dW}{b} + \frac{dX}{b} - \frac{dE}{b} \tan \alpha - u \times (1 + \tan^2 \alpha) \right] = \frac{dE}{b} + \frac{dX}{b} \tan \alpha + \frac{dW}{b} \tan \alpha \quad (11)$$

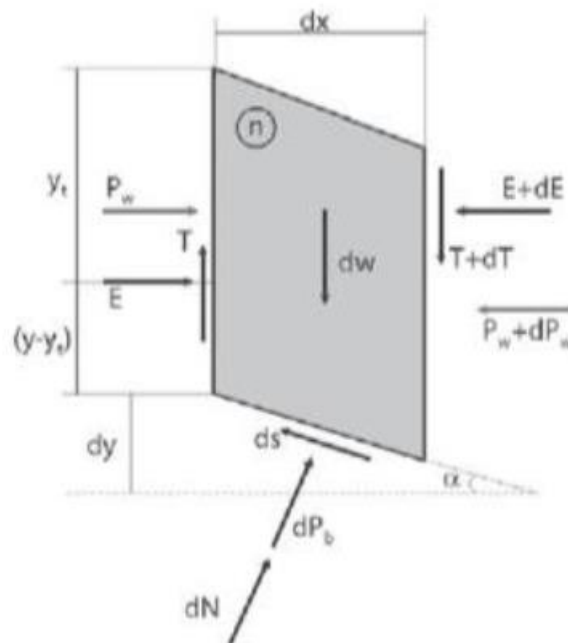
Estas contêm, contudo, três incógnitas, as forças de interação entre fatias (X e E) e a posição da linha de pressão (y'). O problema é, pois, estaticamente indeterminado.

De forma a tornar o problema estaticamente determinado, Morgenstern e Price consideraram uma função arbitrária que descreve a variação da relação entre X , E e um fator de escala (λ), demonstrado na Equação 12.

$$X = \lambda \times f(x) \times E \quad (12)$$

Para se chegar ao valor do fator de segurança e de (λ) procede-se à integração das equações diferenciais 10 e 11 e efetua-se um processo iterativo através do método de Newton-Raphson.

Figura 6 - Método de Morgenstern-Price: Forças aplicadas a uma fatia de solo.



Fonte: Gerscovich (2016).

2.2 FATOR DE SEGURANÇA

O fator de segurança (FS) é uma das principais ferramentas utilizadas na análise de estabilidade de taludes de forma determinística, representando a relação entre a resistência disponível ao cisalhamento do solo e as tensões de cisalhamento

mobilizadas ao longo de uma superfície de ruptura. De forma geral, o FS é definido pela Equação 13.

$$FS = \frac{\tau_{resistente}}{\tau_{mobilizada}} \quad (13)$$

De acordo com a ABNT NBR 11682:2009 – Estabilidade de Encostas –, um talude natural ou escavado deve apresentar fator de segurança mínimo de 1,5 em condições estáticas, considerando parâmetros característicos obtidos de ensaios geotécnicos confiáveis. Para situações excepcionais, como em análises de estabilidade sísmica ou de longo prazo, podem ser aceitos valores inferiores, conforme justificativas técnicas e análise de risco.

Tabela 1 - Nível de Segurança desejado contra a perda de vidas humanas.

Nível de Segurança	Critérios
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais, ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas. Ferrovias e rodovias de tráfego intenso.
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas. Ferrovias e rodovias de tráfego moderado.
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas. Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido.

Fonte: NBR 11.682 (2009).

Tabela 2 - Nível de Segurança desejado contra danos materiais e ambientais.

Nível de Segurança	Critérios
Alto	Danos Materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais. Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos.

Nível de Segurança	Critérios
Médio	Danos Materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado. Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados.
Baixo	Danos Materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido. Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos.

Fonte: NBR 11.682 (2009).

Tabela 3 - Fatores de segurança mínimos para deslizamentos.

Nível de Segurança desejado contra danos materiais e ambientais	Nível de Segurança contra danos a vidas humanas		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Fonte: NBR 11.682 (2009).

2.3 ANÁLISE DO FLUXO DE ÁGUA

A análise do fluxo de água subterrânea é fundamental para a compreensão do comportamento hidrogeotécnico de maciços naturais e artificiais, especialmente quando se avalia a estabilidade de taludes. A água presente nos poros do solo exerce influência direta sobre as tensões efetivas, condicionando a resistência ao cisalhamento do material (TERZAGHI; PECK; MESRI, 1996). Nesse contexto, o fluxo de água pode ocorrer em dois regimes distintos: o permanente (*steady state*) e o transitório (*transient*), que se diferenciam essencialmente pela constância ou variação das condições hidráulicas ao longo do tempo.

Enquanto o regime permanente assume equilíbrio hidrodinâmico, com cargas hidráulicas constantes, o regime transitório considera variações temporais da poropressão e da saturação do solo, sendo mais adequado para representar eventos climáticos extremos, como chuvas intensas ou períodos prolongados de

estiagem. A seguir, são detalhadas as características, aplicações e limitações de cada regime.

2.3.1 Fluxo Permanente (*Steady State Groundwater*)

O regime de fluxo permanente é caracterizado pela suposição de que as condições hidráulicas do sistema permanecem constantes ao longo do tempo, ou seja, a quantidade de água que entra no sistema é igual àquela que sai, mantendo-se a carga hidráulica e a poropressão em equilíbrio. Essa condição é válida em sistemas onde as influências externas, como precipitação ou recarga artificial, são estáveis e não provocam alterações significativas no fluxo subterrâneo.

A simplicidade do modelo em regime permanente o torna amplamente utilizado em modelagens computacionais, principalmente por exigir menor quantidade de dados de entrada e apresentar maior estabilidade numérica (ALMEIDA et al., 2017). Esse modelo permite a estimativa das tensões efetivas com base na profundidade do lençol freático, sendo útil na avaliação do fator de segurança (FS) em condições estáveis de médio a longo prazo.

Contudo, por assumir que as condições de contorno e hidráulicas são invariáveis, o fluxo permanente não é capaz de representar adequadamente processos dinâmicos, como infiltrações súbitas decorrentes de eventos pluviométricos intensos. Nesses casos, sua aplicação pode levar à subestimação dos efeitos adversos associados à variação da poropressão e ao consequente risco de instabilidade de taludes (NAVARRO et al., 2018).

2.3.2 Fluxo Transitório (*Transient Groundwater*)

Diferentemente do regime permanente, o fluxo em regime transitório considera a variação temporal das condições hidráulicas no solo. Nesse caso, tanto a carga hidráulica quanto a poropressão evoluem com o tempo, refletindo fenômenos naturais como precipitações intensas, recargas sazonais, variações do nível freático ou secas prolongadas (VAN GENUCHTEN, 1980; LUIZ et al., 2021).

Essa abordagem é essencial em estudos que visam compreender o comportamento dinâmico de taludes e encostas, permitindo avaliar a influência de eventos hidrológicos extremos sobre a estabilidade de maciços. Durante uma chuva

intensa, por exemplo, a infiltração rápida de água pode aumentar a poropressão nos poros do solo, reduzir as tensões efetivas e, por consequência, diminuir o fator de segurança (FS) da estrutura (ALMEIDA et al., 2017).

A modelagem do fluxo transitório exige maior rigor na definição de dados de entrada, como as condições iniciais do sistema, a discretização temporal e as funções de variação ao longo do tempo das condições de contorno (ex.: infiltração superficial e recarga variável). Além disso, a condutividade hidráulica não saturada assume papel relevante, pois influencia diretamente a taxa de avanço da frente de saturação e a resposta hidráulica do solo (VAN GENUCHTEN, 1980).

Apesar de sua maior complexidade e demanda computacional, a modelagem transitória oferece uma representação mais realista do comportamento do solo frente a condições ambientais variáveis. Essa abordagem é especialmente recomendada em regiões tropicais e subtropicais, onde o ciclo de precipitação é altamente irregular, sendo uma ferramenta indispensável no dimensionamento de obras de contenção, no projeto de sistemas de drenagem e na previsão de movimentos de massa em encostas naturais e urbanizadas (NAVARRO et al., 2018; LUIZ et al., 2021).

2.4 ENSAIO DE INFILTRAÇÃO COM DUPLO ANEL

O ensaio de infiltração com duplo anel é um método amplamente utilizado na engenharia geotécnica e ambiental para determinação da taxa de infiltração da água no solo em campo. Sua aplicação é fundamental em estudos de estabilidade de taludes, principalmente em solos não saturados, pois permite estimar a condutividade hidráulica saturada, um parâmetro essencial para modelagem de fluxo e análises de percolação de água em encostas.

O método consiste na cravação de dois cilindros concêntricos (anéis) no solo: um anel interno e outro externo. A água é mantida em níveis constantes nos dois anéis, e a taxa de descida do nível d'água é monitorada no anel interno, minimizando o efeito de fluxo lateral, que é parcialmente compensado pelo anel externo (REICHARDT et al., 2007).

Esse ensaio fornece dados da taxa de infiltração ao longo do tempo, permitindo observar a transição de um regime de fluxo inicial (não permanente) para

um regime de fluxo estacionário (permanente). A partir desse comportamento, é possível determinar a taxa de infiltração estável, que está relacionada à condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) do solo, segundo equações empíricas ou analíticas (MORETI et al., 2013).

O ensaio de duplo anel apresenta diversas vantagens, como a simplicidade de execução, o baixo custo e a possibilidade de aplicação em diferentes tipos de solo. No entanto, ele também possui limitações, especialmente em solos muito permeáveis ou com presença de camadas impermeáveis superficiais, onde o regime de fluxo pode não se estabelecer corretamente (MEDEIROS, 2008).

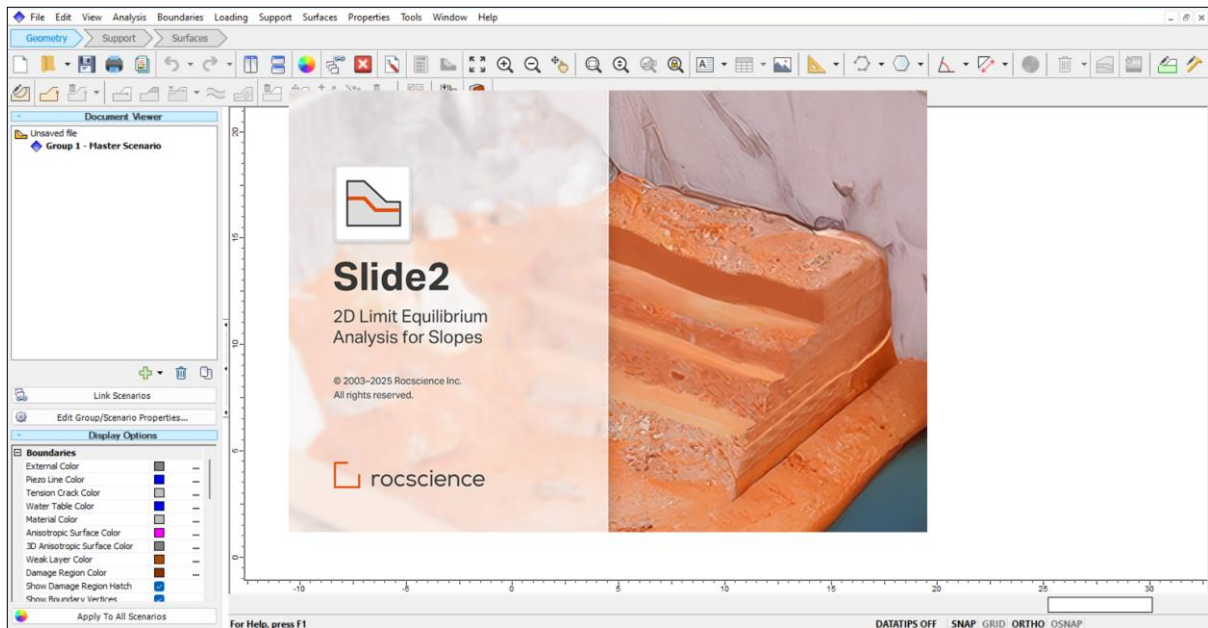
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 SOFTWARE SLIDE2

Desenvolvido pela *Rocscience*, o *Slide2* é um *software* de estabilidade de taludes 2D que utiliza o Método de Equilíbrio Limite para avaliar o fator de segurança ou a probabilidade de falha de superfícies de ruptura circulares e não circulares em solo ou rocha. O software tem uma interface intuitiva e ainda permite criar e analisar modelos complexos de forma rápida e fácil, podendo ser usado para todos os tipos de taludes de solo e rocha, aterros, barragens de terra e muros de contenção. Além disso, inclui uma análise de fluxo de água subterrânea por elementos finitos integrada, análise probabilística, modelagem de múltiplos cenários e projeto de reforço. Ele também oferece uma ampla gama de opções de suporte, incluindo paredes de retenção e pregos de solo lançados.

O *Slide2* é um software líder no mercado de geotecnia, usado por engenheiros, acadêmicos e estudantes em todo o mundo. Além disso, existe a integração com outros *softwares* da *Rocscience*, como *Slide3*, *RS2*, *RSPile* e *RSLog*, para oferecer mais recursos e flexibilidade na análise de estabilidade de taludes. Ele é amplamente utilizado em aplicações como barragens/aterros, escavações, águas subterrâneas, mineração a céu aberto e taludes de rocha e solo. Além disso, o *Slide2* possui recursos como otimização multimodal (MMO), que permite buscar as três superfícies de falha mais críticas de uma vez e considerá-las em sua análise.

Figura 7 - Interface do Software Slide2.



Fonte: O Autor (2025).

3.2 ÁREA DE ESTUDO

O tema de estudo do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) faz parte de dois projetos de pesquisa: um apoiado pela Facepe intitulado: Redução da infiltração em morro do Recife aliado ao uso de água da chuva para abastecimento humano, com base cartográfica com Drone, e sistema de alerta de deslizamentos para mitigação das desigualdades também conhecido como Projeto “Morro de Vontade” e outro em continuidade ao primeiro apoiado pelo CNPq e intitulado: Comportamento de solo não saturado: movimento de massa, análise de risco e probabilidade de deslizamento em taludes área zona norte do Recife-PE. Os dados de investigação de campo, de laboratório e a localização da coleta de amostras utilizados no TCC foram obtidos dos referidos projetos e se encontram no Anexo 1, exceto o ensaio de infiltração com duplo anel que foi realizado no presente estudo.

Uma encosta na comunidade Alto da Telha, localizada no bairro de Passarinho, situado na Zona Norte do município do Recife, em Pernambuco é a área de estudo. Trata-se de uma comunidade de ocupação consolidada, inserida em uma região de topografia acidentada, marcada pela presença de moradias dispostas sobre encostas, muitas vezes em áreas de risco geotécnico. A localidade compõe

um dos diversos setores de Passarinho, ao lado de áreas como Alto da Bica, Sempre Viva e Córrego da Telha.

No Alto da Telha, estudos indicam a ocorrência de solos argilo-arenosos com estrutura fraca e alta porosidade, tornando-os altamente vulneráveis à erosão e instabilidade em períodos chuvosos (SILVA, 2019).

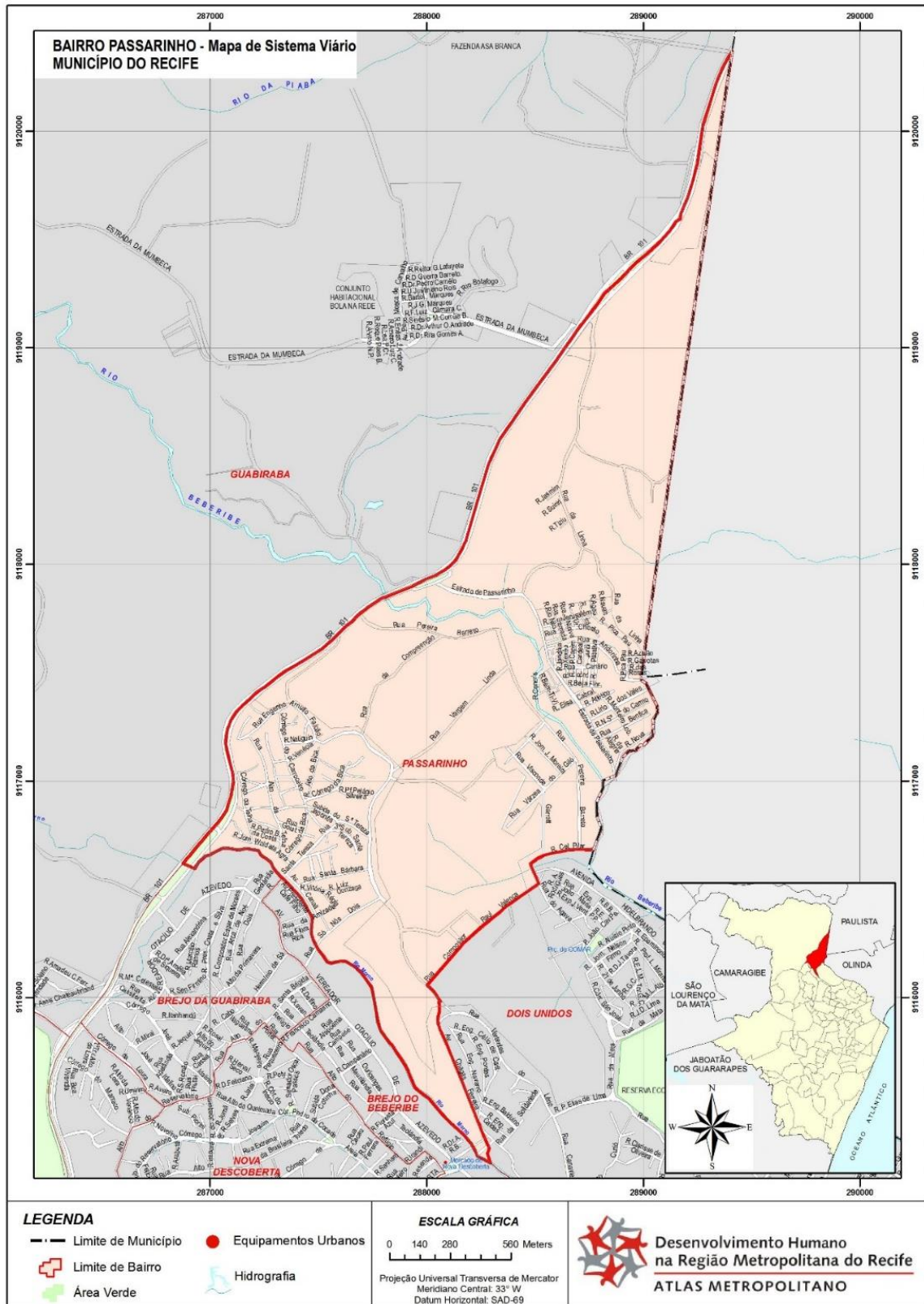
Em áreas urbanizadas com topografia acidentada, como o Alto da Telha, a ocupação desordenada e a deficiência em sistemas de drenagem superficial aumentam a suscetibilidade a escorregamentos. A infiltração intensa em períodos curtos pode levar à rápida redução da sucção em solos não saturados, ocasionando a perda de resistência ao cisalhamento (GUIMARÃES et al., 2008).

Historicamente, o bairro de Passarinho teve sua formação impulsionada por processos de ocupação informal iniciados nas décadas de 1980 e 1990, quando famílias oriundas de outras regiões do Recife passaram a se estabelecer no local, muitas delas removidas de áreas de risco. A ausência de planejamento urbano inicial resultou na formação de um tecido urbano heterogêneo e precário, com deficiência de infraestrutura básica, como saneamento, drenagem e pavimentação. O Alto da Telha compartilha essas características, destacando-se pela existência de vias estreitas, escadarias e declividades significativas que dificultam a mobilidade e aumentam a vulnerabilidade socioambiental.

A Rua Alto da Telha é uma das principais vias de acesso da localidade (Figura 8) e tem sido alvo de algumas intervenções públicas ao longo dos anos, com destaque para ações de recapeamento e contenção de encostas. Apesar dessas melhorias pontuais, a região ainda demanda investimentos estruturais significativos, especialmente em relação à prevenção de deslizamentos de terra ou movimentos de massa e à melhoria das condições de habitabilidade.

De acordo com o CENSO Demográfico, realizado pelo IBGE em 2010, demograficamente o bairro de Passarinho apresenta uma população estimada em mais de 20 mil habitantes, distribuídos em uma área de aproximadamente 4,6 km², o que representa uma densidade populacional de cerca de 50 habitantes por hectare. Essa densidade relativamente elevada, aliada à ocupação em áreas de relevo acidentado, contribui para a complexidade dos desafios enfrentados na região.

Figura 8 - Mapa representativa da região estudada.



Fonte: Prefeitura do Recife (2012).

3.3 ENSAIO DE INFILTRAÇÃO COM DUPLO ANEL

Para a determinação da taxa de infiltração da água no solo, foi realizado um ensaio de infiltração em campo através do método do duplo anel. O experimento foi realizado na Rua Brumal, 156. Conduzido em uma área plana, localizada na meia encosta do Alto da Telha.

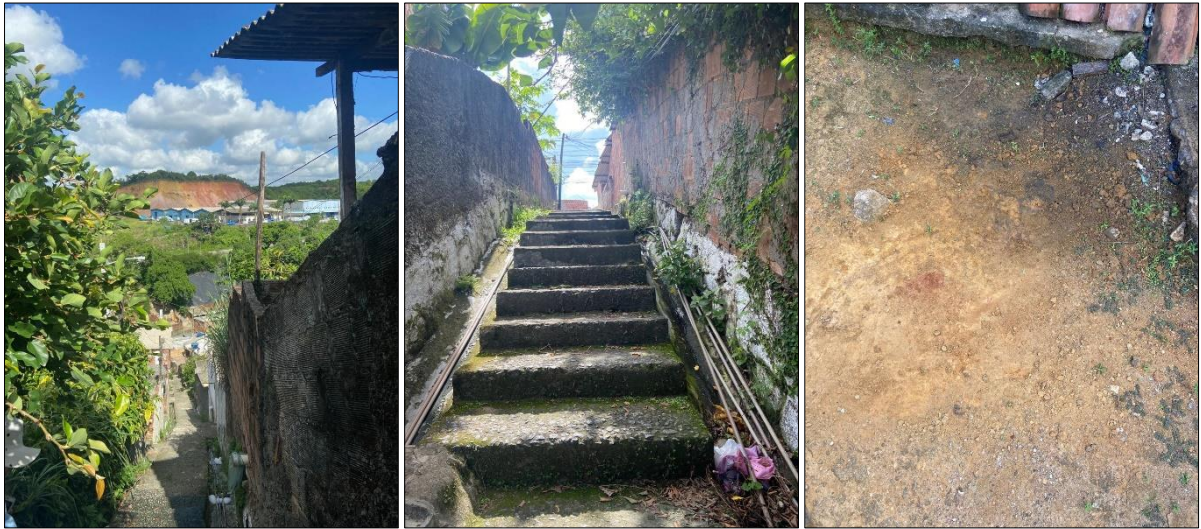
Os procedimentos para a execução do ensaio em campo foram realizados de acordo com a ABGE – Associação Brasileira de Geologia e Engenharia Ambiental. Ela recomenda que os anéis tenham, preferencialmente, diâmetro de 30 cm (interno) e 60 cm (externo), com altura mínima de 20 cm, sendo cravados ao menos 10 cm no solo. O reabastecimento da água deve ser contínuo ou intermitente, dependendo da taxa de infiltração do solo.

Figura 9 - Mapa de localização do ensaio.



Fonte: Adaptado do Google Earth (2025).

Figura 10 - Região de localização do ensaio.



Fonte: O autor (2025).

Os equipamentos utilizados no ensaio foram dois anéis concêntricos metálicos (sendo o anel interno com raio de 15 cm e o externo de 30 cm), uma régua milimétrica, uma régua de nível, uma marreta, um barrote, uma enxadinha sacó, um balde, um saco plástico e um cronômetro.

Figura 11 - Materiais utilizados no ensaio.



Fonte: O autor (2025).

Os anéis foram cravados manualmente no solo a uma profundidade de aproximadamente 10 cm, assegurando-se o contato adequado com a superfície.

Figura 12 - Cravação do instrumento no solo.



Fonte: O autor (2025).

A água foi inserida primeiramente no anel externo, com o objetivo de provocar a infiltração vertical e horizontal na região. Depois, foi colocado um saco plástico no anel interno, e a região foi preenchida com água.

Figura 13 - Abastecimento de água para realização do ensaio.



Fonte: O autor (2025).

Após o isso, o saco plástico foi retirado e a altura da lâmina de água no anel interno foi monitorada ao longo do tempo com o auxílio de uma régua milimetrada. O tempo total de observação foi de 150 minutos, com leituras em intervalos variáveis, determinadas conforme a variação da taxa de infiltração ao longo do ensaio.

Figura 14 - Fase final do ensaio, realização de leituras.



Fonte: O autor (2025).

Os dados obtidos, são expostos na Tabela 4, e posteriormente foram utilizados para o cálculo da taxa de infiltração acumulada e instantânea no local analisado.

Tabela 4 - Dados obtidos no ensaio de anéis concêntrico.

PLANILHA DE CAMPO - INFILTRÔMETRO DE ANEL				
Local: Casa 156 - Dona Marta				Data: 18/02/2025
TEMPO ACUMULADO (min)	RÉGUA		INFILTRAÇÃO ACUMULADA (cm/min)	VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO (cm/h)
	LEITURA (cm)	DIFERENÇA (cm)		
0	20	0	0	0
1	18,6	1,4	1,4	84
3	18,4	0,2	1,6	32
5	18,3	0,1	1,7	20,4
10	18,2	0,1	1,8	10,8
15	17,9	0,3	2,1	8,4
20	17,5	0,4	2,5	7,5
25	17,2	0,3	2,8	6,72
30	16,9	0,3	3,1	6,2
40	16,5	0,4	3,5	5,25
50	16,2	0,3	3,8	4,56
60	15,9	0,3	4,1	4,1
75	15,4	0,5	4,6	3,68
90	15,2	0,2	4,8	3,2
120	14,2	1	5,8	2,9
150	14,1	0,1	5,9	2,36

Fonte: O autor (2025).

A partir dos dados obtidos no ensaio de infiltração por duplo anel foi calculado a permeabilidade do material (Equação 13) e gerado o gráfico que compara a velocidade de infiltração da água no solo (cm/h) no decorrer do tempo (min), conforme mostra a Figura 15.

$$k = \frac{\Delta h}{\Delta t} \times \frac{1}{i \left(\frac{2h}{r} + 1 \right)} \quad (13)$$

Onde:

k = Coeficiente de permeabilidade (cm/s);

$\frac{\Delta h}{\Delta t}$ = Variação da altura medida em função do tempo (cm/s);

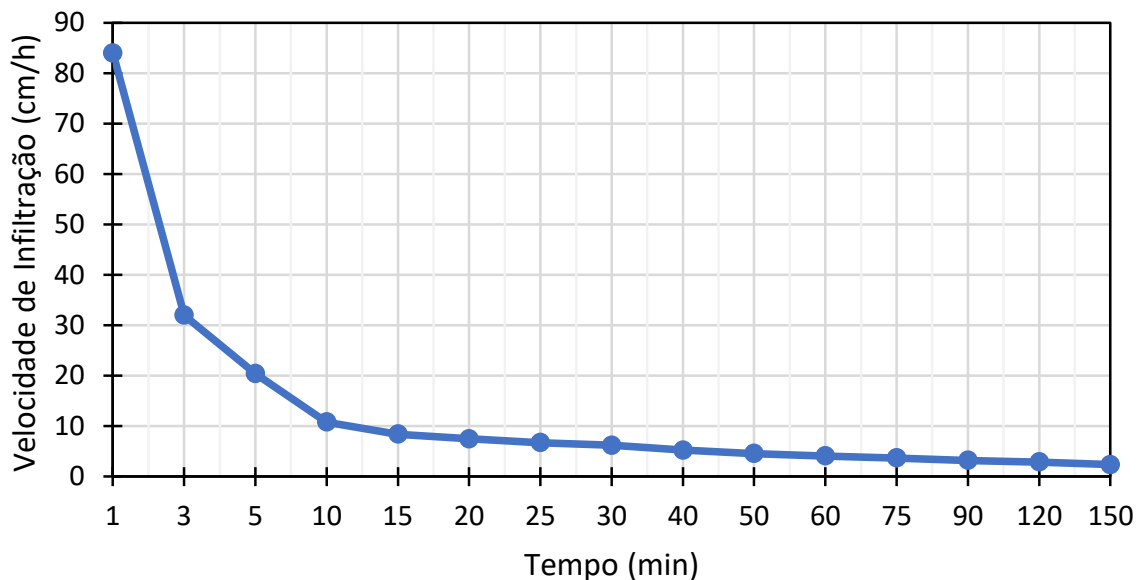
i = constante geométrica do cilindro (igual a 5, adimensional);

r = raio do furo (cm);

h = altura do furo (cm).

Desse modo, foi calculado a permeabilidade de $k = 3,58 \times 10^{-5}$ cm/s para a camada de aterro, que é o material mais superficial da encosta do Alto da Telha, região analisada e onde foi realizada o referido ensaio de infiltração.

Figura 15 – Curva: Velocidade de infiltração x tempo (Ensaio de Duplo Anel)



Fonte: O autor (2025).

3.4 ANÁLISE HIDROLÓGICA DA REGIÃO

O estudo hidrológico da região foi desenvolvido a partir das informações de equipamentos como pluviômetros e pluviógrafo da APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima), com o objetivo de analisar os diferentes cenários chuvosos na região do Recife.

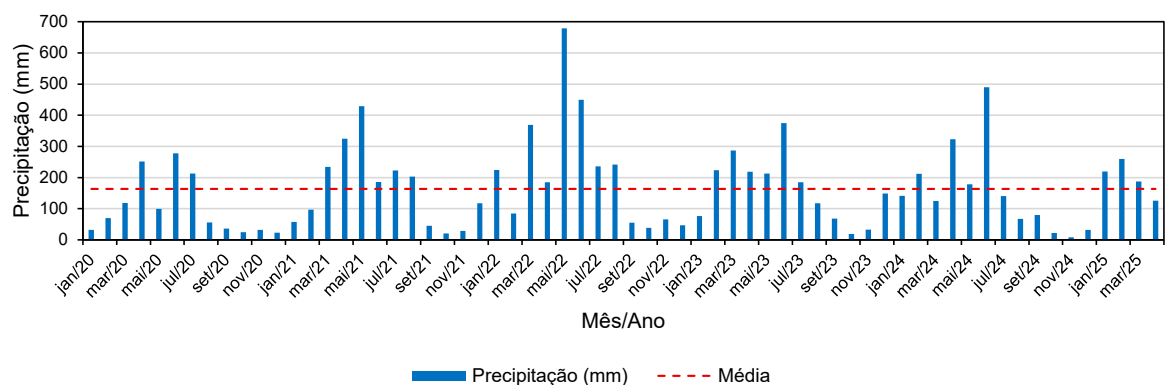
Para a caracterização hidrológica da área de estudo, foi analisada a série histórica de precipitação registrada pelo posto pluviométrico do Alto da Brasileira (Apêndice A), localizado nas proximidades do bairro do Alto da Telha, Zona Norte do Recife. Os dados compreendem o período de janeiro de 2020 a abril de 2025, totalizando 64 meses de monitoramento.

A análise anual indica que o ano de 2022 apresentou os maiores índices acumulados de precipitação, com destaque para os meses de abril, maio e junho, que totalizaram mais de 1.300 mm em apenas três meses. Esses picos de chuvas coincidem com registros de eventos de instabilidade em encostas e escorregamentos na cidade do Recife, o que reforça a importância da análise da infiltração em solo não saturado e da resposta hidrológica do talude estudado.

Além disso, nota-se uma variabilidade significativa entre os anos, com o ano de 2021 também apresentando altos índices de precipitação acumulada, enquanto 2023 e 2024 mostraram volumes relativamente mais moderados, embora ainda relevantes para processos de saturação do solo.

A sazonalidade do regime pluviométrico é um fator chave na avaliação da estabilidade de encostas urbanas, pois o acúmulo gradual de umidade no perfil de solo pode levar à redução da sucção matricial e, consequentemente, à diminuição da resistência ao cisalhamento.

Figura 16 - Precipitação mensal da região.



Fonte: O autor (2025).

3.5 MODELAGEM DOS CENÁRIOS ANALISADOS

A fim de avaliar a influência da infiltração de água na estabilidade do talude localizado no Alto da Telha, Passarinho, Recife-PE, foram definidos e analisados três cenários distintos de modelagem no *software Slide2*, contemplando diferentes condições hidrogeotécnicas.

No Cenário 1, foi considerada a condição natural do talude, utilizando parâmetros geotécnicos correspondentes ao estado não saturado do solo, sem influência de chuvas recentes ou acréscimos de infiltração. Em seguida, o Cenário 2 avaliou um regime transitório com infiltração variável. Por fim, o Cenário 3 simulou uma infiltração progressiva, na qual a zona saturada foi ampliada de metro em metro, a partir da camada superficial de aterro até atingir 10 metros de profundidade, e, por fim, a condição de solo totalmente saturado, possibilitando analisar a redução gradual do fator de segurança conforme o avanço da frente de saturação.

Essa abordagem permitiu comparar os diferentes comportamentos do talude diante das variações de umidade no solo, identificando as condições de maior suscetibilidade à instabilidade.

3.5.1 Cenário 1: Condição Natural

Neste primeiro cenário, foi analisada a condição natural do talude localizado no bairro do Alto da Telha, Recife-PE. O perfil geotécnico utilizado para a modelagem foi elaborado a partir de um levantamento topográfico disponibilizado pela Secretaria de Defesa Social da Prefeitura do Recife, contemplando a geometria real da encosta e suas principais características morfológicas.

A definição dos parâmetros geotécnicos — como peso específico natural (γ_{nat}), ângulo de atrito interno (ϕ) e coesão aparente (c') — foi realizada com base em ensaios laboratoriais realizados em amostras representativas do solo da região e complementada por pesquisas bibliográficas em trabalhos técnicos e científicos pertinentes à Formação Barreiras, predominante na área de estudo.

A análise de estabilidade foi conduzida no *software Slide2*, considerando diferentes métodos clássicos de equilíbrio limite, incluindo Bishop, Janbu, Spencer e Morgenstern-Price, a fim de proporcionar uma avaliação mais abrangente do comportamento do talude. As condições hidráulicas foram representadas em regime

natural, ou seja, sem a influência de chuvas recentes ou processos adicionais de infiltração.

Todos os parâmetros utilizados neste cenário foram definidos para representar a condição natural do solo, servindo como referência inicial para a comparação com os cenários subsequentes, nos quais serão consideradas variações nas condições de saturação e infiltração.

Figura 17 - Representação do cenário 1.



Fonte: O autor (2025).

3.5.2 Cenário 2: Regime transitório com Infiltração variável

O segundo cenário foi desenvolvido com o objetivo de representar uma situação mais realista e dinâmica de escoamento subterrâneo, considerando-se o regime de fluxo transitório, no qual as condições hidráulicas evoluem com o tempo. Essa abordagem foi utilizada para simular o comportamento do talude sob influência de um evento de recarga hídrica progressivamente decrescente, como ocorre após uma chuva intensa seguida por períodos de redução gradual na precipitação.

A recarga hídrica foi aplicada por meio de uma infiltração superficial variável no tempo, conforme os dados experimentais apresentados na Tabela 5, adaptados do ensaio de infiltração com duplo anel. A taxa de infiltração inicial foi de 0,2 m/d, com declínio progressivo até atingir 0 m/d no tempo de 0,125 dias (equivalente a 3 horas). Essa curva de infiltração foi inserida no *Slide2*, permitindo ao *software* calcular a evolução das poropressões ao longo do tempo.

Tabela 5 - Dados utilizados na análise transiente.

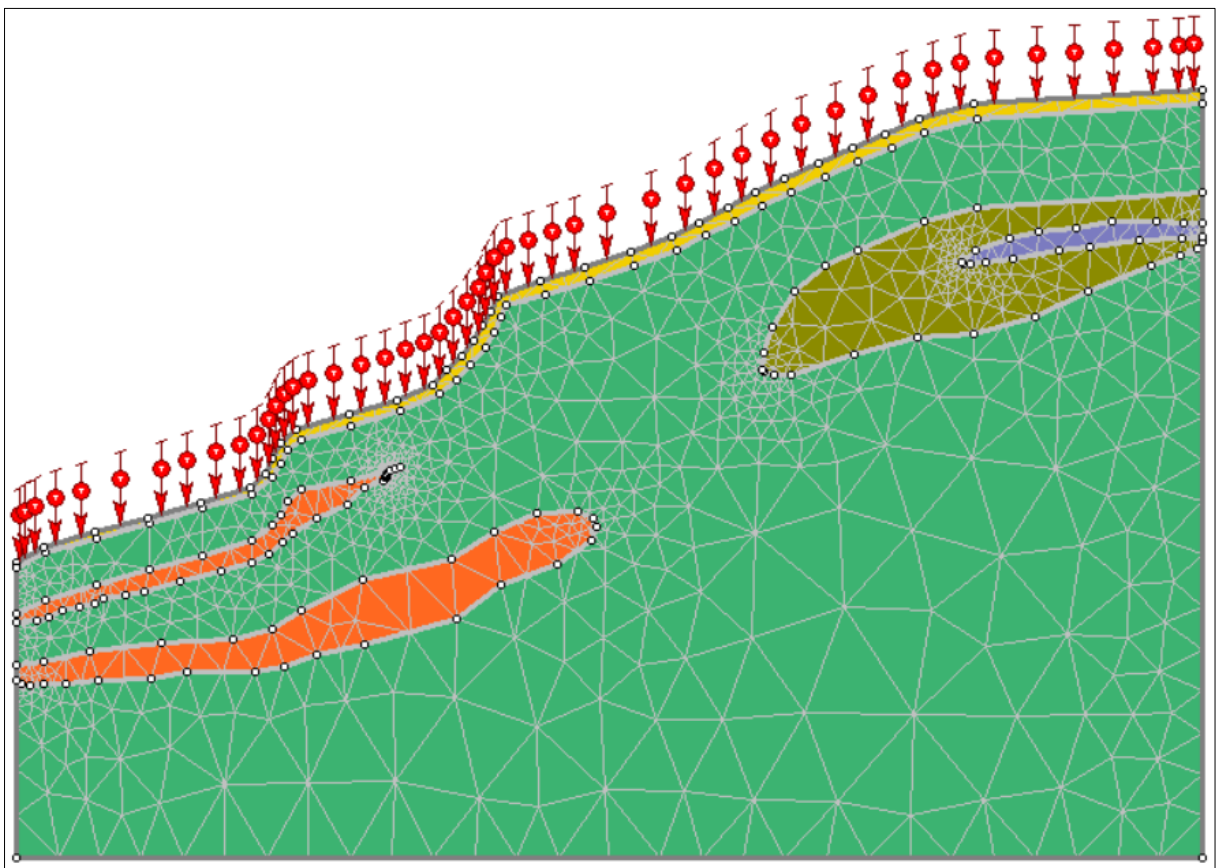
Tempo (dias)	Infiltração (m/d)
0	0,2
0,00069444	0,186
0,00208333	0,184
0,00347222	0,183
0,00694444	0,182
0,0104167	0,179
0,0138889	0,175
0,0173611	0,172
0,0208333	0,169
0,0277778	0,165
0,0347222	0,162
0,0416667	0,159
0,0520833	0,154
0,0625	0,152
0,0833333	0,142
0,104167	0,141
0,125	0

Fonte: O autor (2025).

A modelagem foi realizada em etapas temporais discretas, respeitando os incrementos de tempo definidos na tabela, de modo a garantir maior precisão na simulação do comportamento hidráulico. O *Slide2* utilizou esses dados para resolver a equação de fluxo em meios porosos não saturados e o grau de saturação no interior do talude ao longo do tempo.

Essa configuração permitiu a análise dos efeitos acumulados da infiltração decrescente sobre a estabilidade do talude. A abordagem transitória adotada no cenário 2 visa representar com maior fidelidade as condições reais observadas em campo após eventos pluviométricos intensos, fornecendo subsídios importantes para o entendimento do risco geotécnico em situações de recarga hídrica intermitente.

Figura 18 - Representação do cenário 2.

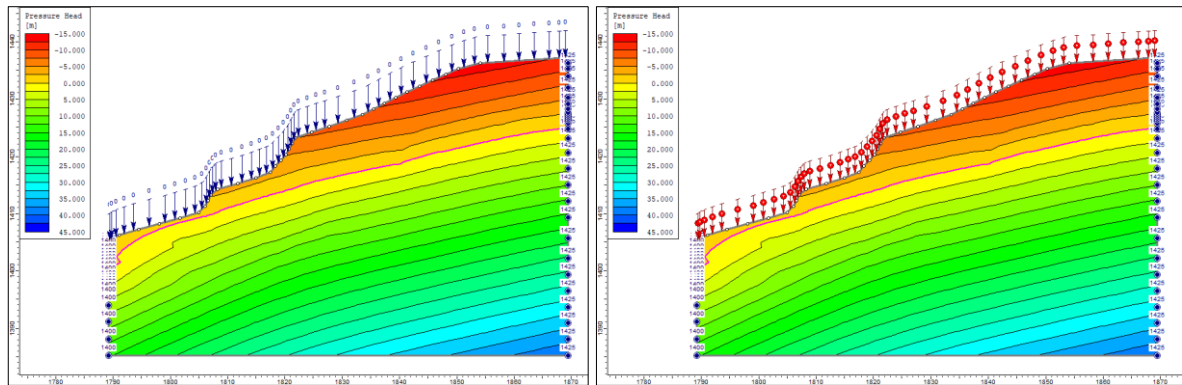


Fonte: O autor (2025).

As Figuras 18 a 26 apresentam os resultados da variação do fluxo subterrâneo, a partir do regime transiente, obtidos para o cenário 2, com destaque para a distribuição espacial da poropressão ao longo do tempo durante o processo de recarga variável. Observa-se uma sutil movimentação das cargas de pressão em

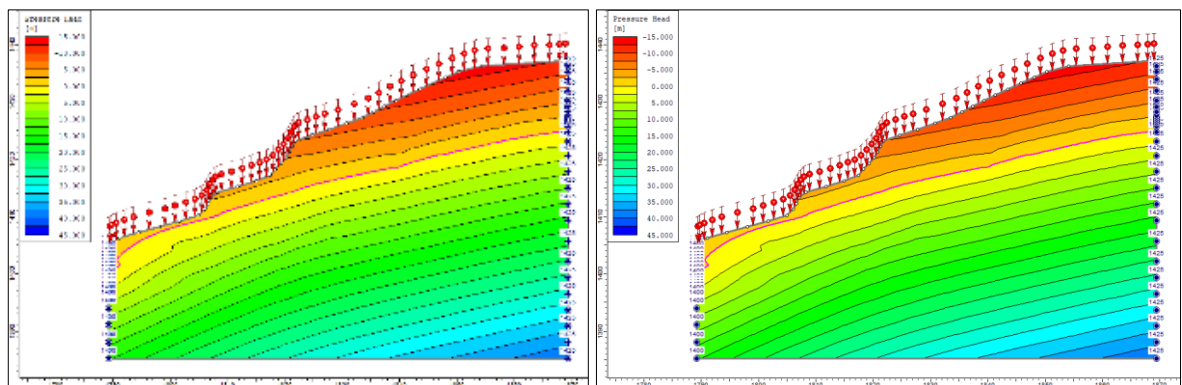
resposta à infiltração aplicada, refletindo o comportamento transitório do escoamento subterrâneo.

Figura 19 - Configuração inicial e estágio 01 (0 minutos), respectivamente.



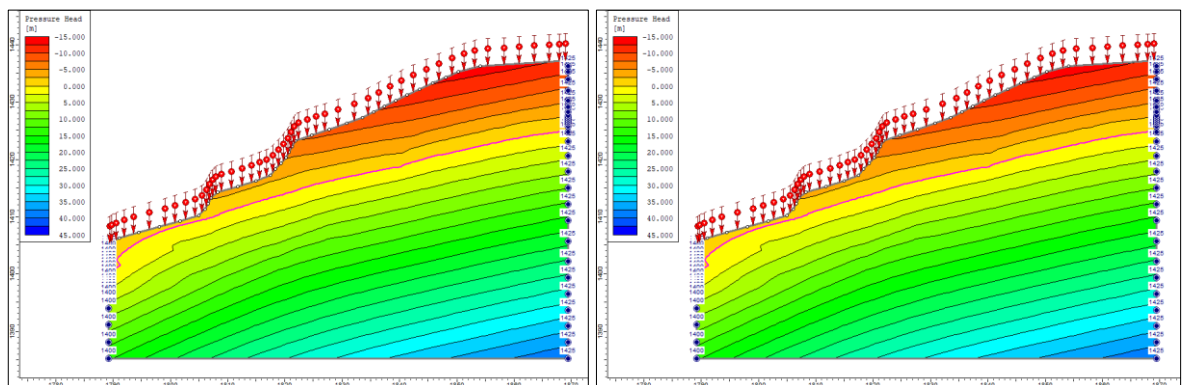
Fonte: O autor (2025).

Figura 20 - Estágio 02 (1 minuto) e 03 (3 minutos), respectivamente.



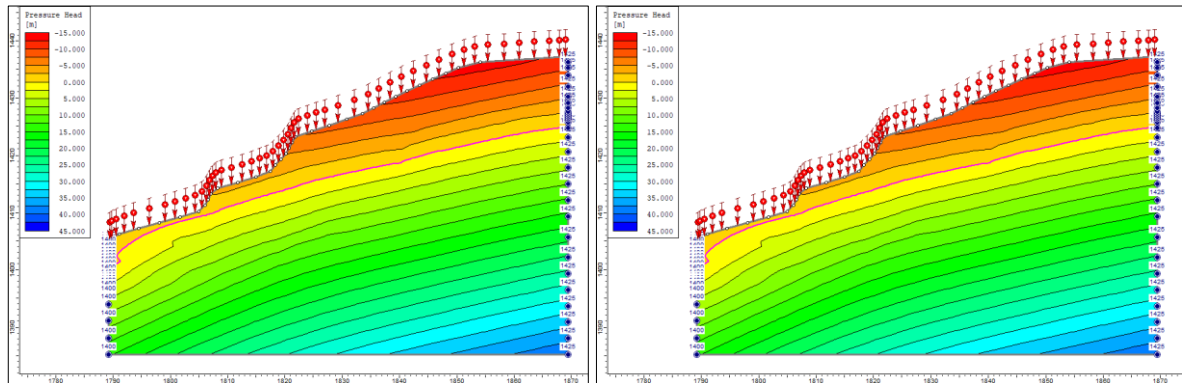
Fonte: O autor (2025).

Figura 21 - Estágio 04 (5 minutos) e 05 (10 minutos), respectivamente.



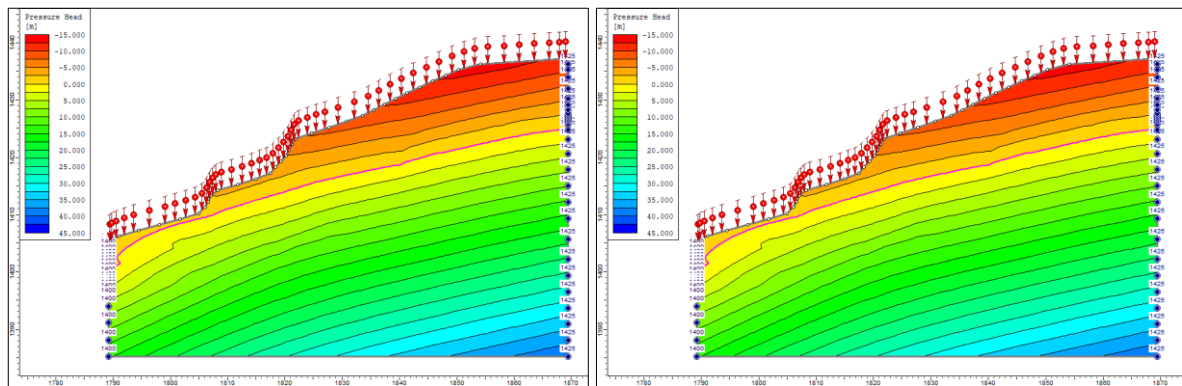
Fonte: O autor (2025).

Figura 22 - Estágio 06 (15 minutos) e 07 (20 minutos), respectivamente.



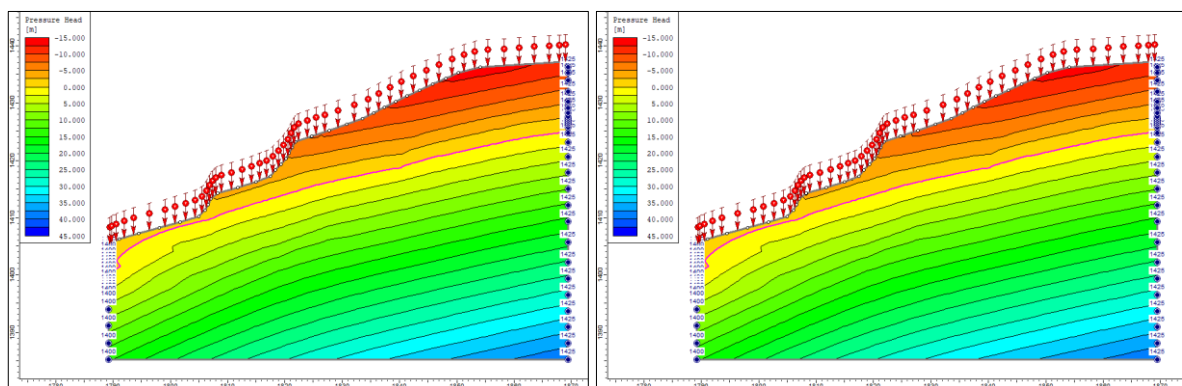
Fonte: O autor (2025).

Figura 23 - Estágio 08 (25 minutos) e 09 (30 minutos), respectivamente.



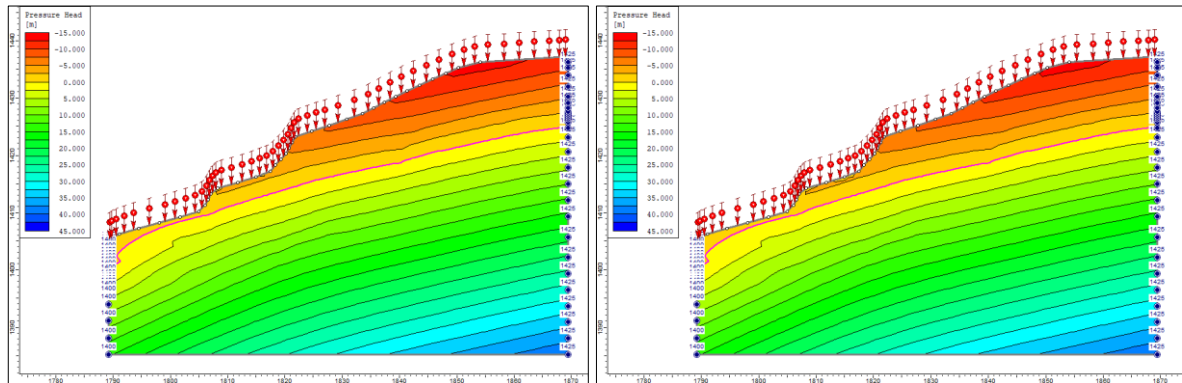
Fonte: O autor (2025).

Figura 24 - Estágio 10 (40 minutos) e 11 (50 minutos), respectivamente.



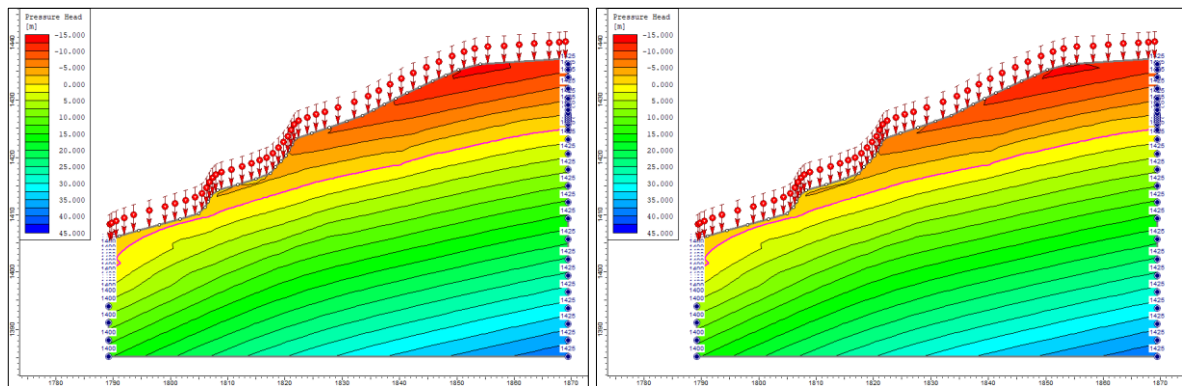
Fonte: O autor (2025).

Figura 25 - Estágio 12 (60 minutos) e 13 (75 minutos), respectivamente.



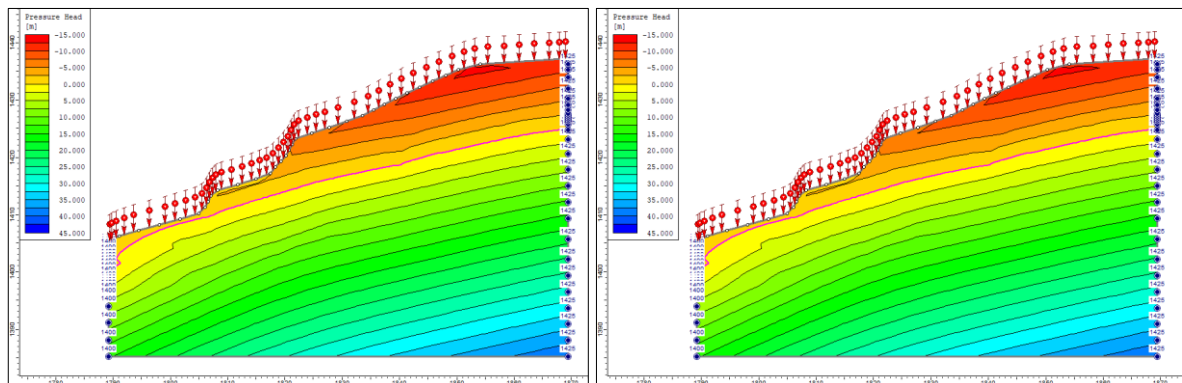
Fonte: O autor (2025).

Figura 26 - Estágio 14 (90 minutos) e 15 (120 minutos), respectivamente.



Fonte: O autor (2025).

Figura 27 - Estágio 16 (150 minutos) e 17 (180 minutos), respectivamente.



Fonte: O autor (2025).

3.5.3 Cenário 3: Simulação de infiltração progressiva

No terceiro cenário, foi realizada uma simulação de infiltração progressiva no perfil geotécnico, com o objetivo de avaliar a redução gradativa do fator de segurança em função do aumento do nível de saturação do solo. O modelo foi desenvolvido no *software Slide2*, utilizando o método de equilíbrio limite e considerando os métodos de Bishop, Janbu, Spencer e Morgenstern-Price para maior confiabilidade dos resultados.

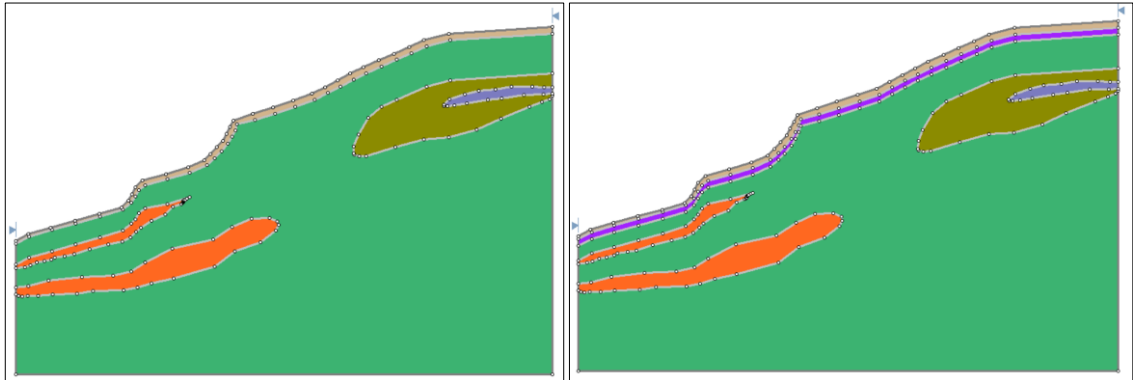
A estratégia adotada consistiu em modificar os parâmetros geotécnicos de acordo com o avanço da frente de infiltração, sendo atribuídos valores de resistência correspondentes à condição saturada de metro em metro no perfil, a partir da camada de aterro superficial.

Na primeira fase, foram considerados parâmetros saturados apenas para a camada de aterro, representando a infiltração restrita à superfície do talude. Em seguida, nas fases subsequentes, a profundidade da zona saturada foi ampliada progressivamente: 1 metro abaixo da camada de aterro na segunda fase, 2 metros na terceira fase, e assim sucessivamente, até alcançar 10 metros de profundidade. Por fim, foi realizado a simulação do perfil geotécnico totalmente saturado.

Para cada etapa da simulação, foram recalculados os fatores de segurança, permitindo observar a influência direta do aumento da saturação na diminuição da resistência ao cisalhamento do solo e, conseqüentemente, na estabilidade global do talude. Esse procedimento possibilitou identificar as condições mais críticas nessa encosta com o aumento das poropressões.

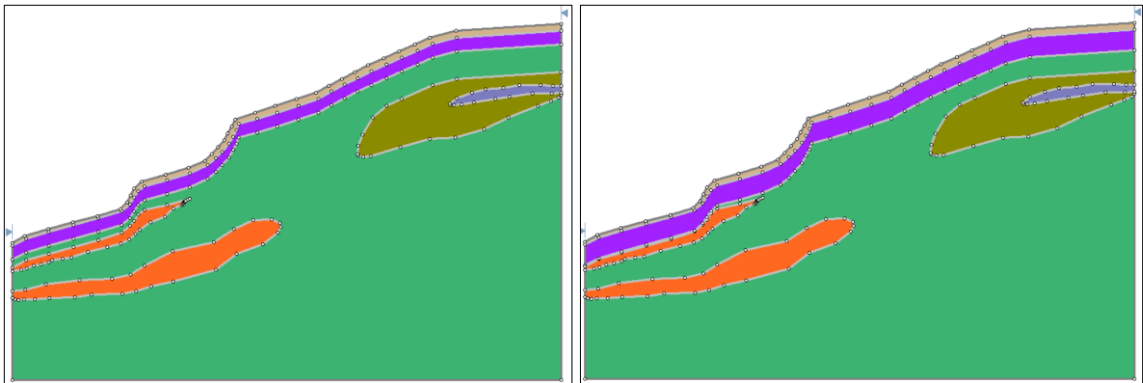
Os parâmetros utilizados para representar o solo em condição saturada foram obtidos a partir de ensaios laboratoriais realizados em amostras do local e complementados com informações provenientes de referências bibliográficas especializadas em solos da Formação Barreiras.

Figura 28 - Saturação do aterro e 1 metro abaixo, respectivamente.



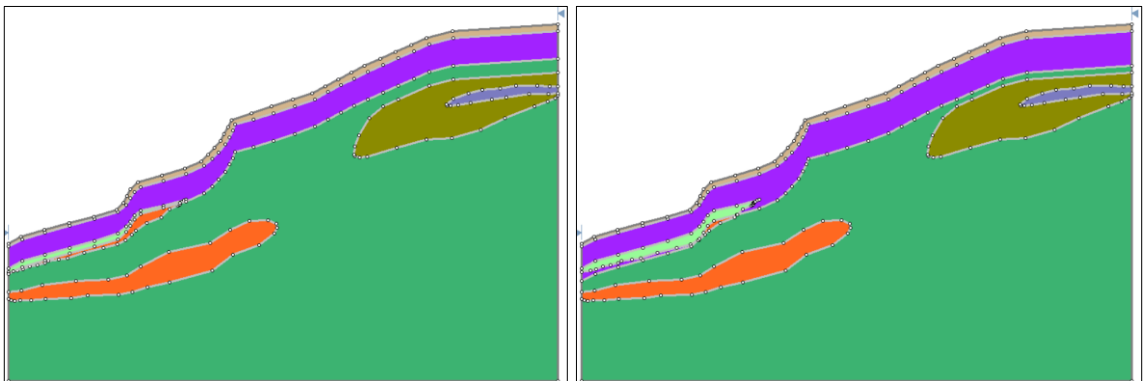
Fonte: O autor (2025).

Figura 29 - Saturação de 2 e 3 metros abaixo do aterro, respectivamente.



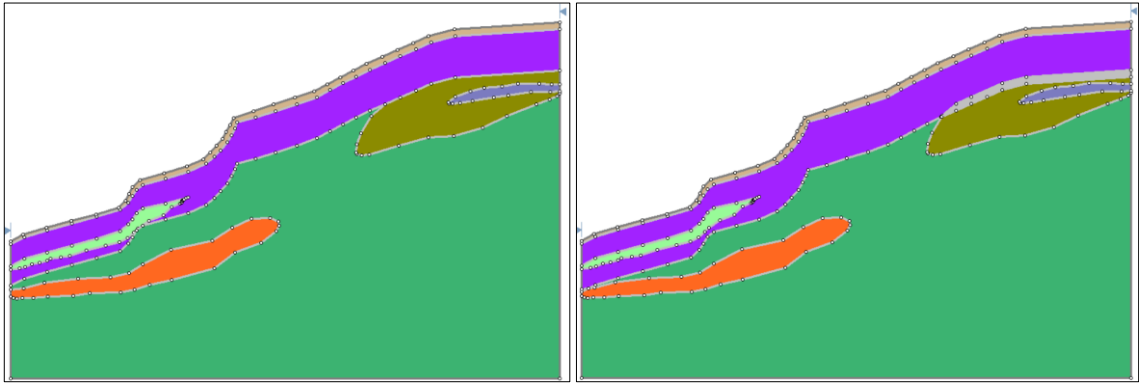
Fonte: O autor (2025).

Figura 30 - Saturação de 4 e 5 metros abaixo do aterro, respectivamente.



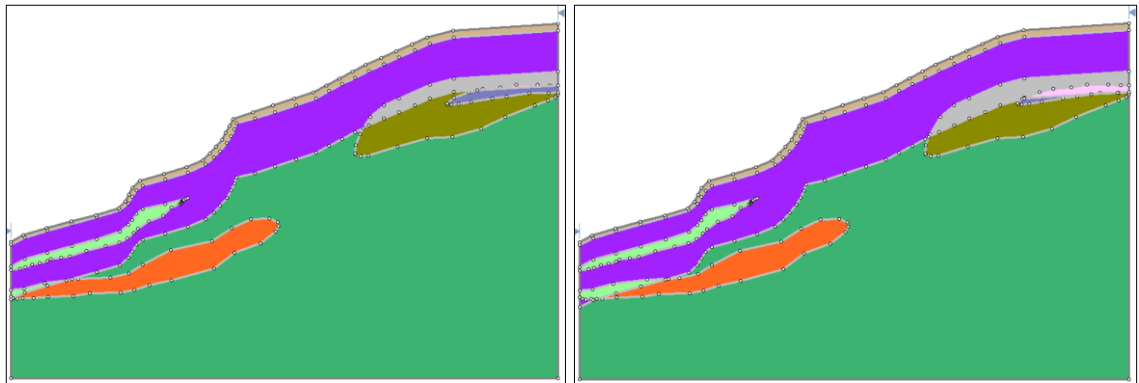
Fonte: O autor (2025).

Figura 31 - Saturação de 6 e 7 metros abaixo do aterro, respectivamente.



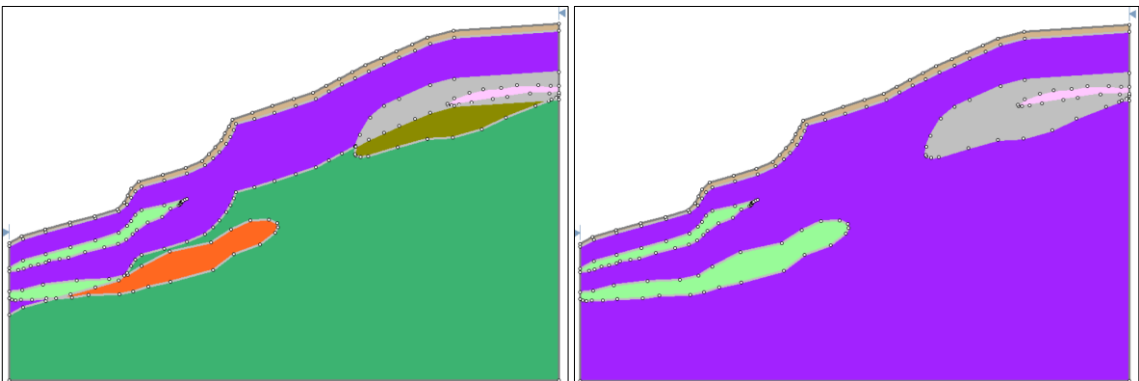
Fonte: O autor (2025).

Figura 32 - Saturação de 8 e 9 metros abaixo do aterro, respectivamente.



Fonte: O autor (2025).

Figura 33 - Saturação de 10 metros abaixo do aterro e total, respectivamente.



Fonte: O autor (2025).

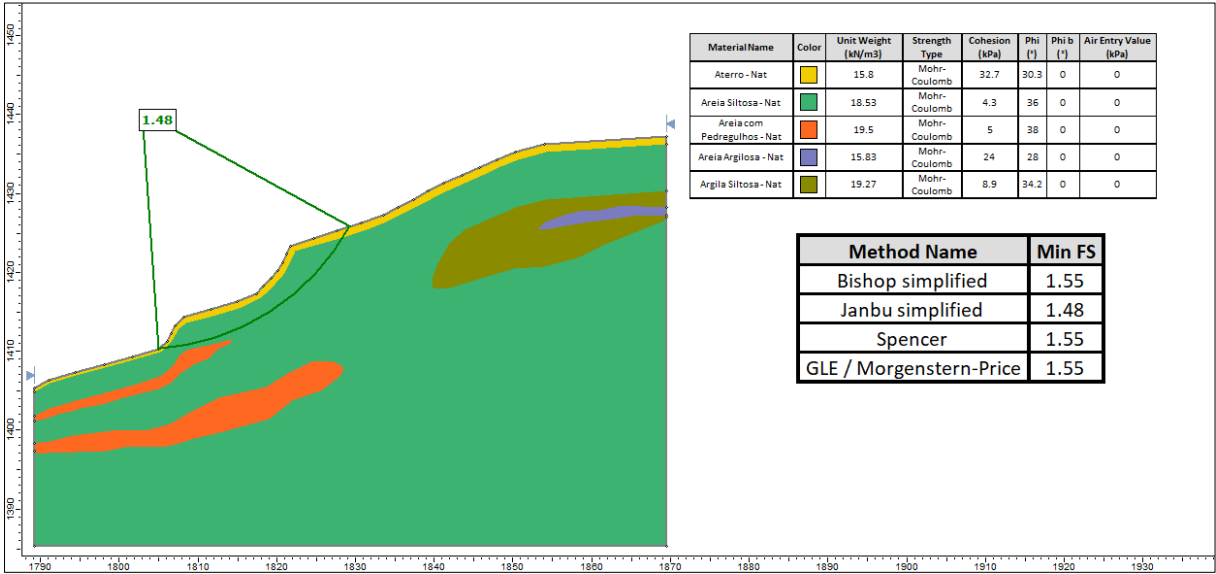
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

As análises de estabilidade foram conduzidas com base nos resultados obtidos das simulações em três diferentes cenários, representando condições distintas. A comparação entre os cenários permitiu avaliar a influência da presença e variação da poropressão sobre a segurança global da encosta, observando o comportamento do fator de segurança (FS) em resposta a diferentes condições de saturação do solo.

A análise de estabilidade do talude em sua condição natural, desenvolvida no cenário 1, apresentou um fator de segurança mínimo de 1,48 pelo método de Janbu Simplificado, enquanto os métodos de Bishop Simplificado, Spencer e Morgenstern-Price indicaram fatores de segurança de 1,55. Esses valores estão acima do limite de segurança usualmente adotado em projetos de estabilidade de taludes, que, de acordo com a ABNT NBR 11682:2009, deve ser de, no mínimo, 1,30 para situações permanentes.

Observa-se que a superfície crítica de ruptura se desenvolveu na porção superior do talude, interceptando predominantemente as camadas de aterro e areia siltosa natural, materiais com parâmetros geotécnicos de menor resistência (coesão reduzida e ângulos de atrito relativamente baixos). Apesar disso, o resultado geral demonstra que, sob as condições naturais de umidade, a encosta mantém um desempenho satisfatório, evidenciado pela margem de segurança superior aos limites normativos.

Figura 34 - Análise de Estabilidade do cenário 01.



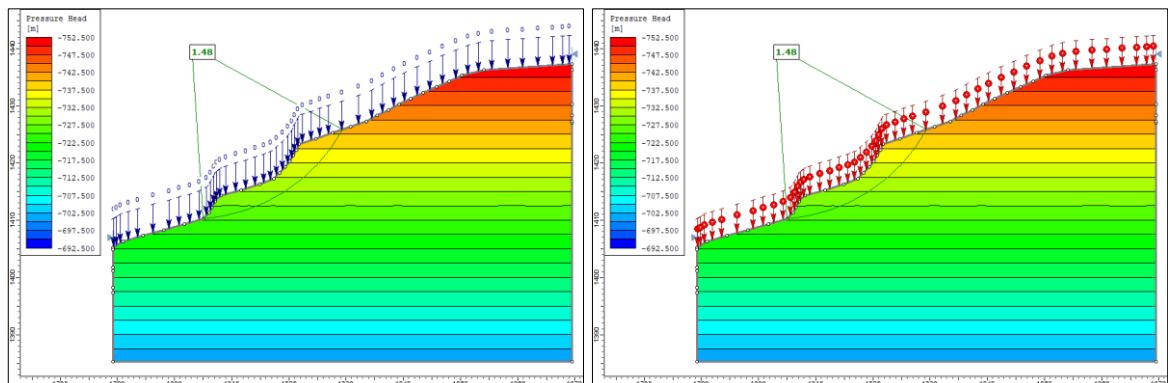
Fonte: O autor (2025).

No cenário 2, adotou-se uma abordagem mais próxima da realidade, por meio de uma análise em regime transitório, incorporando uma taxa de infiltração superficial variável ao longo do tempo, conforme dados experimentais. Os resultados demonstraram uma elevação progressiva da poropressão nas camadas mais rasas do talude, à medida que a infiltração avançava.

Embora o cenário 2 tenha sido modelado em regime de fluxo transitório, com aplicação de uma infiltração superficial variável ao longo do tempo, os resultados indicaram pouca variação significativa na carga de pressão ao longo do período analisado. Essa resposta está diretamente associada à curta duração do ensaio de infiltração, que se estendeu por apenas 0,125 dias (equivalente a 3 horas). Em um intervalo tão curto, a água aplicada na superfície não teve tempo suficiente para percolar o suficiente, permanecendo restrita às camadas mais rasas do solo. Como consequência, o impacto hidráulico da recarga superficial foi limitado às zonas não saturadas do perfil do talude durante o período simulado.

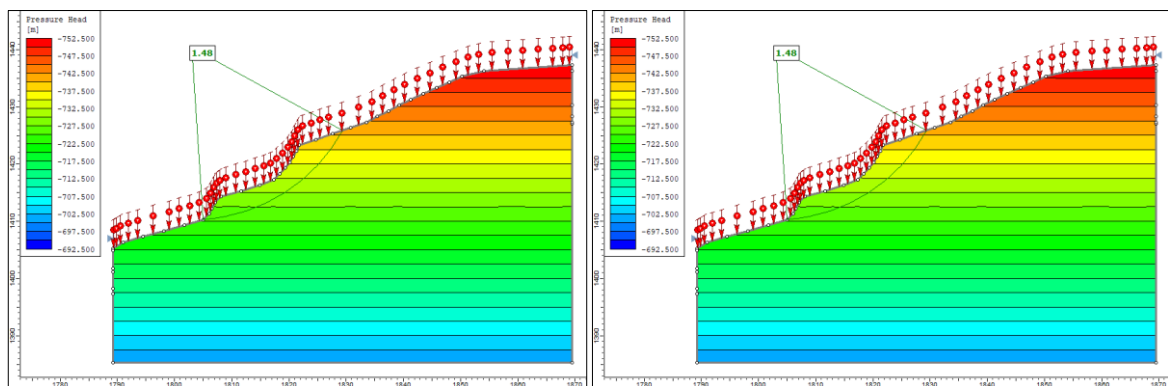
Dessa forma, o resultado do fator de segurança obtido nesse cenário foi igual ao cenário anterior, apresentando um fator de segurança mínimo de 1,48 (pelo método de Janbu Simplificado).

Figura 35 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Configuração inicial e estágio 01 (0 minutos), respectivamente



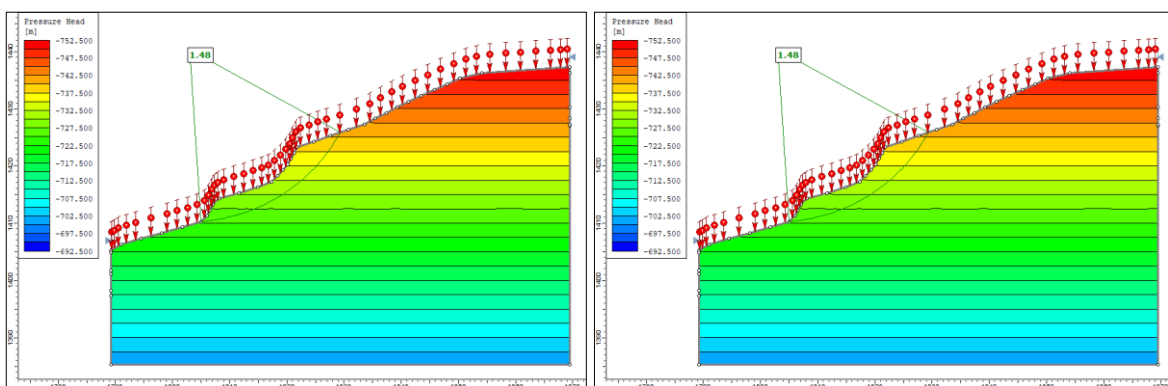
Fonte: O autor (2025).

Figura 36 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Estágio 02 (1 minuto) e 03 (3 minutos), respectivamente.



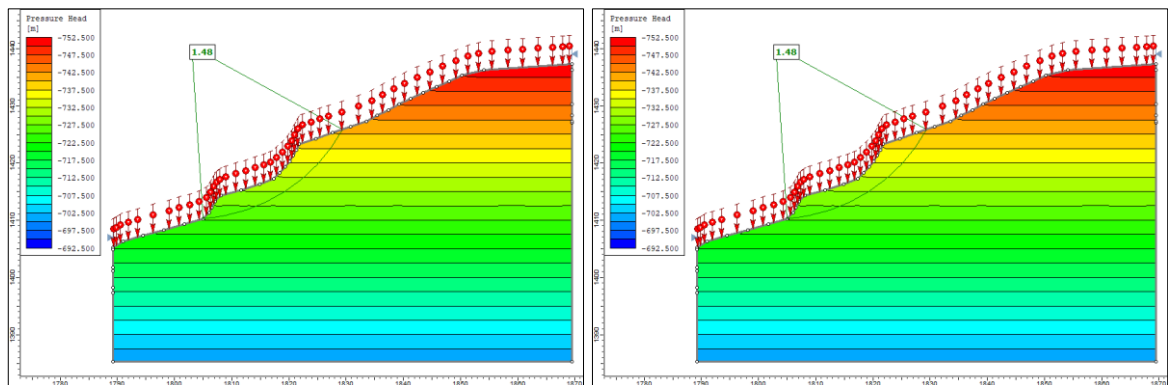
Fonte: O autor (2025).

Figura 37 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Estágio 04 (5 minutos) e 05 (10 minutos), respectivamente.



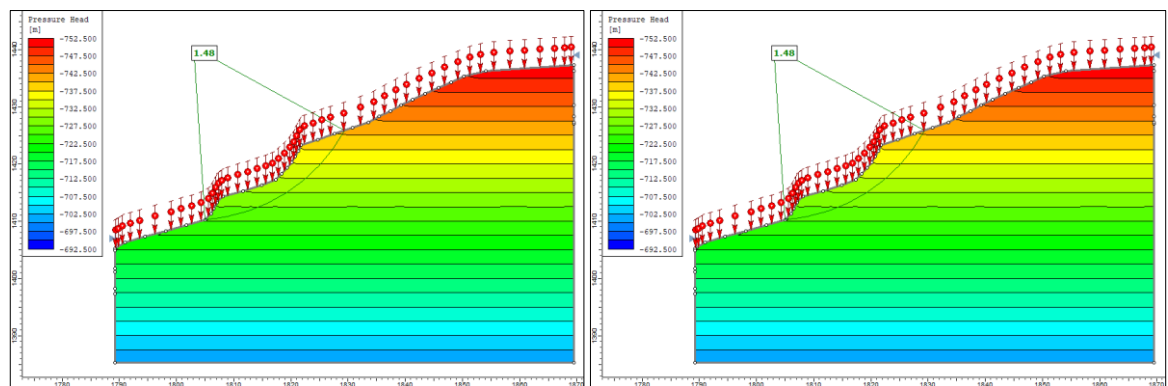
Fonte: O autor (2025).

Figura 38 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Estágio 06 (15 minutos) e 07 (20 minutos), respectivamente.



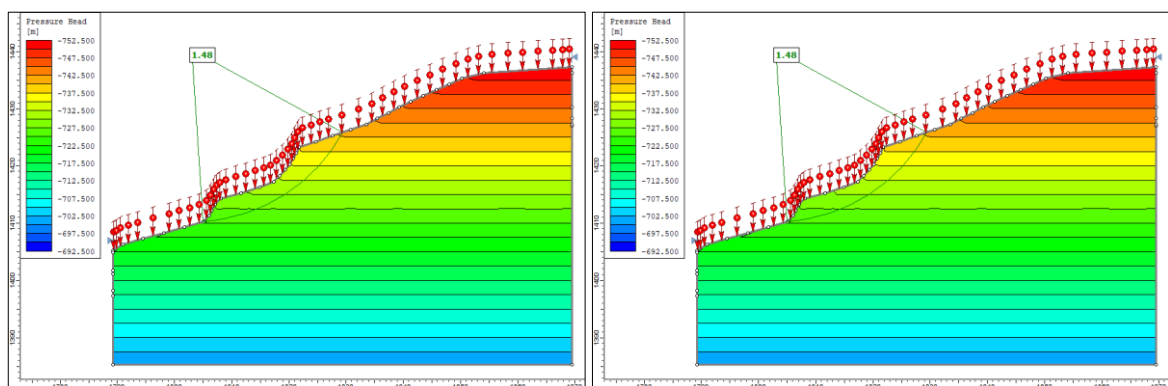
Fonte: O autor (2025).

Figura 39 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Estágio 08 (25 minutos) e 09 (30 minutos), respectivamente.



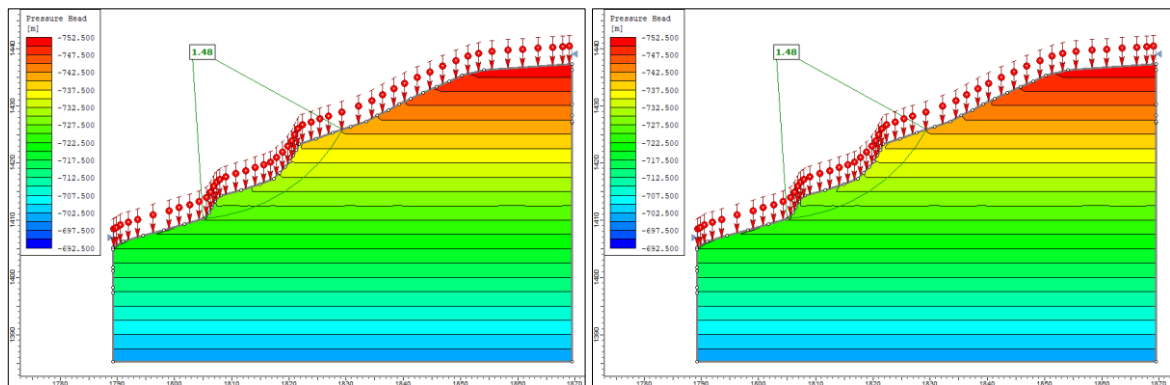
Fonte: O autor (2025).

Figura 40 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Estágio 10 (40 minutos) e 11 (50 minutos), respectivamente.



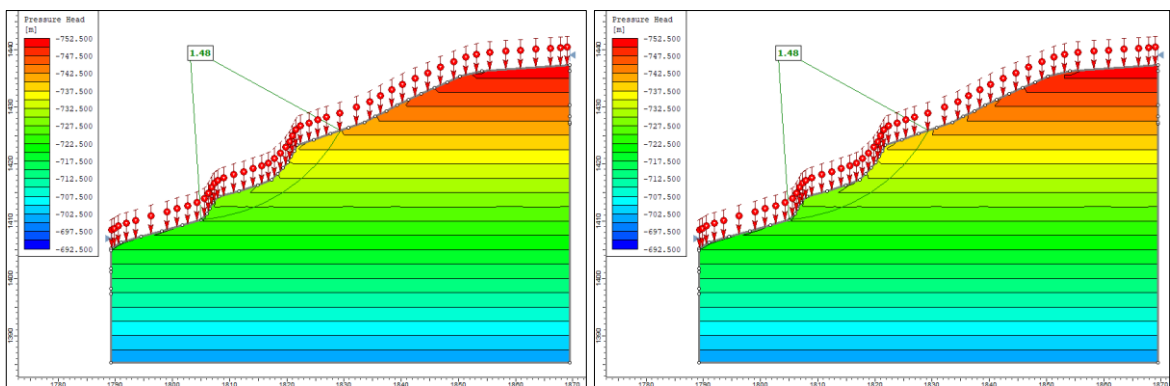
Fonte: O autor (2025).

Figura 41 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Estágio 12 (60 minutos) e 13 (75 minutos), respectivamente.



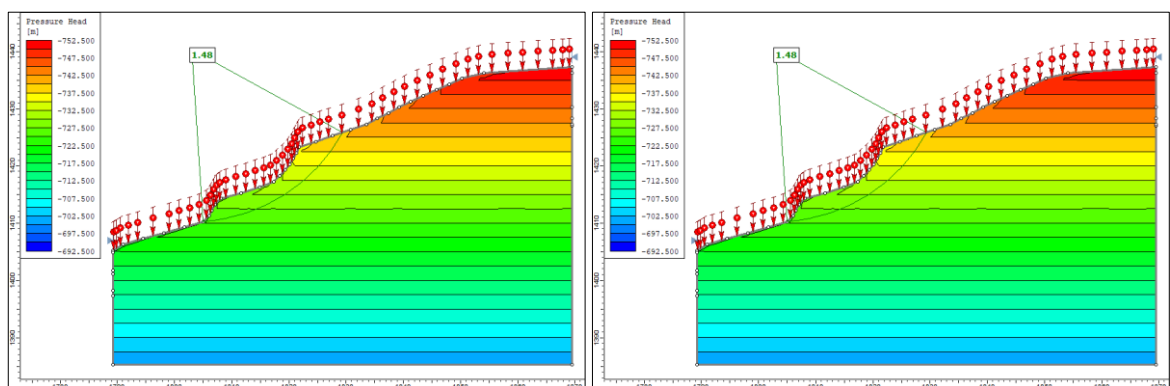
Fonte: O autor (2025).

Figura 42 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Estágio 14 (90 minutos) e 15 (120 minutos), respectivamente.



Fonte: O autor (2025).

Figura 43 - Análise de Estabilidade do cenário 02: Estágio 16 (150 minutos) e 17 (180 minutos), respectivamente.



Fonte: O autor (2025).

O Cenário 3 teve como objetivo avaliar a estabilidade do talude a partir da simulação de uma saturação progressiva do perfil geotécnico, representando a

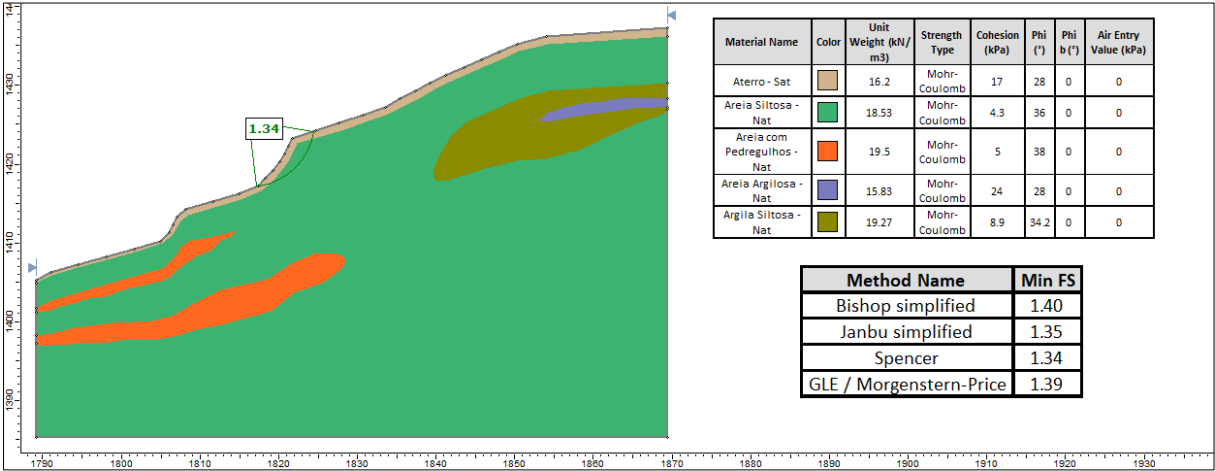
infiltração gradual da água desde a camada superficial de aterro até profundidades sucessivas. A análise foi realizada em múltiplas fases, nas quais os parâmetros geotécnicos foram alterados para a condição saturada em intervalos de 1 metro de profundidade, partindo do aterro superficial até atingir 10 metros abaixo deste.

Na primeira fase, considerando apenas a saturação do aterro, o fator de segurança apresentou valores entre 1,34 e 1,40, já demonstrando uma redução relevante em relação ao cenário natural ($FS \approx 1,48$). A partir da segunda fase, quando a saturação atingiu 1 metro abaixo do aterro, houve queda expressiva do fator de segurança para 1,26–1,30, aproximando-se do limite mínimo estabelecido pela ABNT NBR 11682:2009 ($FS \geq 1,30$), e em alguns métodos ficando abaixo do valor normativo.

Nas fases seguintes, com o avanço da saturação para profundidades de 2 e 3 metros, o fator de segurança sofreu novas reduções, alcançando 1,14–1,22, valores que caracterizam uma condição crítica de instabilidade. A superfície de ruptura crítica interceptou o aterro e a camada de areia siltosa, solos com baixa coesão (4,3 kPa) e ângulo de atrito de 36° , que apresentaram desempenho geotécnico significativamente prejudicado sob condição saturada.

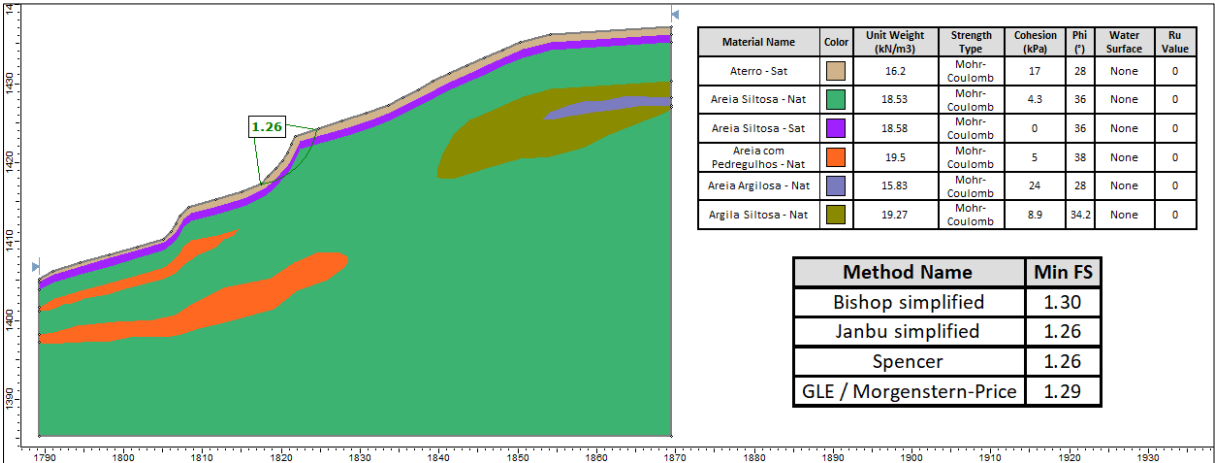
Observou-se que, a partir da quarta fase, quando a saturação atingiu 3 metros de profundidade, até a décima primeira fase (10 metros abaixo do aterro), o fator de segurança permaneceu constante em torno de 1,14, indicando que a cunha de ruptura já se encontrava totalmente inserida na zona saturada. Dessa forma, a continuidade da saturação em profundidade não resultou em alterações adicionais na superfície crítica ou nos valores de FS, mantendo-se assim até na análise de saturação total do perfil.

Figura 44 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro.



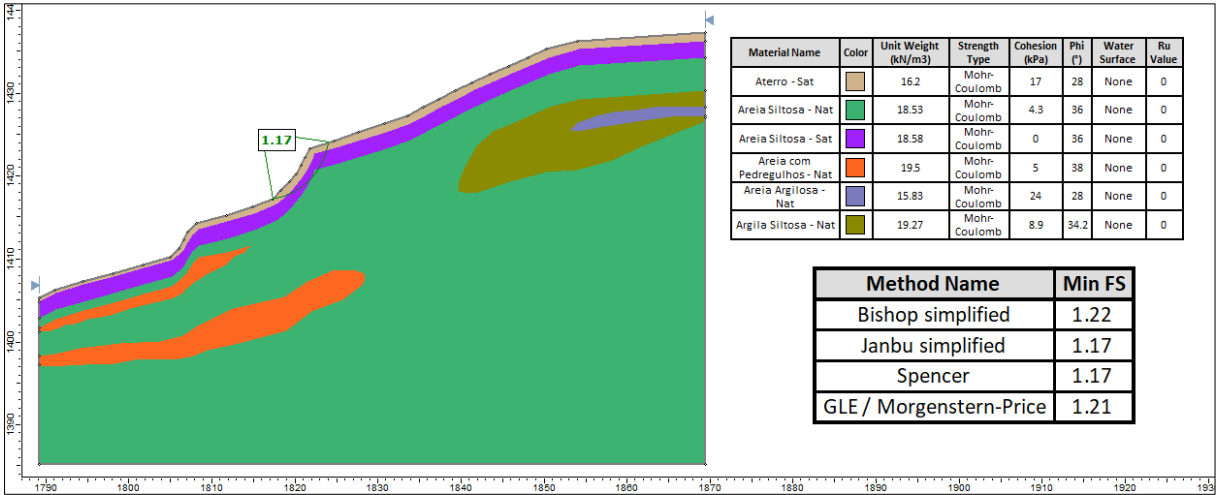
Fonte: O autor (2025).

Figura 45 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 1 metro abaixo dele.



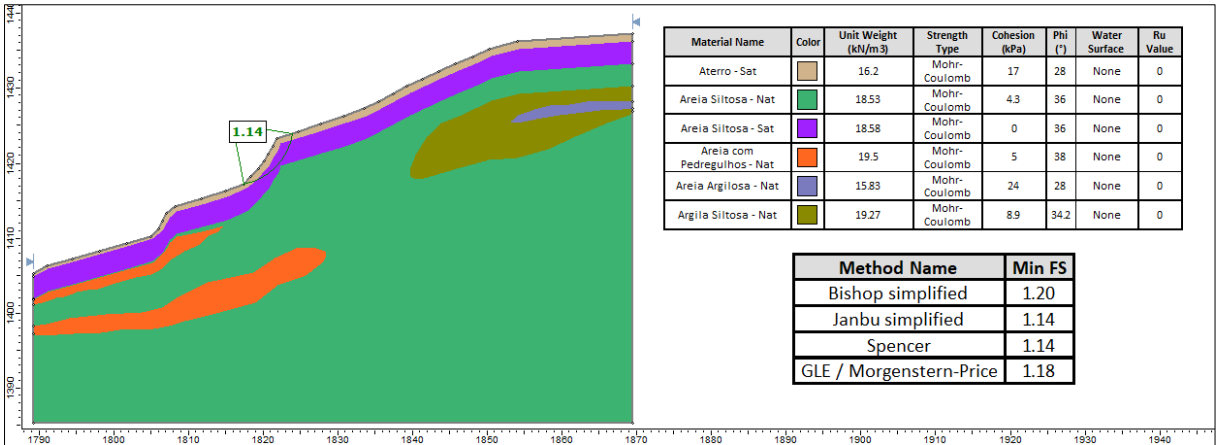
Fonte: O autor (2025).

Figura 46 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 2 metros abaixo dele.



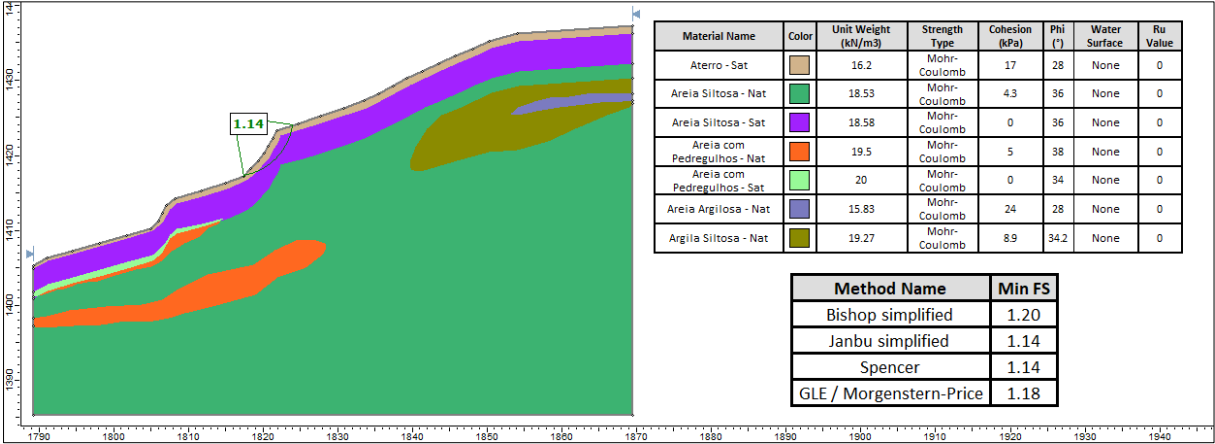
Fonte: O autor (2025).

Figura 47 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 3 metros abaixo dele.



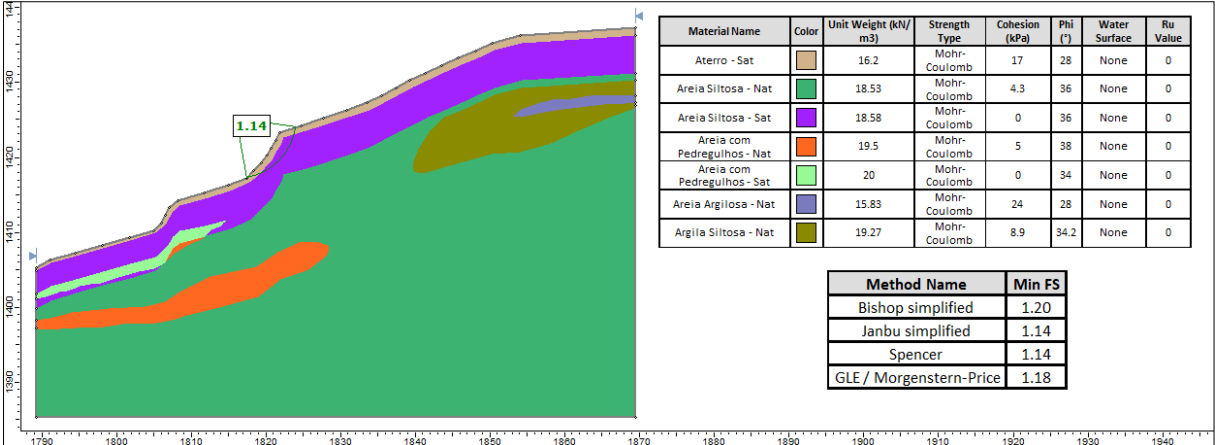
Fonte: O autor (2025).

Figura 48 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 4 metros abaixo dele.



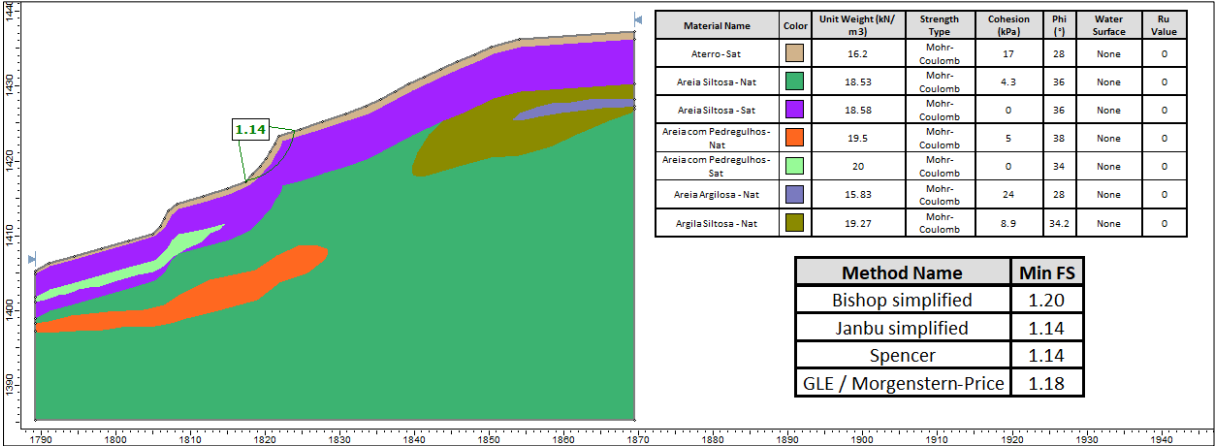
Fonte: O autor (2025).

Figura 49 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 5 metros abaixo dele.



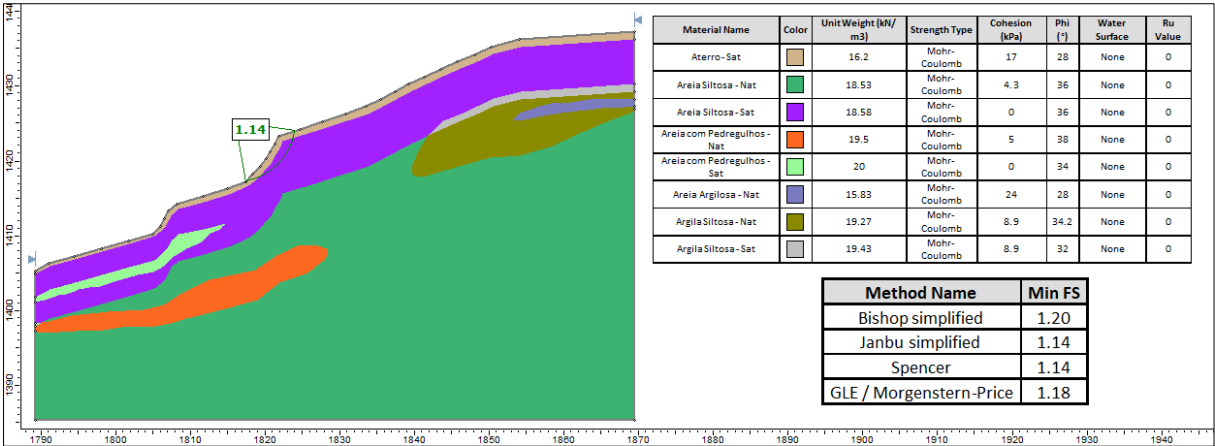
Fonte: O autor (2025).

Figura 50 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 6 metros abaixo dele.



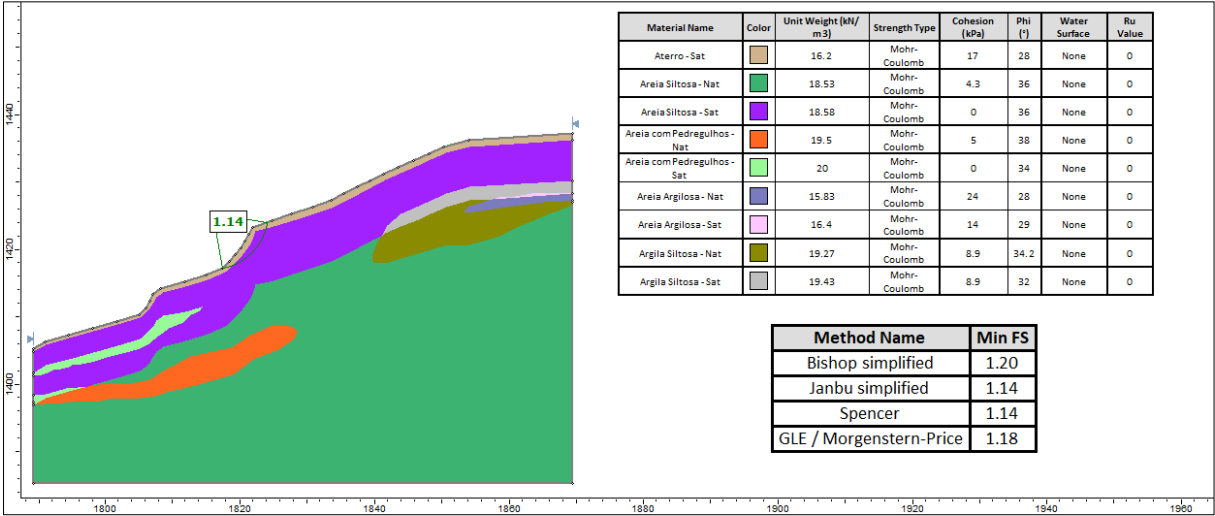
Fonte: O autor (2025).

Figura 51 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 7 metros abaixo dele.



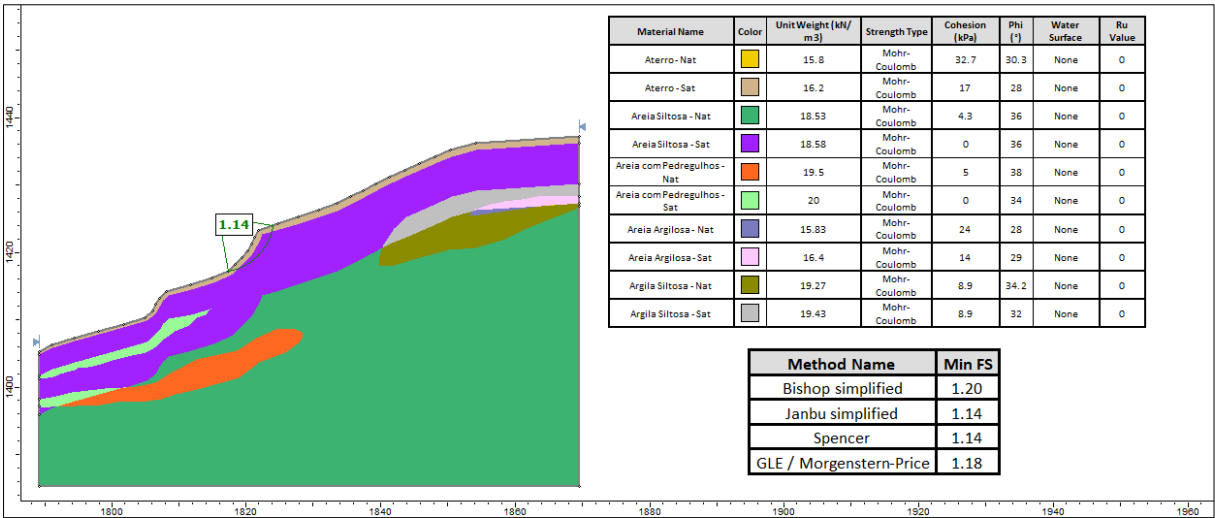
Fonte: O autor (2025).

Figura 52 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 8 metros abaixo dele.



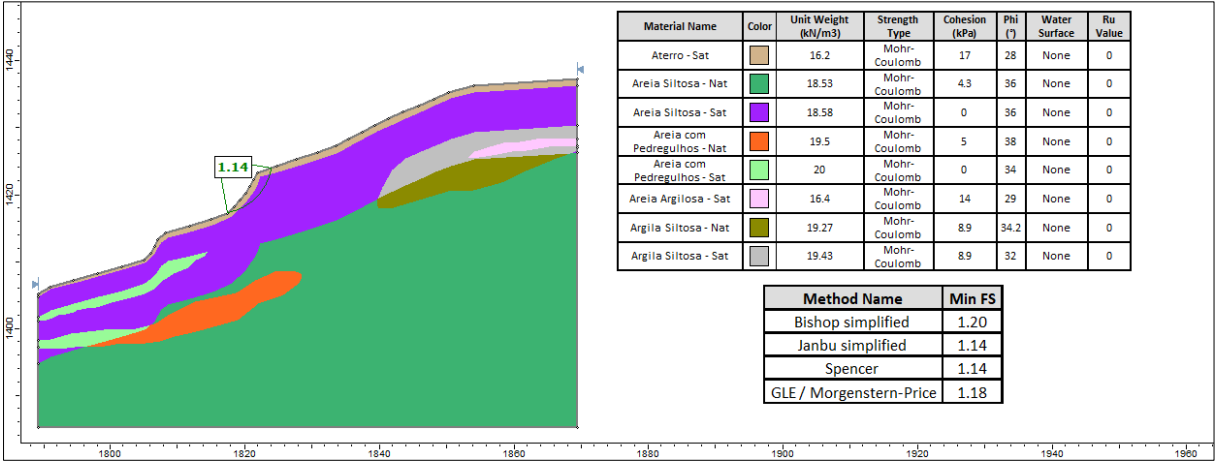
Fonte: O autor (2025).

Figura 53 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 9 metros abaixo dele.



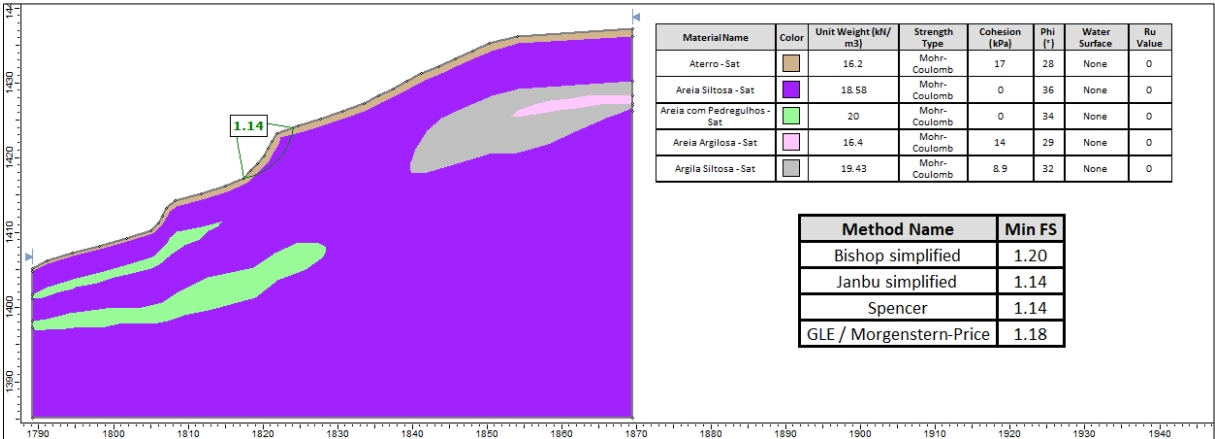
Fonte: O autor (2025).

Figura 54 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação do Aterro e 10 metros abaixo dele.



Fonte: O autor (2025).

Figura 55 - Análise de Estabilidade do cenário 03: Saturação total do perfil.



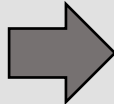
Fonte: O autor (2025).

A comparação entre os três cenários analisados permite observar com clareza os efeitos da presença e movimentação da água nos fatores de segurança. No cenário 1, com condição natural e ausência de fluxo d'água, os fatores de segurança foram os mais elevados, refletindo a estabilidade do talude em condição seca. No cenário 2, com fluxo transiente induzido por infiltração vertical variável, não houve alteração nos fatores de segurança quando comparado com a condição natural, devido ao curto tempo de realização do ensaio de duplo anel, não permitindo o avanço da zona saturada sobre a estrutura. Já no cenário 3, a saturação foi simulada de forma progressiva por profundidade. Nessa condição, observou-se queda contínua dos fatores de segurança até a fase 4, quando a zona de ruptura foi

totalmente atingida pela saturação, estabilizando os resultados em 1,14 nas fases seguintes. Assim, o cenário 3 se mostrou o mais crítico, seguido pelo cenário 2, enquanto o cenário 1 representou a condição mais estável.

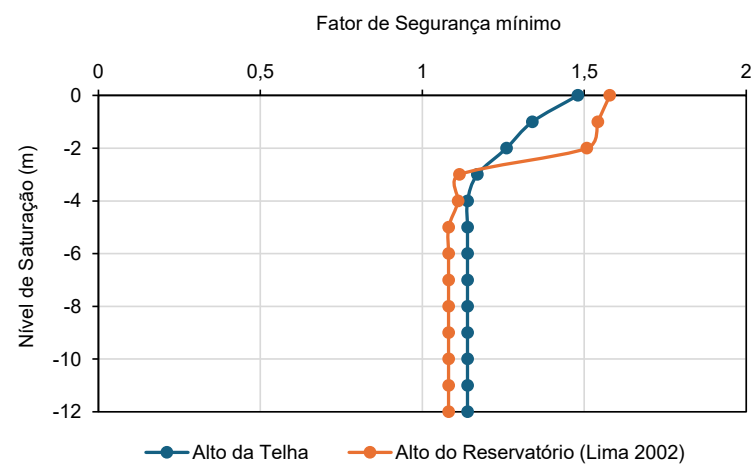
A Tabela 6 apresenta os valores dos fatores de segurança (FS) obtidos para cada cenário analisado. É observado que quando a saturação atinge a profundidade de 3 metros abaixo do aterro, o fator de segurança atinge os menores valores. Para profundidades de saturação superiores a 4 m praticamente o Fator de Segurança não varia mais, porque a superfície potencial de deslizamento está acima desta profundidade. Resultados semelhantes foram obtidos por Lima (2002) em um solo da Formação Barreiras no Alto do Reservatório.

Tabela 6 - Resumo dos Fatores de Seguranças em cada cenário, por métodos.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3						
			Sat. Aterro	Sat. Aterro +1	Sat. Aterro +2	Sat. Aterro +3		Sat. Aterro +10	Totalmente Sat.
Bishop simplificado	1,55	1,55	1,4	1,3	1,22	1,2		1,2	1,2
Janbu simplificado	1,48	1,48	1,35	1,26	1,17	1,14		1,14	1,14
Spencer	1,55	1,55	1,34	1,26	1,17	1,14		1,14	1,14
GLE/Morgenstern-Price	1,55	1,55	1,39	1,29	1,21	1,18		1,18	1,18

Fonte: O autor (2025).

Figura 56 - Variação do Fator de Segurança com o nível de saturação.



Fonte: O autor (2025).

De forma geral, as curvas do Alto da Telha e do Alto do Reservatório (Lima, 2002) apresentam comportamentos semelhantes, evidenciando redução progressiva do fator de segurança (FS) com o avanço da frente de saturação. Em ambos os casos, os valores iniciais, próximos a 1,5, mantêm-se estáveis nas camadas superficiais, sofrendo queda mais acentuada no intervalo entre aproximadamente 2 m e 4 m de profundidade, faixa na qual ocorre a perda mais significativa da estabilidade. A partir desse ponto, observa-se estabilização dos valores de FS, em torno de 1,1, mesmo com a saturação das camadas mais profundas.

A pequena diferença entre os fatores de segurança obtidos pelos métodos utilizados se deve às particularidades de cada abordagem de equilíbrio limite. Enquanto o método de Janbu tende a ser mais conservador em encostas com geometrias mais irregulares, os métodos de Bishop, Spencer e Morgenstern-Price, que consideram maior interação entre as lamelas, fornecem valores próximos e ligeiramente superiores.

Em relação ao estudo hidrológico da região do Alto da Telha, observa-se uma média mensal de precipitação em torno de 163,32 mm, com valores extremos variando entre 8 mm (novembro/2024) e 679,1 mm (maio/2022). A média anual estimada com base nos dados disponíveis é de aproximadamente 1931,76 mm, o que caracteriza a região como de clima úmido tropical, com chuvas concentradas especialmente entre os meses de abril a julho, período que coincide com o outono-inverno da região Nordeste.

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que a estabilidade de taludes é fortemente condicionada às condições de saturação, especialmente à presença de infiltração superficial e variações no tempo. Os resultados indicam que a saturação de 4 m de espessura na encosta é uma situação crítica para o escorregamento.

Dessa forma, recomenda-se que, em projetos de taludes em regiões com regime pluviométrico acentuado ou com presença significativa de recarga superficial, seja priorizada a modelagem em regime de fluxo transitório, de forma a incorporar os efeitos acumulativos da infiltração sobre a estabilidade do maciço ao longo do tempo.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar a estabilidade de taludes por meio de modelagem numérica no *software Slide2*, considerando diferentes situações. Foram simulados três cenários distintos: o primeiro na condição natural, o segundo em regime transitório, com infiltração variável ao longo do tempo, e o terceiro representando uma saturação progressiva. A abordagem adotada permitiu investigar a influência da infiltração e saturação do terreno sobre a poropressão e, consequentemente, sobre o fator de segurança do maciço.

Os resultados mostraram que o cenário 1, que representa a condição natural, apresentou os maiores fatores de segurança, confirmando a estabilidade do talude em condições secas. Já no cenário 2, apesar da adoção do regime transitório, os efeitos sobre a saturação e o fator de segurança foram limitados, em razão do curto intervalo de tempo analisado, o que impediu que a infiltração superficial atingisse profundidades significativas. Por fim, o cenário 3, baseado na saturação progressiva por profundidade, apresentou os menores fatores de segurança, atingindo um valor crítico de 1,14 a partir da saturação de 3 metros abaixo do aterro — valor que se manteve constante até a última fase, quando a zona de ruptura já estava completamente saturada.

Vale salientar que o modelo transitório se apresenta como uma ferramenta mais robusta para a análise de estabilidade em contextos em que há variações sazonais ou eventos extremos de precipitação. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se realizar simulações transitórias com períodos mais longos de infiltração, de forma a permitir que o fluxo de água atue de forma mais efetiva sobre o lençol freático e o campo de poropressões. Tal abordagem permitiria observar com maior clareza os efeitos acumulativos da saturação sobre a estabilidade do talude, contribuindo para análises de risco mais realistas e preventivas em contextos geotécnicos complexos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11.682: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

Agência Pernambucana de Águas e Clima – Histórico de Chuvas. Disponível em < <https://www.apac.pe.gov.br/>>. Acesso em 15 de abril de 2025.

LAMBE, T. W.; WHITMAN, R. V. *Soil Mechanics*. New York: John Wiley & Sons, 1969.

DUNCAN, J. M.; WRIGHT, S. G.; WAN, R. Y. *Soil Strength and Slope Stability*. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2014.

GERSCOVICH, D. M. S. Estabilidade de Taludes. 2.ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

FERREIRA, João Luís Ferrás. ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES PELOS MÉTODOS DE JANBU E SPENCER. Mestrado Integrado em Engenharia Civil – 2011/2012 – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.

MASSAD, F. Obras de terra: Curso básico de geotécnica. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

ROCSCIENCE INC. Slide2 – 2D Slope Stability Analysis Software. Toronto, Canadá. Disponível em: <https://www.rocscience.com>. Acesso em: 7 abr. 2025.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Censo Demográfico 2010. Resultados do universo: características da população e domicílios – Passarinho (RPA 3, Recife-PE). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 21 de fev. 2025.

REICHARDT, K. et al. *Água na interface solo-planta-atmosfera*. 1. ed. Barueri: Manole, 2007.

MORETI, D. et al. Avaliação da condutividade hidráulica de solos por meio do ensaio de infiltração com anéis concêntricos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 2, p. 181–187, 2013.

MEDEIROS, W. M. G. *Estudo da infiltração de água em solos lateríticos utilizando métodos de campo e laboratório*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFRN, Natal, 2008.

SANTOS, G. F. S. *Análise de risco e contribuição a análise de vulnerabilidade ao deslizamento de encostas na região norte da cidade do Recife*. Trabalho de Conclusão de Curso, UFPE, 2024

NAVARRO, J. A.; COSTA, A. G.; PEREIRA, B. R. Infiltração e estabilidade de encostas sob diferentes regimes de recarga hídrica. *Geotecnia e Meio Ambiente*, v. 26, n. 1, p. 101–115, 2018.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1980.

LUIZ, J. M.; SOUSA, L. F.; MOURA, D. A. Condutividade hidráulica não saturada em solos tropicais: implicações em modelagens geotécnicas. *Revista Brasileira de Mecânica dos Solos*, 2021.

CUNHA, R. P. et al. Estudo da estabilidade de encostas naturais considerando escoamento transiente com chuvas intensas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA AMBIENTAL, 3., 2020, São Carlos. Anais [...]. São Carlos: ABMS, 2020.

LUZ, C. A. P.; REZENDE, L. R. P. Análise de estabilidade de taludes considerando escoamento em regime permanente e transitório. *Revista Brasileira de Geotecnia*,

São Paulo, n. 144, p. 45–58, 2018. Disponível em: <https://www.abms.com.br/revista>. Acesso em: 8 jul. 2025.

NAVARRO, D. A. M. Modelagem numérica da estabilidade de taludes em solos coluvionares considerando regimes de fluxo variáveis. 2017. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/17715>. Acesso em: 8 jul. 2025.

ROCSCIENCE INC. *Slide2 – User Manual*. Toronto: Rocscience Inc., 2024. Disponível em: <https://www.rocscience.com/help/slide2/webhelp/slide2.htm>. Acesso em: 8 jul. 2025.

Caracterização do Território do Bairro do Passarinho, Recife. Disponível em <<https://www2.recife.pe.gov.br/servico/passarinho>>. Acesso em 29 de maio de 2025.

ALHEIROS, M. M. et al. (1988). “Sistemas Depositionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental”. Anais XXXV Congresso Brasileiro de Geologia, Vol. 2, p.753-760.

ALHEIROS, M. M., MENEZES, M. F. e FERREIRA, M. G. (1990). “Carta Geotécnica da Cidade do Recife”. Relatório Final de Atividades. Finep / UFPE, Recife, 1990, 81 p.

FONTOURA, A. R. Caracterização geotécnica de encostas urbanas do Recife. 2022. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/49103>. Acesso em: 27 jul. 2025.

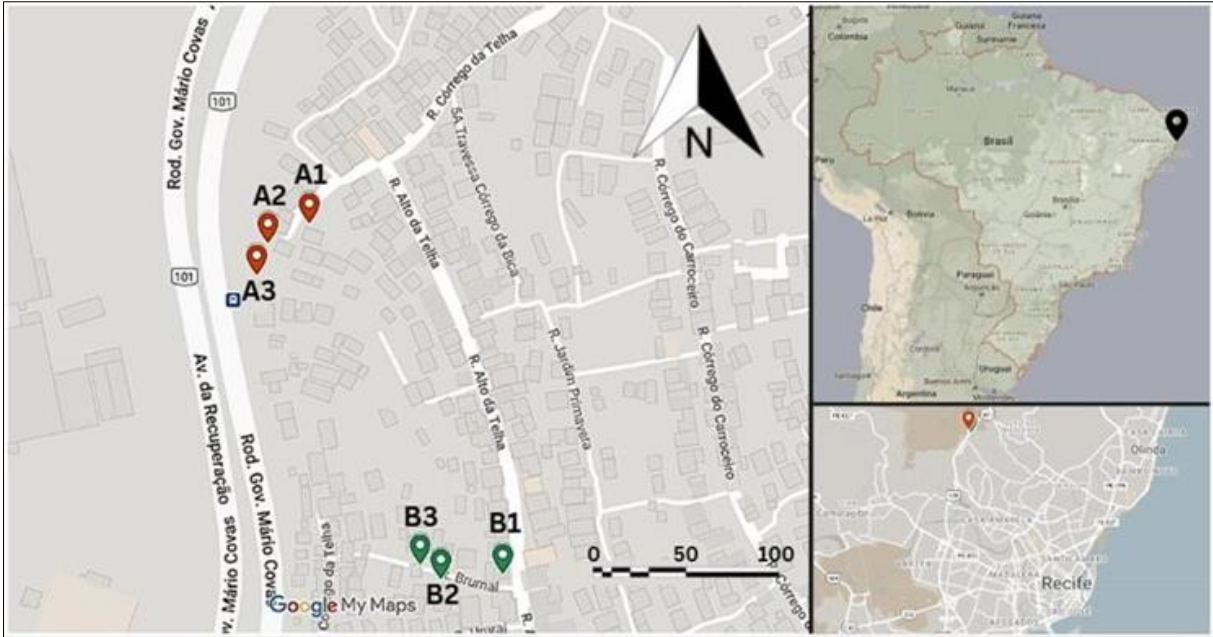
RIBEIRO, M. R. *Solos da cidade do Recife: gênese, morfologia e propriedades*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, p. 709-722, 2006.

SILVA, J. L. C. *Caracterização geotécnica de solos em encostas urbanas do Recife: Estudo de caso no Alto da Telha*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

GUIMARÃES, R. C.; MARQUES, R. M.; REIS, D. F. *Influência das chuvas nos escorregamentos em encostas da Região Metropolitana do Recife*. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2008.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. *Dados históricos de precipitação – Recife*. Disponível em: www.inmet.gov.br, 2025.

Anexo A1 - Localização dos furos de Sondagem.



Fonte: Projeto “Morro de Vontade” (2024).

Anexo A2 - Valor dos parâmetros do solo para os ensaios de cisalhamento direto.

Amostra	Condição	W (%)	γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)
A1	Natural	17,60	15,2	32	30
	Inundado	22,17	15,6	19	28
A2	Natural	15,69	16,4	42	33
	Inundado	20,66	16,6	18	27
A3	Natural	19,36	15,8	24	28
	Inundado	19,75	16,4	14	29

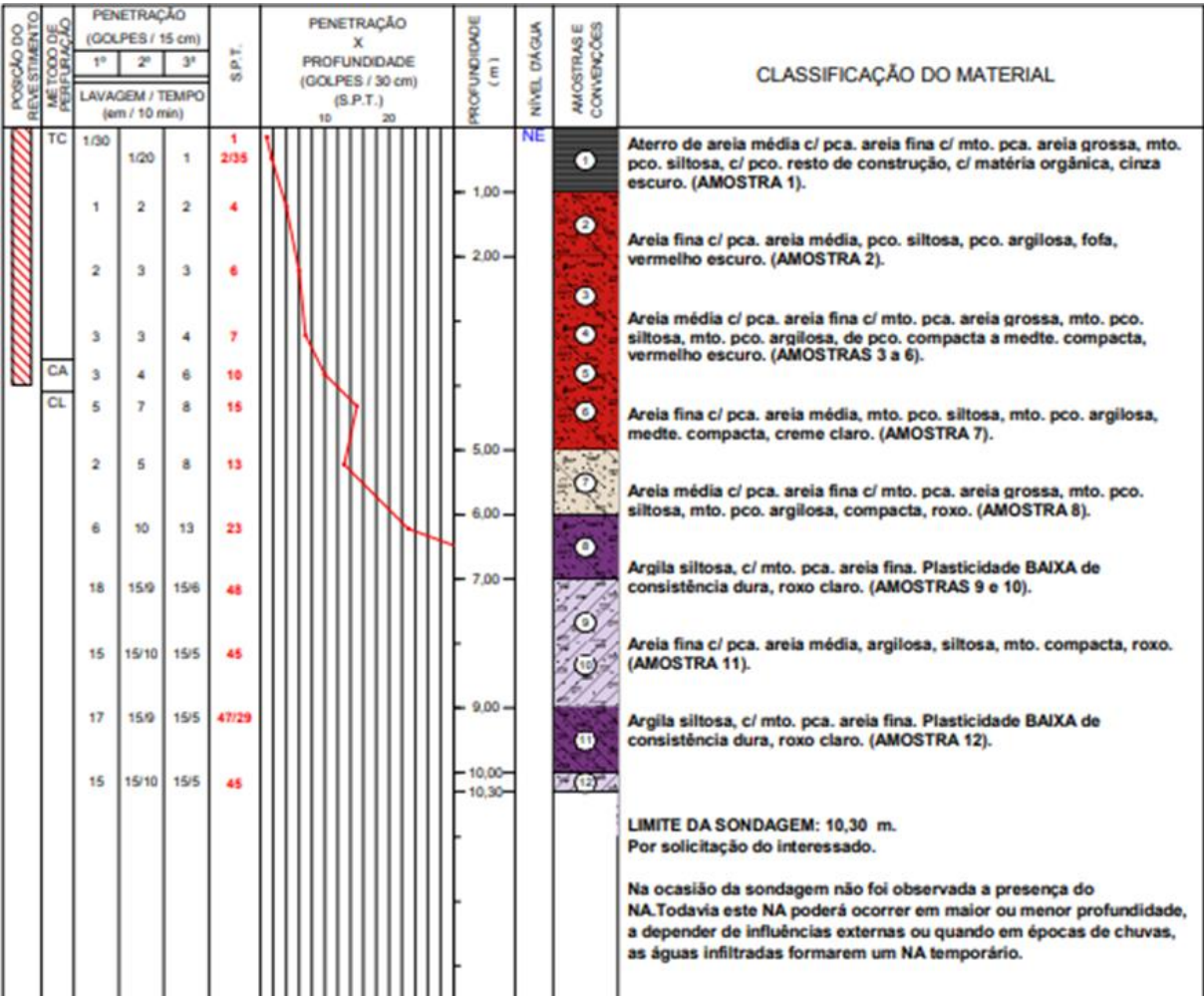
Fonte: Projeto “Morro de Vontade” (2024).

Anexo A3 - Fatores de Segurança obtidos no Alto do Reservatório.

FATOR DE SEGURANÇA		
MÉTODO DE ANÁLISE	PROFUNDIDADE (m)	Fs
BISHOP	0	1,579
	1	1,542
	2	1,508
	3	1,115
	4	1,111
	5	1,081
	6	1,081
	7	1,081

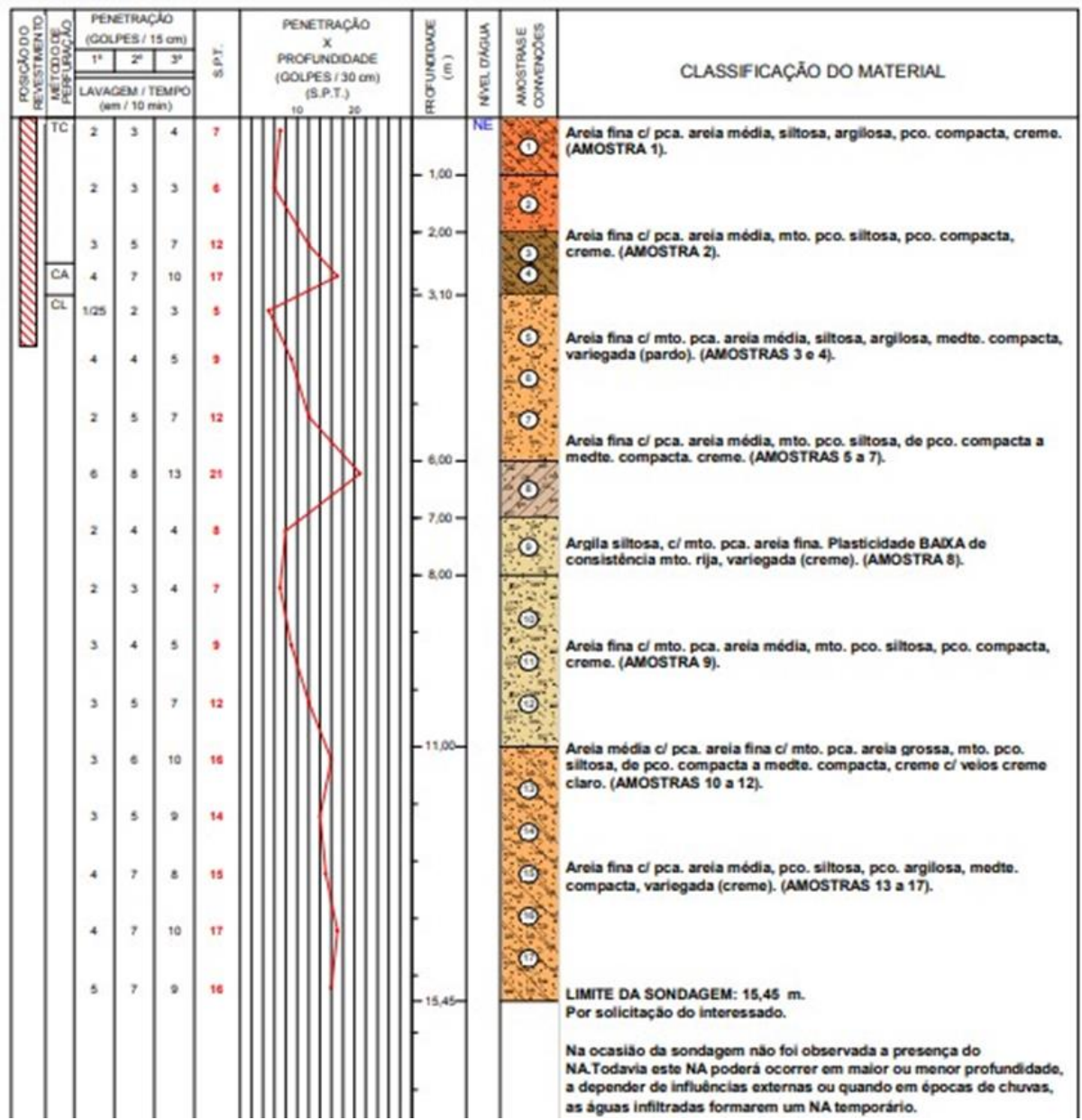
Fonte: Lima (2002).

Anexo A4 - Sondagem de Simples Reconhecimento com determinação do Nspt do furo A1, utilizado no TCC.



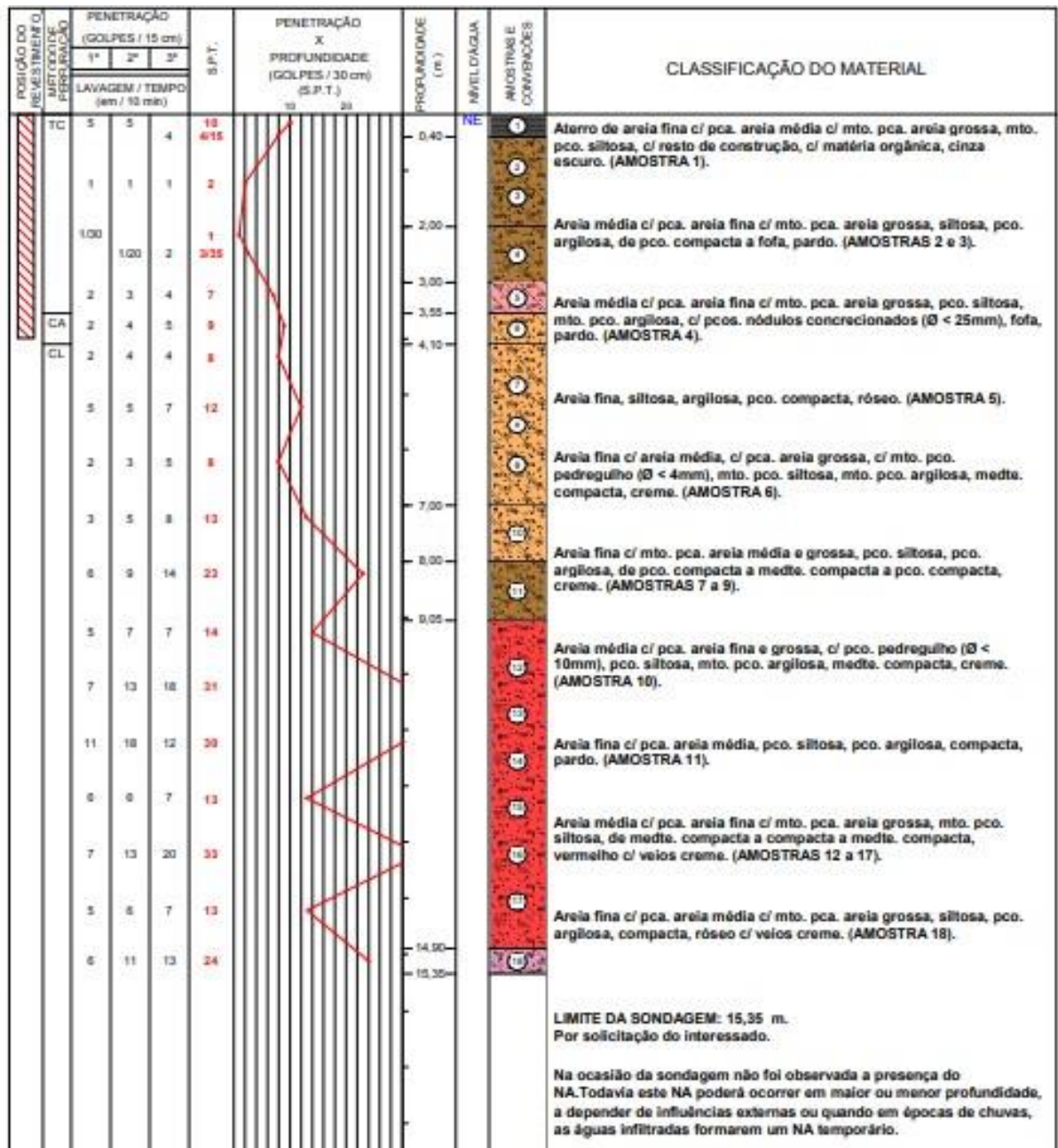
Fonte: ENSOLO (2023).

Anexo A5 - Sondagem de Simples Reconhecimento com determinação do Nspt do furo A2, utilizado no TCC.



Fonte: ENSOLO (2024).

Anexo A6 - Sondagem de Simples Reconhecimento com determinação do Nspt do furo A3, utilizado no TCC.



Fonte: ENSOLO (2024).

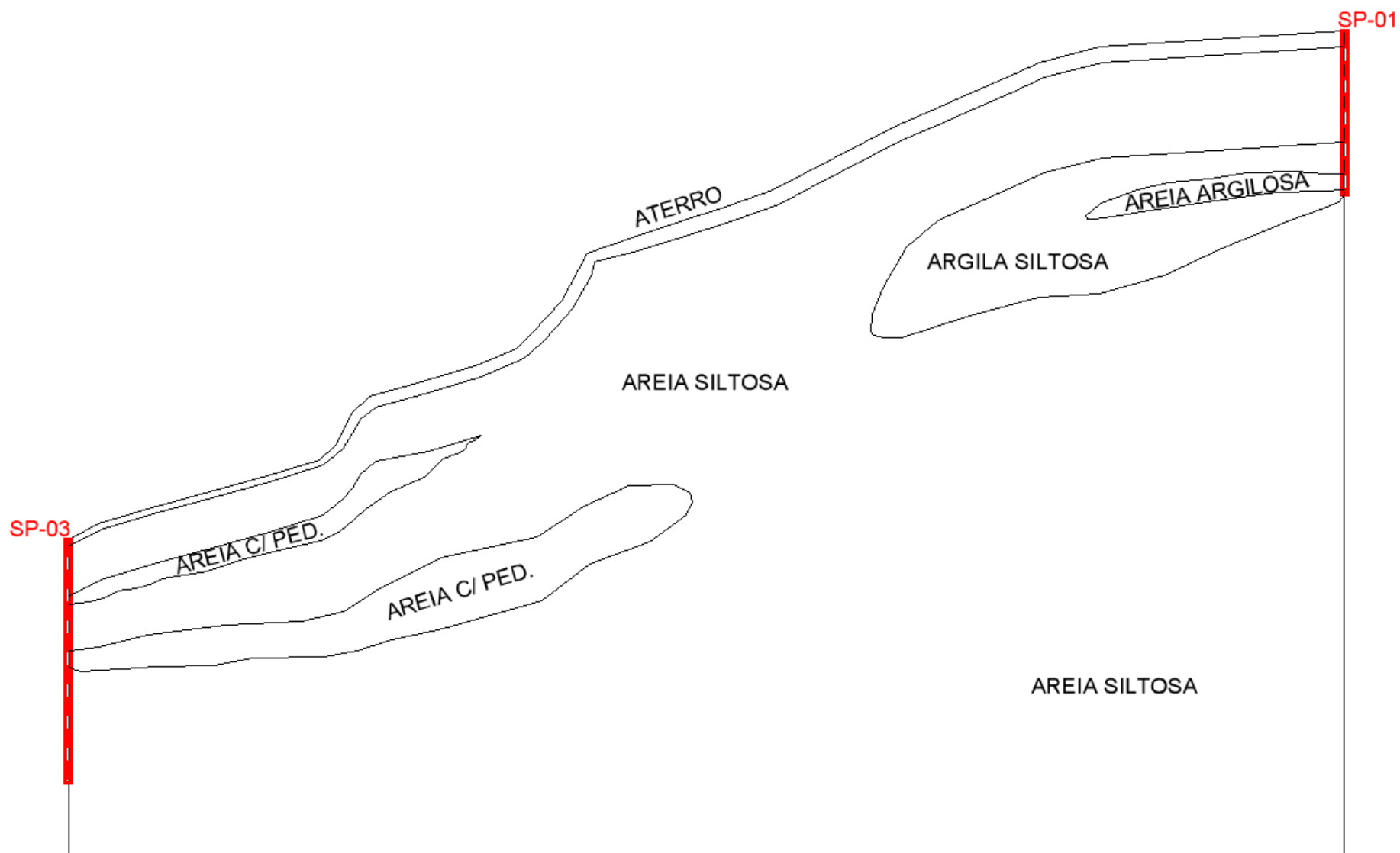
Apêndice A1 - Dados Hidrológicos.

Código	Posto	Mês/Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Acumulado
265	Recife (Alto da Brasileira)	jan/20	4,8	0,6	0	0	0	0	0	0	1	-	0	1,4	0	0	0	0	0	0	2,5	0	0	0	15,4	0	0,3	0	1	0	4,4	0	0,4	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	fev/20	0	0	3,8	2,5	0	0	0	0	0	-	0	1,4	15,9	1,8	0	0	0,7	2,3	8,6	19,9	1,1	5,7	0	0,5	0	3,5	0,3	2,1	0	-	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	mar/20	29,2	0,5	0,4	0	0	0	0	0	0	-	0	5	0,4	5,4	2,3	38,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	5,3	18,2	5,6	4,7	2	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	abr/20	5	3	13	0	4	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	48,2	0,8	11,2	4,3	16,3	11,3	4,1	0,7	53,1	55	9,5	7,5	1	3,8	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	mai/20	21,7	0	0	0	0	13,1	0	0	2,3	-	3,8	9,8	10,9	8,1	1	13,4	0	8,5	2,8	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	jun/20	0	9,6	0	2,6	2,1	8,5	25,1	3,8	9,8	-	6,7	0	0,6	66,1	21,2	41,5	12,7	1,5	8,3	6,4	7,2	0	0	1,5	0,8	2,4	4,5	5,1	28,9	0,5	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	jul/20	0,5	0	8,6	0,4	0	31,5	8,3	4,1	0,6	-	0	24,5	0	0,2	0	27,8	6,4	44,9	4,1	2,1	2,3	0,2	0	3	0,8	1,3	12,2	2,7	2,9	6,2	17,6	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	ago/20	3,2	11,3	3,5	1,2	1	2,4	0	10,5	2,1	-	0	0	9,3	4,2	1,5	3,9	0,7	1,4	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	set/20	0,3	11,5	1,6	6,2	0	0	2,2	0,7	0,3	-	0	0	-	1,2	1,1	0	3,1	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	6,8	1,5	0	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	out/20	0	1,1	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	3,1	6,2	3,8	0	0,3	0	1,2	6,2	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	nov/20	0	0	0	0,5	0	2,5	1,9	0,7	3,9	-	2,5	0	0	0	1,3	2,4	0	0	0	0,8	0	0	0	8,5	0,4	0	0	0,7	5,8	0	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	dez/20	0	0	0,4	0	1,2	0	0	0	0,6	-	0	2,9	1,5	0,8	2,1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	jan/21	5,3	0	0	2,4	0	0	0	0,4	0	-	1,9	1,4	0,7	0	0,2	0	0,4	2,9	19,2	1,1	0	4,1	0,2	1,3	2	2,1	0,9	11	0	0	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	fev/21	0	0	0	0	3,4	0	0	0	0	-	0,5	0	2,9	2	38,5	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0,6	16,7	2,7	29,7	-	-	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	mar/21	14,4	89,4	0,3	1,2	6,9	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	20,7	1,2	14,2	0	0	2,2	20,4	2,4	0	44,4	9,5	1	5,9	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	abr/21	1,4	0	0	4,7	5,4	0,6	0	0	0	-	127,5	52,8	0	14,1	22,9	2,6	15,8	19,8	27,2	0,4	0	0	1,1	3,6	6,3	0	0	14,3	2,2	2	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	mai/21	26,6	0	6,4	0	28,5	38,5	9,2	1,9	3	-	9,2	6,7	44,9	130,2	23,6	0	0	0	0	0	12,5	0	0	0,5	0	1	3,5	24,9	5,3	0	52,9	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	jun/21	5,7	0	2,2	2,1	6,5	25,2	6,5	2,4	15,2	-	0,4	0	0	0	5,1	2,1	0	10,4	47,5	6	0,5	0	8,1	7,2	25,4	0	0,5	2,7	0	4,1	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	jul/21	14	9,2	29,2	16,9	0	0,3	0	0	0	2	16,6	5,7	2,7	0,6	7,8	3,5	18,3	9,4	0	26,4	8,7	3,2	5,8	7,3	9,1	8,9	10,5	0	0	0	6,9	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	ago/21	8,3	1,3	35,9	18,1	15,2	21,1	3,5	5,7	0,5	-	12,5	42,8	2,6	0,8	6,2	2,5	-	2,5	1	-	10,4	0,3	3,9	0,7	1,4	0,4	0	0	3,3	2,1	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	set/21	4,1	1,7	0	3,6	2,2	1,2	0	2,1	0,9	-	1,2	0	3,2	1,9	1	0	0	1,1	0	0	0	0	0	6,3	0	0	0	0	8,4	6,5	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	out/21	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	4,7	1	0	2,3	0	0	0,2	0	1,1	0	0	0	0,7	7,5	0	0,3	0	0	10452,3

Código	Posto	Mês/Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Acumulado
265	Recife (Alto da Brasileira)	nov/21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	10	2,2	1,1	0	1,8	0	0	0,7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1,8	6,2	0	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	dez/21	0	0	0	8,8	7,7	1,6	0	0	1,4	-	4,7	0	5	21,7	0,6	4,8	1,2	1,6	0	0	0	0	2	2,3	0	44,8	7,1	2,6	0	0	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	jan/22	0	0	18,3	1,1	35,3	37,7	0	1,2	0	-	4,7	4,7	0,5	39	17,5	18,8	0,5	0	0	8,4	0	0	0	0	0	1,9	2,4	1,6	31,1	0	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	fev/22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0,5	2,7	0	11	28,7	0	4,1	11,7	2,3	1,6	19,8	0	0	2,4	0	-	-	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	mar/22	5,9	2,8	0	0	41	63,5	11,1	0	0	-	3,9	0	10,1	1,4	11,8	2,8	6,1	2,6	0,2	0	0	105,6	40,4	9,1	0	0	33,5	15,7	1,2	0	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	abr/22	2,3	0	1	21,6	2,6	1,5	34,3	6,9	0,5	-	0	0	7,5	0	0	0	3,4	0,5	0,9	21,9	5,6	0	55,9	1	0	3,3	0,5	1,5	11,4	1	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	mai/22	4,2	9,9	22,7	4,3	1,7	1,4	6,8	9	1,2	-	0,5	11,4	18,1	33,6	1,2	22,8	0,4	5,2	0	0	11,4	1,6	0,3	50,8	128,7	46,6	20,9	130,1	71,5	9,8	53	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	jun/22	22,1	14,1	3,1	62,1	61,2	1,3	84,1	6,5	0	0	0	29,3	0	0	1,3	5,3	5,3	0	0	35,6	8,3	18	55,1	10,1	4,2	0	0	5,4	3,2	13,6	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	jul/22	2,7	10,1	18,2	5,8	13	7,4	10,6	12,1	4,9	-	0,3	0	2,1	6,7	0,4	2,1	16,6	2,1	4,3	0,1	18,5	25,1	2,1	2,8	3,1	0	11,8	11,5	0	10,8	30,5	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	ago/22	0	8,7	81,2	43,9	7,5	0	4,5	6,5	2,4	-	3,4	0	0	0	0	0	1,5	6,4	1,3	0	0	3	7,1	8	1,8	0	5,3	39,7	9	0,3	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	set/22	3,4	12,1	8	0	5,1	17,7	2,1	2,1	0	-	3	0	0	0	0	0	0,7	0,7	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	out/22	0	0	2	0	0	7,6	9,2	0	0	-	4,3	7,4	0	0,2	5,7	2,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	nov/22	0	0	0	0	0	5,4	6,5	3,2	0	-	0	9,5	17,8	0,5	5,1	0	0,5	0,9	0	0	0	1,4	9	0	0	0	0	0	4,5	1,3	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	dez/22	5,3	1,9	0	3	1,7	7,3	0	0	7,3	-	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,3	0	2,6	0	9,7	0	0	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	jan/23	8,1	25,6	0	0,6	0	0	0	0	0	-	0	3	0	0	0	4,8	0	1,1	16,7	3,1	0	0	0	13,1	0	0	0	0	0	0	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	fev/23	0	0	0	0	59,5	16,2	54,3	0	0	-	0	0,2	0	0	19,1	0	12,7	0	0	0	0	18,2	28,7	0,6	13,5	0,6	0	0	-	-	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	mar/23	0,5	0,6	0	0	0	0	0	0	2	-	0,9	0	0	8,9	0	0	0	0	2	0	41,2	78,8	14,2	10,7	0	15,3	6,2	15,5	12,2	77,8	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	abr/23	0	0	22,4	0	4,5	0,7	7	0,3	70,5	-	0	0	3,7	1,4	5,9	0	4	0	0	0	0	0	0	9,1	0	48,1	27,2	12,3	0	1,1	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	mai/23	24,5	0	0	5,1	3,7	5,3	3,1	0	0,9	-	0	0	0	0	0	1,3	31,1	3,7	3,8	0,7	4,1	9,3	23,9	31,2	-	2,4	15,1	0	15,5	27,5	0,5	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	jun/23	0	0	0	1,2	1	0,9	3,7	7	6,6	-	0	41,5	-	-	58,5	-	0,8	6,7	0	8,1	2,4	6,2	30,5	21,1	8,8	10,3	74,1	3,2	14,2	67,9	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	jul/23	26,9	10,2	10,2	0	4,5	8,5	24,5	40,1	10,3	-	0	0,5	1	0	0,6	4,2	20,5	1,7	0	0	0,7	3,3	6,5	3,5	1,3	1,7	0,9	1,6	0	2,1	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	ago/23	0	1,2	4,8	0	0,3	0,5	11,3	6,9	11,6	-	4,4	5,6	0,8	7,2	11,6	1,3	6,7	6,2	22,7	7,3	0,5	0	2,2	0	0	0	0	0	2,6	0	1,7	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	set/23	0	2,9	0	0	4,1	1,9	1,5	3,1	6,5	-	1,5	2,8	9,1	0	0	1,6	3,5	3,4	6,2	6	0	0	6,3	7,9	0	0	0	0	0	0	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	out/23	0	0	0	0	0	0	0	2,3	0	-	0	0	0	0	0	0	2,4	0	0	3,1	2,9	2,8	2,4	0	0	0	2,8	0	0	0	0	10452,3

Código	Posto	Mês/Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Acumulado
265	Recife (Alto da Brasileira)	nov/23	0	0	0,8	0	0	0	5,2	0,5	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	2,3	0	0	4,7	0	0	0	0,4	8,9	8,2	2,2	0	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	dez/23	0	2,6	0	8,8	4,1	0	1,8	0	0	-	0,8	0	3,1	0,3	12,2	4,2	9,6	0,8	5,8	64	4,6	3,2	0	8	5,2	9,6	0	0	0	0	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	jan/24	15,6	1,8	0	0,9	0	0	0	0	0,5	-	21,1	7,4	13,1	18,2	0	0	0	0	0	32,2	0	0	0	0	0	27,4	3,2	0	0	0	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	fev/24	0	0	2,7	0	0	0	0	0	11,7	-	0	3	3,6	1,2	2,7	70,2	2,2	4,3	0	0	1,5	35,5	12,8	0	7,1	0	4,7	28,8	20,3	-	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	mar/24	0	0	0	0	0	2,2	14,1	2,9	0	-	0	5,1	3,9	2,5	44,2	1,6	5,9	10,3	0	0	0	0	0	0	0,7	0,5	0,5	1,7	6,5	22	0,5	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	abr/24	0	0	25,1	0	50,4	0	0	0,3	0	-	0	6,2	1	5,7	26,4	19,7	8,5	0	7,3	1,6	32,7	0	1,8	3,8	10,2	8,6	6,1	0	106,3	1,5	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	mai/24	1,5	3,1	0,4	8	8,3	1,5	24,3	27,3	0,4	0	0,6	0	0	0	4,5	3,4	0	24	4,2	8,7	3,1	0	0	2,7	3,1	0	0	16,5	13,7	17,1	2,1	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	jun/24	0,5	17,5	3,8	65	9,7	4,7	16,2	29,1	13,5	15,8	2,2	4,5	6,2	6,5	103	88,2	0,2	0	10,4	29,7	19,2	9,3	6,2	10,7	12,1	4,7	0,9	0	0	0	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	jul/24	0	0	5,6	5,4	1,4	19,8	16,2	10,2	0,5	13,7	1	24,1	12,7	1,5	0	1,7	0,3	4,3	0,8	0	5,8	2,9	0	1,3	2,3	0,6	0	6,3	0	2,1	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	ago/24	0	0	2,8	12,1	16,3	4	3,8	0	6,3	0	0	0	0	0	0	0,9	0	1,9	7,1	4,3	0,5	0	0	0	0	0	0	4,2	1,3	0,4	1,6	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	set/24	0	4,2	0	0	0	0	0	9,8	15,5	-	2,5	4,8	3,9	2,1	1,1	0	0,2	4,8	0	0	0	19,2	0,6	0	0	4,2	0	0	0	6,4	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	out/24	1,3	1	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	2,2	2,9	0	0	0	2,5	0	0	1,5	0	2,1	0	0	0	4,7	3,6	0	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	nov/24	1,2	0	0	0	0	3,2	0	3,6	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	dez/24	0	2,3	4,1	6,7	0	0	0,7	0,5	0,4	-	0	0	0	0	6,2	3,7	0	0	0	3,3	0	0	0	0	0	0	0	3,1	0	0,7	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	jan/25	0	2,3	0	3,1	0	1,8	0	0	0	-	0,4	0	4,3	22,3	70,4	0	0	0,6	0	3,4	10,5	14,5	1,7	0	1,3	0,5	23,7	49,2	7,6	2,1	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	fev/25	0	6,7	2,2	8,2	43,2	161,1	1,7	0	5,3	-	1,9	0	0	0	0	1,9	0,9	0	10,7	0	0	0	0,6	4,3	2,5	0	2,7	6,2	-	-	-	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	mar/25	4,8	4,8	8,3	8,3	0	0	9,9	3,1	14,3	-	0	26,1	0	0	8,4	12,3	6,3	10,5	0	0	5,3	4,3	1,2	0	11,3	0	18,2	29,7	0,5	0	0	10452,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	abr/25	2,3	5,7	6,9	0	0	23,2	15,2	0,5	3,3	-	2,3	6,2	0	0	0	0	0	0	0	2,3	3,2	0,5	0	19,7	29,1	2,3	0	3,4	0	0	-	10452,3

Apêndice A2 - Perfil Geotécnico criado a partir das sondagens.



Apêndice A3 – Levantamento topográfico utilizado como base no TCC