



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CAMPUS ACADÊMICO DO AGRESTE - CAA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

WAREN BRENDON SARAIVA DE LIRA OLIVEIRA

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE E MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO DE
DESLIZAMENTOS DE TALUDES DE CINCO MUNICÍPIOS DA ZONA DA MATA
SUL DE PERNAMBUCO**

Caruaru

2025

WAREN BRENDON SARAIVA DE LIRA OLIVEIRA

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE E MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO DE
DESLIZAMENTOS DE TALUDES DE CINCO MUNICÍPIOS DA ZONA DA MATA
SUL DE PERNAMBUCO**

Projeto de Qualificação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - PPGECAM do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de concentração: Obras Cíveis e Infraestrutura
Linha de Pesquisa: Geotecnia

Orientador (a): Dr^a Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello

Caruaru

2025

Catálogo de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Oliveira, Waren Brendo Saraiva de Lira.

Análise de estabilidade e mapeamento de áreas de risco de deslizamentos de taludes de cinco municípios da Zona da Mata Sul de Pernambuco / Waren Brendo Saraiva de Lira Oliveira. - Recife, 2025.

113 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2025.

Orientação: Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello.

Inclui referências e apêndices.

1. Taludes; 2. Fator de segurança; 3. Deslizamento; 4. Estabilização. I. Bello, Maria Isabela Marques da Cunha Vieira. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

WAREN BRENDON SARAIVA DE LIRA OLIVEIRA

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE E CONTENÇÃO DE TALUDES DE CONJUNTOS
HABITACIONAIS LOCALIZADOS EM CINCO MUNICÍPIOS DA ZONA DA MATA
SUL DE PERNAMBUCO**

Projeto de Qualificação apresentado ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental -
PPGECAM do Centro Acadêmico do Agreste -
CAA, da Universidade Federal de Pernambuco -
UFPE, como parte do requisito para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental
Linha de Pesquisa: Geotecnia

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Profa. Dra. Leila Brunet de Sá Beserra (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof. Dr. Joaquim Teodoro Romão de Oliveira (Examinador Externo)
Universidade Católica de Pernambuco (UCPEM)

AGRADECIMENTOS

Sou grato, pelas barreiras que encontrei no meu caminho, pois me tornaram perseverante o suficiente para lutar contra as minhas fraquezas. Diante do percurso trilhado, aprendi que ter coragem e ser gentil, ter coragem é persistir apesar do medo, tornando-nos mais fortes a cada dia vivido.

Em todos os momentos, senti a presença de Deus me apoiando e cuidando de mim, com todo o seu amor e sua generosidade, onde mesmo distante de todos os meus familiares e da minha noiva, sabia que não estava só. Deus foi e sempre será o meu refúgio, pois sem ele eu nada teria conquistado. Sinto-o em meu coração, no ar que respiro, nas folhas que abrandam o sussurrar dos ventos em meu rosto, nas gotas das chuvas que percorrem a terra molhada, no sol que, com os seus raios, incendeiam o meu viver. Gratidão!

Gratidão eterna e especial para minha amada mãe Edinatelma Saraiva de Lira Oliveira, pois sempre acreditou em minha capacidade e deu-me forças e sabedoria para seguir em frente sem perder a humildade e a simplicidade. Mãe, como sempre, uma mulher incrível e destemida!

Agradeço ao meu amado pai pelo apoio que desde sempre me deu e por todas as conversas motivadoras que sempre me ajudaram a ter forças para seguir em frente. Sou grato aos meus queridos irmãos, por todos os momentos que estiveram ao meu lado dando-me conselhos para suportar os obstáculos da vida.

Gratidão especial a minha esposa Kaillany Barros Bezerra Oliveira, por ser tão compreensiva com a distância que nos afastou durante um bom tempo e por todas as palavras de conforto que me ajudaram a vencer as dificuldades. São nesses momentos que conhecemos quem realmente está ao nosso lado apoiando e torcendo pelo nosso sucesso. Kaillany, você faz parte dessa conquista!

Gratidão aos meus amigos/irmãos Roberto da Rocha Alves Filho e José Pereira de Souza que sempre estiveram me apoiando e encorajando diante de todas as dificuldades que passei. Sou grato aos amigos que fiz durante o Mestrado: William do Nascimento Silva (UFPE), Marcilio Marques de Espindola (UFPE) e Josivan Leite Alves (UFPE), vocês serão sempre lembrados. Também agradeço a todos os colegas que fiz durante a pós-graduação. Além deles, agradeço a todos que viram a minha luta durante esse tempo e pelos momentos que não pude estar presente com eles.

Sou imensamente grato a Prof.^a Dr.^a. Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello por todo o acompanhamento que me deu desde o início até o fim do mestrado. Suas orientações e conselhos me fizeram ser um aluno mais competente e um homem de responsabilidades. Espero de todo coração que Deus possa estar sempre cuidado dessa incrível pessoa. Muito obrigado por tudo!

Em relação a pós-graduação, agradeço de todo coração a Universidade Federal de Pernambuco – (UFPE) por me proporcionar a oportunidade de cursar o Mestrado em uma área que tanto sonhei, dando todo o apoio e incentivo para o desenvolvimento da pesquisa que contribuiu para a segurança da vida de várias pessoas.

Agradeço a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo subsídio financeiro, por ter me auxiliado durante esses 24 meses de estudo, pois sem vocês nada estaria concretizado.

Por fim, gratidão a todos aqueles que acreditaram em mim e torceram pelo meu crescimento acadêmico e profissional!

A Deus, a meus queridos pais, irmãos e esposa e a minha orientadora.

RESUMO

A avaliação de segurança de taludes é essencial em projetos de engenharia, sendo normalmente expressa sob a forma de um coeficiente de segurança mínimo a ser estabelecido como critério de projeto. A Operação Reconstrução é um conjunto de ações destinadas a reestruturar os 41 municípios da Mata Sul e do Agreste pernambucano atingidos pelas enchentes de junho de 2010, entre elas, a construção de conjuntos habitacionais, em que houve a necessidade de movimentação de terra, com execução de grandes taludes de corte e aterro. Estes taludes estão sofrendo erosões, deslizamentos e rupturas, comprometendo as estruturas habitacionais. Esta pesquisa apresenta resultados de análise de estabilidade, análise probabilística, mapeamento das áreas com risco de deslizamentos e propostas de contenção de taludes situados em conjuntos habitacionais localizados em cinco municípios da zona da mata sul de Pernambuco (Palmares, Catende, Xexéu, Cortês e Barreiros). Análises de estabilidade foram realizadas em 16 taludes, considerando 24 seções, utilizando os softwares GeoStudio2022.1 e CIVIL 3D. Os parâmetros de resistência do solo foram obtidos através de correlações com índice de resistência a penetração (N_{SPT}). Nas análises probabilísticas foi utilizado o Método de Monte Carlo com um número de simulações igual a 2.000. Para o mapeamento da ocupação temporal e das áreas de risco foi utilizado o software Qgis, considerando para determinação do grau de risco a declividade do terreno, o uso e ocupação do solo, valores obtidos nas análises, a ausência de sistema de drenagem e imagens de satélite, através do Google Earth, auxiliando com a identificação de áreas com o relevo acidentado. Os resultados mostraram que todos os taludes apresentam fatores de segurança abaixo de 1,5, com probabilidade de ruptura (PR) igual a 0. O Talude Santa Clara II (Platô 7), na seção 0+10,0, apresentou o menor índice de confiabilidade (4,829), ainda atendendo aos critérios de desempenho da United States Army Corps of Engineers (USACE). Apesar dos resultados de PR igual a 0, existe um risco iminente de ruptura, exacerbado por chuvas e construções adicionais na área. Recomenda-se, portanto, a desocupação imediata e a implementação de obras para estabilização, incluindo retaludamento, proteção superficial, cobertura vegetal, drenagem e estruturas de contenção. Essa pesquisa contribuiu significativamente para entender a situação dos conjuntos habitacionais afetados, proporcionando o correto uso e ocupação do solo ao identificar e avaliar riscos de escorregamentos, evitando desastres e garantindo a saúde e segurança da população local.

Palavras-chave: Taludes; Fator de Segurança; Deslizamento; Estabilização.

ABSTRACT

Slope safety assessment is essential in engineering projects and is usually expressed in the form of a minimum safety coefficient to be established as design classifications. Operation Reconstruction is a set of actions aimed at restructuring the 41 municipalities in the Mata Sul and Agreste regions of Pernambuco that were affected by the floods of June 2010. These include the construction of housing complexes, which required Earth movement and the construction of large cut and fill slopes. These slopes are suffering erosion, penetration and ruptures, compromising the housing structures. This research presents the results of stability analysis, probabilistic analysis, mapping of areas at risk of penetration and proposals for containment of slopes located in housing complexes in five municipalities in the Mata Sul region of Pernambuco (Palmares, Catende, Xexéu, Cortês and Barreiros). Stability analyses were performed on 16 slopes, considering 24 deposits, using the GeoStudio2022.1 and CIVIL 3D software. Soil resistance interruptions were obtained through correlations with the penetration resistance index (NSPT). In the probabilistic analyses, the Monte Carlo method was used with a number of simulations equal to 2.000. For the mapping of temporal occupation and risk areas, the Qgis software was used, considering the slope of the terrain, the use and occupation of the land, values obtained in the analyses, the absence of a drainage system and satellite images, through Google Earth, to determine the degree of risk. The results showed that all slopes presented safety factors below 1,5, with a probability of failure (PR) equal to 0. The Santa Clara II Slope (Plateau 7), in the 0+10,0 section, presented the lowest reliability index (4,829), still meeting the performance criteria of the United States Army Corps of Engineers (USACE). Despite the PR results equal to 0, there is no imminent risk of failure, aggravated by rain and additional construction in the area. Therefore, immediate evacuation and implementation of stabilization works, including backfill, surface protection, vegetation cover, drainage and containment structures, are recommended. This research contributed significantly to the understanding of the situation of the affected housing complexes, providing the correct use and occupation of the land through the identification and assessment of landslide risks, avoiding disasters and ensuring the health and safety of the local population.

Palavras-chave: Slopes; Safety Factor; Slipping; Stabilization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Deslizamento planar.	29
Figura 2 –	(a) Corridas de massa; (b) Subsidência e colapsos.	30
Figura 3 –	Esquema das tensões na superfície de ruptura.	34
Figura 4 –	Localização dos Municípios Abordados na Zona Mata Sul de Pernambuco.	43
Figura 5 –	Mapa de situação do Município de Palmares.	44
Figura 6 –	Registros fotográficos de locais de erosão em Palmares: (a) Platô 2 para o Platô 3; (b) Platô 2 para o Platô 6; (c) Platô 2 para o Platô 7; (d) Platô 7 para o Platô 2.	46
Figura 7 –	Planta com localização dos furos de sondagem, Palmares: (a) Quilombo dos Palmares II; (b) Platô 02; (c) Platô 03 – Erosão 01; (d) Platô 03 - Erosão 02.	47
Figura 8 –	Planta com localização dos furos de sondagem, Palmares (Continuação): (a) Platô 06; (b) Platô 07; (c) Platô 01.	48
Figura 9 –	Mapa de situação do Município de Barreiros.	50
Figura 10 –	Registros fotográficos de locais de erosão em Barreiros: (a) Habitacional Santa Clara II Entrada da ETE; (b) ETE do Habitacional Santa Clara II; (c) ETE do Habitacional Santa Clara II; (d) Quadra D Platô 7 – Habitacional Santa Clara II; (e) Quadra D Platô 8 – Habitacional Santa Clara II.	51
Figura 11 –	Planta com localização dos furos de sondagem, Barreiros: (a) Habitacional Baeté; (b) Habitacional Santa Clara II - Talude da ETE; (c) Habitacional Santa Clara II – Talude Platô 7; (d) Habitacional Santa Clara II – Talude Platô 8; (e) Habitacional Santa Clara II – Talude acesso principal.	52
Figura 12 –	Mapa de situação do Município de Catende.	54
Figura 13 –	Registros fotográficos de locais de erosão em Catende: (a) Estrada de Monte Alegre; (b) Estrada de Monte Alegre.	55
Figura 14 –	Registros fotográficos da realização de sondagem a percussão em Catende: (a) Talude de Monte Alegre, SP-01; (b) Talude de Monte	55

	Alegre, SP-02; (c) Talude de Monte Alegre, SP-02; (d) Talude de Monte Alegre, SP-02.	
Figura 15 –	Planta com Localização dos Furos de Sondagem, Catende.	56
Figura 16 –	Mapa de situação do Município de Cortês.	57
Figura 17 –	Registros fotográficos de locais de erosão em Cortês: (a) Erosão no Talude do Reservatório; (b) Erosão no Talude do Reservatório; (c) Erosão no Talude da ETE; (d) Erosão no Talude da ETE.	58
Figura 18 –	Registros fotográficos da realização de sondagem a percussão em Cortês: (a) Talude do Reservatório, SP-01; (b) Talude do Reservatório, SP-02; (c) Talude da ETE, SP-02; (d) Talude da ETE, SP-02.	59
Figura 19 –	Planta com localização dos furos de sondagem, Cortês: (a) Talude do Reservatório; (b) Talude da ETE.	60
Figura 20 –	Mapa de situação do Município de Xexéu.	61
Figura 21 –	Registros fotográficos de locais de erosão em Xexéu: (a) Campos Frios; (b) Campos Frios; (c) Campos Frios.	62
Figura 22 –	Planta com localização dos furos de sondagem, Xexéu.	63
Figura 23 –	Fluxograma metodológico da pesquisa.	64
Figura 24 –	Quilombo dos Palmares II: (a) Perfil da seção transversal 1+5,00 com locação da sondagem; (b) Resultado da análise de estabilidade.	72
Figura 25 –	Platô 2: (a) Perfil da seção transversal 1+0,00 com locação da sondagem; (b) Resultado da análise de estabilidade.	73
Figura 26 –	Platô 3 (Erosão 1): (a) Perfil da seção transversal 2+10,00 com locação da sondagem; (b) Resultado da análise de estabilidade.	74
Figura 27 –	Platô 3 (Erosão 2): (a) Perfil da seção transversal 0+0,00 com locação da sondagem; b) Resultado da análise de estabilidade.	74
Figura 28 –	Platô 3 (Erosão 2): (a) Perfil da seção transversal 2+10,00 com locação da sondagem; b) Resultado da análise de estabilidade.	75
Figura 29 –	Platô 6: (a) Perfil da seção transversal 3+5,00 com locação da sondagem; (b) Resultado da análise de estabilidade.	75
Figura 30 –	Platô 6: (a) Perfil da seção transversal 1+15,00 com locação da sondagem; (b) Resultado da análise de estabilidade.	76

Figura 31 –	Perfil da seção transversal 2+0,00 – Platô 7; (b) Resultado da análise de estabilidade da seção transversal 2+0,00; (c) Perfil da seção transversal 4+5,00 – Platô 7; (d) Resultado da análise de estabilidade da seção transversal 4+5,00; (e) Perfil da seção transversal 5+20,00 – Platô 7; (f) Resultado da análise de estabilidade da seção transversal 5+20,00.	77
Figura 32 –	(a) Perfil da seção transversal 7+20,00 – Platô 7; (b) Resultado da análise de estabilidade da seção transversal 7+20,00; (c) Perfil da seção transversal 10+0,00 – Platô 7; (d) Resultado da análise de estabilidade da seção transversal 10+0,00.	78
Figura 33 –	Talude da Gleba B: (a) Perfil da seção transversal 1+0,00; (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 0+5,00.	79
Figura 34 –	Santa Clara II (ETE): (a) Perfil da seção transversal 1+5,00; (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 1+5,00.	80
Figura 35 –	Santa Clara II (Platô 7): (a) Perfil da seção transversal 0+10,00; (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 1+5,00.	81
Figura 36 –	Santa Clara II (Platô 8): (a) Perfil da seção transversal 1+5,00; (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 1+5,00.	82
Figura 37 –	Perfil da seção transversal 0+10,00 – Santa Clara II (Acesso Principal); (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 0+10,00.	83
Figura 38 –	(a) Perfil da seção transversal 1+10,00 – Santa Clara II (Acesso Principal); (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 1+10,00.	84
Figura 39 –	Talude Santa Clara II; (a) Erosão no talude Cortes, Catende; (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 1+5,00.	85
Figura 40 –	Talude do Reservatório: (a) Planta baixa da seção transversal 3+5,00; (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 3+5,00.	86
Figura 41 –	Talude da ETE: (a) Coordenadas e profundidades das sondagens SPT; (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 0+5,00.	87

Figura 42 –	Talude Campos Frios: (a) Perfil transversal 1+5,00; (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 1+5,00; (c) Perfil transversal 1+10,00; (d) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 1+10,00.	88
Figura 43 –	Mapeamento das áreas com risco de deslizamento – Palmares.	93
Figura 44 –	Mapeamento das áreas com risco de deslizamento (01) – Barreiros.	95
Figura 45 –	Mapeamento das áreas com risco de deslizamento (02) – Barreiros.	96
Figura 46 –	Mapeamento das áreas com risco de deslizamento – Catende.	97
Figura 47 –	Mapeamento das áreas com risco de deslizamento – Cortes.	99
Figura 48 –	Mapeamento das áreas com risco de deslizamento – Xexéu.	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Características dos métodos de equilíbrio limite.	33
Quadro 2 –	Critérios para determinação dos graus de risco a escorregamentos.	42
Quadro 3 –	Coordenadas geográficas dos pontos de análise de Palmares.	45
Quadro 4 –	Classificação dos solos do Município de Palmares.	49
Quadro 5 –	Coordenadas geográficas dos pontos de análise de Barreiros.	49
Quadro 6 –	Classificação dos solos do Município de Barreiros.	53
Quadro 7 –	Classificação dos solos do Município de Cortês.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Índices de confiabilidade	36
Tabela 2 –	Métodos de avaliação da suscetibilidade a escorregamentos.	40
Tabela 3 –	Parâmetros de resistência estimados a partir do N_{SPT} – Palmares.	67
Tabela 4 –	Parâmetros de resistência estimados a partir do N_{SPT} – Barreiros.	68
Tabela 5 –	Parâmetros de resistência estimados a partir do N_{SPT} – Catende.	69
Tabela 6 –	Parâmetros de resistência estimados a partir do N_{SPT} – Cortes.	69
Tabela 7 –	Parâmetros de resistência estimados a partir do N_{SPT} – Xexéu	69
Tabela 8 –	Análise Probabilística	89
Tabela 9 –	Propostas de contenções por intervalo de fator de segurança.	92

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 –	Fatores de segurança (mínimo, médio e máximo) de todas as seções estudadas.	90
Gráfico 2 –	Valores de índice de confiabilidade adquiridos nas análises probabilísticas.	91
Gráfico 3 –	Áreas com risco de deslizamento no Município de Palmares.	94
Gráfico 4 –	Áreas com risco de deslizamento no Município de Barreiros.	97
Gráfico 5 –	Áreas com risco de deslizamento no Município de Catende.	98
Gráfico 6 –	Áreas com risco de deslizamento no Município de Cortes.	100
Gráfico 7 –	Áreas com risco de deslizamento no Município de Xexéu.	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBR	Califórnia Bearing Ratio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FS	Fator de segurança
HRB	Highway Research Board
ISC	Índice de Suporte Califórnia
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
NBR	Norma Brasileira
NSPT	Índice de Resistência à Penetração do Solo
PR	Probabilidade de Ruptura
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPT	Standard Penetration Test
USACE	United States Army Corps of Engineers

LISTA DE SÍMBOLOS

τ_d	forças solicitantes
τ_r	forças resistentes
γ	peso específico
c	coesão
ϕ	ângulo de atrito

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	OBJETIVOS	24
1.1.1	Objetivo Geral	24
1.1.2	Objetivos Específicos.....	24
1.2	JUSTIFICATIVA	24
1.3	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	25
2	REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1	TALUDES / MOVIMENTOS DE MASSAS	27
2.2	ESTABILIDADE DE TALUDES.....	30
2.2.1	Métodos de Análise de Estabilidade	31
2.2.2	Fator de Segurança.....	33
2.2.3	Softwares na Análise de Estabilidade de Taludes	34
2.3	ANÁLISES PROBABILÍSTICAS	35
2.4	OBRAS DE CONTENÇÃO	37
2.5	GEORREFERENCIAMENTO	38
2.6	MAPA DE SUSCETIBILIDADE	39
3	MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	43
3.1.1	Município de Palmares.....	44
3.1.2	Município de Barreiros	49
3.1.3	Município de Catende	53
3.1.4	Município de Cortês	57
3.1.5	Município de Xexéu.....	61

3.2	METODOLOGIA.....	64
3.2.1	Fase 1: Levantamento de Dados.....	65
3.2.2	Fase 2: Análises de Estabilidade	65
3.2.3	Fase 3: Análises de Probabilísticas	70
3.2.4	Fase 4: Propostas de Soluções de Contenção e Estabilização de Taludes	70
3.2.5	Fase 5: Mapeamento das Áreas de Risco de Deslizamento.....	70
4	RESULTADOS	72
4.1	ANÁLISE DE ESTABILIDADE	72
4.1.1	Município de Palmares.....	72
4.1.2	Município de Barreiros	79
4.1.3	Município de Catende	84
4.1.4	Município de Cortês	85
4.1.5	Município de Xexéu.....	87
4.2	ANÁLISE PROBABILÍSTICA	88
4.3	PROPOSTAS DE SOLUÇÕES PARA RECUPERAÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DOS TALUDES	91
4.4	MAPEAMENTO DAS ÁREAS COM RISCO DE DESLIZAMENTO (QGIS).....	93
4.4.1	Município de Palmares.....	93
4.4.2	Município de Barreiros	95
4.4.3	Município de Catende	97
4.4.4	Município de Cortes	99
4.4.5	Município de Xexéu.....	100
5	CONCLUSÕES.....	103
	REFERÊNCIAS	105

APÊNDICE A - REGISTROS FOTOGRÁFICOS DA REALIZAÇÃO DE SONDAGEM A PERCUSSÃO EM PALMARES: (A) QUILOMBO DOS PALMARES II; (B) PLATÔ 02; (C) PLATÔ 06.	110
APÊNDICE B - REGISTROS FOTOGRÁFICOS DE LOCAIS DE EROSÃO EM BARREIROS: (A) ACESSO PRINCIPAL – HABITACIONAL SANTA CLARA II; (B) EROSÃO NO TALUDE DA ETE – HABITACIONAL BAETÊ.	111
APÊNDICE C - RESUMO DE ENSAIOS NO MUNICÍPIO DE PALMARES.....	112
APÊNDICE D - RESUMO DE ENSAIOS NO MUNICÍPIO DE BARREIROS.	113
APÊNDICE E – RESUMO DE ENSAIOS NO MUNICÍPIO DE CATENDE.	114

1 INTRODUÇÃO

As discussões ligadas ao meio ambiente nos centros urbanos ganharam destaque significativo na década de 1960, quando foi notado o agravamento dos problemas urbanos, especialmente relacionados a rápida urbanização, fator diretamente ligado à industrialização. Com o crescimento do setor econômico, muitas vezes em detrimento dos interesses ambientais e sociais, temos como consequência a ocupação irregular de áreas que deveriam ser preservadas para evitar inundações, erosões e interferências nas condições microclimáticas (LUMA; SILVA, 2023; SANTOS; FRANÇA, 2023).

Os deslizamentos de terra em áreas urbanas têm se tornado cada vez mais frequentes em escala global, impulsionados principalmente por ações antrópicas, como o desmatamento, a ocupação desordenada de encostas e a urbanização sem planejamento adequado. Essas intervenções humanas comprometem a estabilidade dos solos, aumentando significativamente o risco de movimentos de massa, especialmente durante períodos de chuvas intensas. Na maioria dos casos, esses deslizamentos resultam em danos de baixa intensidade, afetando habitações e infraestruturas urbanas, como ruas, redes de abastecimento e saneamento (HIRYE et al., 2023; PIMENTEL, 2020).

Diante da grande variedade de tipos de obras e até mesmo em intervenções ocasionados pelo ser humano, é imprescindível a avaliação da segurança de taludes, fator fundamental no controle de projetos, geralmente apresentado como um coeficiente de segurança mínimo a ser adotado como critério de projeto/implantação ou através de outras formas de expressar a segurança, como a probabilidade de ruptura (GERSCOVICH, 2016).

A construção de elementos de infraestrutura, devido ao processo de urbanização, causa vários distúrbios ao ambiente natural, como a diminuição da área de vegetal e realização de obras (WENZEL et al., 2020). Junto com a urbanização, surge a ocupação de ambientes naturalmente mais frágeis, como encostas e fundos de vales, gerando preocupações para a sociedade devido à exposição ao risco de deslizamento, intensificado pelas atividades antrópicas no local (OLIVEIRA; GIUDICE, 2017).

Os escoamentos, escorregamentos e subsidências são movimentos de solo e rochas que acontecem em superfícies de ruptura, conhecidos como movimentos coletivos do solo, destacando-se mutuamente em mais de 30 classes principais. O escoamento superficial das águas é o principal fator que influenciam no surgimento de fenômenos erosivos, se intensificando no momento em que o solo se encontra totalmente saturado (FIORI, 2016; GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

Os deslizamentos de massa são causadores de grandes riscos a sociedade, trazendo consigo graves consequências como o soterramento de casas e interdição de vias, tendo como consequência vítimas fatais, causando impactos ambientais que modificam a paisagem, tornando-a vulnerável a recorrências. A condução da gestão das áreas que possuem riscos de deslizamentos é minuciosa, considerando o envolvimento com fatores naturais, sociais e a esperança que os moradores locais possuem para resolução dos problemas (FERREIRA; RICHTER, 2022; FILHO et al., 2010).

Os escorregamentos ocorrem de forma natural, mediante a situação em que a natureza tem facilidade de peneplanizar, possibilitando com que os solos das encostas desçam alcançando o nível base. Com a ocorrência de chuvas incomuns ou até mesmo rápidas intervenções ocasionadas pelo homem acontece o surgimento desse fenômeno. Como resultado, se a superfície do solo não for classificada no aspecto horizontal, o fator gravidade irá proporcionar a movimentação do solo para baixo (DAS, 2011; MASSAD, 2010).

A realização da análise de estabilidade de taludes executados é feita considerando a geometria do problema, com o acréscimo de possíveis carregamentos externos que também são conhecidos como sobrecargas, no conhecimento das propriedades geomecânicas dos materiais e nos padrões de fluxo (GERSCOVICH, 2016).

A Operação Reconstrução é uma iniciativa do governo do estado que propõe ações de reestruturação de 41 municípios da região Mata Sul e do Agreste pernambucano, alvos de grandes enchentes em junho de 2010. Serviços de infraestrutura foram realizados visando a construção de conjuntos habitacionais, mediante movimentação de terra e confecção de taludes de corte e aterro, onde foram construídos os conjuntos habitacionais do município de Palmares, Catende, Xexéu, Cortês e Barreiro. Com o término da obra, surgiram problemas de erosões, deslizamentos e rupturas nos taludes, comprometendo as estruturas dos imóveis.

Esta pesquisa apresenta resultados de análise de estabilidade, análise probabilística, mapeamento das áreas com risco de deslizamentos e propostas de contenção de taludes e aterros de conjuntos habitacionais localizados nos municípios de Palmares, Catende, Xexéu, Cortês e Barreiro, da Zona da Mata Sul de Pernambuco, utilizando dados da caracterização das áreas quanto a geologia, geomorfologia, geotecnia, vegetação e clima, fornecidos por uma empresa de projetos de engenharia.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a condição de estabilidade e realizar mapeamento de taludes e aterros localizados em áreas de risco em municípios da Zona da Mata Sul de Pernambuco.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar análise de estabilidade mediante utilização do software GEOSLOPE/W.
- Executar análise probabilística afim de avaliar a estabilidade dos taludes considerando a variabilidade e a incerteza dos parâmetros geotécnicos e das condições ambientais que influenciam o seu comportamento.
- Verificar os fatores de segurança obtidos através das análises e identificar possíveis riscos de deslizamentos.
- Propor soluções para recuperação e estabilização dos taludes.
- Realizar o mapeamento das áreas com risco de deslizamento dos conjuntos habitacionais afetados em cada município com a utilização do software QGis e respectivos resultados da análise de estabilidade, considerando para determinação do grau de risco a declividade do terreno, o uso e ocupação do solo, a ausência de sistema de drenagem e imagens de satélite, através do Google Earth.

1.2 JUSTIFICATIVA

Ao observar o surgimento de problemas como erosões, deslizamentos e rupturas nos taludes dos conjuntos habitacionais localizados na Zona da Mata Sul de Pernambuco, identificou-se a necessidade de investigar detalhadamente a situação local. Esses eventos colocam em risco a segurança das comunidades e evidenciam a importância de entender as características do solo presente na região, especialmente em áreas com maior vulnerabilidade geotécnica.

Para solucionar os problemas nos taludes, é necessário realizar um estudo com a execução de ensaios que fornecem dados das propriedades físicas e mecânicas do solo, fundamentais para compreender seu comportamento e suscetibilidade a futuros deslizamentos. Além disso, é importante efetuar análises de estabilidade em todos os taludes afetados, com o

objetivo de diagnosticar as causas dos problemas observados e propor medidas preventivas e corretivas eficazes.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação foi dividida em 5 capítulos. Neste primeiro capítulo, foi realizada uma introdução do tema e apresentados os objetivos (geral e específicos), a justificativa e a estrutura da pesquisa.

No Capítulo 2 foi realizada uma revisão bibliográfica sobre taludes/movimento de massa, estabilidade de taludes, análise probabilística, obras de contenções, georreferenciamento e mapa de suscetibilidade.

No Capítulo 3 são apresentados os itens referentes a caracterização da área de estudo, detalhando através de mapa de situação de cada município os locais afetados pelos problemas de erosões, deslizamentos, entre outros. Foi apresentada a metodologia utilizada nesta pesquisa em fases. Posteriormente, também é exposto os dados de parâmetros de resistência estimados a partir do NSPT.

No Capítulo 4 foram apresentados os resultados com os perfis das seções transversais e locação dos pontos de sondagens. Também foi detalhado os resultados das análises de estabilidade e análises probabilísticas referente a cada talude, propostas de soluções para recuperação e estabilização dos taludes e o mapeamento das áreas de risco de deslizamentos.

No Capítulo 5 foram apresentadas as Conclusões.

No APÊNDICE A contém registros fotográficos da realização de sondagem a percussão no município de Palmares.

No APÊNDICE B contém registros fotográficos de locais onde surgiram pontos com erosões no município de Barreiros.

No APÊNDICE C contém os resultados das sondagens realizadas no município de Palmares, com dados de caracterização física e mecânica dos solos recolhidos através de ensaios laboratoriais.

No APÊNDICE D contém os resultados das sondagens realizadas no município de Barreiros, com dados de caracterização física e mecânica dos solos recolhidos através de ensaios laboratoriais.

No APÊNDICE E contém os resultados das sondagens realizadas no município de Catende, com dados de caracterização física e mecânica dos solos recolhidos através de ensaios laboratoriais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentada a revisão da literatura sobre o tema abordado, com todas as informações necessárias ao desenvolvimento desta pesquisa, contemplando os assuntos: (a) taludes/movimentos de massa; (b) estabilidade de taludes; (c) análise probabilística; (d) obras de contenções; (e) georreferenciamento; (f) mapa de suscetibilidade.

2.1 TALUDES / MOVIMENTOS DE MASSAS

As dinâmicas e os padrões de uso e ocupação do solo são de suma importância, especialmente quando é discutido as questões relacionadas às mudanças climáticas, desenvolvimento sustentável e conservação natural. O solo é um recurso essencial e finito, imprescindível para a subsistência da humanidade, e sua degradação é uma das preocupações mais urgentes e desafiadoras enfrentadas pela população global (ABRANTES et al., 2018; BARBOZA et al., 2020). A utilização desapropriada do solo pode provocar sérios desequilíbrios ambientais, alguns que já estão sendo vivenciados na atualidade, tendo a responsabilidade desde a degradação e instabilidade do ecossistema até o perigo presente em assentamentos habituais de áreas de risco (WENZEL et al., 2020).

Os taludes são superfícies de solo ou rocha com inclinações, podendo ocorrer de forma natural, como encostas formadas pela ação da erosão e da gravidade, ou serem criados artificialmente em construções como aterros e cortes em estradas, barragens, entre outros. Eles desempenham um papel fundamental na engenharia civil e na geotecnia, necessitando de análises criteriosas para garantir sua estabilidade e segurança (GERSCOVICH, 2016).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece, de acordo NBR 11682 (2009) as seguintes definições:

- I. Altura do talude: Distância vertical entre o topo e o pé do talude, ao longo da reta de maior declive da encosta.
- II. Ângulo médio do talude: Ângulo medido entre a horizontal e a reta de maior declive que passa pelo pé e pelo topo de um talude.
- III. Ângulo parcial do talude: Ângulo medido entre a horizontal e a reta de maior declive que define um segmento de face do talude.
- IV. Pé de talude: Parte mais baixa de um talude ou de um trecho dele.
- V. Topo ou crista do talude: Parte mais elevada de um talude ou de um trecho dele.

Os movimentos de massa resultam de variados processos e materiais e representam um aspecto relevante a ser considerado em relação às características geomorfológicas, pedológicas, litológicas e estruturais da plataforma geológica em que estão inseridos. São deslocamentos de certa quantidade significativa de solo, geralmente estão associados a problemas de instabilidade de encostas (REIS, 2020). De acordo com Gerscovich (2016), são classificados os tipos de deslocamentos em: subsidências, escoamentos, erosão e deslizamentos.

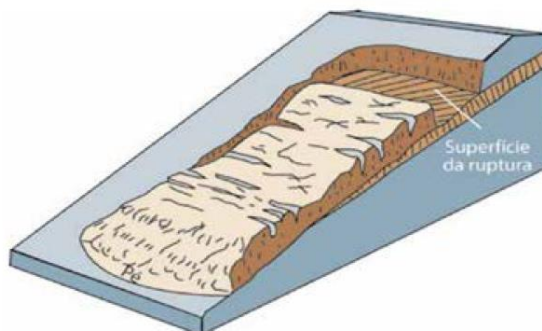
A formação de movimentos de massa reflete os impactos duradouros de mudanças ambientais geológicas decorrentes da flutuação de condições de temperatura, padrões de precipitação, atividade glacial, processos de erosão e intemperismo. Esses fenômenos, muitas vezes interconectados, moldam as paisagens ao longo do tempo, influenciando a estabilidade dos terrenos e desencadeando deslocamentos de materiais, como deslizamentos, fluxos de detritos e quedas de rochas. As alterações climáticas globais e regionais podem intensificar esses processos, gerando impactos significativos em ecossistemas, infraestruturas e comunidades humanas (LIN et al., 2022; PEI et al., 2023).

De acordo com pesquisas, no Brasil, os deslizamentos de terra têm provocado um elevado número de vítimas em situações de desastre, estando frequentemente ligados ao processo de urbanização e ao crescimento desorganizado dos centros urbanos. A chuva exerce um papel crucial como fator de risco para deslizamentos em áreas de encosta. A intensidade e a frequência das chuvas podem saturar o solo, tornando-o mais propenso à instabilidade (DAMASCENO et al., 2021).

Um dos episódios mais marcantes já vivenciados no Brasil, ocorreu entre os dias 18 e 19 de fevereiro de 2023, em São Sebastião, localizado no litoral norte do estado de São Paulo. Na ocasião, chuvas intensas e contínuas provocaram deslizamentos de encostas, resultando em perdas trágicas e deslocamento de moradores (MARENGO et al., 2024).

Os deslizamentos são fenômenos relevantes na transformação das encostas, sendo caracterizados por movimentos rápidos (m/h a m/s), com contornos laterais e profundidade bem definidos. Os volumes instabilizados podem ser facilmente reconhecidos ou, ao menos, deduzidos. Podem abranger solo, saprólito, rocha e sedimentos, conforme ilustrado na Figura 1. São classificados com base no mecanismo de ruptura, na geometria e no tipo de material que deslocam (RIFFEL et al., 2016).

Figura 1 – Deslizamento planar.



Fonte: MCTI (2021).

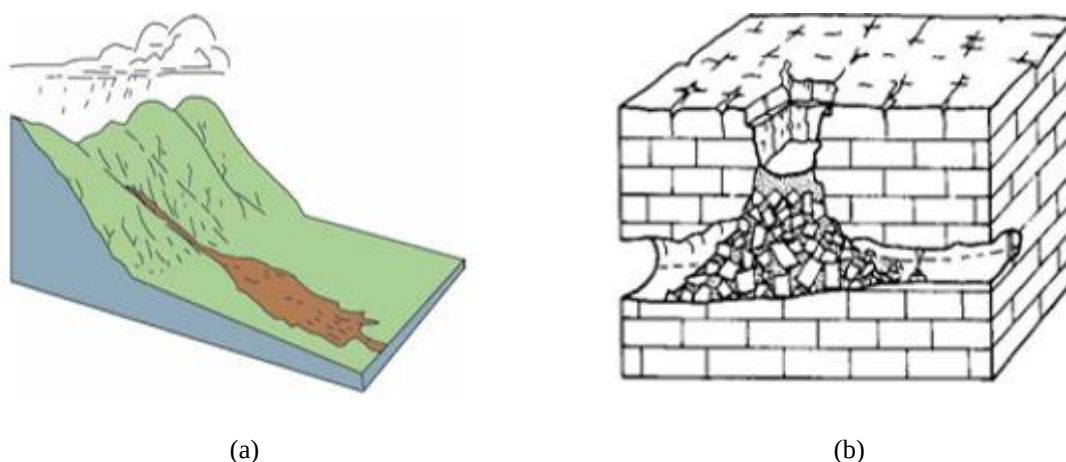
Existem diversas categorias de deslizamentos propriamente ditos, como os planares ou translacionais, os circulares ou rotacionais, os em cunha e os induzidos. A geometria desses movimentos varia conforme a presença ou ausência de estruturas ou planos de fraqueza nos materiais deslocados, que influenciam a formação das superfícies de ruptura (RIFFEL et al., 2016).

Os deslizamentos planares ou translacionais em solo são processos frequentes na dinâmica das encostas serranas brasileiras, ocorrendo principalmente em solos pouco desenvolvidos das vertentes com grandes inclinações. Os deslizamentos provocados ou desencadeados pela ação humana são aqueles cuja origem está associada à realização de cortes e aterros inadequados, ao acúmulo de águas pluviais e residuais, à remoção da vegetação etc. Frequentemente, esses deslizamentos provocados envolvem materiais gerados pela própria ocupação, como massas de solo de diferentes tamanhos, resíduos sólidos e entulho (IPT, 2015).

Os Fluxos de Lama e Detritos, também denominados Corridas de Massa, são deslocamentos de massa extremamente velozes e provocados por um intenso escoamento de água na superfície, em razão de chuvas intensas, que liquefazem o material superficial, o qual desliza encosta abaixo na forma de uma substância viscosa formada por lama e fragmentos rochosos, representado na Figura 2a. Esse tipo de deslocamento de massa se distingue por apresentar amplo alcance e elevado potencial destrutivo (IPT, 2015).

No caso das subsidências e colapsos, ambos são movimentos de massa cuja características é identificada através do afundamento rápido ou gradual do terreno devido ao colapso de cavidades, redução da porosidade do solo ou deformação de material argiloso, conforme demonstrado na Figura 2b (IPT, 2015).

Figura 2 – (a) Corridas de massa; (b) Subsidência e colapsos.



Fonte: MCTI (2021).

Áreas íngremes passam frequentemente por eventos de deslizamentos e movimentos de massa, processos naturais inerentes à dinâmica do espaço terrestre. No entanto, atualmente, tais fenômenos considerados naturais estão se convertendo em acidentes socioambientais significativos quando associados à ocupação irregular de áreas vulneráveis (SANTOS et al., 2020). A intervenção humana nessas regiões amplifica a fragilidade da região, ao remover a vegetação que protege o solo e ao realizar obras que exacerbam a inclinação do terreno, além de aumentar a sobrecarga local, contribuindo para a sua condição de risco.

Os movimentos gravitacionais podem ser ocasionados por forças internas e externas da Terra. A dinâmica interna é responsável pelos dobramentos, fraturas, elevações, subsidências e compactações nas camadas de rocha da crosta terrestre, gerando as transformações lentas no relevo. Já a dinâmica externa, provoca a desintegração, erosão, transporte e deposição de partículas nas rochas (QUEIROZ, 2016).

No campo científico, é visto muitas pesquisas envolvendo conceitos sobre os movimentos gravitacionais de massa que apresentam diferentes classificações. Em grande parte dessas pesquisas, a diferença está entre os movimentos gravitacionais de massa e os processos erosivos, onde estes são considerados movimentos de transporte de massa, ainda que os dois sejam processos geodinâmicos (REIS, 2020; XAVIER, 2018).

2.2 ESTABILIDADE DE TALUDES

A instabilidade causada por deslizamentos de terra e o colapso de taludes representa um risco geológico significativo, principalmente nas proximidades de rodovias em áreas

montanhosas, onde ocorre frequente escavações e aterros, tornando a análise de estabilidade uma tarefa importante na engenharia (H. LI, 2024)

Instabilidade de encostas, como erosão, transporte de massa e movimentos de massa, representam formas de deterioração do solo e são reconhecidas como questões de alcance mundial. Esses fenômenos são os principais fatores de perigo para os elementos em exposição, que englobam pessoas, edificações, recursos naturais, empreendimentos econômicos e heranças culturais (FERLISI & CHIARA, 2016; GUERRA et al., 2017).

As instabilidades em taludes, junto com sua dispersão espaço/temporal e os resultados associados, variam dentro de uma nação específica e, em uma escala mais ampla, entre nações. As propriedades das rupturas em taludes estão condicionadas pelos atributos particulares de fatores que favorecem ou desencadeiam instabilidade em taludes, características de cenários perigosos e elementos em situação de vulnerabilidade (por exemplo, em relação a concentração populacional) (FERLISI & CHIARA, 2016).

Nos estudos de estabilidade de taludes, estão envolvidos diversos fatores inter-relacionados que tornam a análise e o entendimento dessas estruturas extremamente complexos. A natureza dos materiais presentes no talude, como suas propriedades geomecânicas, composição mineralógica, grau de intemperismo e estrutura interna, exerce uma influência significativa na sua estabilidade (I. V. SANTOS & MAEDO, 2024).

A identificação antecipada dos riscos relacionados a quedas e deslizamentos de encostas é de fundamental importância, considerando que esses eventos podem causar inúmeros danos à sociedade. Assim, ao longo do tempo, diversas metodologias para análise da estabilidade de taludes foram criadas, com o objetivo de prevenir ou remediar eventuais instabilidades (I. V. SANTOS & MAEDO, 2024).

2.2.1 Métodos de análise de estabilidade

A análise de estabilidade tem a finalidade de avaliar uma possível ocorrência de escorregamento no maciço de solo ou resíduos presentes em talude natural ou construído (ARAÚJO NETO, 2021). Os métodos utilizados para analisar a estabilidade de taludes são semelhantes, atualmente fundamentados na suposição de que uma massa de solo se comporta como um corpo rígido-plástico, na eminência de entrar em um processo de escorregamento. Esses métodos são conhecidos como “métodos de equilíbrio limite”. Com base no conhecimento das forças atuantes, determinam-se as tensões cisalhantes resultantes, utilizando

as equações de equilíbrio. A análise é concluída ao comparar essas tensões com a resistência ao cisalhamento do solo específico em questão (MASSAD, 2010).

A tensão-deformação é um tipo de metodologia bastante utilizado para cálculo de estabilidade com a aplicação de elementos finitos. A investigação do comportamento tensão-deformação dos solos ganhou mais destaque com o avanço dos métodos numéricos e a aplicação de ferramentas computacionais. A simulação numérica possibilita a análise de heterogeneidades e geometrias complexas, por meio da divisão do domínio em partes extremamente pequenas (BARBOSA, 2020).

Para que sejam realizadas análises de tensão-deformação cujos resultados sejam confiáveis, é essencial que as características dos solos sejam representadas de forma precisa nessas avaliações. Entretanto, essa é a principal dificuldade encontrada na realização dessas análises, pois as propriedades que descrevem o comportamento tensão-deformação dos solos são extremamente complexas. Isso ocorre porque a maioria dos solos apresenta um comportamento não linear, não elástico e altamente influenciado pelo nível de tensões ao qual estão submetidos (RIBEIRO, 2017).

A maioria dos softwares se fundamenta em métodos de equilíbrio limite para modelos bidimensionais, embora alguns possibilitem a análise em três dimensões. Há também outros que utilizam o método de elementos finitos, permitindo uma avaliação mais detalhada das tensões e deformações dos materiais em estudo (YOMURA & DYMINSKI, 2009).

Os métodos de equilíbrio limite se baseiam no seguinte pressuposto:

- a) O solo se comporta como material rígido-plástico, isto é, rompe-se bruscamente, sem se deformar.
- b) As equações de equilíbrio estático são válidas até a eminência da ruptura, quando, na realidade, o processo é dinâmico.
- c) O coeficiente de segurança (FS) é constante ao longo da linha de ruptura, isto é, ignoram-se eventuais fenômenos de ruptura progressiva.

Na classe de métodos de equilíbrio limite existem diversas variações e hipóteses. Os diferentes métodos de fatias propostos na literatura (FELLENIUS, 1936; BISHOP SIMPLIFICADO, 1955; JANBU SIMPLIFICADO, 1968; JANBU GENERALIZADO, 1957; SPENCER 1967, 1968; MORGENSTERN & PRICE, 1965) se distinguem de acordo com as simplificações adotadas no processo de cálculo, geralmente relacionadas às forças entre fatias (vertical e horizontal ou normal e tangente à base da fatia) e na maneira de determinar a força normal N na base da fatia (GERSCOVICH, 2016).

No Quadro 1 tem-se resumidas as características dos métodos das fatias, bem como suas características quanto à forma da superfície de ruptura e quanto às equações de equilíbrio estático satisfeitas

Quadro 1 – Características dos métodos de equilíbrio limite.

MÉTODO	CARACTERÍSTICAS
Fellenius (1927)	Superfície de ruptura circular.
	Satisfaz o equilíbrio de momentos.
Bishop Simplificado (1955)	Superfície de ruptura circular.
	Satisfaz o equilíbrio de momentos.
	Satisfaz o equilíbrio de forças verticais.
Janbu Simplificado (1968)	Superfície de ruptura qualquer.
	Satisfaz o equilíbrio de forças verticais e horizontais.
Morgenstern e Price (1965)	Superfície de ruptura qualquer.
	Satisfaz o equilíbrio de momentos.
	Satisfaz o equilíbrio de forças verticais e horizontais.
Spencer (1967)	Superfície de ruptura qualquer.
	Satisfaz o equilíbrio de momentos.
	Satisfaz o equilíbrio de forças verticais e horizontais.

Fonte: Tonus (2009).

2.2.2 Fator de Segurança

Para comparar a estabilidade de taludes em condições diversas de equilíbrio-limite, é definido um fator de segurança (FS), que é a relação entre a resultante das forças que resistem ao escorregamento e a resultante das forças solicitantes que promovem o movimento, conforme descrito na Equação (1).

$$FS = \frac{\tau_r}{\tau_d} \quad (1)$$

Onde, FS = fator de segurança

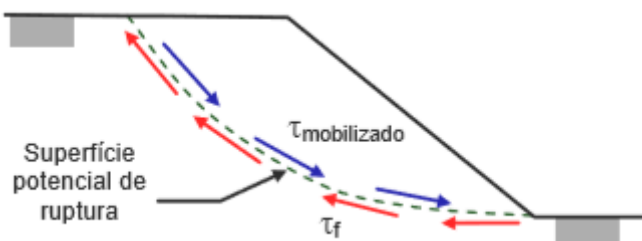
τ_r = forças resistentes

τ_d = forças solicitantes

A Figura 3 apresenta um desenho esquemático detalhado que ilustra as tensões atuantes ao longo da superfície potencial de ruptura de um talude genérico. Esse tipo de representação é fundamental para a compreensão dos mecanismos de estabilidade, permitindo a análise detalhada dos fatores de segurança e das condições que podem levar ao rompimento. Além

disso, a figura ajuda a visualizar a distribuição dessas tensões ao longo da superfície crítica, facilitando a interpretação dos parâmetros geotécnicos e estruturais envolvidos no comportamento do talude.

Figura 3 – Esquema das tensões na superfície de ruptura.



Fonte: ROCHA (2019).

Normalmente, a localização da posição da linha de ruptura ou da “linha crítica”, isto é, a linha que corresponde ao coeficiente de segurança mínimo é determinada por tentativas. Atualmente, com o auxílio de recursos de computação eletrônica acessíveis, essa tarefa está simplificada (MASSAD, 2010).

A norma ABNT NBR 11.682 (2009), aborda a estabilidade de taludes, abrangendo as diretrizes para análise, concepção, execução, monitoramento e acompanhamento de obras de estabilização. Esta norma estabelece os valores mínimos de fator de segurança a serem utilizados em projetos de taludes e encostas, conforme o nível de segurança determinado para o local de implantação da obra.

O fator de segurança mínimo a ser adotado para projetos executados em locais com grau de segurança alto é de 1,50, considerado para proximidade imediata de edificações habitacionais, instalações industriais, obras de arte, condutos, linhas de transmissão de energia, torres de sistemas de comunicação, obras hidráulicas de grande porte, estações de tratamento de água de abastecimento urbano ou esgoto sanitário, rodovias e ferrovias dentro do perímetro urbano de cidades de grande porte, vias urbanas e rios e canalizações pluviais em áreas urbanas densamente ocupadas e situações similares (NBR 11682, 2009).

2.2.3 Softwares na análise de estabilidade de taludes

A realização do estudo da estabilidade de taludes necessita da obtenção de parâmetros de resistência do solo, assim como sua geometria. Para execução desses cálculos com demanda de muitas interações, são usados softwares específicos para esse fim. Atualmente, são

encontrados vários programas computacionais utilizados para realização da análise de estabilidade, permitindo inserir os dados recolhidos/encontrados através da análise de campo, consequentemente obtendo uma correta noção do risco do surgimento ou não de um movimento de massa (ZAMBIAZZI & NIENOV, 2023).

A análise de estabilidade realizada por meio destes softwares pode ser sucedida com o uso do método de equilíbrio limite ou a utilização do método de elementos finitos. Mediante as simulações é feito a análise do fator de segurança do talude, considerando como dados as propriedades de cisalhamento, pressão de poro, descontinuidades entre outros. As análises são realizadas para ratificar se existe uma resistência satisfatória no maciço para suportar as tensões de cisalhamento, que geram falhas ou deslizamentos (ZAMBIAZZI & NIENOV, 2023).

A variedade de softwares disponíveis para realizar análises de estabilidade é bastante extensa, o que proporciona aos profissionais a possibilidade de selecionar, conforme a necessidade específica de cada projeto, a opção mais viável e eficiente. Entre os principais programas utilizados nesse tipo de análise, destacam-se o GeoSlope, o GEO5 e o Slide, todos amplamente reconhecidos por sua precisão e recursos técnicos avançados (SOUZA, 2019).

O SLOPE/W possui diversos tipos de análises de estabilidade, destacando-se o de Spencer, Morgenstern-Price, Janbu, Bishop e Fellenius. Para as análises de estabilidade foi empregado o software Geostudio 2012 e o método Morgenstern & Price (1965).

2.3 ANÁLISES PROBABILÍSTICAS

A abordagem probabilística é atualmente uma maneira de lidar com as incertezas presentes no campo geotécnico. Geralmente, determina-se um Fator de Segurança (FS) para as avaliações de estabilidade de uma estrutura, levando em consideração as incertezas, os parâmetros do solo e/ou rocha, a estratigrafia do local, entre outros aspectos. Com base em registros históricos, um FS mais elevado, variando entre 1.3 e 1.5, é considerado ideal para as estruturas analisadas, pois o grau de incerteza das variáveis não é totalmente conhecido. À medida que essas incertezas são melhor compreendidas, por meio de uma caracterização geotécnica mais detalhada do local, por exemplo, torna-se viável adotar valores de FS mais apropriados. Nesse contexto, taludes com o mesmo FS podem apresentar diferentes níveis de incerteza, dependendo da investigação geotécnica realizada (SILVA, 2015).

Um baixo fator de segurança não implica, necessariamente, em uma elevada probabilidade de falha ou colapso, assim como um fator de segurança elevado não garante, de

forma absoluta, uma baixa probabilidade de ruptura. A relação entre esses dois aspectos está diretamente condicionada ao nível de incerteza presente no sistema analisado (SILVA, 2015).

A análise probabilística complementa o fator de segurança determinístico ao quantificar algumas das incertezas associadas a esse fator, por meio do índice de confiabilidade (β), que indica o nível de confiança, e da probabilidade de falha ou colapso (PF). Para isso, foram desenvolvidas diversas abordagens probabilísticas para determinar os valores de β e PF, entre as quais se destacam o Método de Monte Carlo, o Método FOSM e o Método Rosenblueth ou de Estimativas Pontuais, que são os mais utilizados. Esses métodos também permitem identificar quais parâmetros exercem maior influência na incerteza (SILVA, 2015).

De acordo com USACE (1997), os índices de confiabilidade são uma medida relativa da condição atual e fornecem uma estimativa qualitativa do desempenho esperado. Aterros com índice de confiabilidade relativamente altos deverão desempenhar bem sua função. Aterros com baixo índice de confiabilidade deverão apresentar baixo desempenho e apresentar grandes problemas de reabilitação. Se os índices de confiabilidade forem muito baixos, o aterro poderá ser classificado como um risco. Os valores de confiabilidade alvo mostrados na Tabela 1 devem ser usados em geral.

Tabela 1 – Índices de Confiabilidade

Nível de Desempenho Esperado	Índice de Confiabilidade	Probabilidade de Desempenho Insatisfatório
Alto	5.0	0.0000003
Bom	4.0	0.00003
Acima da média	3.0	0.001
Abaixo da média	2.5	0.006
Ruim	2.0	0.023
Insatisfatório	1.5	0.07
Perigoso	1.0	0.16

Fonte: USACE (1997).

Simulação de Monte Carlo é caracterizada pela criação de uma série de valores aleatórios distribuídos uniformemente, conforme a função de densidade de probabilidade da variável. O propósito dessa metodologia é estimar a função de probabilidade para uma ou mais variáveis estocásticas (SILVA, 2015).

De acordo com a United States Army Corps of Engineers (USACE, 1999), as vantagens da utilização do método de Monte Carlo são:

- a) A estimativa da função de distribuição, permitindo uma estimativa dos valores de probabilidade mais precisa;

- b) Possibilidade da programação da simulação do software com o Excel para o cálculo do Risco.

Apesar dos benefícios mencionados, (USACE, 1999) também ressalta algumas limitações, sendo elas:

- a. É necessário conhecer a distribuição de probabilidade das variáveis aleatórias;
- b. A precisão dos valores estimados é proporcional à raiz quadrada do número de iterações, logo se a precisão for dobrada, o número de iterações será o quádruplo.

Embora várias abordagens probabilísticas tenham sido desenvolvidas, o método de Monte Carlo ainda é amplamente reconhecido como o mais eficaz para análises de estabilidade que levam em conta as incertezas associadas às propriedades do solo (JIANG et al., 2022). A aplicação desse método tornou-se viável graças ao avanço da capacidade computacional, uma vez que sua execução envolve a realização de inúmeras simulações com diferentes combinações dos parâmetros de entrada (SOUSA, 2021).

2.4 OBRAS DE CONTENÇÃO

Estruturas de contenção ou de arrimo são obras civis projetadas com o objetivo de garantir a estabilidade contra o colapso/ruptura de massas de terra ou maciço rochoso. São estruturas construídas para oferecer suporte a essas massas e prevenir o deslizamento provocado pelo seu peso ou por cargas externas (FILHO et al., 2021).

Uma importante aplicação na construção civil é o muro de arrimo, que, embora possua diferentes métodos construtivos, mantém o seu princípio fundamental: a contenção do solo (seu confinamento), prevenindo seu deslizamento/escorregamento, seja pelo próprio peso ou por cargas externas, além de poder atuar como suporte para outras edificações (BARROS, 2017).

O principal atributo que a estrutura do muro de arrimo possui é a existência de uma parede vertical ou ligeiramente inclinada, apoiada sobre uma fundação superficial (rasa) ou profunda. Ele pode ser edificado em alvenaria (pedras ou tijolos), em concreto (simples ou armado) e com elementos específicos, como pneus, sacos e madeiras (GERALDO & NICOLETTI, 2023).

O dimensionamento de muro de arrimo realizado de forma incorreta (mal dimensionado), pode colocar a segurança de edificações próximas em risco, comprometendo por consequência todo o aterro. De acordo com a Associação Nacional de Medicina do Trabalho (ANAMT), uma das principais causas de acidentes no trabalho na construção civil tem sido o soterramento (ANAMT, 2019)

Um fator importante na escolha de estruturas de contenção é o alto custo que possuem. Logo, o conhecimento da influência das variáveis de dimensionamento eleva a percepção do projetista, permitindo que ele desenvolva soluções otimizadas, que garantem maior segurança estrutural, além de reduzir os custos com materiais, mão de obra e o tempo de execução da obra (GERALDO & NICOLETTI, 2023)

A perda de eficácia de obras de contenção ao longo do tempo, assim como em outras estruturas de engenharia, pode ocorrer em grande parte dos casos (NASCIMENTO, 2020). Com essa perda de eficácia, relativa muitas vezes a agentes agressivos, deficiências de projeto e falhas de execução, está ligada ao surgimento de patologias na estrutura da contenção que comprometem seu desempenho, durabilidade e capacidade de carga (CRUZ et al., 2020).

2.5 GEORREFERENCIAMENTO

O georreferenciamento de áreas suscetíveis a deslizamentos é um recurso que possibilita localizar áreas vulneráveis a desastres naturais. O intuito é resguardar a população, recuperar e preservar espaços ocupados, além de adotar medidas preventivas, como a elaboração de planos de evacuação e resposta emergencial (GUIDI & SCUDERO, 2013).

De acordo com Pautz (2021), o georreferenciamento é uma ferramenta que permite determinar a posição exata de um imóvel e a sua área. Nesse mapeamento, estão disponíveis as coordenadas geográficas de posição de todas as suas confrontações, permitindo ao proprietário saber exatamente onde começam e onde terminam as suas terras.

Além do mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos, a identificação de cicatrizes de deslizamento é essencial para o inventário de riscos, para a compreensão dos processos que desencadeiam os deslizamentos e para intervenções nas áreas afetadas (PRADHAN & LEE, 2010).

Informações sobre o relevo são fundamentais para potencializar o mapeamento de áreas que correm risco de deslizamentos (GUIDI & SCUDERO, 2013). O uso de imagens de satélite tem se mostrado uma alternativa crucial às tradicionais medidas em campo, sendo uma ferramenta importante que possibilita análises geoespaciais integradas e resulta em produtos que atendem às demandas de suporte à tomada de decisões (TRALLI et al., 2005).

Os dados de sensoriamento remoto da Terra estão se tornando cada vez mais disponíveis e amplamente utilizados em diversas áreas do conhecimento, desempenhando um papel crucial em campos como a agricultura, a exploração mineral, o manejo florestal e outras disciplinas relacionadas às ciências da Terra. Esses dados permitem análises detalhadas e em larga escala,

contribuindo para a gestão sustentável de recursos naturais, o monitoramento ambiental, a mitigação de desastres e a tomada de decisões estratégicas em setores que dependem de informações precisas e atualizadas sobre o planeta (WEISS et al., 2019).

O mapeamento geoambiental pode ser definido como uma metodologia cuja finalidade é a divisão de determinada área em categorias homogêneas e organizadas hierarquicamente. Tal divisão pode basear-se, por exemplo, em características geológico-geomorfológicas e de uso e ocupação do solo. Ele utiliza tecnologias como GPS, satélites, drones e sistemas de informação geográfica (SIG) para criar mapas digitais e representar informações espaciais. (SCOTTI, 2015).

2.6 MAPA DE SUSCETIBILIDADE

As cartas de suscetibilidade são utilizadas para auxiliar às ferramentas de plano de contingência de proteção e defesa civil, plano de implementação de obras e serviços, mecanismos de controle e fiscalização, e cartas geotécnicas. São fundamentais para o planejamento do uso e ocupação do solo, controle da expansão urbana, avaliação de cenários potenciais de riscos (DUARTE, 2015).

Os eventos extremos resultam em um desastre quando o terreno demonstra vulnerabilidade à ocorrência de determinado processo do meio físico, seja inundação, deslizamento de terra, ou outro. Ou seja, a suscetibilidade acontece quando o terreno exibe predisposição ou tendência ao desenvolvimento de um fenômeno natural ou processo do meio físico, desencadeado por agentes externos ou internos, como chuvas intensas e terremotos, respectivamente (BITAR, 2014).

O conhecimento das características do solo é fundamental para a geotecnia, e sua formação é influenciada por diversos fatores. O estudo/análise da suscetibilidade de uma região, busca conhecer solos problemáticos que são afetados por fatores endógenos (geologia, pedologia, nível do lençol freático) e fatores exógenos (clima e atividades antrópicas). A determinação do grau de suscetibilidade que a região pode ter a um evento ou risco geológico-geotécnico depende das características do ambiente, sendo imprescindível conhecer o comportamento destes. O fator geológico e pedológico é influenciado pela litologia, tempo, clima, granulometria e o ambiente existente. Outros fatores importantes são as temperaturas e o ciclo hidrológico, capazes de influenciar alterando de maneira química a litologia, tendo como resultado a decomposição da rocha, como alteram a umidade e nível de saturação dos solos, podendo provocar erosão e lixiviação das partículas (TORRES, 2014).

Os métodos utilizados na avaliação da suscetibilidade a escorregamentos podem ser divididos em três tipos básicos: métodos baseados em conhecimento, métodos físicos e métodos baseados em dados (COROMINAS et al., 2014). Ambos os métodos possuem vantagens e desvantagens, não existindo o mais correto e eficaz. Normalmente, os métodos que trabalham com dados são mais adequados para a avaliação regional da suscetibilidade aos deslizamentos de terra (L. LI et al., 2017). Na Tabela 2 estão listados os detalhes destes três métodos.

Tabela 2 – Métodos de avaliação da suscetibilidade a escorregamentos.

Métodos	Recurso	Detalhes
Métodos baseados em conhecimento	Qualitativo	Com base no conhecimento dos especialistas, os pesos e a classificação de vários fatores condicionantes de deslizamentos são avaliados e então usados para prever a probabilidade espacial de ocorrência de deslizamento.
Métodos físicos	Quantitativo	O mecanismo de falha de deslizamentos é usado para avaliar a suscetibilidade a deslizamentos.
Métodos baseado em dados	Quantitativo	De acordo com o princípio de similaridade da teoria geológica, dados que mostram as características agroambientais de deslizamentos de terra no passado são referidos para avaliar a probabilidade espacial de ocorrência de deslizamento no futuro.

Fonte: Li et al. (2017).

O mapeamento de suscetibilidade constitui a etapa inicial para mitigar de forma eficaz as áreas vulneráveis a deslizamentos e reduzir os impactos negativos desses eventos na sociedade. Uma das dificuldades enfrentadas nesse tipo de estudo é lidar com o volume significativo de dados, devido à complexidade dos processos envolvidos (VANACÔR & ROLIM, 2012).

Um mapa de suscetibilidade é uma ferramenta essencial para a identificação de áreas com diferentes níveis de suscetibilidade a movimentos de massa, variando desde regiões de baixa até alta vulnerabilidade. Esses mapas são amplamente utilizados em diversos contextos, fornecendo informações valiosas para o planejamento territorial, a gestão ambiental e a mitigação de riscos (REICHENBACH et al., 2018).

Devido aos diversos episódios de calamidades naturais registrados nos últimos anos, frequentemente associados à ocupação desordenada de áreas vulneráveis a perigos geológicos, as autoridades brasileiras foram motivadas a adotar iniciativas voltadas para o gerenciamento de riscos. Baseadas em estratégias e políticas de intervenção, essas ações foram implementadas

com a finalidade de aprimorar o monitoramento e promover um desenvolvimento mais planejado e sustentável das áreas urbanas. Essas medidas visam não apenas minimizar os impactos de eventos adversos, mas também garantir a segurança e o bem-estar da população, ao priorizar um planejamento urbano mais eficiente e responsável (ASSIS et al., 2020).

Ao identificar áreas propensas a deslizamentos, erosões ou outros tipos de instabilidade do solo, os mapas de suscetibilidade tornam-se fundamentais para orientar a ocupação do solo, o desenvolvimento de infraestrutura e a implantação de políticas públicas voltadas à redução de desastres naturais. Assim, eles desempenham um papel crucial na preservação da segurança das populações, no equilíbrio ambiental e na promoção de um desenvolvimento sustentável, garantindo uma maior resiliência diante de eventos adversos relacionados à instabilidade geológica (ABAD et al., 2022).

Conforme a metodologia sugerida pelo Ministério das Cidades e IPT (2007), o mapeamento de áreas de risco pode ser realizado em duas escalas (cadastramento ou zoneamento). O cadastramento refere-se à identificação de locais específicos vulneráveis ao risco, com dados detalhados de cada residência (ex.: número de habitantes, tipo de construção, nível de risco da habitação, entre outros, imóvel por imóvel) (IPT, 2007).

O zoneamento delimita áreas homogêneas em relação ao grau de risco geomorfológico, nas quais são identificados setores com classes de risco, agrupando diversas moradias (IPT, 2007). Em ambas as abordagens, cadastramento ou zoneamento, utiliza-se a seguinte escala: R1 (grau de risco baixo), R2 (risco médio), R3 (risco alto) e R4 (grau de risco muito alto), de acordo com os critérios teóricos e metodológicos estabelecidos pela proposta do Ministério das Cidades e IPT (2007) (Quadro 2).

Quadro 2 – Critérios para a determinação dos graus de risco a escorregamentos.

Grau de Probabilidade	Descrição
R1 Baixo ou sem risco	1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa ou nenhuma potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. Não se observa(m) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. 3. Mantidas as condições existentes não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
R2 Médio	1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. Observa-se a presença de algum(s) sinal/feição/ evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento. 3. Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
R3 Alto	1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. Observa-se a presença de significativo(s) sinal/ feição/ evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.). Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo. 3. Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas,
R4 Muito Alto	1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. Os sinais/feições/evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de deslizamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margem de córregos, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo impossível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento. 3. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa

Fonte: IPT (2007).

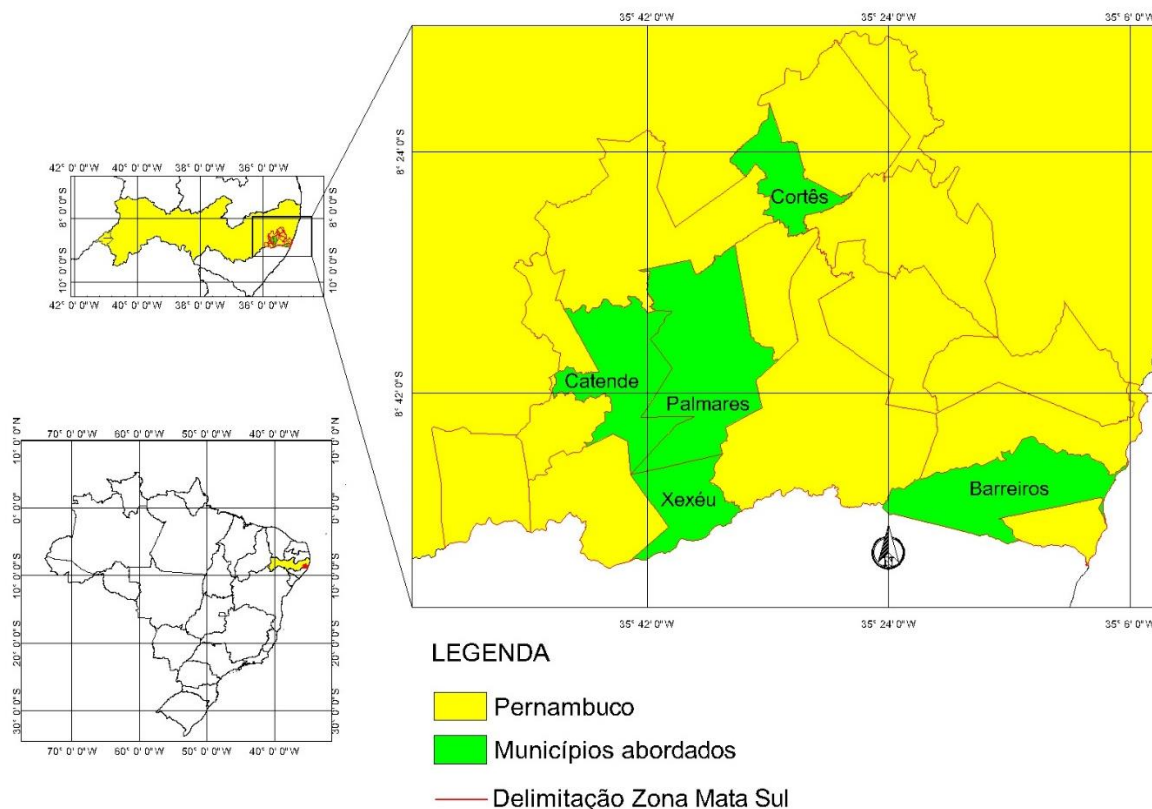
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os itens referentes a caracterização da área de estudo, abordando o histórico de ocorrências de problemas ocasionados pela erosão. Posteriormente, também é apresentada a metodologia utilizada nesta pesquisa.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo engloba cinco municípios, sendo Palmares, Catende, Xexéu, Cortês e Barreiros, que de acordo com o censo, sua população totaliza 148.670 habitantes com uma densidade demográfica total de 690,78 habitantes por quilômetros quadrados no ano de 2022. Os municípios estudados estão situados na microrregião da Mata Sul Pernambucana, cuja extensão territorial possui uma área total de 4.524,1 km². Esse território é frequentemente procurado devidos os recursos naturais, tais como praias, mata atlântica, rios e estuários. A Figura 4 ilustra a localização geográfica de todos as municipalidades abordadas.

Figura 4 – Localização dos Municípios Abordados na Zona Mata Sul de Pernambuco.



Fonte: O autor (2025).

Foram realizados pela empresa de projetos, levantamentos topográficos, ensaios de sondagem a percussão SPT e coleta de amostras de solo para realização de ensaios de caracterização de granulometria, limites, unidade ótima, compactação e CBR. Os estudos preliminares tiveram como objetivo analisar as condições dos locais afetados, seja por processos naturais como erosão ou deslizamento de terra ou por atividades humanas que causaram degradação ambiental.

3.1.1 Município de Palmares

Na Figura 5 apresenta-se o mapa de situação do Município de Palmares, no qual estão indicados os locais considerados na análise de estabilidade. Esses locais correspondem aos conjuntos habitacionais denominados Quilombo dos Palmares I, Quilombo dos Palmares II e Quilombo dos Palmares III. Esses espaços foram selecionados devido à sua relevância no contexto habitacional local e às características específicas do terreno que demandam atenção técnica para assegurar condições adequadas de segurança e habitabilidade.

Figura 5 – Mapa de situação do Município de Palmares.



Fonte: Muniz et al. (2022).

O Quadro 3 apresenta as coordenadas geográficas dos pontos de análise localizados no município de Palmares. Essas informações foram registradas de forma detalhada para subsidiar o estudo e possibilitar a identificação precisa dos locais avaliados, garantindo maior confiabilidade nos dados obtidos.

Quadro 3 – Coordenadas geográficas dos pontos de análise de Palmares.

COORDENADAS PELO GPS UTM - L25		
PONTOS	E	N
Palmares - PE (Quilombo dos Palmares II)	213149,22	9037557,3
Palmares - PE (Platô 02)	213635,67	9037320,72
Platô 03 - Erosão 1	213616,228	9037203,618
Platô 03 - Erosão 2	213742,000	9037208,000
Palmares - PE (Platô 06)	214123,78	9037316,51
Palmares - PE (Platô 07)	214087,72	9037664,03
Palmares - PE (Platô 01)	213301,63	9036420,17

Fonte: O autor (2025).

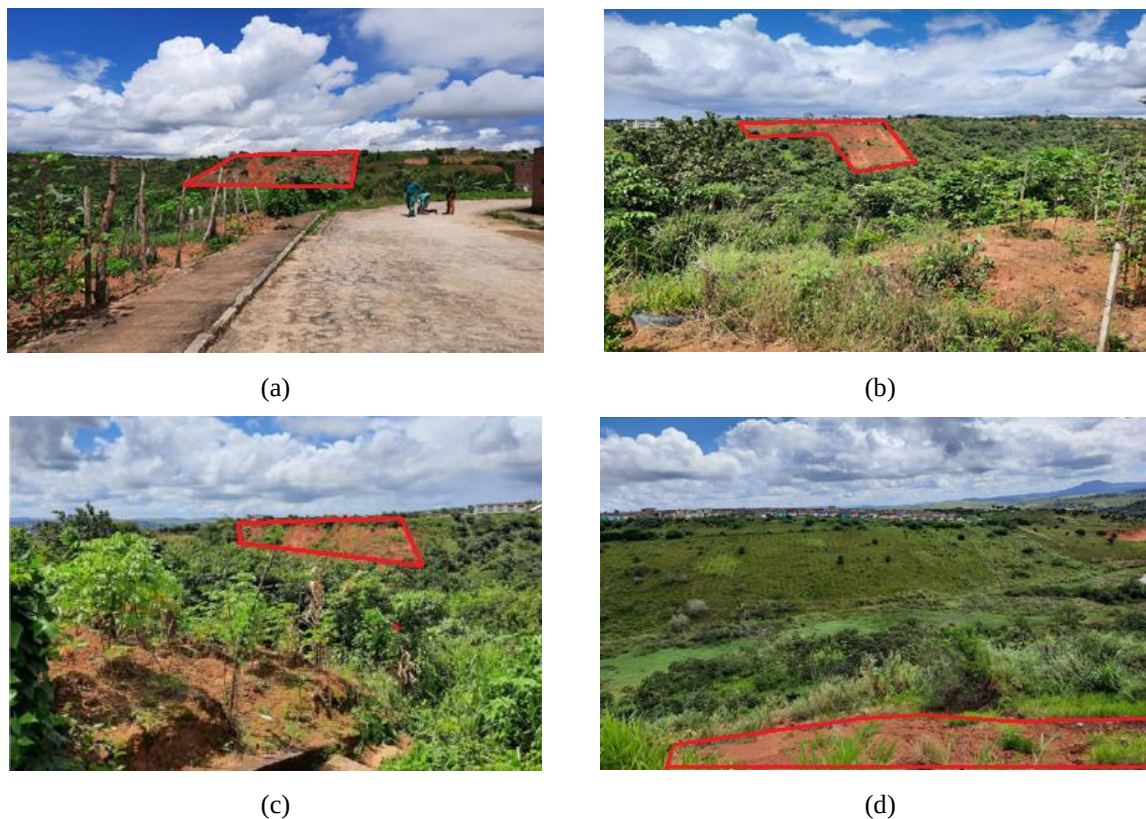
Durante a visita de campo realizada, foi identificada a presença de sete pontos com evidências de processos erosivos, distribuídos em diferentes áreas do estudo. Esses pontos foram localizados no Platô 01, Platô 02, Platô 03 (onde foram constatadas duas erosões), Platô 06, Platô 07 e na comunidade Quilombo dos Palmares II. Nas Figuras 6a, 6b, 6c, 6d e 6e são apresentadas imagens fotográficas que documentam detalhadamente os locais afetados por esses processos erosivos, ilustrando a extensão e as características das áreas impactadas. Essas evidências reforçam a necessidade de intervenções para mitigação e prevenção dos danos associados à erosão nesses locais.

Nas ocorrências de Palmares verificou-se patologias em talude de corte e aterro. No talude de corte (**Platô 2**), ocorrem erosões que podem ser apontados como motivo a falta de valetas de proteção de corte nas bermas e canaletas de descidas d'água, bem como a própria inclinação natural do terreno que faz drenar para os pontos atuais erodidos devido à ausência de valetas de proteção de crista ao longo do corte.

Nos taludes de aterro (**Quilombo dos Palmares II, Platô 3 - Erosão 01 e Erosão 02, Platô 06, Platô 7 e Platô 1**) as erosões decorrem das implantações de terraplenagem de criação dos Platôs para a edificação das residências e toda a infraestrutura de urbanização da área necessária aos serviços de urbanização como, drenagem, esgoto, pavimentação, com muitos

dos destinos direcionados para pontos mais baixos do platô, num escoamento natural, mas que, com tudo urbanizado e mais impermeabilizado, fez crescer bastante o volume e até a velocidade do escoamento da água, gerando um processo de incremento desproporcional e que pode ser o motivo principal de todo processo erosivo que vem ocorrendo nos taludes de aterros.

Figura 6 - Registros fotográficos de locais de erosão em Palmares: (a) Platô 2 para o Platô 3; (b) Platô 2 para o Platô 6; (c) Platô 2 para o Platô 7; (d) Platô 7 para o Platô 2.

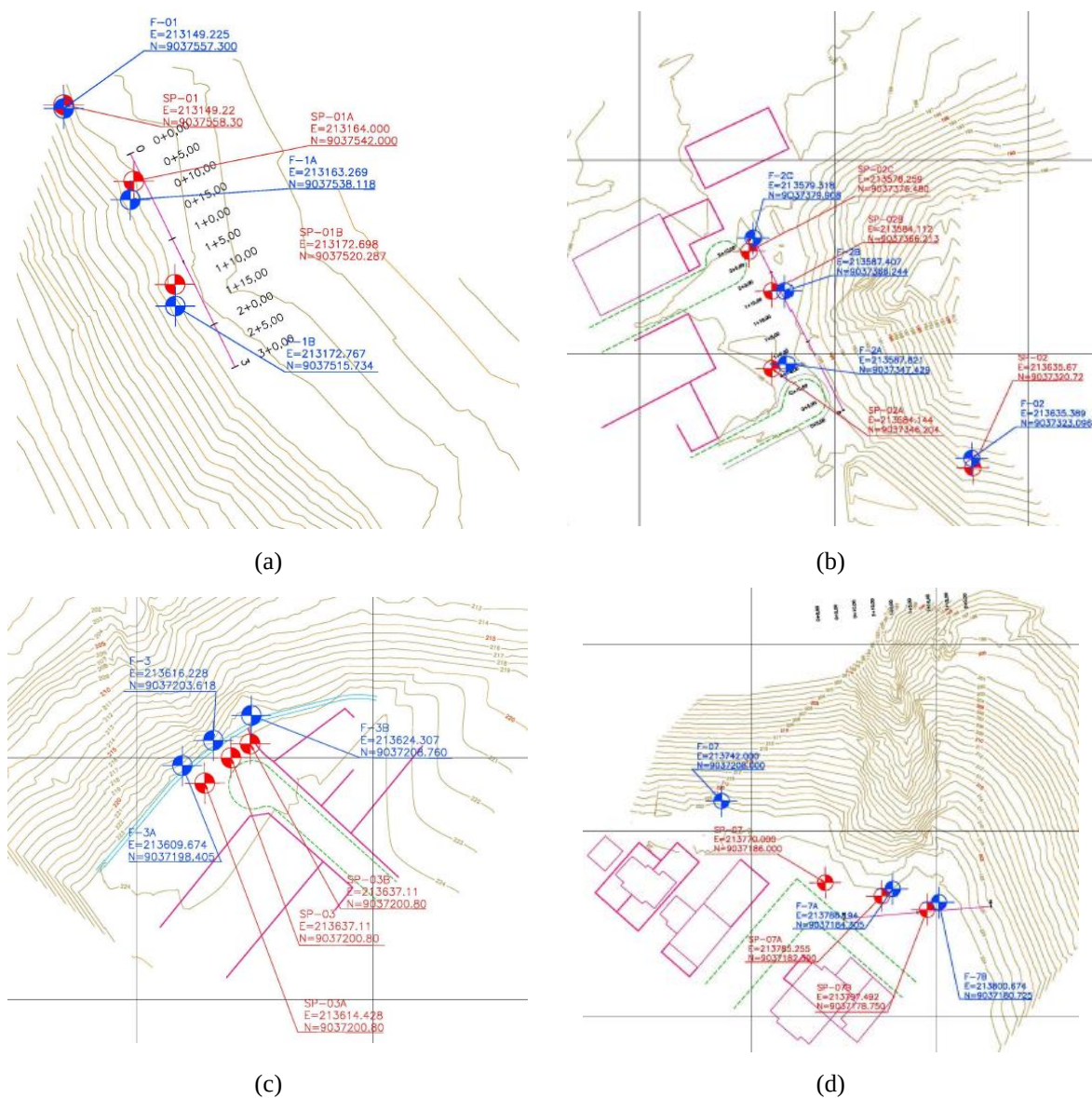


Fonte: Muniz et al. (2022).

As primeiras análises mostram que um dos problemas para surgimento das erosões foi a drenagem, tanto para taludes de corte como para os de aterros. Para taludes de aterro, as ocorrências foram mais acentuadas, devido ao fato de haver as contribuições das áreas impermeabilizadas, das residências, seus telhados, quintais e das vias pavimentadas em paralelepípedos. Outro possível causador do agravamento das erosões em áreas de talude de aterro, pode ter sido o fato de ser material das escavações para o terrapleno, com naturais características de horizontes de solo, que foram agrupados a medida em que eram escavados, para obter as compensações e/ou nivelamentos do platô, formando o nível definido para área aplainada definida para construção dos habitacionais.

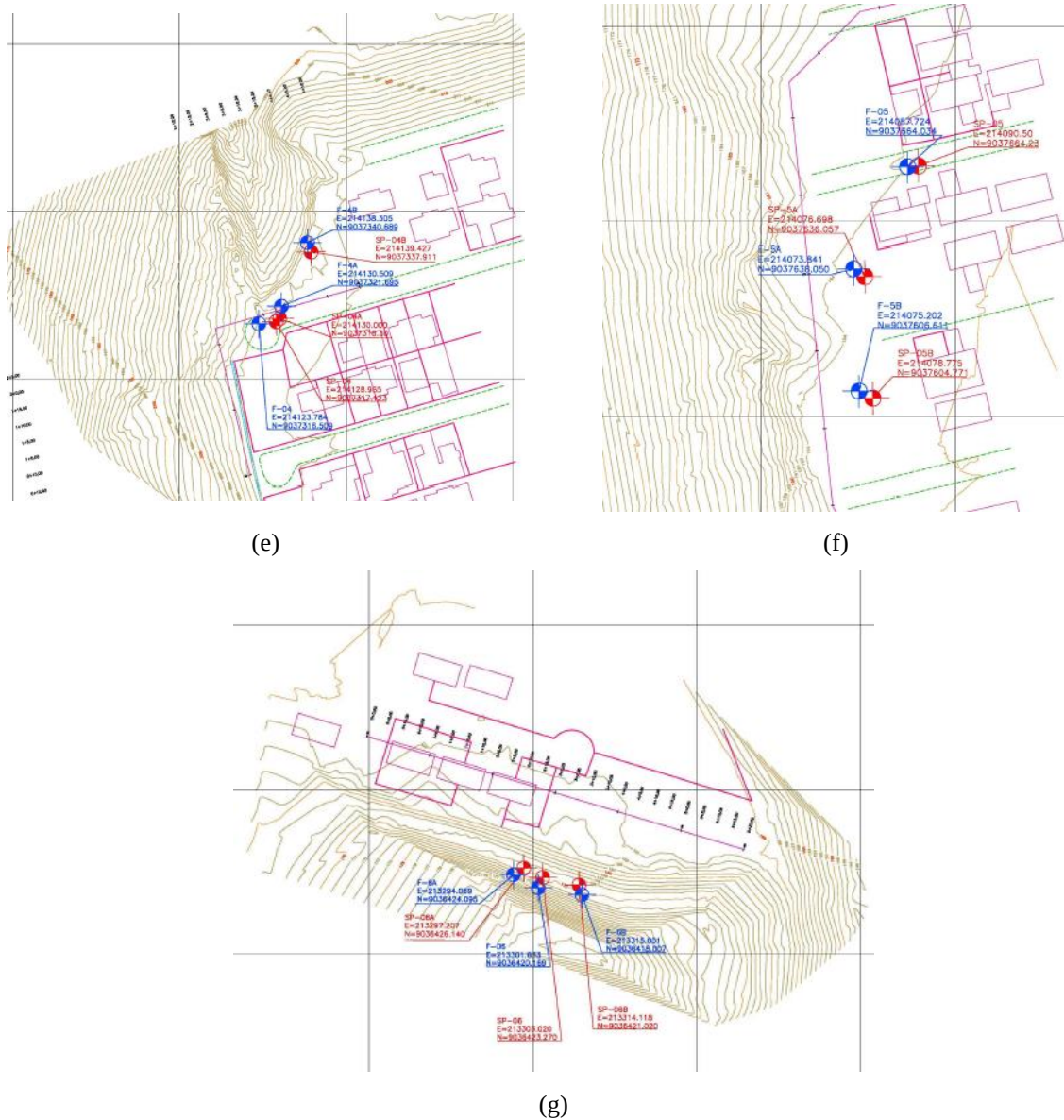
Nas Figuras 7a, 7b, 7c, 7d, e Figuras 8a, 8b, 8c, são apresentadas as localizações detalhadas dos furos de sondagens realizados na área de estudo. Esses furos foram estrategicamente distribuídos para obter uma cobertura abrangente e representativa das condições do subsolo. As informações obtidas são fundamentais para a análise das características geológicas do talude. Os resultados dos ensaios realizados, abrangendo a caracterização física e mecânica dos solos, estão organizados e detalhados no Anexo 1.

Figura 7 – Planta com localização dos furos de sondagem, Palmares: (a) Quilombo dos Palmares II; (b) Platô 02; (c) Platô 03 – Erosão 01; (d) Platô 03 - Erosão 02.



Fonte: Muniz et al. (2022).

Figura 8 – Planta com localização dos furos de sondagem, Palmares (Continuação): (a) Platô 06; (b) Platô 07; (c) Platô 01.



Fonte: Muniz et al. (2022).

No Quadro 4 tem-se a classificação do solo dos locais estudados. Em geral, trata-se de solos siltosos e argilosos com presença de areia e argila, ou seja, solo com partículas muito pequenas, facilitando a retenção de água, o que torna o solo úmido por um maior período de tempo. Os solos argilosos e siltosos possuem uma baixa taxa de infiltração, tornando mais suscetíveis à erosão.

Quadro 4 – Classificação dos solos do Município de Palmares.

CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS - MUNICÍPIO DE PALMARES	
Local	Tipo de solo
Quilombo dos Palmares II	Silto arenoso cor avermelhado esverdeado
Platô 02	Silto argiloso arenoso cor avermelhado
Platô 03 - Erosão 1	Argilo arenoso cor avermelhado
Platô 03 - Erosão 2	Silto argiloso arenoso cor vermelho amarelo
Platô 06	Silto argilosa arenosa cor amarelo
Platô 07	Argilo siltoso pouco arenoso cor vermelho amarelado
Platô 01	Silto arenoso argiloso com alteração cor amarelo avermelhado

Fonte: Muniz et al. (2022).

3.1.2 Município de Barreiros

A Figura 9 exibe o mapa de situação do Município de Barreiros, destacando os locais que foram contemplados na análise de estabilidade geotécnica. Esses pontos de análise incluem o Talude na Gleba D, o Talude da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), o Platô 7, o Platô 8 e o Acesso Principal. Cada um desses locais foi selecionado devido à relevância em termos de segurança geotécnica e potencial impacto sobre a infraestrutura e a população local. Para melhor compreensão, as coordenadas geográficas específicas dos pontos de análise no município estão detalhadas no Quadro 5, permitindo um mapeamento preciso das áreas de interesse e facilitando a análise e monitoramento contínuos.

Quadro 5 – Coordenadas geográficas dos pontos de análise de Barreiros.

COORDENADAS PELO GPS UTM - L25		
PONTOS	E	N
Barreiros - Baeté	258762,00	9026187,00
Barreiros - PE (Talude ETE)	255993,00	9024152,00
Barreiros - PE (Talude Platô 07)	256207,00	9023768,00
Barreiros - PE (Talude Platô 08)	255791,84	9023690,13

Fonte: O autor (2025).

Nas visitas de campo aos locais de erosão, foi encontrado no Habitacional Baeté, um ponto de erosão no Talude da ETE e, no Habitacional Santa Clara II, foram encontrados 4 pontos de erosão (Talude do Acesso Principal, Talude no Platô 7, Talude no Platô 8 e Talude

da ETE). Nas Figuras 10a, 10b, 10c e 10d, são registradas imagens fotográficas dos locais onde surgiram pontos com processos erosivos. Demais imagens são apresentadas no Apêndice B.

Nas ocorrências do Município de Barreiros verificou-se patologias em talude de aterro. No talude de aterro, “**Gleba-D**”, com registro de erosão, ocorre na área de talude que foram resultado das implantações de terraplenagem para criação dos Platôs para a edificação das residências e toda a infraestrutura de urbanização da área, necessários serviços de urbanização como, drenagem, esgoto, pavimentação, com muitos dos destinos direcionados para pontos mais baixos do platô, num escoamento natural, mas que, com tudo urbanizado e mais impermeabilizado, fez crescer bastante o volume e até a velocidade do escoamento da água, gerando um processo de incremento desproporcional e que pode ser o motivo principal de todo processo erosivo que vem ocorrendo nos taludes de aterros.

Figura 9 – Mapa de situação do Município de Barreiros.

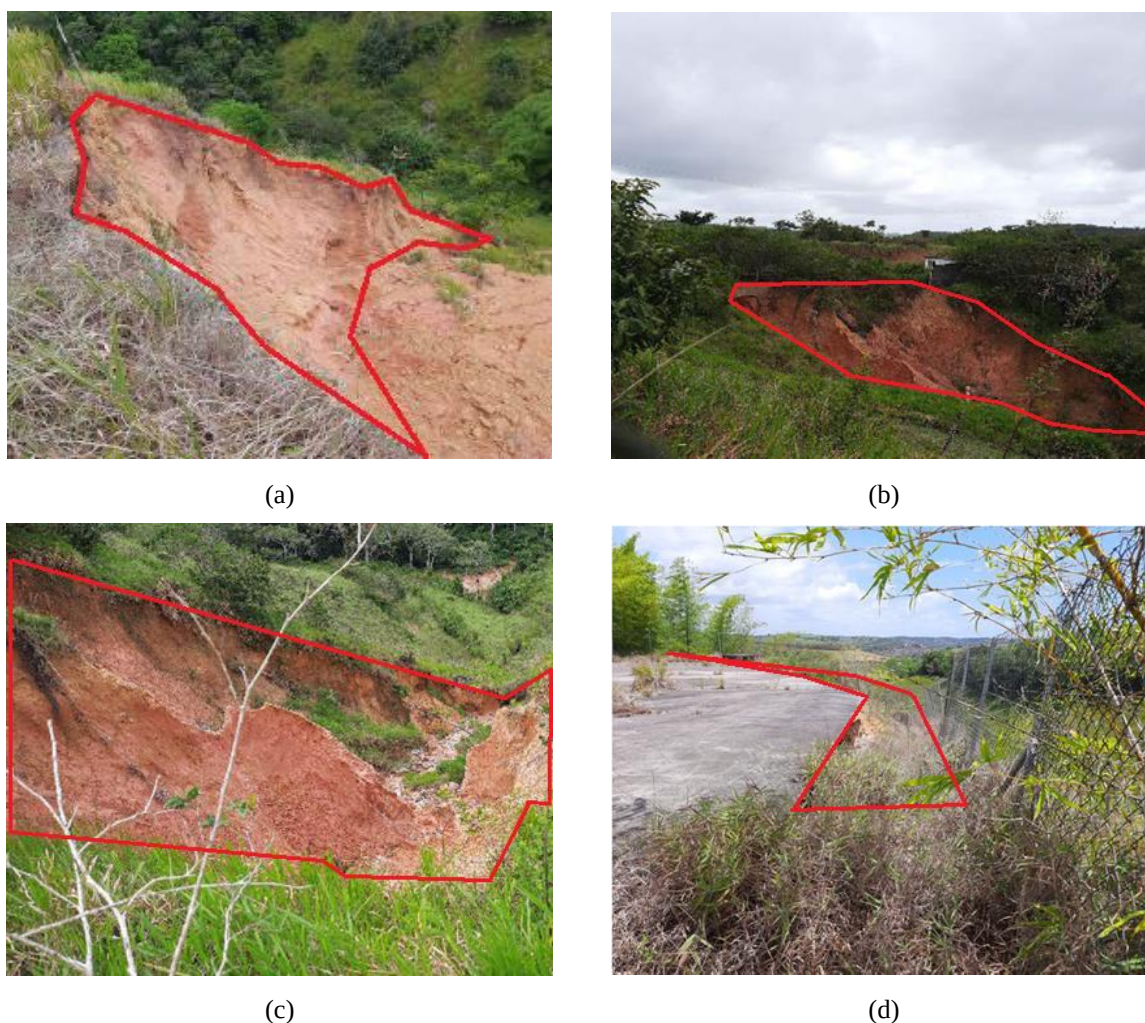


Fonte: Muniz et al. (2022).

As primeiras análises mostram que um dos problemas para surgimento das erosões, foi a drenagem superficial direcionada para os taludes de aterro, ocasionando concentração de escoamentos superficiais e iniciando os processos erosivos, que se acentuaram devido ao fato

de haver as contribuições das áreas impermeabilizadas, das residências, seus telhados, quintais e das vias pavimentadas em paralelepípedos. Outro possível causador do agravamento das erosões em áreas de talude de aterro, pode ter sido o fato de ser material das escavações para o terrapleno, com naturais características de horizontes de solo, que foram agrupados a medida em que eram escavados, para obter as compensações e/ou nivelamentos do platô, formando o nível definido para área aplainada definida para construção dos habitacionais.

Figura 10 – Registros fotográficos de locais de erosão em Barreiros: (a) Habitacional Santa Clara II Entrada da ETE; (b) ETE do Habitacional Santa Clara II; (c) ETE do Habitacional Santa Clara II; (d) Quadra D Platô 7 – Habitacional Santa Clara II.

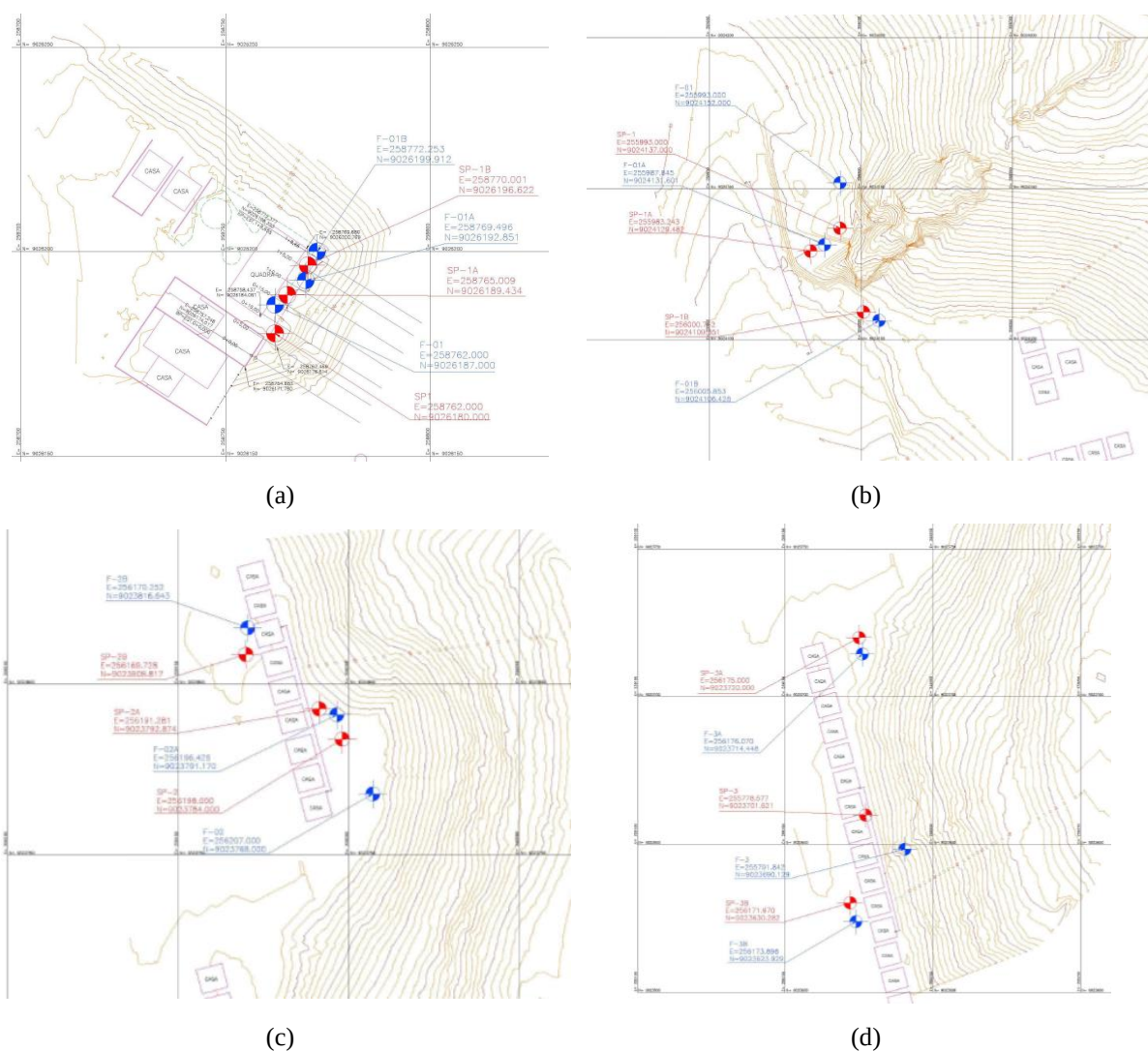


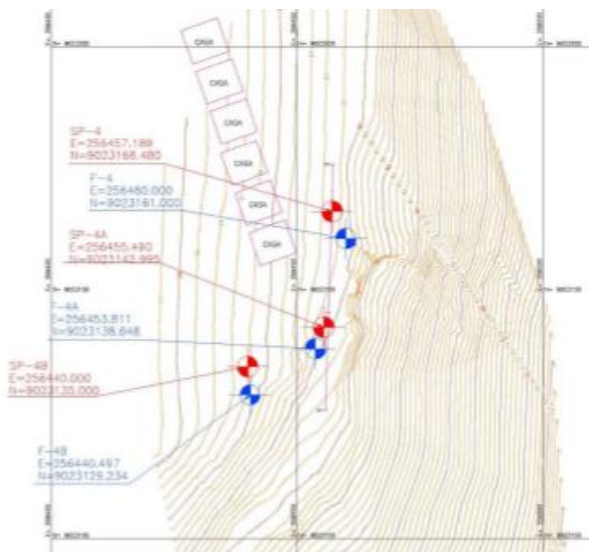
Fonte: Muniz et al. (2022).

Nas Figuras 11a, 11b, 11c, 11d e 11e, foram apresentadas a localização dos furos de sondagens. Os resultados dos ensaios de caracterização física e mecânica são apresentados no Anexo 2. Com as amostras de solos coletadas, foram realizados ensaios laboratoriais de caracterização física e mecânica (granulometria, limites, umidade ótima, expansão,

compactação e CBR), permitindo identificar as causas que desencadearam os problemas de erosões na região em análise. No Quadro 6 tem-se a classificação do solo dos locais estudados. Em geral, trata-se de solos siltosos e argilosos com presença de areia e argila, ou seja, solos possuem maior presença de partículas de tamanhos pequenos, como o silte e a argila em suas composições, configuram-se como estruturas que possuem menor fluxo de água, retraindo-a por uma maior quantidade de tempo, o que aumenta a probabilidade de fluxo de escoamento superficial, cooperando para o surgimento de erosões nos taludes e nas encostas.

Figura 11 – Planta com localização dos furos de sondagem, Barreiros: (a) Habitacional Baeté; (b) Habitacional Santa Clara II - Talude da ETE; (c) Habitacional Santa Clara II – Talude Platô 7; (d) Habitacional Santa Clara II – Talude Platô 8; (e) Habitacional Santa Clara II – Talude acesso principal.





(e)

Fonte: Muniz et al. (2022).

Quadro 6 – Classificação dos solos do Município de Barreiros.

CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS - MUNICÍPIO DE BARREIROS	
Local	Tipo de solo
Barreiros - Baeté	Silte arenoargiloso vermelho variegado
Talude - ETE	Silte argiloarenoso amarelado
Talude Platô 07	Silte argiloarenoso amarelado Argila siltoarenosa vermelha amarelada
Talude Platô 08	Silte arenoargiloso vermelho amarelado
Talude Acesso Principal	Silte argiloarenoso avermelhado

Fonte: Muniz et al. (2022).

3.1.3 Município de Catende

A Figura 12 a apresenta o mapa de situação do Município de Catende, onde está demarcado o local que foi objeto da análise de estabilidade realizada. Esse mapa serve como uma ferramenta visual essencial para compreender a distribuição geográfica das áreas de estudo, fornecendo uma visão clara da localização dos pontos avaliados. A identificação desses locais é crucial para o desenvolvimento de estratégias direcionadas à mitigação de riscos e ao planejamento de ações preventivas, considerando as características específicas de cada região analisada.

Figura 12 – Mapa de situação do Município de Catende.



Fonte: Muniz et al. (2022).

Na visita de campo foi encontrado no Habitacional Mata da Jaqueira um ponto com erosão em Monte Alegre, região localizada no município de Catende, no qual possui a seguinte coordenada geográfica: 201253,14E e 9041522,02N. Nas Figuras 13a e 13b foram apresentados os locais onde surgiram pontos com processos erosivos.

Nas ocorrências da cidade de Catende verifica-se patologias em talude de aterro. No talude de aterro, **Talude de Monte Alegre**, com registro de erosão, ocorre na área de talude que foram resultado das implantações de terraplenagem para criação dos Platôs para a edificação das residências e toda a infraestrutura de urbanização da área, necessários serviços de urbanização como, drenagem, esgoto, pavimentação, com muitos dos destinos direcionados para pontos mais baixos do platô, num escoamento natural, mas que, com tudo urbanizado e mais impermeabilizado, fez crescer bastante o volume e até a velocidade do escoamento da água, gerando um processo de incremento desproporcional e que pode ser o motivo principal de todo processo erosivo que vem ocorrendo nos taludes de aterros.

Nas Figuras 14a, 14b, 14c e 14d, são apresentadas imagens fotográficas que ilustram o processo de realização de sondagem a percussão no município de Catende.

Figura 13 - Registros fotográficos de locais de erosão em Catende: (a) Estrada de Monte Alegre; (b) Estrada de Monte Alegre.



(a)



(b)

Fonte: Muniz et al. (2022).

Figura 14 - Registros fotográficos da realização de sondagem a percussão em Catende: (a) Talude de Monte Alegre, SP-01; (b) Talude de Monte Alegre, SP-02; (c) Talude de Monte Alegre, SP-02; (d) Talude de Monte Alegre, SP-02.



(a)



(b)



(c)



(d)

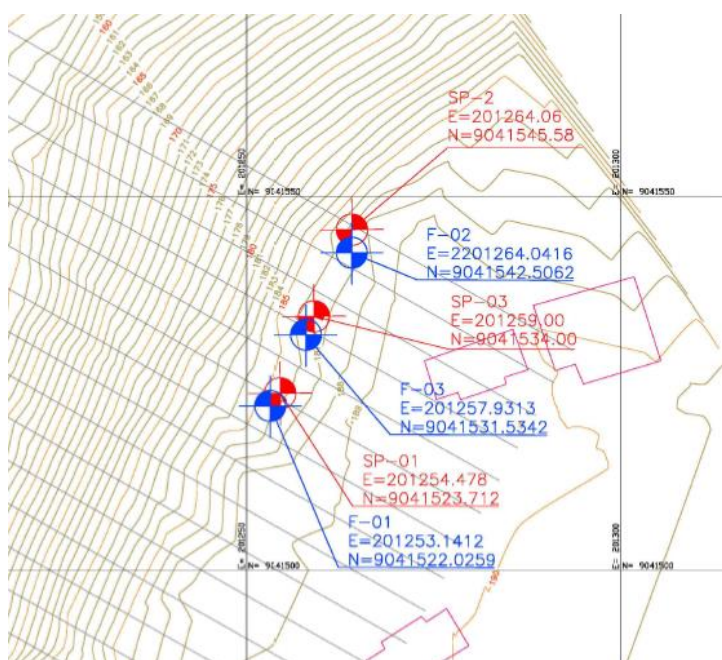
Fonte: Muniz et al. (2022).

As primeiras análises mostram que um dos problemas para surgimento das erosões, foi a drenagem superficial para os taludes de aterro. Para taludes de aterro, as ocorrências foram mais acentuadas, devido ao fato de haver as contribuições das áreas impermeabilizadas, das

residências, seus telhados, quintais e das vias pavimentadas em paralelepípedos. Outro possível causador do agravamento das erosões em áreas de talude de aterro, pode ter sido o fato de ser material das escavações para o terrapleno, com naturais características de horizontes de solo, que foram agrupados a medida em que eram escavados, para obter as compensações e/ou nivelamentos do platô, formando o nível definido para área aplainada definida para construção dos habitacionais.

Na Figura 15 é apresentada a localização dos furos de sondagens. Os resultados dos ensaios de caracterização física e mecânica são apresentados no Anexo 3.

Figura 15 – Planta com Localização dos Furos de Sondagem, Catende.



Fonte: Muniz et al. (2022).

Com as amostras de solos coletadas, foram realizados ensaios laboratoriais de caracterização física e mecânica (granulometria, limites, umidade ótima, expansão, compactação e CBR), permitindo identificar as causas que desencadearam os problemas de erosões na região em análise. No Anexo 3 foram expostos os resultados obtidos através dos ensaios.

Verificou-se que só existe um tipo de solo, classificado como argila siltosa vermelha que possui uma baixa porosidade, devido ao tamanho das suas partículas, o que interfere na questão da drenagem da água. Devido a essa situação, ocorre o aumento do escoamento

superficial, podendo variar de acordo com o volume de água precipitada na região. Esses fatores corroboram para o surgimento de erosões inesperadas.

3.1.4 Município de Cortês

Na Figura 16 tem-se o mapa de situação do Município de Cortês, com indicação dos locais considerados na análise de estabilidade (Talude do Reservatório e Talude da ETE), com as respectivas coordenadas geográficas: 219147,32E e 9062330,99N; 219485,44E e 9062203,09N.

Figura 16 – Mapa de situação do Município de Cortês.



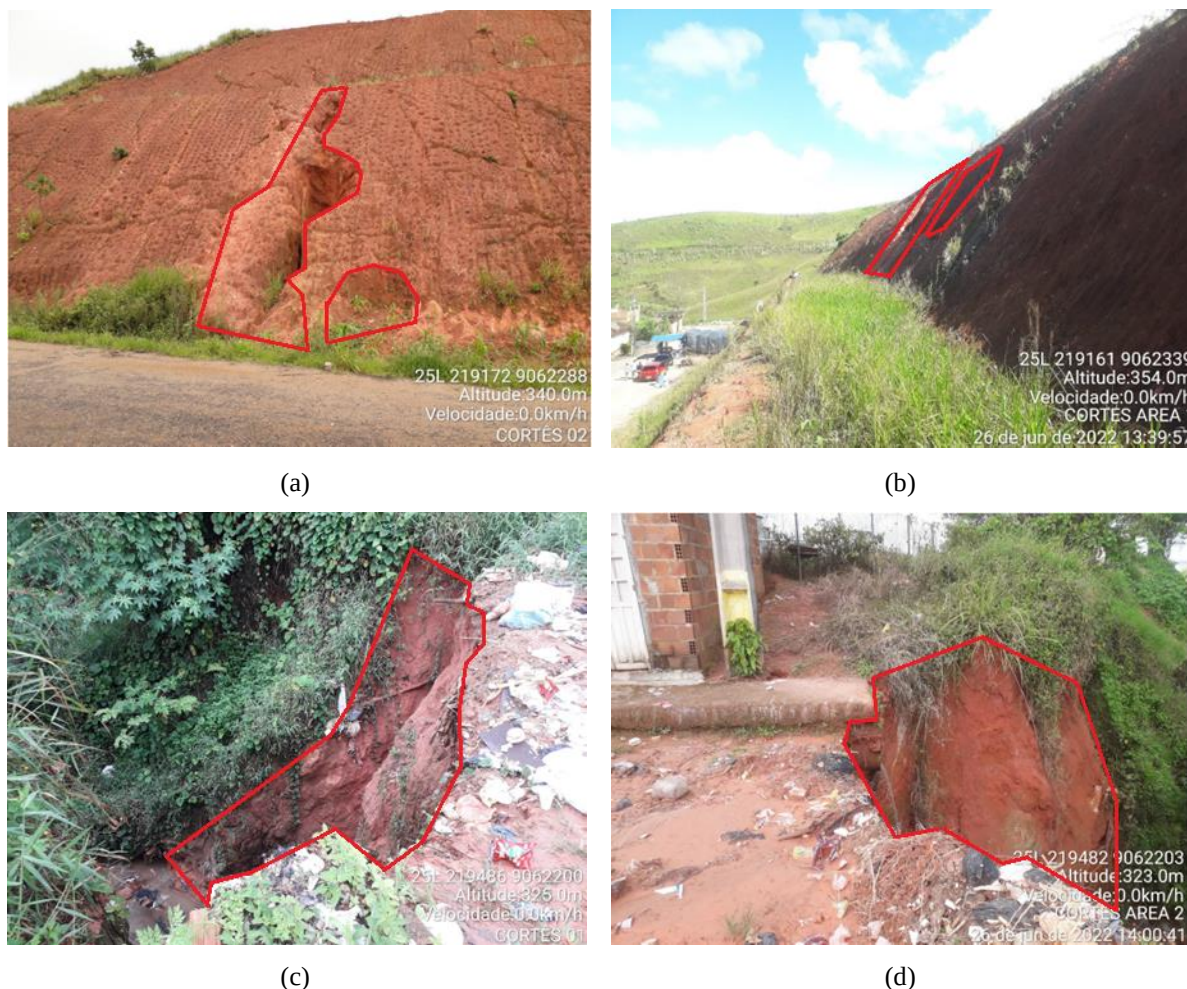
Fonte: Muniz et al. (2022).

Durante a visita de campo realizada no Habitacional Nova Cortês, foi constatada a presença de dois pontos com ocorrência de erosão. O primeiro ponto está localizado no talude do reservatório, enquanto o segundo encontra-se no talude da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

Nas Figuras 17a, 17b, 17c e 17d, foram identificados e ilustrados os locais específicos onde esses processos erosivos se desenvolveram, permitindo uma análise mais detalhada das condições locais. Essas áreas apresentam características que sugerem intervenções de

engenharia, como a implementação de medidas de controle de erosão, com o objetivo de prevenir a progressão do problema e preservar a integridade do empreendimento habitacional.

Figura 17 - Registros fotográficos de locais de erosão em Cortês: (a) Erosão no Talude do Reservatório; (b) Erosão no Talude do Reservatório; (c) Erosão no Talude da ETE; (d) Erosão no Talude da ETE.



Fonte: Muniz et al. (2022).

Nas ocorrências da cidade de Cortês verifica-se patologias em talude de corte e aterro. No talude de corte, “**Talude do Reservatório**”, ocorrem erosões que podem ser apontados como motivo a falta de valetas de proteção de corte nas bermas e canaletas de descidas d’água, bem como a própria inclinação natural do terreno que faz drenar para os pontos atuais erodidos devido à ausência de valetas de proteção de crista ao longo do corte. No talude de aterro “**Talude da ETE**”, com registro de erosão, ocorre na área de talude que foram resultado das implantações de terraplenagem para criação dos Platôs para a edificação das residências e toda a infraestrutura de urbanização da área, necessários serviços de urbanização como, drenagem, esgoto, pavimentação, com muitos dos destinos direcionados para pontos mais baixos do platô,

num escoamento natural, mas que, com tudo urbanizado e mais impermeabilizado, fez crescer bastante o volume e até a velocidade do escoamento da água, gerando um processo de incremento desproporcional e que pode ser o motivo principal de todo processo erosivo que vem ocorrendo nos taludes de aterros. Nas Figuras 18a, 18b, 18c e 18d foram apresentadas imagens fotográficas da realização de sondagem a percussão no município de Cortês.

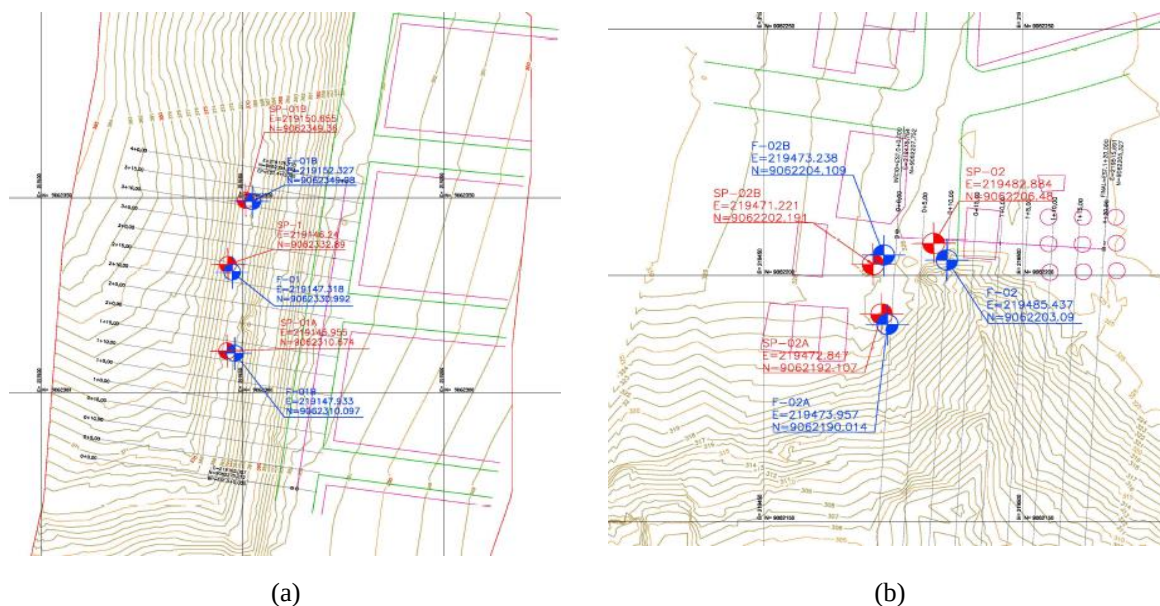
As primeiras análises mostram que um dos problemas para surgimento das erosões, foi a drenagem superficial direcionada para os taludes de aterro, ocasionando concentração de escoamentos superficiais e iniciando os processos erosivos que se acentuaram devido ao fato de haver as contribuições das áreas impermeabilizadas, das residências, seus telhados, quintais e das vias pavimentadas em paralelepípedos. Outro possível causador do agravamento das erosões em áreas de talude de aterro, pode ter sido o fato de ser material das escavações para o terrapleno, com naturais características de horizontes de solo, que foram agrupados a medida em que eram escavados, para obter as compensações e/ou nivelamentos do platô, formando o nível definido para área aplainada definida para construção dos habitacionais. Nas Figuras 19a e 19b são apresentadas as localizações dos furos de sondagens.

Figura 18 - Registros fotográficos da realização de sondagem a percussão em Cortês: (a) Talude do Reservatório, SP-01; (b) Talude do Reservatório, SP-02; (c) Talude da ETE, SP-02; (d) Talude da ETE, SP-02.



Fonte: Muniz et al. (2022).

Figura 19 – Planta com localização dos furos de sondagem, Cortês: (a) Talude do Reservatório; (b) Talude da ETE.



Fonte: Muniz et al. (2022).

Com as amostras de solos coletadas, foram realizados ensaios laboratoriais de caracterização física e mecânica (granulometria, limites, umidade ótima, expansão, compactação e CBR), permitindo identificar as causas que desencadearam os problemas de erosões na região em análise. No Anexo 4 foram apresentados os resultados obtidos através dos ensaios.

No Quadro 7 tem-se a classificação do solo dos locais estudados. Verificou-se que existem dois tipos de solo, classificado como siltes, possuindo partículas muito pequenas. Portanto, os solos desse tipo possuem uma baixa permeabilidade e consequentemente, necessita de um maior tempo para processo de drenagem de água.

Quadro 7 – Classificação dos solos do Município de Cortês.

CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS - MUNICÍPIO DE CORTÊS	
Local	Tipo de solo
Talude Reservatório	Silte arenoso argiloso cor vermelho amarelado
Talude ETE	Silte argiloso arenoso cor avermelhado

Fonte: Muniz et al. (2022).

3.1.5 Município de Xexéu

Na Figura 20, é apresentado o mapa de situação do município de Xexéu, no qual está indicada a localização específica considerada na análise de estabilidade. O ponto de interesse está georreferenciado pelas coordenadas UTM 210893,15E e 9018179,80N, servindo como referência para os estudos e avaliações técnicas realizados na área.

Figura 20 – Mapa de situação do Município de Xexéu.



Fonte: Muniz et al. (2022).

Nas ocorrências da cidade de Xexéu verifica-se patologias em talude de aterro **Talude Campos Frio**, com registro de erosão, ocorre na área de talude que foram resultado das implantações de terraplenagem para criação dos Platôs para a edificação das residências e toda a infraestrutura de urbanização da área, necessários serviços de urbanização como, drenagem, esgoto, pavimentação, com muitos dos destinos direcionados para pontos mais baixos do platô, num escoamento natural, mas que, com tudo urbanizado e mais impermeabilizado, fez crescer bastante o volume e até a velocidade do escoamento da água, gerando um processo de incremento desproporcional e que pode ser o motivo principal de todo processo erosivo que vem ocorrendo nos taludes de aterros.

As primeiras análises mostram que um dos problemas para surgimento das erosões, foi a drenagem superficial direcionada para os taludes de aterro, ocasionando concentração de escoamentos superficiais e iniciando os processos erosivos que se acentuaram devido ao fato de haver as contribuições das áreas impermeabilizadas, das residências, seus telhados, quintais e das vias pavimentadas em paralelepípedos. Outro possível causador do agravamento das erosões em áreas de talude de aterro, pode ter sido o fato de ser material das escavações para o terrapleno, com naturais características de horizontes de solo, que foram agrupados a medida em que eram escavados, para obter as compensações e/ou nivelamentos do platô, formando o nível definido para área aplainada definida para construção dos habitacionais.

Na visita de campo ao local, foi encontrado no Habitacional Campos Frios, somente um ponto com erosão. Nas Figuras 21a, 21b e 21c foram registradas imagens fotográficas dos locais onde surgiu o ponto com processo erosivo. Na Figura 22 está registrado a planta de localização dos furos de sondagem.

No Talude Campos Frio foi encontrado solo do tipo silte argiloarenoso cor vermelho amarelado, que possui uma pequena quantidade de vazios, devido ao tamanho das suas partículas, retendo por maior tempo a água. Consequentemente, aumenta a probabilidade de ocorrência do escoamento superficial, variando de acordo com o volume de água precipitado. Para evitar o surgimento de patologias nessa região, algumas medidas precisam ser tomadas.

Figura 21 - Registros fotográficos de locais de erosão em Xexéu: (a) Campos Frios; (b) Campos Frios; (c) Campos Frios.



(a)



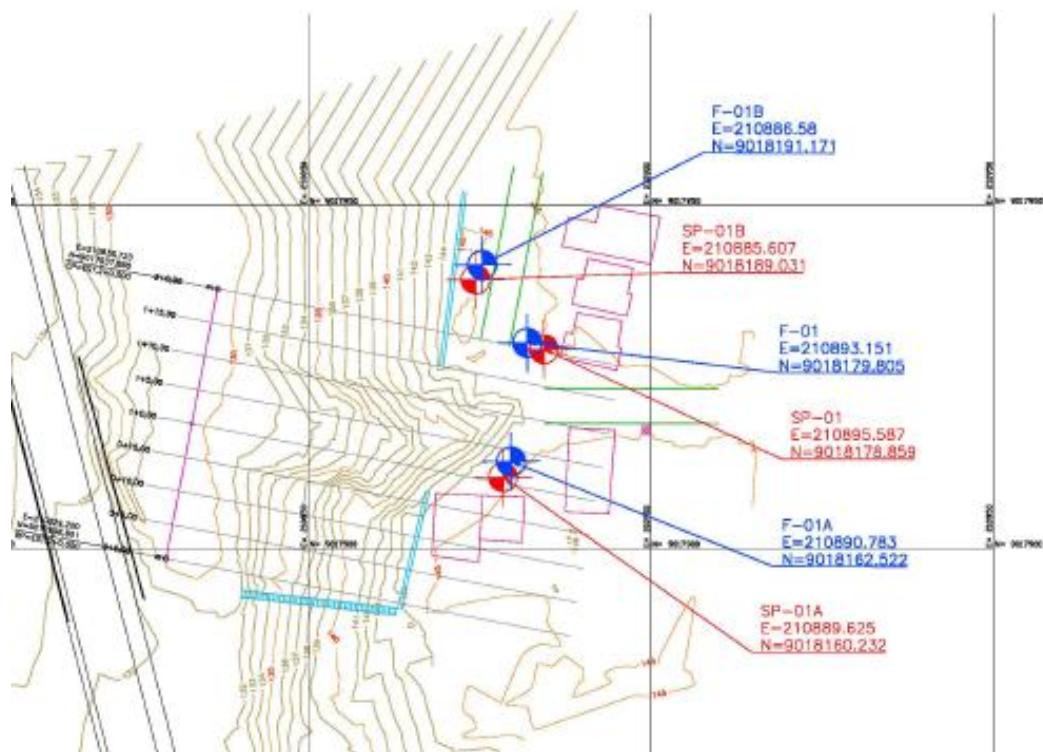
(b)



(c)

Fonte: Muniz et al. (2022).

Figura 22 – Planta com localização dos furos de sondagem, Xexéu.



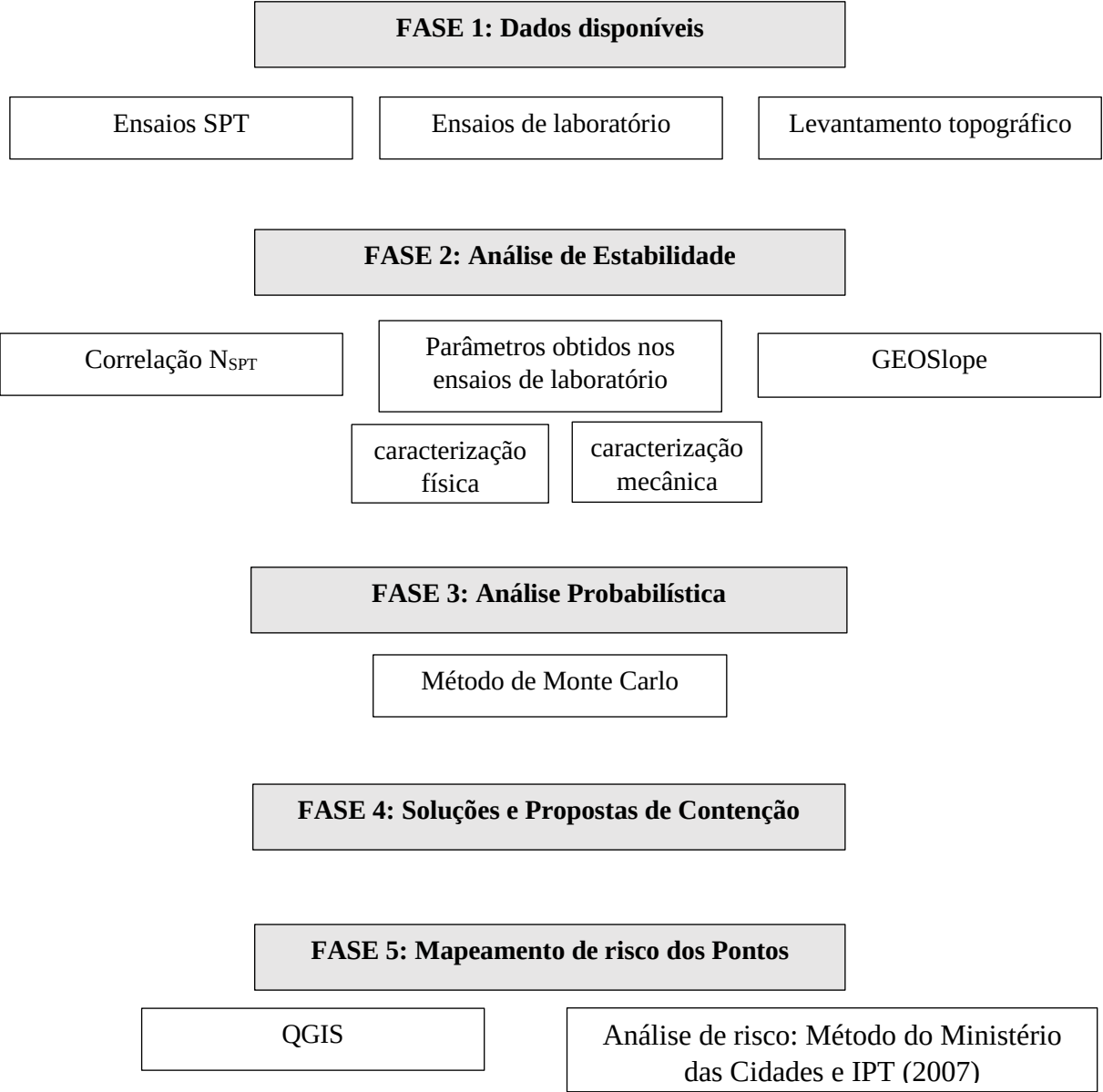
CAMPOS FRIOS

Fonte: Muniz et al. (2022).

3.2 METODOLOGIA

A metodologia adotada para a realização desta pesquisa está detalhadamente representada de forma esquemática no fluxograma apresentado na Figura 23, o qual foi elaborado com o objetivo de proporcionar uma visão clara, sequencial e estruturada de todas as etapas e procedimentos empregados ao longo do desenvolvimento do estudo, desde a fase inicial de obtenção de dados até a análise final dos resultados obtidos.

Figura 23: Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: O autor (2024).

3.2.1 Fase 1: Levantamento de dados

Inicialmente, a empresa responsável pelos projetos de engenharia realizou uma caracterização detalhada das áreas de estudo, abrangendo aspectos relacionados à geologia, geomorfologia, vegetação e clima. Essa etapa foi fundamental para compreender o contexto ambiental e estrutural da região, permitindo uma abordagem mais precisa da situação.

Com o objetivo de determinar as propriedades físicas e mecânicas do solo, foram obtidas amostras indeformadas para obtenção dos parâmetros geotécnicos em ensaios de laboratório e realizados ensaios de sondagem a percussão (SPT) para determinar o perfil do solo e a resistência a penetração do solo (N_{SPT}).

Paralelamente, foram conduzidos levantamentos topográficos detalhados, que possibilitaram o mapeamento preciso da forma e da inclinação dos taludes existentes. A partir desses dados, foi possível inserir os perfis topográficos no software específico de análises de estabilidade, permitindo simulações e avaliações técnicas que subsidiam a tomada de decisões quanto à segurança dos taludes nos conjuntos habitacionais.

3.2.2 Fase 2: Análises de estabilidade

Na Fase 2 do estudo, foram realizadas as análises de estabilidade dos taludes, com base em investigações geotécnicas conduzidas nos cinco municípios analisados. Para a estimativa dos parâmetros de resistência dos solos presentes nos diferentes horizontes estratigráficos, utilizou-se como base as correlações empíricas propostas por Teixeira (1972) e Godoy (1983). Essas correlações permitiram a obtenção dos principais parâmetros geotécnicos (γ - peso específico, c - coesão e ϕ - ângulo de atrito), a partir dos valores do N_{SPT} (índice de resistência à penetração padrão), obtidos por meio de ensaios de sondagem. Os parâmetros de resistência estimados foram organizados conforme os diferentes municípios estudados e estão detalhados nas Tabelas 3, 4, 5, 6 e 7. Cada tabela apresenta os valores característicos dos parâmetros geotécnicos atribuídos aos respectivos horizontes de solo, permitindo uma análise mais precisa das condições de estabilidade em cada localidade. Esses parâmetros são inseridos diretamente na interface do software.

As análises de estabilidade foram realizadas em 24 seções transversais para 16 taludes, distribuídos nos 5 municípios estudados, através do programa computacional GeoStudio2022.1, com a utilização do método de busca do fator de segurança grades e raios. Para o desenho dessas seções, além dos dados obtidos no SPT, foram utilizados os resultados do levantamento

topográfico, realizado nos locais de estudo e o programa computacional CIVIL 3D. A verificação da estabilidade das soluções propostas foi conduzida considerando uma sobrecarga de 20 kN/m, conforme recomendação da Norma Brasileira de Estabilidade de Encostas NBR 11682/2009, sendo utilizado o método de Morgenstern & Price (1965). A NBR 11682/2009 recomenda a definição do fator de segurança (FS) considerando os níveis de segurança contra perda de vidas humanas e contra danos materiais e ambientais. A área em torno dos taludes pode ser classificada como nível alto de exigência de segurança em relação à possibilidade de perdas de vidas humanas. Em relação à possibilidade de danos materiais e ambientais o grau de exigência de segurança é médio. Sendo assim, o fator de segurança considerado é igual a 1,5.

Tabela 3 – Parâmetros de resistência estimados a partir do N_{SPT} – Palmares.

Taludes (Local)	Classificação do material	NSPT (médio)	γ_{nat}	c (kPa)	ϕ' (°)	
					Teixeira (1996)	Godoy (1983)
Quilombo dos Palmares II	Argila Siltosa, cor amarelada, mole	4	12	5	24	30
	Argila Siltosa, cor amarelada, de mole a muito mole	4	14	5	24	30
	Argila silto-arenosa, cor esverdeada, de muito mole a média	5	15	8	25	30
	Argila silto-arenosa, cor marrom escura, de média a rija	10	17	15	29	32
Platô 2	Silte argiloarenoso, cor avermelhada, de médio a rijo	11	18	6	30	33
	Silte argiloarenoso, cor amarelada, de muito rijo a duro	49	20	25	46	48
Platô 3 (Erosão 1)	Silte argiloarenoso, cor avermelhada, de mole a médio	5	14	5	25	30
	Argila siltoarenosa, cor amarelada, de média a dura	5	15	8	25	30
	Argila siltoarenosa, cor avermelhada, de rija a dura	20	20	20	35	36
Platô 3 (Erosão 2)	Silte argilo-arenoso, cor rosa avermelhada, mole	4	12	5	24	30
	Silte argilo-arenoso, cor rosa avermelhada, de médio a mole	5	14	8	25	30
	Silte argilo-arenoso, cor amarelada, de muito mole a médio	4	13	5	24	30
	Silte argilo-arenoso, cor roxa escura, de mole a médio	6	16	12	26	30
	Argila silto-arenosa, cor avermelhada, média	6	16	15	26	30
	Argila silto-arenosa, cor rosa variegada, média	7	18	20	26	31
	Argila silto-arenosa, cor verde amarelada, de mole a média	6	17	18	26	31
Platô 6	Argila silto-arenosa, cor avermelhada, mole	4	12	3	24	30
	Argila silto-arenosa, cor amarela escura, média	5	14	5	25	30
	Silte argilo-arenoso, cor avermelhada, de mole a médio	6	16	8	26	31
	Silte argilo-arenoso, cor amarela escura, de médio a rijo	9	18	18	28	32
	Silte argilo-arenoso, cor rosa escura, médio	7	17	15	27	31
	Silte argilo-arenoso, cor amarela escura, de rijo a muito rijo	16	19	20	33	34
Platô 7	Argila siltoarenosa, cor avermelhada, mole	4	12	3	24	30
	Argila arenosa, cor amarela, mole	3	11	3	23	29
	Argila arenosa, cor avermelhada, de média a mole	7	17	15	26	31
	Argila silto-arenosa, cor esverdeada, de médio a muito rijo	17	19	20	34	35
Platô 1	Silte argilo-arenoso, cor avermelhada, médio	6	16	17	26	30
	Silte areno-argiloso, cor marrom clara, compacto	21	20	25	36	36
	Silte areno-argiloso com alteração de rocha, cor variegada, muito compacto				Material de alta resistência (rocha)	

Fonte: O autor (2025).

Tabela 4 – Parâmetros de resistência estimados a partir do N_{SPT} – Barreiros.

Taludes (Local)	Classificação do material	NSPT (médio)	γ_{nat}	c (kPa)	ϕ' (°)	
					Teixeira (1996)	Godoy (1983)
Quilombo dos Palmares II	Argila Siltosa, cor amarelada, mole	4	12	5	24	30
	Argila Siltosa, cor amarelada, de mole a muito mole	4	14	5	24	30
	Argila silto-arenosa, cor esverdeada, de muito mole a média	5	15	8	25	30
	Argila silto-arenosa, cor marrom escura, de média a rija	10	17	15	29	32
Platô 2	Silte argiloarenoso, cor avermelhada, de médio a rijo	11	18	6	30	33
	Silte argiloarenoso, cor amarelada, de muito rijo a duro	49	20	25	46	48
Platô 3 (Erosão 1)	Silte argiloarenoso, cor avermelhada, de mole a médio	5	14	5	25	30
	Argila siltoarenosa, cor amarelada, de média a dura	5	15	8	25	30
	Argila siltoarenosa, cor avermelhada, de rija a dura	20	20	20	35	36
Platô 3 (Erosão 2)	Silte argilo-arenoso, cor rosa avermelhada, mole	4	12	5	24	30
	Silte argilo-arenoso, cor rosa avermelhada, de médio a mole	5	14	8	25	30
	Silte argilo-arenoso, cor amarelada, de muito mole a médio	4	13	5	24	30
	Silte argilo-arenoso, cor roxa escura, de mole a médio	6	16	12	26	30
	Argila silto-arenosa, cor avermelhada, média	6	16	15	26	30
	Argila silto-arenosa, cor rosa variegada, média	7	18	20	26	31
	Argila silto-arenosa, cor verde amarelada, de mole a média	6	17	18	26	31
Platô 6	Argila silto-arenosa, cor avermelhada, mole	4	12	3	24	30
	Argila silto-arenosa, cor amarela escura, média	5	14	5	25	30
	Silte argilo-arenoso, cor avermelhada, de mole a médio	6	16	8	26	31
	Silte argilo-arenoso, cor amarela escura, de médio a rijo	9	18	18	28	32
	Silte argilo-arenoso, cor rosa escura, médio	7	17	15	27	31
	Silte argilo-arenoso, cor amarela escura, de rijo a muito rijo	16	19	20	33	34
Platô 7	Argila siltoarenosa, cor avermelhada, mole	4	12	3	24	30
	Argila arenosa, cor amarela, mole	3	11	3	23	29
	Argila arenosa, cor avermelhada, de média a mole	7	17	15	26	31
	Argila silto-arenosa, cor esverdeada, de médio a muito rijo	17	19	20	34	35
Platô 1	Silte argilo-arenoso, cor avermelhada, médio	6	16	17	26	30
	Silte areno-argiloso, cor marrom clara, compacto	21	20	25	36	36
	Silte areno-argiloso com alteração de rocha, cor variegada, muito compacto	Material de alta resistência (rocha)				

Fonte: O autor (2025).

Tabela 5 – Parâmetros de resistência estimados a partir do N_{SPT} – Catende.

Taludes (Local)	Classificação do material	N_{SPT}	γ_{nat}	c (kPa)	Teixeira (1996) ϕ' (°)
Talude Santa Clara II	Silte argiloarenoso, cor vermelha clara, mole.	4	15	8	30
	Silte argiloarenoso, cor rosa avermelhada, médio a mole.	6	17	10	30
	Argila siltoarenosa, cor verde escura, rija.	9	17	12	32
	Argila siltoarenosa, cor amarelada, de rija a muito rija.	17	19	15	35
	Argila siltosa com mica, cor avermelhada, de rija a dura.	26	21	20	38

Fonte: O autor (2025).

Tabela 6 – Parâmetros de resistência estimados a partir do N_{SPT} – Cortes.

Taludes (Local)	Classificação do material	N_{SPT}	γ_{nat}	c (kPa)	f' (°)	
					Teixeira (1996)	Godoy (1983)
Talude do Reservatório	Argila silto-arenosa, cor amarela, média	6	17	15	26	31
	Argila silto-arenosa, cor avermelhada, rija	9	19	18	28	32
	Silte argilo-arenoso, cor vermelha clara, de rijo a muito rijo	15	20	20	32	34
Talude da ETE	Silte areno-argiloso, cor vermelha, fofo	4	15	8	24	30
	Silte argilo-arenoso, cor avermelhada, de mole a rijo	7	17	10	27	31
	Silte areno-argiloso com alteração de rocha, cor cinza escura	12	20	18	30	33
	Silte areno-argiloso, cor avermelhada, medianamente compacto	12	19	20	30	33
	Silte argilo-arenoso, cor amarelado, rijo	12	19	22	31	33

Fonte: O autor (2025).

Tabela 7 – Parâmetros de resistência estimados a partir do N_{SPT} – Xexéu.

Taludes (Local)	Classificação do material	N_{SPT}	γ_{nat}	c (kPa)	Teixeira (1996) f' (°)
Talude Campos Frio	Silte argiloarenoso, cor avermelhada, muito mole	2	13	8	21
	Silte argiloarenoso, cor rosa avermelhada, médio	3	15	10	23
	Silte argiloarenoso, cor avermelhada, médio	7	17	25	27
	Silte argiloarenoso, cor vermelho amarelado, médio a rijo	11	19	30	30

Fonte: O autor (2025).

3.2.3 Fase 3: Análises de probabilísticas

Na Fase 3 do estudo, foram realizadas análises probabilísticas de estabilidade em todas as seções avaliadas nos cinco municípios, utilizando o Método de Monte Carlo como abordagem estatística principal. O objetivo dessas análises foi determinar a probabilidade de falha dos taludes, considerando as incertezas associadas às propriedades geotécnicas dos materiais. Para garantir a representatividade dos resultados, foi adotado um total de 2.000 simulações por seção, o que assegura uma robustez estatística adequada na estimativa da probabilidade de ruptura.

As análises foram conduzidas com ênfase na variabilidade da coesão do solo, reconhecida como um dos parâmetros mais sensíveis na avaliação da estabilidade de taludes. A caracterização probabilística considerou distribuições estatísticas apropriadas para os parâmetros do solo, de modo a refletir as variações naturais e incertezas inerentes aos dados obtidos em campo e laboratório.

3.2.4 Fase 4: Propostas de soluções de contenção e estabilização de taludes

Na Fase 4, são propostas soluções específicas voltadas para a contenção, estabilização e drenagem dos taludes analisados. A escolha dos tipos de soluções para cada situação foi feita considerando as características de cada talude, como o tipo de solo, fator de segurança obtido nas análises de estabilidade/probabilísticas, a inclinação da encosta, e contribuições de escoamento superficial de água provinda de chuvas.

Para os taludes que apresentarem os menores fatores de segurança e que se encontrarem em condições críticas de estabilidade, será recomendada a elaboração de projetos de obras de contenção, como muros de arrimo, associadas a sistemas eficientes de drenagem. Essas medidas visam mitigar riscos de deslizamentos, garantir a segurança das áreas adjacentes e promover a estabilidade a longo prazo das encostas.

3.2.5 Fase 5: Mapeamento das áreas de risco de deslizamento

Na Fase 5, foi realizado o mapeamento de risco dos pontos previamente analisados, utilizando o software QGIS como ferramenta principal. Essa etapa é trabalhada mediante utilização dos critérios para determinação dos graus de risco a escorregamentos que ocorrem

em taludes, citados no Quadro 2. Nessa avaliação são levados em consideração a declividade do terreno, o uso e ocupação do solo, a ausência de sistema de drenagem e imagens de satélite, através do Google Earth, auxiliando com a identificação de áreas com o relevo acidentado. Outro fator imprescindível na assertividade do mapeamento foram os valores de fator de segurança obtidos para cada talude através da análise de estabilidade. Esse processo possibilita uma visualização mais precisa das áreas vulneráveis a diferentes tipos de desastres naturais ou antrópicos. Essa análise permite avaliar a probabilidade de ocorrência desses desastres, subsidiando ações preventivas, planos de contingência e estratégias de mitigação que visam reduzir os impactos sobre a população e o meio ambiente.

4 RESULTADOS

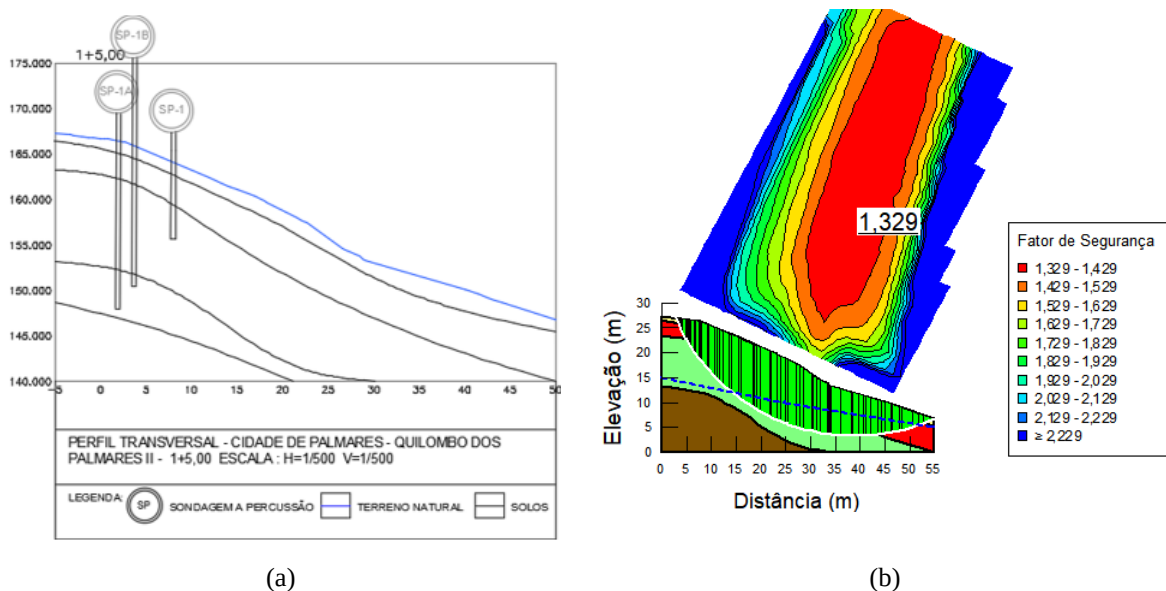
Neste capítulo são apresentados os resultados das análises de estabilidade, mapeamento do risco de deslizamento e propostas de estabilização dos taludes. Ainda com resultado, tem-se o mapa de risco de deslizamentos das áreas estudadas.

4.1 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

4.1.1 Município de Palmares

Nas Figuras 24a e 24b foi apresentado o perfil da seção transversal 1+5,00 com a locação das sondagens, e os resultados da análise de estabilidade do talude Quilombo do Palmares II, respectivamente. Obteve-se o fator de segurança de 1,329. Observa-se que a ruptura se localiza na camada de argila siltosa mole a muito mole e N_{SPT} de 4.

Figura 24 – Quilombo dos Palmares II: (a) Perfil da seção transversal 1+5,00 com locação da sondagem; (b) Resultado da análise de estabilidade.



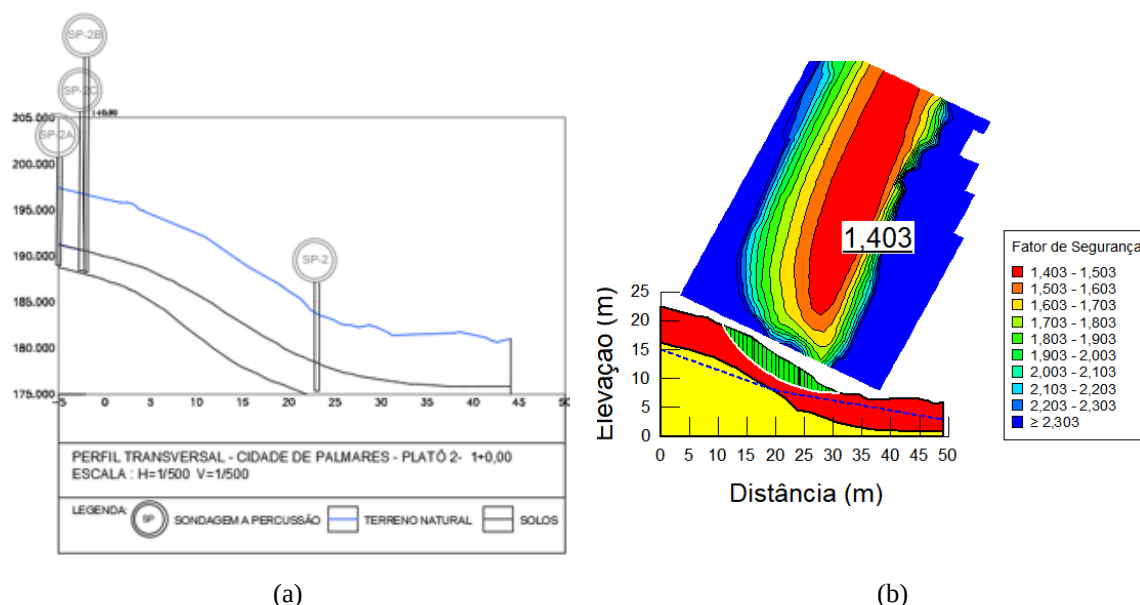
Fonte: O autor (2024).

Nas Figuras 25a e 25b e representado o perfil da seção transversal 1+0,00 e a locação das sondagens e os resultados da análise de estabilidade do talude Platô 2, respectivamente. Obteve-se o fator de segurança de 1,403. Observa-se que a ruptura se localiza na camada de silte e médio a riço e N_{SPT} igual a 11.

As Figuras 26a e 26b representa, respectivamente, o perfil da seção transversal 2+10,00 com a locação das sondagens e os resultados da análise de estabilidade dos taludes Platô 3 (Erosão 1). Obteve-se o fator de segurança de 1,210. A ruptura localiza-se na camada de argila siltosa mole a muito mole e N_{SPT} de 4.

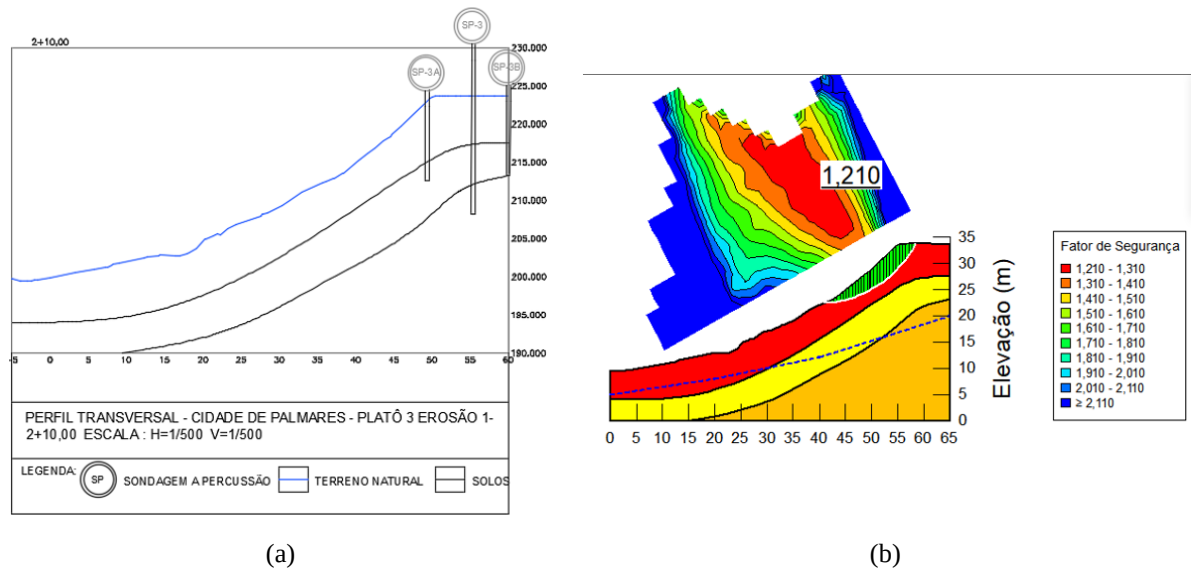
Quanto aos resultados da análise de estabilidade do talude Platô 3 (Erosão 2), obteve-se o fator de segurança de 1,374 (estaca 0+0,00) e 1,148 (estaca 1+0,00). No perfil 0+00, representado pelas Figuras 27a e 27b, observa-se que a ruptura se localiza no topo do talude e na camada constituída de silte argilo-arenoso mole na camada de argila siltosa mole e N_{SPT} de 4. No perfil 1+0,00, na terceira camada também constituída de silte argilo-arenoso mole na camada de argila siltosa mole e N_{SPT} de 4. O perfil considerado para as 2 seções analisadas possuem camadas de baixa capacidade de carga, com N_{SPT} variando de 4 a 7, até o limite da sondagem. As Figuras 28a e 28b representa, respectivamente, o perfil da seção transversal 2+10,00 com a locação das sondagens e os resultados da análise de estabilidade dos taludes Platô 3 (Erosão 1).

Figura 25 – Platô 2: (a) Perfil da seção transversal 1+0,00 com locação da sondagem; (b) Resultado da análise de estabilidade.



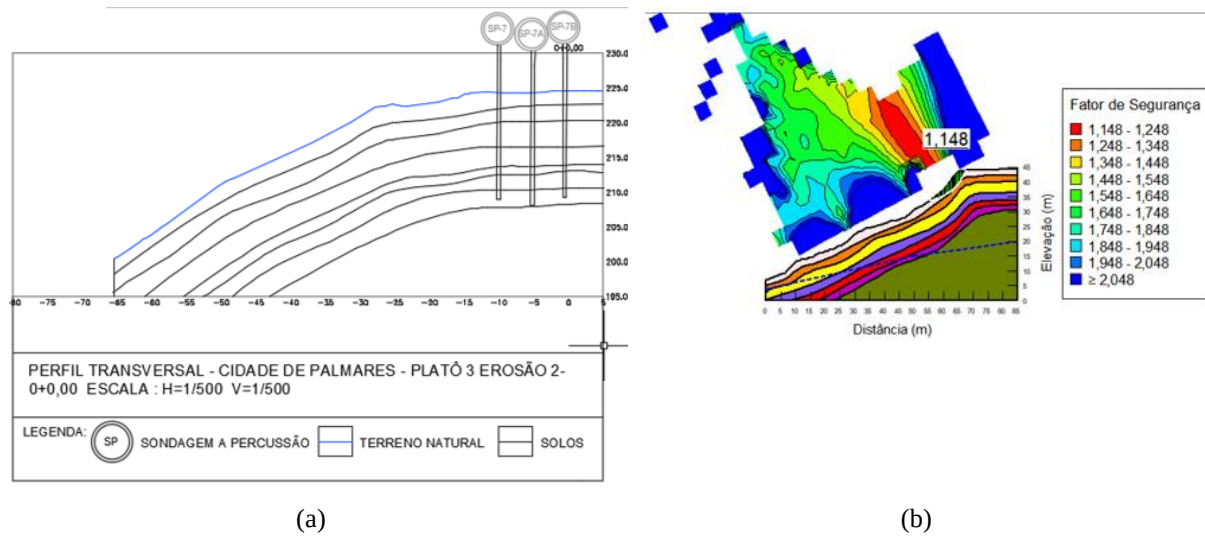
Fonte: O autor (2024).

Figura 26 – Platô 3 (Erosão 1): (a) Perfil da seção transversal 2+10,00 com localização da sondagem; (b) Resultado da análise de estabilidade.



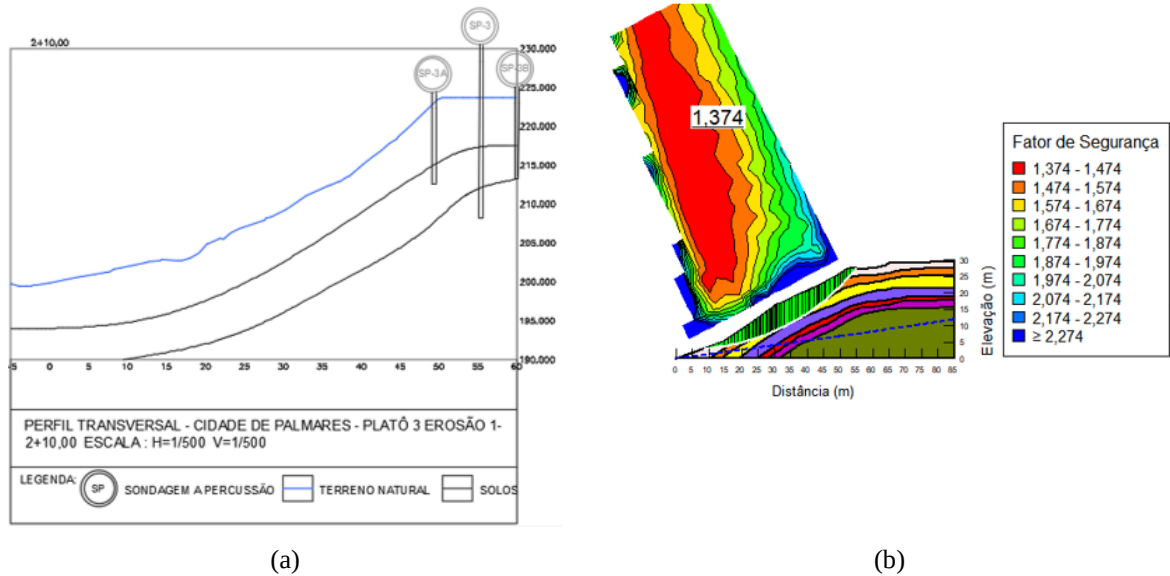
Fonte: O autor (2024).

Figura 27 – Platô 3 (Erosão 2): (a) Perfil da seção transversal 0+0,00 com localização da sondagem; (b) Resultado da análise de estabilidade.



Fonte: O autor (2024).

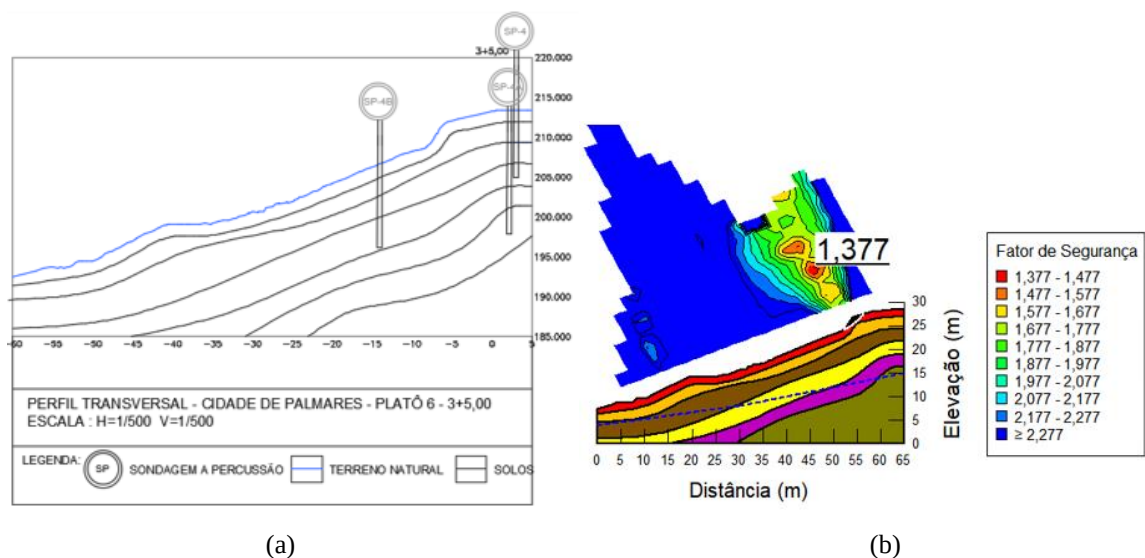
Figura 28 – Platô 3 (Erosão 2): (a) Perfil da seção transversal 2+10,00 com locação da sondagem; b) Resultado da análise de estabilidade.



Fonte: O autor (2024).

Nas Figuras 29a e 29b e representado o perfil da seção transversal 3+5,00 com a locação das sondagens e os resultados da análise de estabilidade do talude Platô 6, respectivamente. Obteve-se o fator de segurança de 1,377, sendo notado que a ruptura se localiza no topo do talude e na camada constituída de silte argilo-arenoso mole na camada de argila siltosa mole e N_{SPT} de 4.

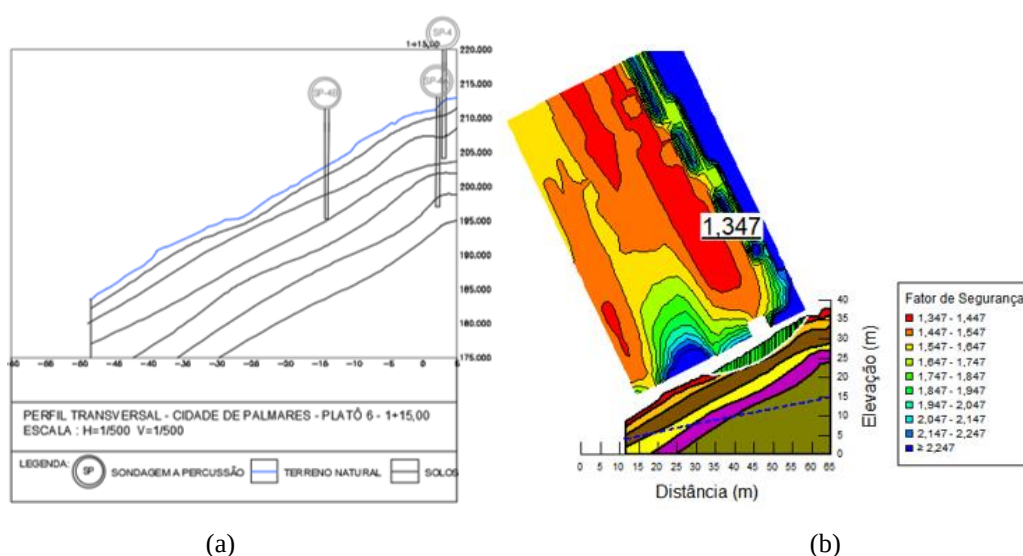
Figura 29 – Platô 6: (a) Perfil da seção transversal 3+5,00 com locação da sondagem; (b) Resultado da análise de estabilidade.



Fonte: O autor (2024).

Nas Figuras 30a e 30b é representado o perfil da seção transversal 1+15,00 com a locação das sondagens e os resultados da análise de estabilidade do talude Platô 6, respectivamente. Obteve-se o fator de segurança de 1,347. No perfil 1+0,00, na terceira camada também constituída de silte argilo-arenoso mole na camada de argila siltosa mole e N_{SPT} de 4. O perfil considerado para as 2 seções analisadas possuem camadas de baixa capacidade de carga, com N_{SPT} variando de 4 a 9, com a última camada de N_{SPT} igual a 16.

Figura 30 – Platô 6: (a) Perfil da seção transversal 1+15,00 com locação da sondagem; (b) Resultado da análise de estabilidade.

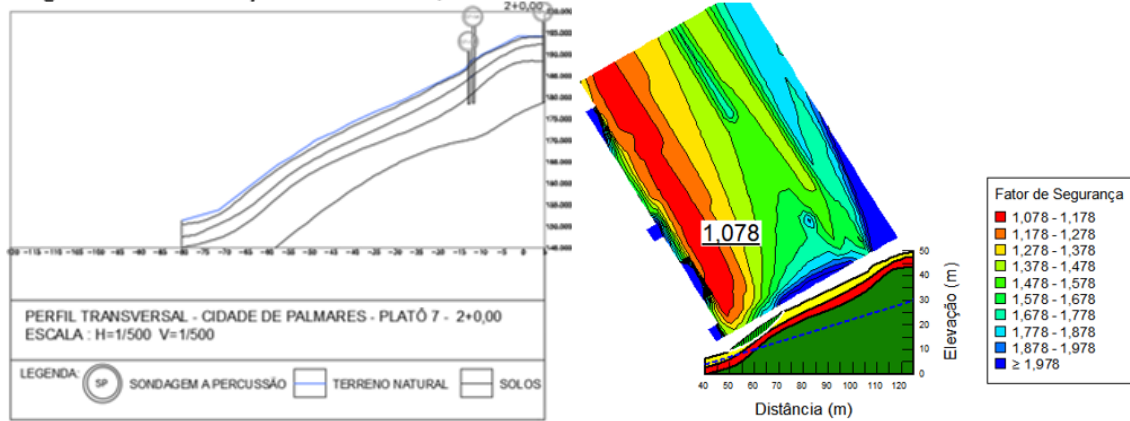


Fonte: O autor (2024).

Com o levantamento topográfico do Talude Platô 7, destacou-se as seções transversais 2+0,00, 4+5,00, 5+20,00, 7+20,00 e 10+0,00, sendo consideradas na análise de estabilidade por se tratar de perfis mais íngremes e com erosões muito visíveis. Nas Figuras 31a, 31b, 31c, 31d, 31e e 31f são representados os perfis das seções transversais 2+00, 4+5,00 e 5+20,0 com a locação das sondagens e os resultados da análise de estabilidade do talude Platô 7, respectivamente. Obteve-se o fator de segurança de 1,078 (perfil 2+0,00), 1,274 (perfil 4+5,00), 1,336 (perfil 5+20,00).

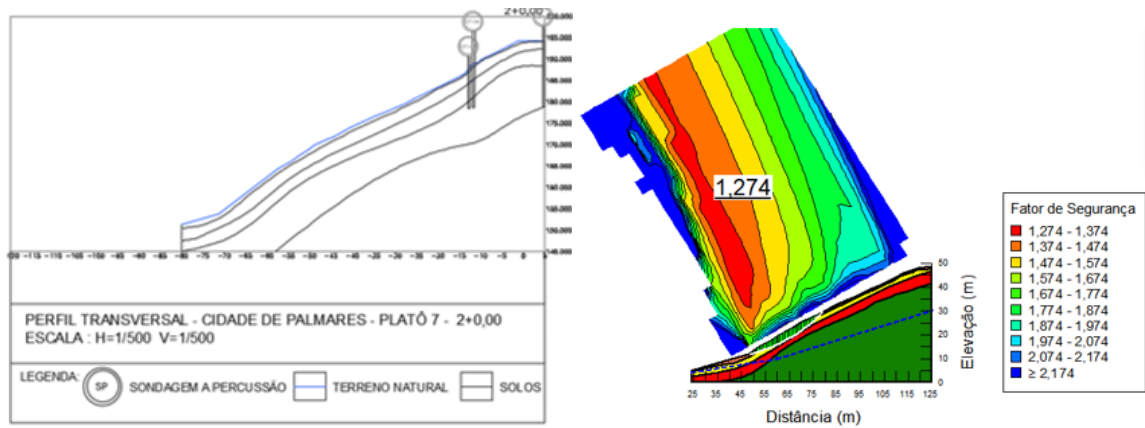
Nos perfis 2+00, 4+5,00 e 5+20,0 foi notado que a ruptura se localiza nas duas primeiras camadas constituída de argila silto-arenoso mole e N_{SPT} entre 3 e 4. O valor do fator de segurança abaixo situa-se muito próximo a 1,0, já com ocorrência de rupturas.

Figura 31 – (a) Perfil da seção transversal 2+0,00 – Platô 7; (b) Resultado da análise de estabilidade da seção transversal 2+0,00; (c) Perfil da seção transversal 4+5,00 – Platô 7; (d) Resultado da análise de estabilidade da seção transversal 4+5,00; (e) Perfil da seção transversal 5+20,00 – Platô 7; (f) Resultado da análise de estabilidade da seção transversal 5+20,00.



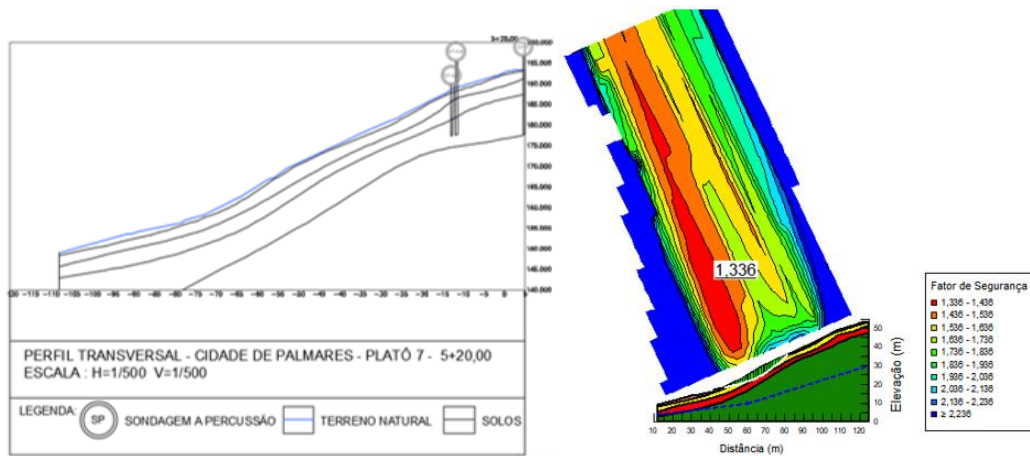
(a)

(b)



(c)

(d)



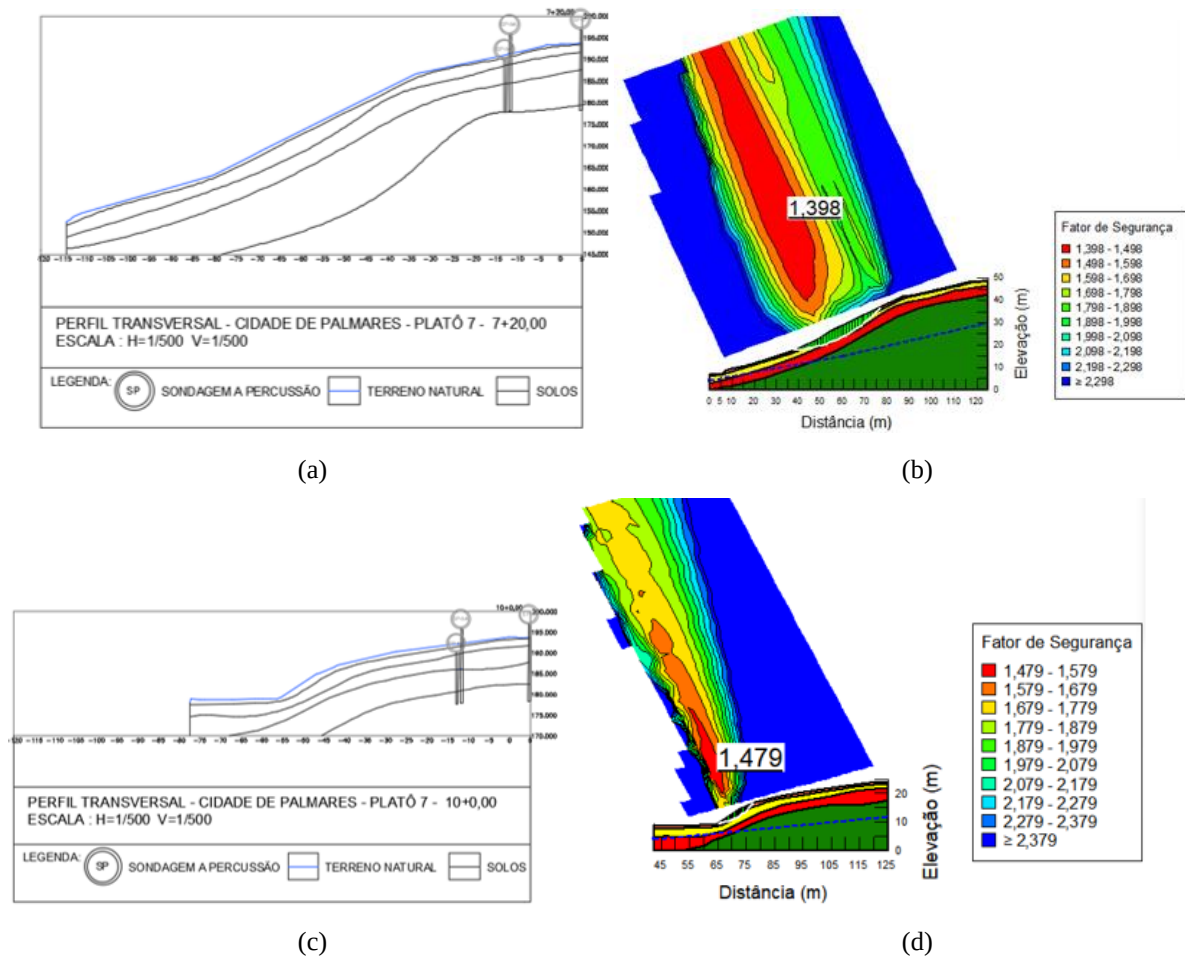
(e)

(f)

Fonte: O autor (2024).

Nas Figuras 32a, 32b, 32c, 32d, são representados os perfis das seções transversais 7+20,00 e 10+0,00 com a localização das sondagens e os resultados da análise de estabilidade do talude Platô 7, respectivamente. Obteve-se o fator de segurança de 1,398 (perfil 7+20,00) e 1,479 (perfil 10+0,00). Nos perfis 5+20,00, 7+20,00 e 10+00,0, a superfície de ruptura atinge a terceira camada constituída de argila arenosa mole a média e N_{SPT} de 7.

Figura 32 – (a) Perfil da seção transversal 7+20,00 – Platô 7; (b) Resultado da análise de estabilidade da seção transversal 7+20,00; (c) Perfil da seção transversal 10+0,00 – Platô 7; (d) Resultado da análise de estabilidade da seção transversal 10+0,00.



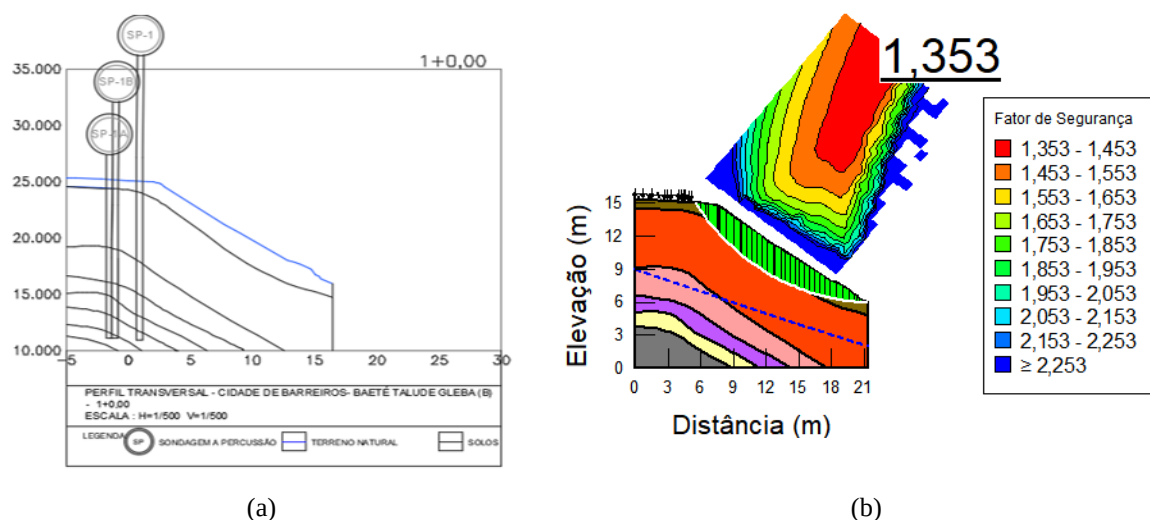
Fonte: O autor (2024).

Como todos os valores dos fatores de segurança dos taludes estão abaixo 1,5, é importante considerar o risco de ruptura geral iminente, podendo ser deflagrada por exemplo, com a saturação do solo causada pelo solo, aumento das erosões e construções realizadas próxima da área acrescentando cargas ao talude.

4.1.2 Município de Barreiros

Com o levantamento topográfico do Talude da Gleba, destacou-se a seção transversal 1+0,00, sendo considerada a análise de estabilidade por se tratar de um perfil mais íngreme e com erosão muito visível. Nas Figuras 33a e 33b, é apresentado o perfil da seção transversal 1+0,00 com a locação das sondagens e o resultado da análise de estabilidade, respectivamente.

Figura 33 – Talude da Gleba B: (a) Perfil da seção transversal 1+0,00; (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 0+5,00.



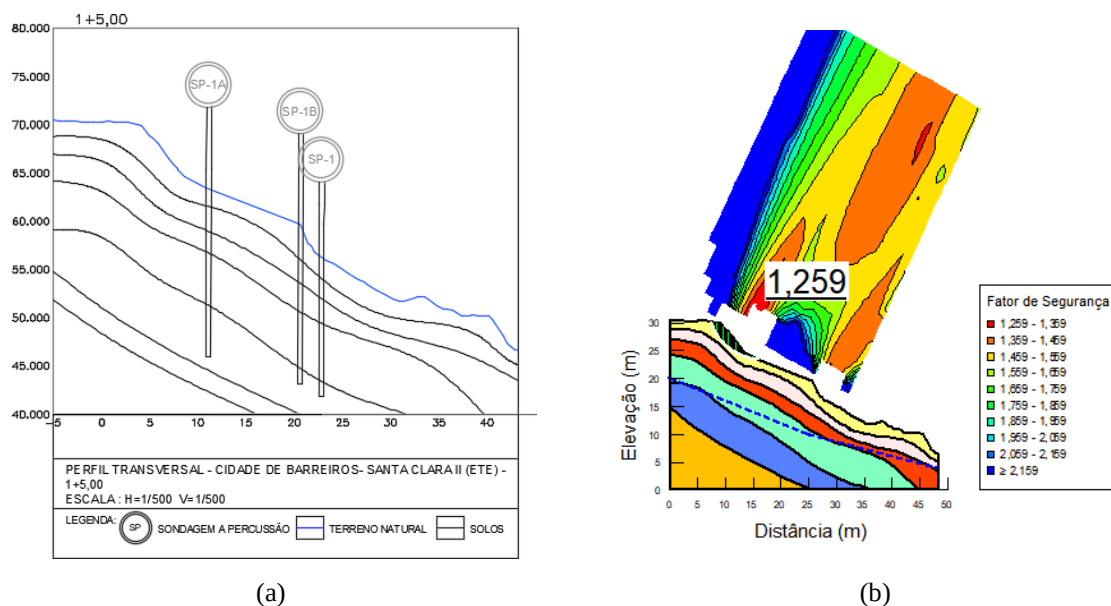
Fonte: O autor (2024).

Obteve-se o fator de segurança de 1,353 (estaca 0+5,00) para este talude. Importante destacar que foi colocado na análise uma sobrecarga de 18 kN/m^2 , que representa uma quadra poliesportiva, que está cortando a seção escolhida.

Observa-se que a superfície de ruptura está localizada na camada de argila silto-arenosa muito mole e N_{SPT} de 3. Com o valor do fator de segurança abaixo de 1,5 considera-se o talude em risco de ruptura geral iminente, podendo ser deflagrada por exemplo, com a saturação do solo causada pela chuva, aumento das erosões e construções realizadas próxima da área, acrescentando cargas ao talude.

Com o levantamento topográfico do talude Santa Clara II - ETE, destacou-se a seção transversal 1+5,00. A seção transversal 1+1,00 foi considerada a análise de estabilidade por se tratar de um perfil mais íngreme e com erosão muito visível. Nas Figuras 34a e 34b é apresentado o perfil da seção transversal 1+5,00 com a locação das sondagens, e os resultados da análise de estabilidade, respectivamente.

Figura 34 – Santa Clara II (ETE): (a) Perfil da seção transversal 1+5,00; (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 1+5,00.

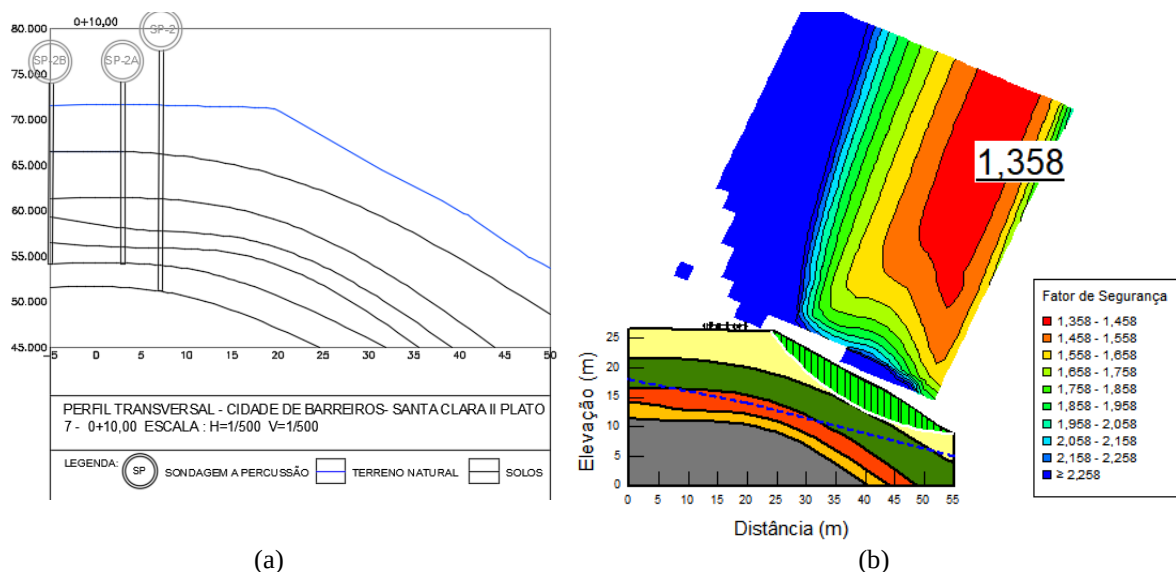


Fonte: O autor (2024).

O valor do fator de segurança foi de 1,259, caracterizando uma ruptura no topo do talude, na camada de argila silto-arenosa mole e N_{SPT} igual a 4. Com o valor do fator de segurança abaixo de 1,5 e próximo a 1,00, considera-se o talude em risco de ruptura geral iminente, podendo ser deflagada por exemplo, com a saturação do solo causada pela chuva, aumento das erosões e por construções realizadas próxima da área, acrescentando cargas ao talude.

Após o levantamento topográfico e a análise das características do solo do talude Santa Clara II – Platô 7, a seção transversal 0+10,00 foi considerada a análise de estabilidade por se tratar de um perfil mais íngreme e com erosão muito visível. Nas Figuras 35a e 35b foi apresentado o perfil da seção transversal 1+5,00 com a locação das sondagens, e os resultado da análise de estabilidade, respectivamente.

Figura 35 – Santa Clara II (Platô 7): (a) Perfil da seção transversal 0+10,00; (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 0+10,00.

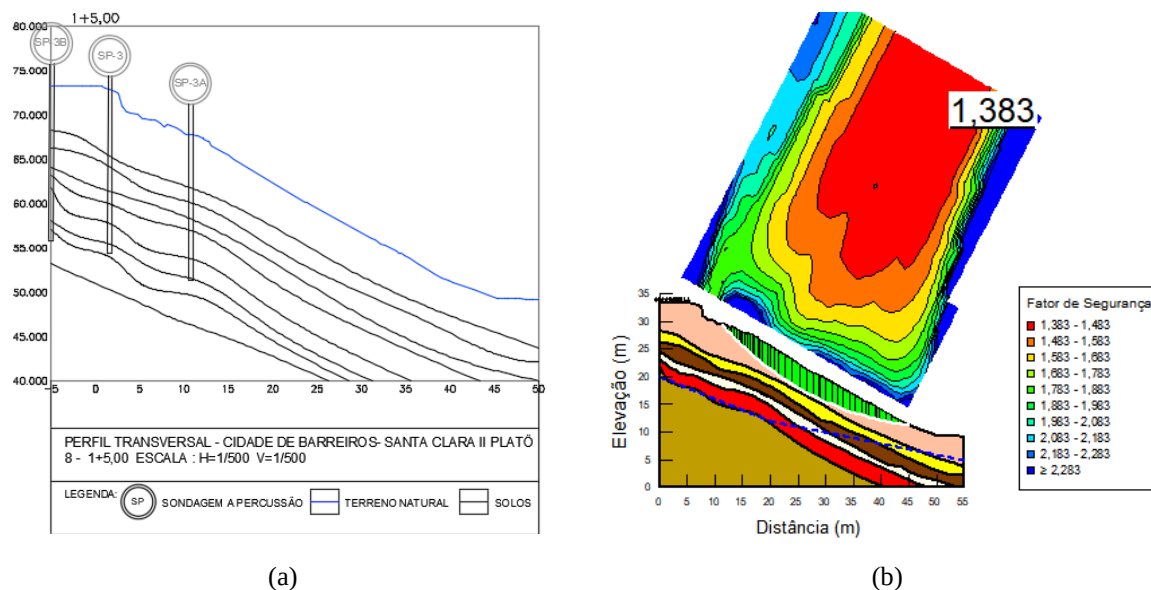


Fonte: O autor (2024).

Obteve-se o fator de segurança de 1,358 (perfil 0+10,00) para o talude. Foi colocado na análise uma sobrecarga de 18kN/m^2 que representa a casa, que está cortando a seção escolhida. A ruptura localiza-se na camada de argila siltosa média e N_{SPT} de 5. Com o valor do fator de segurança abaixo de 1,5, considera-se o talude em risco de ruptura geral iminente, podendo ser deflagrada por exemplo, com a saturação do solo causada pela chuva, aumento das erosões e construções realizadas próxima da área, acrescentando desta forma, cargas ao talude.

Após o levantamento topográfico e a análise das características do solo do talude Santa Clara II – Platô 8, a seção transversal 1+5,00 foi considerada a análise de estabilidade por se tratar de um perfil mais íngreme e com erosão muito visível. Nas Figuras 36a e 36b foi representado o perfil da seção transversal 1+5,00 com a locação das sondagens, e os resultados da análise de estabilidade, respectivamente.

Figura 36 – Santa Clara II (Platô 8): (a) Perfil da seção transversal 1+5,00; (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 1+5,00.

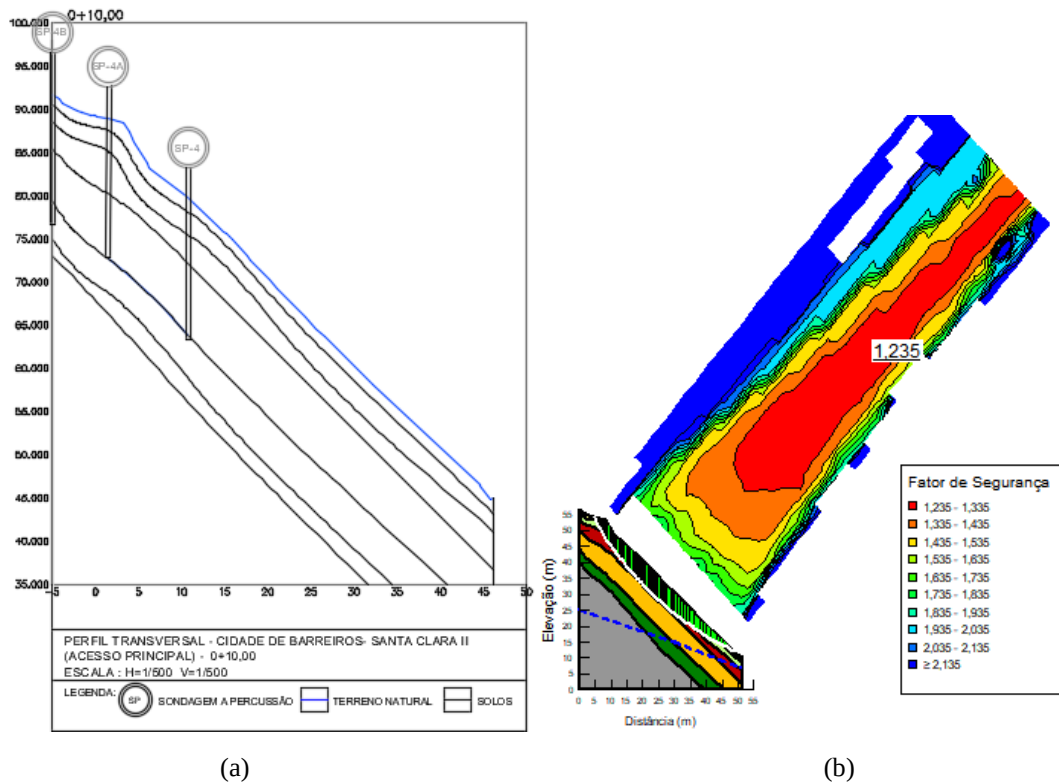


Fonte: O autor (2024).

Obteve-se o fator de segurança de 1,383 (perfil 1+5,00). Foi colocado na análise uma sobrecarga de 18kN/m^2 que representa a casa, que está cortando o perfil. Observa-se que a ruptura se localiza na primeira camada do perfil, constituída de silte argilo-arenoso mole na camada de argila siltosa mole e N_{SPT} de 4. Com o valor do fator de segurança abaixo de 1,5, considera-se o talude em risco de ruptura geral iminente, podendo ser deflagada por exemplo, com a saturação do solo causada pela chuva, aumento das erosões e construções realizadas próxima da área acrescentando cargas ao talude.

Com o levantamento topográfico do talude Santa Clara II- Acesso Principal, destacou-se as seções transversais 0+10,00 e 1+0,00. As seções transversais 0+10,00 e 1+0,00 foram consideradas na análise de estabilidade por se tratar de perfis mais íngreme e com erosão muito visível. As Figuras 37a e 37b representam o perfil da seção transversais 0+10,00, locação das sondagens e o resultado da análise de estabilidade, respectivamente.

Figura 37 – (a) Perfil da seção transversal 0+10,00 – Santa Clara II (Acesso Principal); (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 0+10,00.

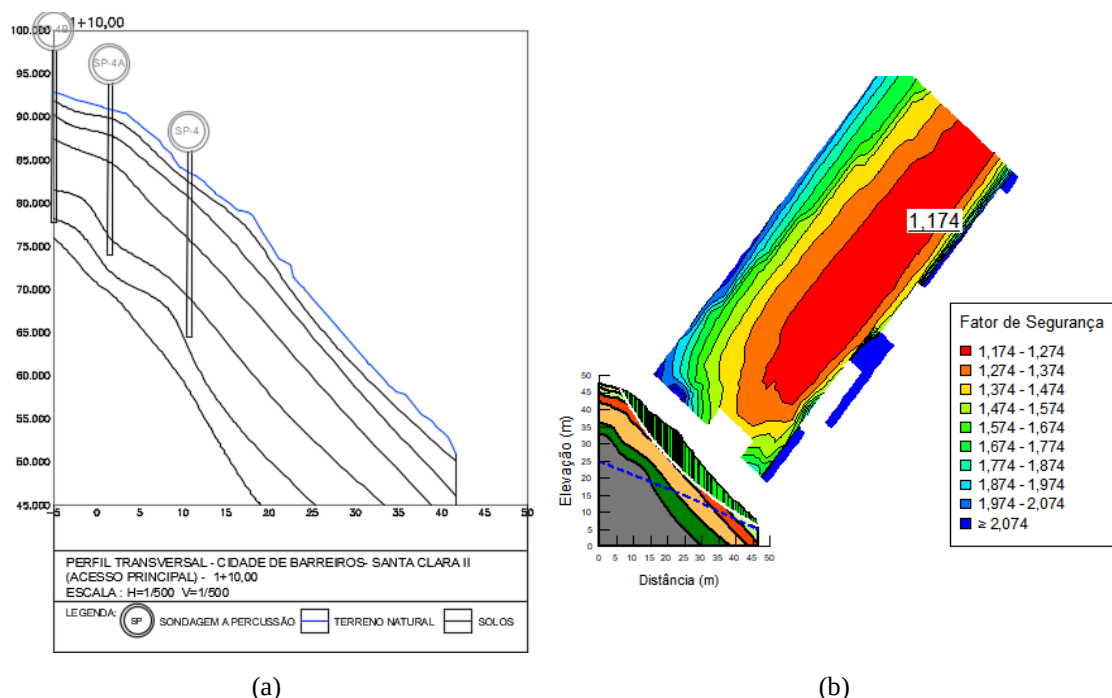


Fonte: O autor (2024).

Obteve-se o fator de segurança de 1,235 (perfil 0+10,00), sendo colocado na análise uma sobrecarga de 18kN/m^2 que representa a casa, que está cortando o perfil. Observou-se nesse perfil que a ruptura se localiza no topo do talude, na camada constituída de silte argilo-arenoso mole na camada de argila siltosa mole e N_{SPT} de 4.

As Figuras 38a e 38b representam o perfil da seção transversais 1+10,00, locação das sondagens e o resultado da análise de estabilidade, respectivamente.

Figura 38 – (a) Perfil da seção transversal 1+10,00 – Santa Clara II (Acesso Principal); (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 1+10,00.



Fonte: O autor (2024).

Obteve-se o fator de segurança de 1,174 (perfil 1+10,00). Nesse perfil, foi notado que a ruptura está localizada na terceira camada também constituída de silte argilo-arenoso mole na camada de argila siltosa mole e N_{SPT} de 4. O perfil considerado para as 2 seções analisadas possuem camadas de baixa capacidade de carga, com N_{SPT} variando de 4 a 7, até o limite da sondagem.

Com o valor do fator de segurança abaixo de 1,5 e próximo a 1,0, considera-se o talude em risco de ruptura geral iminente, podendo ser deflagrada por exemplo, com a saturação do solo causada pela chuva, aumento das erosões e construções realizadas próxima da área acrescentando cargas ao talude.

4.1.3 Município de Catende

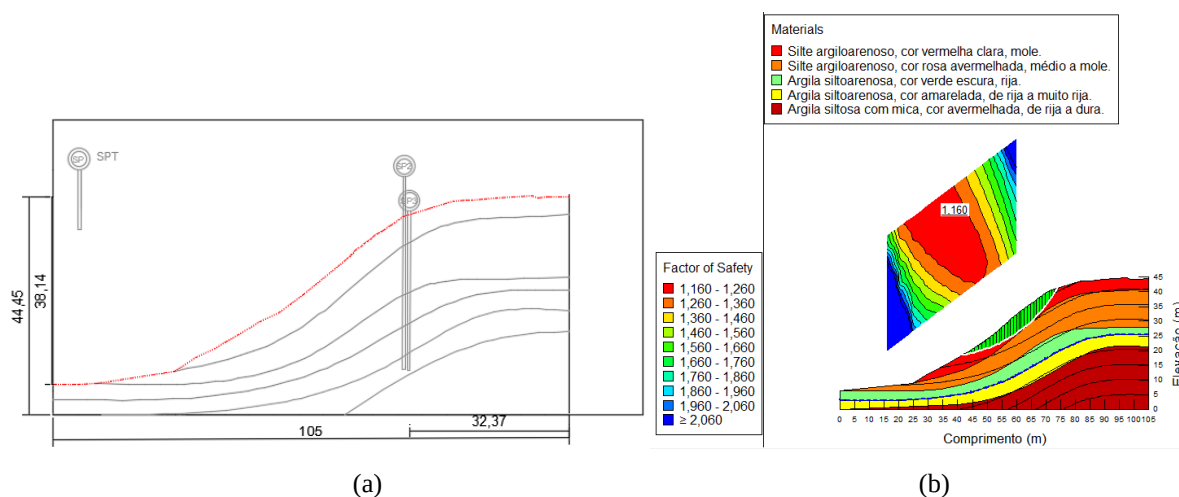
As obras para construção do conjunto habitacional no Município de Catende foram localizadas em áreas de relevo movimentado e encostas com fortes inclinações, os quais exigiram grande movimentação de solo (terraplanagem) e supressão da vegetação de cobertura do solo para formação do platô destinado a implantação das residências e serviços de infraestrutura Conjunto Habitacional. Essas atividades associadas à presença na região, de áreas propensas à erosão, principalmente nessas áreas com geomorfologia fortemente movimentada

e encostas íngremes, ocasionaram impactos ambientais, como a alteração de corpos hídricos, solos e vegetação.

A área de estudo situa-se em terrenos com cobertura de espesso manto de intemperismo de solos residuais, de forma que os movimentos de terra para constituição do platô ocorreram em solos de 1ª categoria com formação de taludes de cortes de um lado e taludes de aterros do outro. A constituição pedológica dos solos dessa área: solos finos, silte argilosos com pouca fração arenosa, de consistência baixa a mediana e baixa capacidade de carga, requerem cuidados quando da movimentação em obras de engenharia de terraplenagem, mais especialmente na construção de taludes de aterros e cortes.

Nas Figuras 39a e 39b é apresentado o perfil da seção transversal 3+5,00 com a localização dos ensaios de SPT, e o resultado da análise de estabilidade, respectivamente. Obteve-se o fator de segurança de 1,16 (estaca 3+5,00) para o perfil caracterizando erosão. Com o valor do fator de segurança abaixo de 1,5 e próximo a 1,0, considera-se o talude em risco de ruptura geral iminente, podendo ser deflagada por exemplo, com a saturação do solo causada pela chuva, aumento das erosões e construções realizadas próxima da área acrescentando cargas ao talude.

Figura 39 – Talude Santa Clara II; (a) Erosão no talude Cortes, Catende; (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 1+5,00.



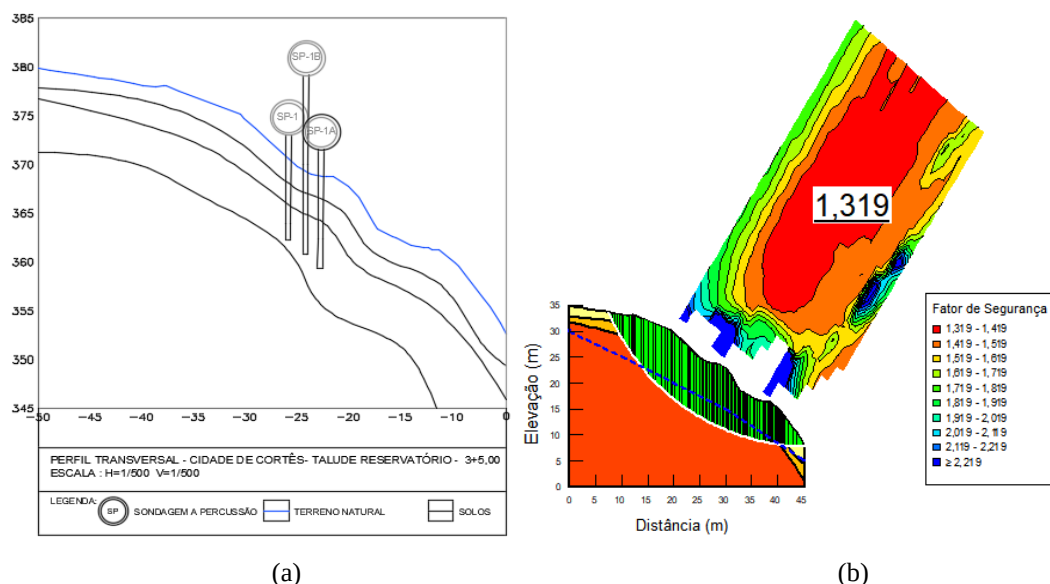
Fonte: O autor (2024).

4.1.4 Município de Cortês

Com o levantamento topográfico do talude do Reservatório, destacou-se a seção transversal 3+5,00. A seção transversal 3+5,00 foi considerada a análise de estabilidade por se tratar de um perfil mais íngreme e com erosão muito visível. Nas Figuras 40a e 40b apresenta-

se o perfil da seção transversal 3+5,00 com a localização das sondagens e resultados de análise de estabilidade, respectivamente.

Figura 40 – Talude do Reservatório: (a) Planta baixa da seção transversal 3+5,00; (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 3+5,00.



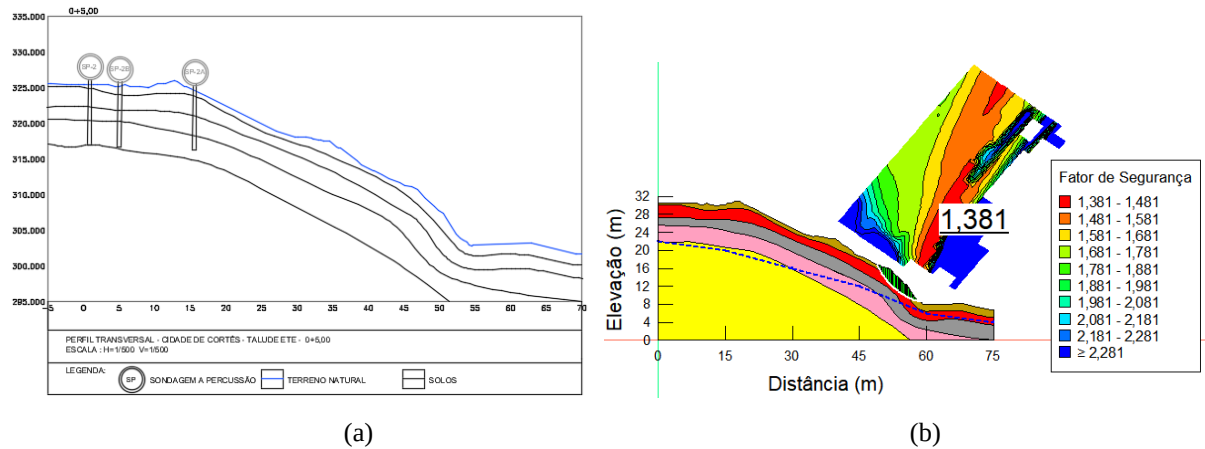
Fonte: O autor (2024).

Obteve-se o fator de segurança de 1,319 (perfil 3+5,00) para o talude do Reservatório, com a superfície de ruptura localizada na camada de silte argilo-arenoso e N_{SPT} de 15.

Com o valor do fator de segurança abaixo de 1,5, considera-se risco de ruptura geral iminente, podendo ser deflagada por exemplo, com a saturação do solo causada pelo solo, aumento das erosões e construções realizadas próxima da área acrescentando cargas ao talude. Recomenda-se a desocupação da área e a realização de obras estruturadoras que possibilitem condições de estabilidade, como soluções de retaludamento, de proteção superficial, de drenagem, obras de estrutura de contenção e combinações dessas alternativas.

Com o levantamento topográfico do talude da ETE, destacou-se a seção transversal 0+5,00. A seção transversal 0+5,00 foi considerada a análise de estabilidade por se tratar de um perfil mais íngreme e com erosão muito visível. Nas Figuras 41a e 41b é apresentado o perfil da seção transversal 0+5,00 com a localização das sondagens, e o resultado das análises de estabilidade, respectivamente.

Figura 41 – Talude da ETE: (a) Coordenadas e profundidades das sondagens SPT; (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 0+5,00.



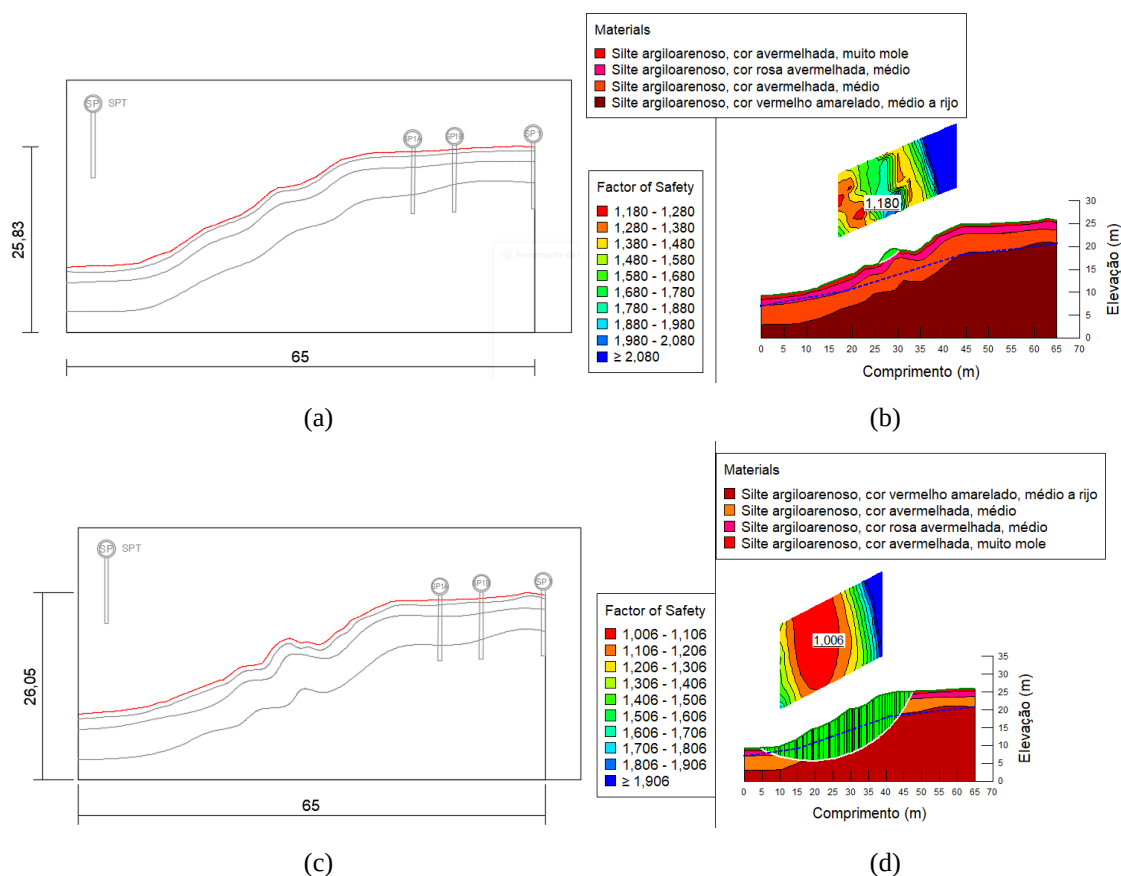
Fonte: O autor (2024).

Para o perfil 0+5,00 do talude da ETE, o valor do fator de segurança foi de 1,381. Com o valor do fator de segurança abaixo de 1,5, considera-se risco de ruptura geral iminente, podendo ser deflagrada por exemplo, com a saturação do solo causada pelo solo, aumento das erosões e construções realizadas próxima da área acrescentando cargas ao talude.

4.1.5 Município de Xexéu

Com o levantamento topográfico do talude Campos Frios foram considerados para análise de estabilidade os perfis transversais 1+5,00 e 1+10,00. A estaca 1+5,00 foi selecionada por apresentar o perfil mais íngreme, e estaca 1+10,00 foi selecionada por apresentar o maior talude do local, de aproximadamente 17m, e muito visível o efeito da erosão. As Figuras 42a, 42b, 42c e 42d apresentam os perfis transversais do talude Campos Frios e as análises de estabilidade, respectivamente. Dois perfis diferentes foram considerados: um perfil com talude caracterizando erosão e outro perfil com talude não caracterizando erosão.

Figura 42 – Talude Campos Frios: (a) Perfil transversal 1+5,00; (b) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 1+5,00; (c) Perfil transversal 1+10,00; (d) Resultado da análise de estabilidade: perfil transversal 1+10,00.



Fonte: O autor (2024).

Obteve-se o fator de segurança de 1,18 (estaca 1+10,00) para o talude erodido e fator de segurança de 1,0 (estaca 1+5,00) para o perfil sem erosão. Observa-se que as rupturas se localizam na camada superior, que consiste em argila com detritos vegetais, entretanto, durante todas as etapas de escavação, incluindo a etapa final, apresenta FS de segurança dentro do esperado (acima de 1,5).

4.2 ANÁLISE PROBABILÍSTICA

Por meio da realização de análises probabilísticas das 24 seções estudadas, foram obtidos resultados detalhados relacionados ao fator de segurança mínimo, médio e máximo, bem como ao índice de confiabilidade, probabilidade de ruptura e desvio padrão. Esses dados permitem uma avaliação mais precisa da estabilidade das seções analisadas, fornecendo subsídios para a tomada de decisões e o aprimoramento das condições de segurança. Os resultados dessas análises estão apresentados na Tabela 8.

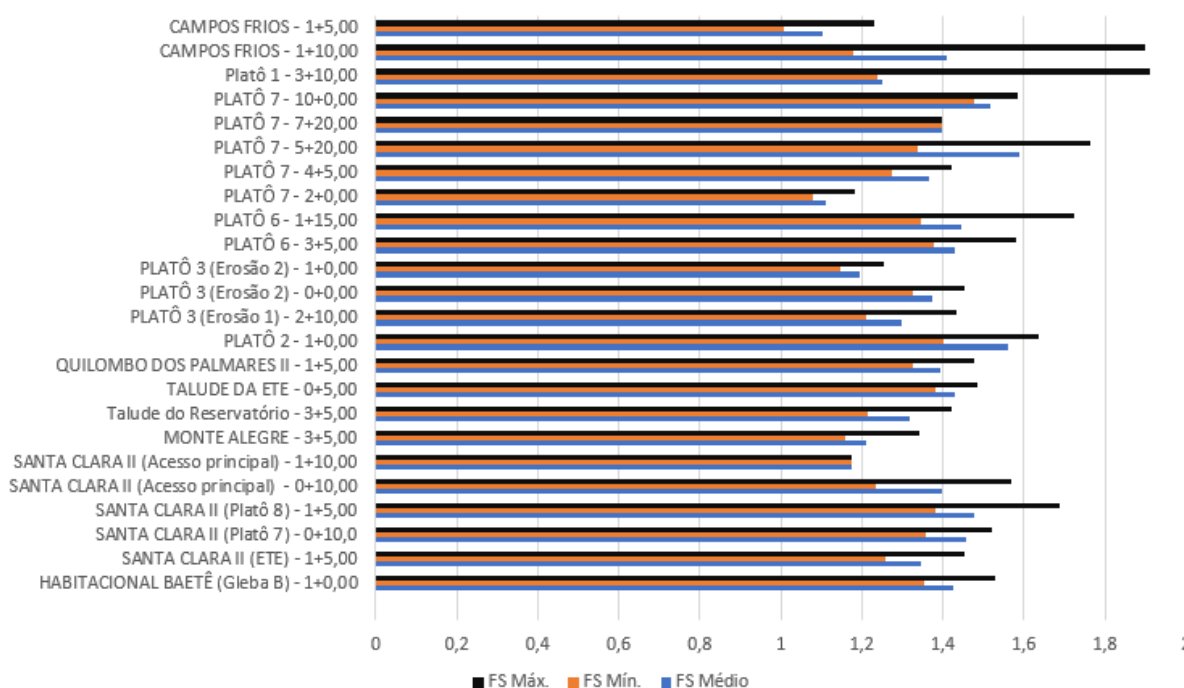
Tabela 8 – Análise Probabilística

ANÁLISE DE PROBABILIDADE										
Municípios	Talude	Nº de Seções	Seções	FS Médio	FS Mín.	FS Máx.	Índice de Confiabilidade	Probabilidade de Ruptura	Desvio Padrão	Número de Simulações
Barreiros (6 seções)	HABITACIONAL BAETÊ (Gleba B)	1	1+0,00	1,427	1,353	1,530	7,935	0	0	2.000
	SANTA CLARA II (ETE)	1	1+5,00	1,346	1,259	1,452	9,684	0	0	2.000
	SANTA CLARA II (Platô 7)	1	0+10,0	1,459	1,358	1,522	4,829	0	0,0382	2.000
	SANTA CLARA II (Platô 8)	1	1+5,00	1,477	1,383	1,689	7,539	0	0	2.000
	SANTA CLARA II (Acesso principal)	2	0+10,00	1,396	1,235	1,570	6,884	0	0	2.000
			1+10,00	1,174	1,174	1,174	-	0	0	2.000
Catende (1 seções)	MONTE ALEGRE	1	3+5,00	1,212	1,160	1,343	8,787	0	0	2.000
Cortes (2 seções)	TALUDE DO RESERVATÓRIO	1	3+5,00	1,319	1,215	1,422	8,995	0	0,0355	2.000
	TALUDE DA ETE	1	0+5,00	1,431	1,381	1,487	5,897	0	0	2.000
Palmares (13 seções)	QUILOMBO DOS PALMARES II	1	1+5,00	1,394	1,328	1,477	10,521	0	0	2.000
	PLATÔ 2	1	1+0,00	1,559	1,403	1,638	6,491	0	0	2.000
	PLATÔ 3 (Erosão 1)	1	2+10,00	1,298	1,210	1,435	7,254	0	0	2.000
	PLATÔ 3 (Erosão 2)	2	0+0,00	1,374	1,328	1,453	15,236	0	0,0247	2.000
			1+0,00	1,195	1,148	1,255	8,286	0	0	2.000
	PLATÔ 6	2	3+5,00	1,429	1,377	1,579	5,491	0	0	2.000
			1+15,00	1,444	1,347	1,725	14,776	0	0	2.000
	PLATÔ 7	5	2+0,00	1,113	1,078	1,184	9,681	0	0	2.000
			4+5,00	1,367	1,274	1,422	9,128	0	0,0516	2.000
			5+20,00	1,587	1,336	1,763	6,372	0	0	2.000
			7+20,00	1,398	1,398	1,398	-	0	0	2.000
			10+0,00	1,519	1,479	1,584	4,956	0	0	2.000
			Platô 1	1	3+10,00	1,251	1,239	1,910	5,056	0
Xexéu (2 seções)	CAMPOS FRIOS	2	1+10,00	1,411	1,180	1,898	8,581	0	0	2.000
			1+5,00	1,102	1,006	1,229	12,548	0	0	2.000
TOTAL		24								

Fonte: O autor (2025).

Em todas as seções analisadas, os resultados obtidos indicaram uma probabilidade de ruptura igual a zero. Isso significa que, nas 2000 simulações realizadas por meio do Método de Monte Carlo, não foi observada nenhuma ocorrência em que o Fator de Segurança (FS) fosse inferior a 1. Esse resultado evidencia uma estabilidade consistente das seções avaliadas, mesmo diante das variações introduzidas pelas incertezas nos parâmetros de entrada. No gráfico 1 é ilustrado os fatores de segurança mínimo, médio e máximo obtidos mediante análises probabilísticas de todas as seções estudadas.

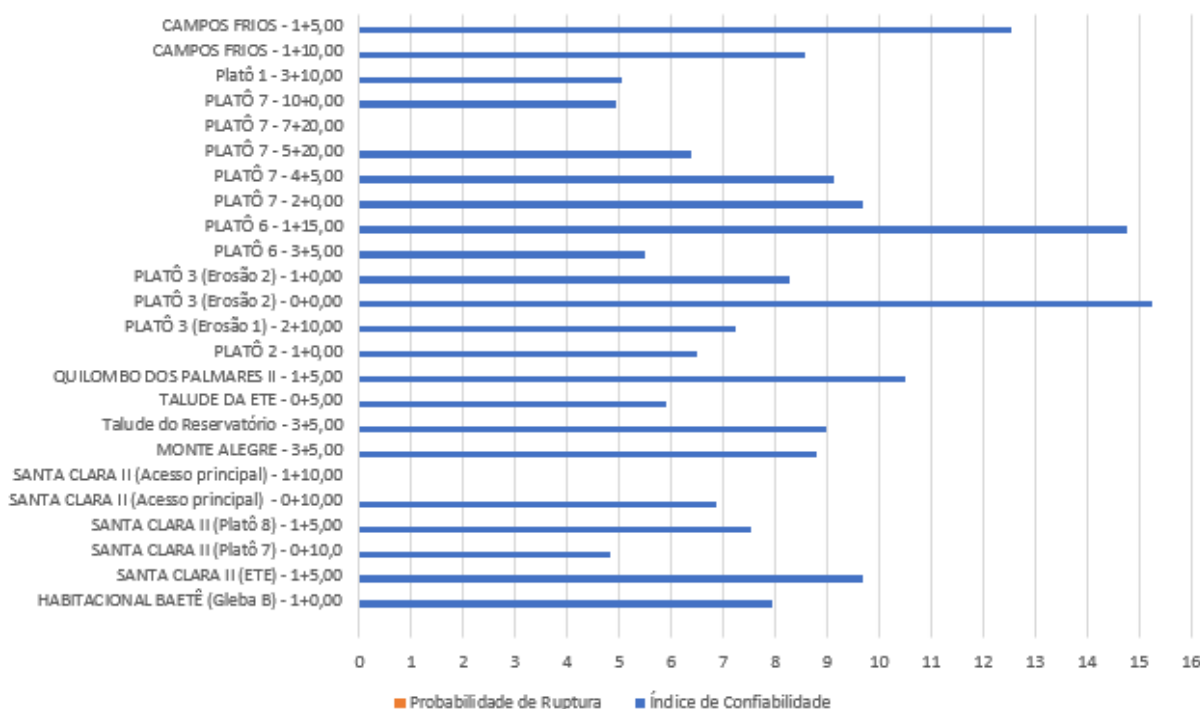
Gráfico 1 – Fatores de segurança (mínimo, médio e máximo) de todas as seções estudadas.



Fonte: O autor (2025).

O talude que apresentou o menor índice de confiabilidade foi o Talude Santa Clara II (Platô 7), especificamente na seção 0+10,0, onde foi obtido um valor de 4,829. Apesar de ser o menor valor entre os analisados, esse índice ainda se encontra dentro dos níveis de desempenho considerados adequados segundo os critérios estabelecidos pela United States Army Corps of Engineers (USACE), conforme ilustrado no Gráfico 2. Esse resultado indica que, mesmo em sua condição mais crítica, o talude mantém uma margem de segurança satisfatória, não representando risco iminente de instabilidade estrutural.

Gráfico 2 – Valores de índice de confiabilidade adquiridos nas análises probabilísticas.



Fonte: O autor (2025).

4.3 PROPOSTAS DE SOLUÇÕES PARA RECUPERAÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DOS TALUDES

Com a realização de uma análise geral dos fatores de segurança obtidos para as 24 seções analisadas é visto que todos os valores ficaram abaixo de 1,5, com alguns deles próximos de 1,0. Essa situação indica uma margem de segurança reduzida e sugere uma vulnerabilidade estrutural considerável, o que aumenta o risco de uma possível ruptura. Esse cenário evidencia a necessidade de medidas corretivas imediatas, como reavaliações, reforços estruturais ou intervenções preventivas, a fim de garantir a estabilidade e segurança das estruturas avaliadas.

O talude conhecido como Campos Frios, situado no município de Xexéu, foi objeto de análise técnica, apresentando resultados preocupantes no perfil da seção transversal 1+5,00. Nesse ponto específico, foi identificado um coeficiente de segurança igual a 1,0, indicando um estado crítico de estabilidade. Esse valor representa o mais baixo dentre todos os perfis avaliados, evidenciando um risco iminente de deslizamento e possíveis rupturas do solo. Diante dessa situação, é imprescindível a implementação imediata de um projeto de contenção, com o objetivo de mitigar os riscos à segurança da infraestrutura, ao meio ambiente e à população local. A ação urgente se justifica pela necessidade de prevenir acidentes graves e minimizar os danos associados a possíveis instabilidades no talude.

Na Tabela 9 são apresentados os tipos de contenções recomendadas para cada intervalo de fator de segurança, conforme os valores obtidos nas análises de estabilidade realizadas em todas as seções avaliadas. Essa classificação possibilita relacionar os resultados adquiridos nas análises com as medidas de intervenções mais adequadas para cada situação encontrada nos habitacionais.

Tabela 9 – Propostas de contenções por intervalo de fator de segurança.

PROPOSTA DE CONTEÇÕES		
Intervalo de Fatores de Segurança	Tipos de Contensões	Quantidade de Seções Dentro do Intervalo
1,5 - 1,4	Retaludamento + Drenagens superficiais e/ou internas + Cobertura vegetal	2
1,4 - 1,3	Retaludamento + Drenagens superficiais e/ou internas + Cobertura vegetal	10
1,3 - 1,2	Muro de arrimos + Drenagens superficiais e/ou internas + Cobertura vegetal	6
1,2 - 1,1	Muro de arrimos + Retaludamento + Drenagens superficiais e/ou internas	4
1,1 - 1,0	Muro de arrimos + Retaludamento + Drenagens superficiais e/ou internas + Cobertura vegetal	2

Fonte: O autor (2025).

Os resultados apresentados na Tabela 9 indicam que as medidas de contenção propostas variam conforme o intervalo de fator de segurança das encostas, evidenciando a necessidade de soluções mais robustas à medida que o fator de segurança diminui. Para os trechos com fator de segurança entre 1,5 e 1,3, predominam intervenções menos estruturais, como retaludamento em conjunto com drenagens superficiais e/ou internas e cobertura vegetal, abrangendo um total de 12 seções, sendo soluções de baixo custo e que contribui na diminuição da força que favorece deslizamento, aumenta a força que se opõe ao movimento e reduz a probabilidade do surgimento de erosões.

Para o intervalo de fatores de segurança entre 1,3 e 1,1, nos quais a técnica de retaludamento em conjunto com medidas mais simples não é suficiente para garantir a estabilidade necessária, propõe-se a adoção de medidas complementares. São adotadas soluções estruturais, com destaque para os muros de arrimo, que são combinados com drenagem e, em alguns casos, também com retaludamento, contemplando 10 seções.

No intervalo mais crítico, entre 1,1 e 1,0, as medidas incluem a combinação de muros de arrimo, retaludamento, drenagens e cobertura vegetal. Essas soluções têm como objetivo principal assegurar a estabilidade do talude, mitigando o risco de deslizamentos e promovendo a segurança da área. A instalação dos muros de arrimo contribuirá para o reforço estrutural,

enquanto os sistemas de drenagem serão responsáveis por controlar a infiltração e o acúmulo de água, fatores que podem comprometer significativamente a estabilidade do terreno, proporcionando o surgimento de erosões. Dessa forma, busca-se adotar uma abordagem integrada, combinando técnicas de contenção e drenagem para garantir a segurança e a durabilidade das estruturas.

4.4 MAPEAMENTO DAS ÁREAS COM RISCO DE DESLIZAMENTO (QGIS)

Levando em consideração os critérios para determinação dos graus de risco a escorregamentos que ocorrem em taludes, foi realizado o mapeamento das áreas de risco para todos os municípios abordados nesta pesquisa, afim de identificar, avaliar e categorizar regiões suscetíveis a deslizamentos, visando a prevenção de desastres e a proteção de vidas, bens e infraestrutura.

O mapeamento de áreas de risco de deslizamento no município é uma ação essencial para reduzir os impactos de desastres naturais, considerando as características geográficas, climáticas e socioeconômicas da região.

4.4.1 Município de Palmares

Palmares, frequentemente enfrenta desafios relacionados às chuvas intensas que afetam a estabilidade de encostas e moradias em áreas vulneráveis a erosões. Na Figura 43 é possível observar as áreas de risco de deslizamento de encostas.

Figura 43 – Mapeamento das áreas com risco de deslizamento – Palmares.



Fonte: O autor (2025).

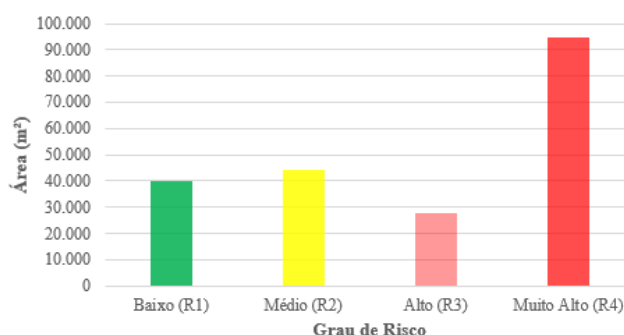
Na realização do mapeamento das áreas de risco nesse município, foram constatadas situações de encostas com grau de probabilidade (R4), com um total de 94.475m², nos locais onde surgiram problemas de erosões e em taludes que possuem residências nas suas margens. Dentre essas áreas consideradas de alto risco, destacou-se o talude platô 7, possuindo perfis íngremes, com ausência de drenagem e erosões avançadas. Outro fator que influenciou na escolha dessa área de risco, foi o baixo valor de fator de segurança adquirido através da análise de estabilidade, onde o menor teve valor igual a 1,078 (perfil 2+0,00), constatando-se que esse talude se encontra em eminência de ruptura.

Nas proximidades do talude do Platô 3 foram identificadas áreas que apresentam um grau de risco classificado como médio (R2), totalizando 44.308m², em razão de diversos fatores que comprometem a estabilidade do terreno e a segurança da população local. Entre os principais aspectos avaliados, destacam-se os valores do fator de segurança, que se encontram abaixo de 1,5, indicando condições de instabilidade potencial. Além disso, a ausência de sistemas adequados de drenagem na área contribui para o acúmulo de água, intensificando a vulnerabilidade do solo.

Outro fator agravante nas áreas consideradas com risco médio (R2) é a proximidade de residências situadas às margens da encosta, o que eleva os riscos associados à eventual ocorrência de deslizamentos. Soma-se a isso a probabilidade de chuvas intensas na região, um fenômeno que pode atuar como agravador para eventos de instabilidade no talude. Diante desse cenário, torna-se essencial adotar medidas preventivas e corretivas para minimizar os riscos e garantir a segurança da comunidade residente na área. As áreas consideradas de risco baixo (R1) e alto (R3) possuem valores respectivos a 40.038m² e 27.856m².

No gráfico 3 são apresentadas as áreas com risco de deslizamento do município de Palmares.

Gráfico 3 – Áreas com risco de deslizamento no Município de Palmares.



Fonte: O autor (2025).

Observa-se que a maior área está associada ao grau de risco Muito Alto (R4), o que representa um alerta importante, pois indica uma grande extensão territorial sob elevado potencial de perigo. Em seguida, o risco Médio (R2) e o risco Baixo (R1) possuem áreas semelhantes, em torno de 40.000 m², o que sugere que, embora presentes, representam menor ameaça. Por fim, o risco Alto (R3) apresenta a menor área. A distribuição indica uma preocupação significativa com as áreas de risco Muito Alto, que exigem ações corretivas de estabilização, considerando seu potencial impacto sobre a população.

4.4.2 Município de Barreiros

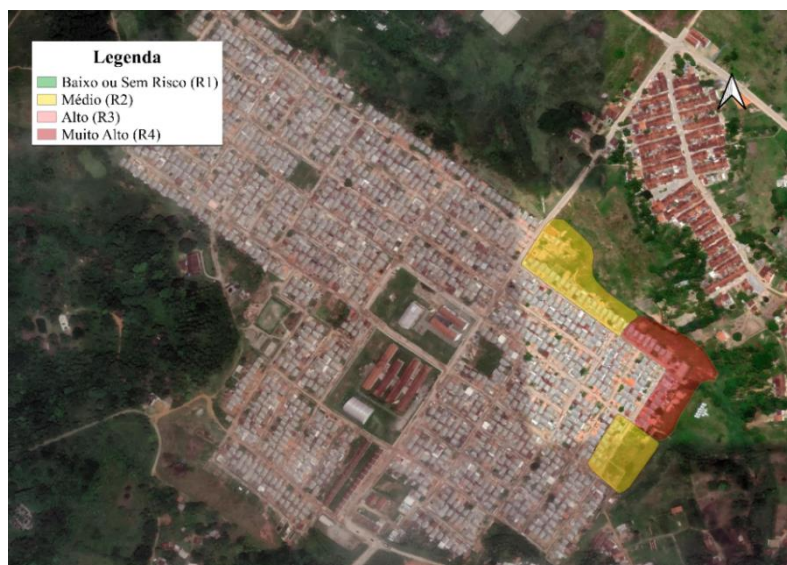
Nas Figuras 44 e 45 é possível observar a classificação de cada uma das áreas que possuem risco de deslizamento do solo.

Figura 44 – Mapeamento das áreas com risco de deslizamento (01) – Barreiros.



Fonte: O autor (2025).

Figura 45 – Mapeamento das áreas com risco de deslizamento (02) – Barreiros.

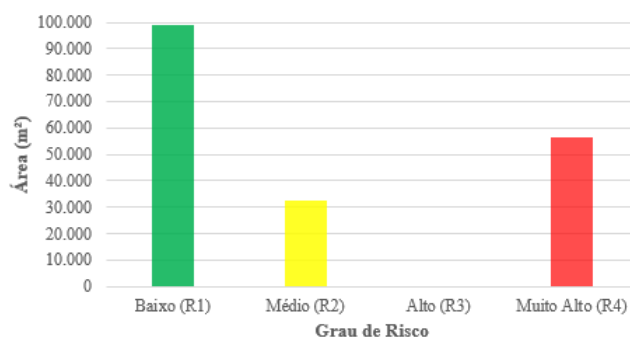


Fonte: O autor (2025).

As áreas classificadas como de alto risco (R4), possuindo 56.472m², foram identificadas em regiões próximas a locais onde foram observados processos erosivos, incluindo o Talude do Acesso Principal, o Talude do Platô 7, o Talude do Platô 8 e o Talude da ETE. Um dos principais fatores que contribuem para a redução do fator de segurança desses taludes e, consequentemente, para o aumento da probabilidade de instabilidade do solo, é a ocorrência de chuvas intensas e prolongadas na região. A ausência de sistemas eficientes de drenagem interna e externa, o escoamento superficial proveniente de residências e de vias pavimentadas em paralelepípedo direcionado para os taludes de aterro, bem como os baixos índices de fator de segurança obtidos nas análises de estabilidade, foram os principais fundamentos utilizados para classificar essas áreas como de alto risco.

As áreas em que o grau de risco foi médio (R2), tendo 32.524m², foram consideradas pelo motivo de poderem desencadear problemas de erosões decorrentes do escoamento superficial que está direcionado para os taludes, pela ausência de drenagem e por serem solos com características típicas de seus horizontes, que foram acumulados ao longo do processo de escavação para atender às necessidades de compensação e/ou nivelamento do platô. Em relação as áreas em que o classificadas com grau de risco baixo (R1), tem valor igual a 98.728m².

O Gráfico 4 apresenta as áreas do município de Barreiros que estão suscetíveis a deslizamentos.

Gráfico 4 – Áreas com risco de deslizamento no Município de Barreiros.

Fonte: O autor (2025).

Observa-se que a maior parte da área está enquadrada no grau de risco Baixo (R1), o que indica uma predominância de zonas com menor vulnerabilidade. Em contraste, a categoria de risco Alto (R3) não possui nenhuma área representada, sugerindo inexistência ou não identificação de regiões com esse nível de risco. A categoria de risco Muito Alto (R4) aparece com uma área considerável, superior à do risco Médio (R2), o que pode indicar focos críticos que merecem atenção prioritária. Essa distribuição evidencia a necessidade de intervenções pontuais nas áreas de maior risco, apesar da predominância de áreas com risco reduzido.

4.4.3 Município de Catende

Na figura 46 é apresentado o Mapeamento do município de Catende.

Figura 46 – Mapeamento das áreas com risco de deslizamento – Catende.

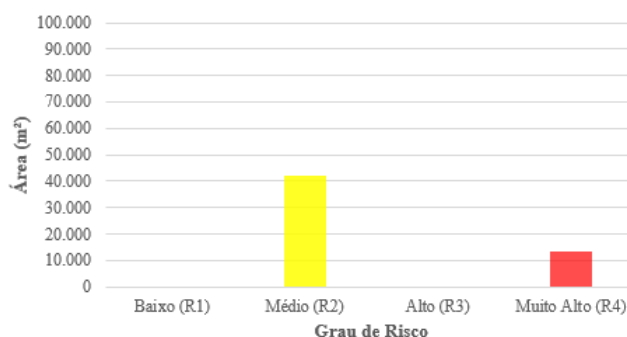
Fonte: O autor (2025).

Uma área em Monte Alegre foi classificada como de alto risco (R4) devido à ocorrência de processos erosivos intensos. Essa classificação foi influenciada pela ausência de um sistema de drenagem adequado para direcionar as águas das precipitações. Outros fatores determinantes incluíram o grande volume de escoamento superficial direcionado para os taludes de aterro, o baixo fator de segurança identificado na análise de estabilidade e o tipo de solo utilizado na construção do talude. Essa área é bem extensa, possuindo 13.144m².

O mapeamento das áreas com risco de deslizamento considerado com risco médio (R2) tem uma área total de 42.031m², e para sua realização, foi levado em consideração a probabilidade de ocorrência de chuvas intensas e prolongadas na região, aumentando o escoamento superficial que está direcionado para os taludes e consequentemente provocando o surgimento de processos erosivos. As características do solo também influenciaram nessa escolha.

No gráfico 5 são apresentadas as áreas com risco de deslizamento do município de Catende.

Gráfico 5 – Áreas com risco de deslizamento no Município de Catende.



Fonte: O autor (2025).

O gráfico evidencia que a maior parte da área está em situação de risco médio, enquanto uma parte menor, mas crítica, está em risco muito alto. Isso reforça a necessidade de priorização de ações em áreas R4, sem negligenciar medidas preventivas para reduzir a área atualmente classificada como R2.

4.4.4 Município de Cortes

Na execução do mapeamento de risco de deslizamento no município de Cortes, no Talude do Reservatório e Talude da ETE, foi realizada a classificação de riscos das áreas nas proximidades onde surgiram problemas de erosões, cujo valor de fator de segurança foi abaixo de 1,5. Foram identificadas áreas com níveis de risco categorizados como baixo (R1), médio (R2) e muito alto (R4) para deslizamentos e rupturas. Essas categorias refletem a gravidade da situação em função de fatores como declividade, tipo de solo, cobertura vegetal, uso e ocupação do solo e a presença de processos erosões. O mapeamento está ilustrado na Figura 47.

Figura 47 – Mapeamento das áreas com risco de deslizamento – Cortes.



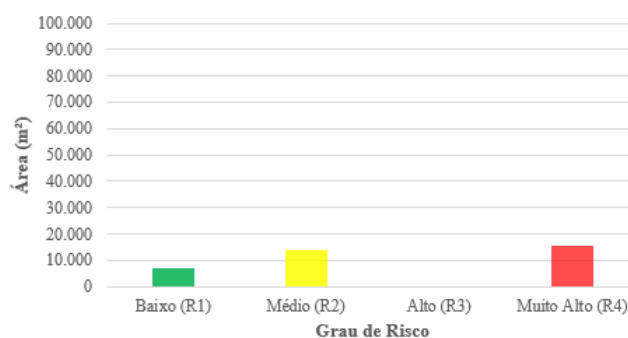
Fonte: O autor (2025).

As duas áreas classificadas como de risco muito alto (R4), identificadas pela cor vermelha, encontram-se exatamente onde há processos erosivos, com um grande número de moradias nas proximidades, tendo uma área total de 15.380m². A escolha dessas áreas como prioritárias levou em consideração a acentuada inclinação do talude, a presença de erosões claramente perceptíveis, residências próximas e a ausência de sistemas de drenagem interna e externa. Além disso, a possibilidade de chuvas intensas representa um fator preocupante, pois pode aumentar a saturação do solo e, conseqüentemente, o escoamento superficial, agravando os processos erosivos e elevando o risco de ruptura do solo. Essa região demanda atenção imediata, com a necessidade urgente de implementar medidas de contenção e sistemas de drenagem adequados, garantindo maior segurança para a comunidade local.

Parte das áreas classificadas com risco médio (R2) encontram-se nas proximidades da encosta. Essas áreas totalizam 14.132m², e embora apresente certa vulnerabilidade ao desencadeamento de processos de deslizamento, a probabilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante períodos de chuvas intensas e prolongadas é relativamente baixa. Não existe nessas áreas ocorrência de processos erosivos, porém, é essencial manter o monitoramento contínuo e adotar medidas preventivas, como a realização de inspeções periódicas e a implementação de políticas de uso do solo que restrinjam construções em áreas propensas a deslizamentos. Quanto a área classificada com risco (R1), tem uma extensão de 6.855m².

O Gráfico 6 apresenta as áreas do município de Cortes que estão suscetíveis a deslizamentos.

Gráfico 6 – Áreas com risco de deslizamento no Município de Cortes.



Fonte: O autor (2025).

Observa-se que a maior parte da área está concentrada nas categorias de risco Médio (R2) e Muito Alto (R4), ambas com valores significativamente maiores que a de risco Baixo (R1). Notavelmente, não há registro de área para o grau de risco Alto (R3), indicando ausência dessa categoria na área avaliada. Essa distribuição evidencia uma preocupação, principalmente com a presença expressiva de áreas sob risco Muito Alto (R4), demandando de medidas que visem garantir a estabilização dos taludes da região. A menor representatividade da categoria Baixo (R1) sugere que há uma predominância de situações de risco mais elevadas no contexto analisado.

4.4.5 Município de Xexéu

Na realização do mapeamento de risco de deslizamento no município de Xexéu, especificamente no talude de aterro de Campos Frios, foi constatada uma classificação variada de riscos para a área. Identificaram-se zonas com níveis de risco classificados como baixo (R1)

– 19.585m², médio (R2) – 20.831m² e muito alto (R4) – 3.117m², para deslizamentos e rupturas, conforme apresentado na Figura 48.

Figura 48 – Mapeamento das áreas com risco de deslizamento – Xexéu.

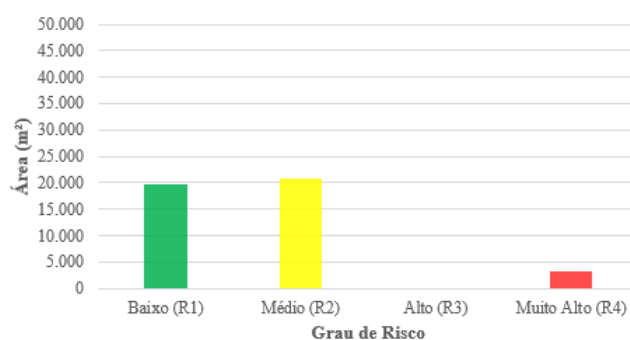


Fonte: O autor (2025).

A região classificada como de risco muito alto (R4) está localizada nas proximidades do ponto em que ocorreu um processo erosivo significativo, o qual contribuiu diretamente para a redução do fator de segurança da área. Essa situação é agravada pela possibilidade de intensificação dos problemas com a ocorrência de chuvas intensas e prolongadas, que podem aumentar a saturação do solo e potencializar os movimentos gravitacionais de massa. Essa área exige atenção imediata e a implementação de medidas de contenção e drenagem, trazendo segurança a comunidade local.

A região classificada com risco médio (R2) está situada nas margens da encosta. Apesar de apresentar alguma suscetibilidade ao desenvolvimento de processos de deslizamento, a probabilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas é relativamente reduzida. No entanto, é necessário o monitoramento constante e a aplicação de práticas preventivas, como a realização de vistorias regulares e a Implementação de políticas de uso do solo que proíbam construções em áreas suscetíveis a deslizamentos.

No gráfico 7 são apresentadas as áreas com risco de deslizamento do município de Xexéu.

Gráfico 7 – Áreas com risco de deslizamento no Município de Xexéu.

Fonte: O autor (2025).

Nota-se que as maiores áreas estão associadas aos graus de risco Baixo (R1) e Médio (R2), com valores próximos de 20.000 m² cada, indicando que a maior parte das regiões analisadas apresenta riscos reduzidos à população. Por outro lado, não há áreas classificadas como de risco Alto (R3), o que sugere uma ausência de zonas críticas intermediárias. No entanto, existe uma pequena fração de área sob risco Muito Alto (R4), representando uma preocupação pontual, ainda que limitada em extensão. Esses resultados sugerem um cenário predominantemente estável, com necessidade de atenção focalizada nas áreas de risco elevado.

5 CONCLUSÕES

Com o valor do fator de segurança abaixo de 1,5 e próximo a 1,0, considera-se os taludes em risco de ruptura geral iminente, podendo ser deflagrada por exemplo, com a saturação do solo causada pela chuva, aumento das erosões e construções realizadas próxima da área acrescentando cargas ao talude.

A área em torno dos taludes Quilombo dos Palmares 1, Platô 2, Platô 3 (Erosão 1), Platô 3 (Erosão 2), Platô 6, Platô 7 e Platô 1 pode ser classificada como nível alto de exigência de segurança em relação à possibilidade de perdas de vidas humanas. Em relação à possibilidade de danos materiais e ambientais o grau de exigência de segurança é médio. Os valores dos fatores de segurança (FS) obtidos para os 7 taludes e 13 seções analisadas no município de Palmares foram todos menores do que 1,5, conforme resumo da Tabela 7. Recomenda-se a desocupação da área e a realização de obras estruturadoras que possibilitem condições de estabilidade, como soluções de retaludamento, de proteção superficial, de drenagem, obras de estrutura de contenção e combinações dessas alternativas.

A área em torno dos taludes HABITACIONAL BAETÊ (Gleba B), SANTA CLARA II (ETE), SANTA CLARA II (Platô 7), SANTA CLARA II (Platô 8) e SANTA CLARA II (Acesso principal) pode ser classificada como nível alto de exigência de segurança em relação à possibilidade de perdas de vidas humanas. Em relação à possibilidade de danos materiais e ambientais o grau de exigência de segurança é médio. Os valores dos fatores de segurança (FS) obtidos para os 5 taludes e 6 seções analisadas no município de Barreiros foram todos menores do que 1,5. A área em torno desses taludes pode ser classificada como nível alto de exigência de segurança em relação à possibilidade de perdas de vidas humanas. Em relação à possibilidade de danos materiais e ambientais o grau de exigência de segurança é médio. Recomenda-se a desocupação da área, de imediato, e a realização de obras estruturadoras que possibilitem condições de estabilidade, como soluções de retaludamento, de proteção superficial, de drenagem, obras de estrutura de contenção e combinações dessas alternativas.

Diante dos resultados obtidos na análise de estabilidade dos taludes estudados nos municípios abordados nesse estudo, espera-se que através da realização de obras de contenção seja garantida a segurança e estabilidade dos taludes que correm risco de deslizamentos, a fim de proporcionar segurança as residências locais e áreas adjacentes.

É visto que o talude Campos Frios, localizado no município de Xexéu, apresentou no perfil da seção transversal 1+5,00 um coeficiente de segurança de 1,0, sendo o mais baixo dentre

os analisados, necessitando de execução de projeto de contenção imediato, buscando evitar problemas de deslizamento e rupturas do solo.

No que concerne às análises probabilísticas, foi notado um ganho de informações referente às análises de estabilidade. Parâmetros como o índice de confiabilidade e a probabilidade de ruptura permitiram uma avaliação profunda dos resultados, fornecendo informações a respeito da qualidade dos dados obtidos. Quanto aos valores do índice de confiabilidade, todos foram satisfatórios, sendo o menor valor registrado de 4,829 (Talude Santa Clara 2 – Platô 7 – seção 0+10,0). Além disso, todos os resultados apresentaram probabilidade de ruptura igual a zero, o que certifica que, nas 2.000 simulações realizadas para cada seção, nenhuma obteve fator de segurança inferior a 1. No entanto, esses resultados podem sofrer alterações mediante chuvas inesperadas, influenciando diretamente no agravamento das erosões e consequentemente na diminuição do fator de segurança.

Com a realização do mapeamento das áreas de risco de deslizamento dos cinco municípios, foi possível apontar áreas críticas que exigem atenção urgente por parte das autoridades. Foi observado que os cinco municípios possuem áreas com grau de risco muito alto (R4), sendo Palmares o município com maior extensão, totalizando 94.475m². Esse processo contribuiu para uma maior exatidão e uniformidade nas informações coletadas, facilitando a elaboração de estratégias preventivas e ações mais eficazes de mitigação de desastres.

Os resultados encontrados nesta pesquisa foram fundamentais na identificação e avaliação dos riscos de escorregamentos em morros e em áreas suscetíveis a inundações dos municípios abordados. As informações geradas possibilitaram compreender de forma precisa as áreas que possuem vulnerabilidade, podendo tomar iniciativas que visam solucionar os problemas erosivos, evitando desastres e proporcionando segurança à população residente nos habitacionais.

REFERÊNCIAS

- ABAD, L., HOLBLING, H., ALBRECHT, F., DIAS, H. C., DABIRI, Z., REISCHENBOCK, G., & TESIC, D. (2022). Mass movement susceptibility assessment of alpine infrastructure in the Salzkammergut area, Austria. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 76. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103009>
- ABRANTES, P., GOMES, E., ROCHA, J., & TEIXEIRA, J. (2018). *Uso e ocupação do solo no concelho de Lousada: dinâmicas, padrões e futuro provável*.
- ANAMT, A. N. D. M. D. T. (2019). *Construção civil está entre os setores com maior risco de acidentes de trabalho*. ANAMT. <https://www.anamt.org.br/portal/2019/04/30/construcao-civil-esta-entre-os-setores-com-maior-risco-de-acidentes-de-trabalho/>
- ARAÚJO NETO, C. L. (2021). *Modelagem da resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos para análises da estabilidade de taludes de aterros sanitários*. [Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental]. Universidade Federal de Campina Grande.
- ASSIS, L. E., MARQUES, E. A. G., LIMA, C. A., MENEZES, S. J. M. C., & ROQUE, L. A. (2020). Mapping of Geological-Geotechnical Risk of Mass Movement in an Urban Area in Rio Piracicaba, MG, Brazil. *Soils and Rocks*, 43(1), 57–70. <https://doi.org/10.28927/SR.431057>
- BARBOSA, T. B. (2020). *Análise de Fluxo, Estabilidade e Tensão-Deformação de uma Barragem no Agreste de Pernambuco*. <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/39125/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Tia%20go%20Barbosa%20da%20Silva.pdf>
- BARBOZA, E. N., NETO, F. C. B., & CAIANA, C. R. A. (2020). Geoprocessamento aplicado na análise dos efeitos da urbanização no campo térmico em Fortaleza, Ceará. *Research, Society and Development*, 9(7), e57973731. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3731>
- BARROS, P. L. A. (2017). *Obras de Contenção: Manual Técnico*. Maccaferri.
- BITAR, O. Y. (2014). *Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa*. CPRM – Serviço Geológico Do Brasil.
- COROMINAS, J., VAN WESTEN, C., FRATTINI, P., CASCINI, L., MALET, J. P., FOTOPOULOU, S., CATANI, F., VAN DEN EECHAUT, M., MAVROULI, O., AGLIARDI, F., PITILAKIS, K., WINTER, M. G., PASTOR, M., FERLISI, S., TOFANI, V., HERVÁS, J., & SMITH, J. T. (2014). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(2), 209–263. <https://doi.org/10.1007/s10064-013-0538-8>
- CRUZ, R. B. C., SANTOS, F. A., SOUZA, J. B., KHALIL, J. A., CARVALHO, R. M. G., & FILHO, A. M. (2020). *Método para análise do risco em estruturas de arrimo em concreto armado*. (Issue 57). <http://www.civil.uminho.pt/revista>
- DAMASCENO, A. D. O., CARDOSO, A. O., & PAIVA, C. F. E. (2021). Investigação da relação chuva-deslizamentos no município de Mauá – SP para obtenção de limiares críticos deflagradores de deslizamentos. *Ciência e Natura*, 43, 1–29. <https://doi.org/10.5902/2179460x43119>
- DAS, B. M., & KHALED, S. (2019). *Fundamentos de engenharia geotécnica* (9th ed.). Cengage Learning.

- DUARTE, C. C. (2015). *Eventos extremos de chuva e análise da suscetibilidade a movimentos de massa no município do Ipojuca-PE*.
- FERLISI, S., & CHIARA, G. (2016). *Risk analysis for rainfall-induced slope instabilities in coarse-grained soils: Practice and perspectives in Italy*. 137–154.
- FERREIRA, C. O., & RICHTER, M. (2022). Tem risco, mas na minha casa não: análise da percepção ambiental de risco da comunidade Amazonas, Petrópolis – RJ. *Geography Department University of Sao Paulo*, 42, e190274. <https://doi.org/10.11606/eissn.2236-2878.rdg.2022.190274>
- FILHO, A. L. G., RIBEIRO, J. A. B., & CASTRO, R. M. (2021). *Análise técnica da aplicação de sistema de contenção do tipo muro de concreto armado: estudo de caso*.
- FILHO, R., CORTEZ, A., FILHO, A. R., & CORTEZ, A. T. C. (2010). A problemática sócioambiental da ocupação urbana em áreas de risco de deslizamento da “Suíça Brasileira.” In *Revista Brasileira de Geografia Física* (Vol. 03).
- FIORI, A. P. (2016). *Estabilidade de taludes : exercícios práticos*. Oficina de Textos.
- GERALDO, D. R., & NICOLETTI, R. S. (2023). Análise paramétrica das variáveis de dimensionamento de muros de arrimo tipo “L” em concreto armado. *Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica Do IFPB*, 60(4), 1142. <https://doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6576>
- GERSCOVICH, D. M. S. (2016). *Estabilidade de taludes* (2nd ed.). Oficina de Textos.
- GUERRA, A. J. T., FULLEN, M. A., JORGE, M. C. O., BEZERRA, J. F. R., & SHOKR, M. S. (2017). Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review. *Pedosphere*.
- GUIDI, G., & SCUDERO, S. (2013). Landslide susceptibility assessment in the Peloritani Mts. (Sicily, Italy) and clues for tectonic control of relief processes. *Natural Hazards and Earth System Science*, 13(4), 949–963. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-949-2013>
- GUIDICINI, G., & NIEBLE, C. M. (1983). *Estabilidade de taludes naturais e de escavação* (2nd ed.). Edgard Blucher Ltda.
- HIRYE, M. C. M., ALVES, D. S., FILARDO, A. S., MCPHEARSON, T., & WAGNER, F. (2023). Assessing Landslide Drivers in Social–Ecological–Technological Systems: The Case of Metropolitan Region of São Paulo, Brazil. *Remote Sensing*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/rs15123048>
- IPT. (2007). Ocupação de Encostas. *Instituto de Pesquisas Tecnológicas Do Estado de São Paulo S.A.*
- IPT. (2015). *Mapeamento de áreas de alto e muito alto risco a deslizamentos e inundações do município de Potim, SP*.
- JIANG, S., HUANG, J., GRIFFITHS, D. V., & DENG, Z. (2022). Advances in reliability and risk analyses of slopes in spatially variable soils: A state-of-the-art review. *Computers and Geotechnics*, 141, 104498. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2021.104498>
- LI, H. (2024). *Slope Stability Analysis* (pp. 775–780). https://doi.org/10.2991/978-94-6463-449-5_77
- LI, L., LAM, H., GUO, G., ZHANG, Y., LI, Q., & WU, Y. (2017). A modified frequency ratio method for landslide susceptibility assessment. 727–741.

- LIN, Q., STEGER, S., PITTORE, M., ZHANG, J., WANG, L., JIANG, T., & WANG, Y. (2022). *Evaluation of potential changes in landslide susceptibility and landslide occurrence frequency in China under climate change*. 850. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158049>
- LUMA, V. F., & SILVA, J. M. O. (2023). Eventos extremos de chuva e impactos associados no município de Crato/CE. *Geografia, Ensino e Pesquisa*, 27, 1–25.
- MARENGO, J. A., CUNHA, A. P., SELUCHI, M. E., CAMARINHA, P. I., DOLIF, G., SPERLING, V. B., ALCÂNTARA, E. H., RAMOS, A. M., ANRADE, M. M., STABILE, R. A., MANTOVANI, J., PARK, E., ALVALA, R. C., MORAES, O. L., NOBRE, C. A., & GONCALVES, D. (2024). Heavy rains and hydrogeological disasters on February 18th–19th, 2023, in the city of São Sebastião, São Paulo, Brazil: from meteorological causes to early warnings. *Natural Hazards*, 120(8), 7997–8024. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06558-5>
- MASSAD, F. (2010). *Obras de terra : curso básico de geotecnia* (2nd ed.). Oficina de Textos.
- MCTI. (2021). *Movimento de Massa*. Ministério Da Ciência, Tecnologia e Inovações. <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/paginas/ameacas-naturais/movimento-de-massa>
- MUNIZ, R. L., SILVA, H. P., SILVA, H. P., LAPENDA, A. B., CRASTO, A. P., & PINTO, A. T. G. (2022). *Geosistemas Engenharia e Planejamento Ltda*.
- NASCIMENTO, R. G. (2020). *Estabilização de taludes*. Defesa Civil do Espírito Santo. https://defesacivil.es.gov.br/Media/defesacivil/Capacitacao/Material%20Did%C3%A1tico/CBPRG%20-%202017/Estabiliza%C3%A7%C3%A3o_de_Taludes.pdf
- NBR 11682, A. B. D. N. T. (2009). *NBR 11682: Estabilidade de encostas*.
- OLIVEIRA, C. G., & GIUDICE, D. S. (2017). Impactos socioambientais em áreas de ocupação espontânea o exemplo de Vila Canária – Salvador-BA. *Revista Tocantinense de Geografia*.
- PAUTZ, E. (2021). A Importância do Georreferenciamento: Desafios e Possibilidades. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 7(11), 1778–1787. <https://doi.org/10.51891/rease.v7i11.3300>
- PEI, Y., QIU, H., YANG, D., LIU, Z., MA, S., LI, J., CAO, M., & WUFUER, W. (2023). Increasing landslide activity in the Taxkorgan River Basin (eastern Pamirs Plateau, China) driven by climate change. *Elsevier*, 223.
- PIMENTEL, F. C. C. (2020). *A vida no morro enquanto o desastre não acontece - Faces da injustiça socioambiental na Cidade de Recife*. 27, 106–129.
- PRADHAN, B., & LEE, S. (2010). Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models. *Environmental Earth Sciences*, 60(5), 1037–1054. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0245-8>
- QUEIROZ, R. C. (2016). *Geologia e Geotecnia para Engenharia Civil* (Blucher).
- REICHENBACH, P., ROSSI, M., MALAMUD, B. D., MIHIR, M., & GUZZETTI, F. (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 180, pp. 60–91). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>
- REIS, P. C. L. (2020a). *Identificação dos movimentos gravitacionais de massa (mgm) dos taludes da br-356 entre o km 100+000 a km 101+000, e análise das condições geológicas geotécnicas da área destinada à estação de tratamento de esgoto - ETE do Distrito Sede de Ouro Preto, Minas Gerais*.

- REIS, P. C. L. (2020b). *Identificação dos movimentos gravitacionais de massa (MGM) dos taludes da BR-356 entre o km 100+000 a km 101+000, e análise das condições geológicas geotécnicas da área destinada à estação de tratamento de esgoto - ETE do distrito sede de Ouro Preto, Minas Gerais.*
- RIBEIRO, R. D. (2017). *Análise da Estabilidade e Deformação de Talude e Túnel Ferroviário em Liberdade/MG.* www.sisbin.ufop.br
- RIFFEL, E. S., GUASSELLI, L. A., & BRESSANI, L. A. (2016). *Desastres Associados a Movimento de Massa: uma revisão de literatura.* 2, 285–101.
- ROCHA, S. L. S. (2019). *ANÁLISE DAS INTERVENÇÕES FEITAS PARA REABILITAÇÃO DE TALUDES NO MORRO SANTA TEREZINHA – FORTALEZA/CE.*
- SANTOS, E. O., FALCÃO, N. A. M., & LIMA, J. V. A. (2020). Deslizamento de encostas urbanas: consequências e implicações sociais, ambientais e políticas, em Viçosa/AL, Brasil. *Diversitas Journal*, 5(3), 1859–1886. <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v5i3-1176>
- SANTOS, L. M. O., & FRANÇA, I. S. (2023). CIDADES SAUDÁVEIS: ANÁLISE DE INDICADORES INTRAURBANOS EM MONTES CLAROS-MG 1. *Boletim Paulista de Geografia*, 109, 235–254.
- SANTOS, I. V., & MAEDO, M. A. (2024). *Análise da estabilidade de taludes rochosos utilizando elementos de alta razão de aspecto para reproduzir o comportamento de fraturas.* <https://static.even3.com/anais/791029.pdf>
- SILVA, C. C. (2015). *Análise de Estabilidade de um Talude da Cava de Alegria Utilizando Abordagem Probabilística.* www.sisbin.ufop.br
- SOUSA, T. F. P. (2021). *Abordagem Monte Carlo para a análise probabilística da estabilidade de taludes durante rebaixamento rápido de reservatório.*
- SOUZA, A. C. T. (2019). *Verificação da Análise da Estabilidade da Barragem São Bento do Una, Pernambuco.*
- TONUS, B. P. A. (2009). *Estabilidade de taludes: avaliação dos métodos de equilíbrio limite aplicados a uma encosta coluvionar e residual da serra do mar paranaense.*
- TORRES, F. S. M. (2014). *Carta de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão do município de Ipojuca, PE.*
- TRALLI, D. M., BLOM, R. G., ZLOTNICI, V., DONNELLAN, A., & EVANS, D. L. (2005). Satellite Remote sensing of earthquake, volcano, flood, landslide and coastal inundation hazards. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59, 185–198.
- USACE, U. S. A. C. E. (1997). *Engineering and design introduction to probability and reliability methods for use in geotechnical engineering.*
- USACE, U. S. A. C. E. (1999). *Risk-based analysis in geotechnical engineering for support of planning studies. U.S. Army Corps of Engineers.*
- VANACÔR, R. N., & ROLIM, S. B. A. (2012). Mapeamento da Suscetibilidade a Deslizamentos usando Técnicas de Estatística Bivariada e Sistema de Informações Geográficas na Região Nordeste do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geomorfologia-v*, 13(1), 1. www.ugb.org.br

- WEISS, M., JACOB, F., & DUVEILLER, G. (2019). *Remote sensing for agricultural applications: a meta-review*.
- WENZEL, D. A., JUNIOR, M. F. S., ULIANA, E. M., & MENDES, M. A. S. A. (2020). Dinâmica da cobertura do solo em três bacias hidrográficas da região amazônica do estado de Mato Grosso, Brasil. *Research, Society and Development*, 9(10), e3919108613. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8613>
- XAVIER, M. O. (2018). *Mapeamento da suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa utilizando a análise estatística do valor informativo aplicada ao distrito sede da Cidade histórica de Ouro Preto-mg*.
- YOMURA, D. M., & DYMINSKI, A. S. (2009). Análise de estabilidade de talude coluvionar da Serra do Mar do Paraná considerando diferentes condições de fluxo no subsolo. *V Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas*.
- ZAMBIAZZI, B., & NIENOV, A. F. (2023). Estudo de condições de estabilidade de talude em solo situado na região meio oeste de Santa Catarina com o uso de software. *Conhecimento Em Construção*, 10, 145–162. <https://doi.org/10.18593/cc.v10.32642>

APÊNDICE A - REGISTROS FOTOGRÁFICOS DA REALIZAÇÃO DE SONDAGEM A PERCUSSÃO EM PALMARES: (A) QUILOMBO DOS PALMARES II; (B) PLATÔ 02; (C) PLATÔ 06.



(a)



(b)



(e)

Fonte: Muniz et al., (2022).

**APÊNDICE B - REGISTROS FOTOGRÁFICOS DE LOCAIS DE EROSÃO EM
BARREIROS: (A) ACESSO PRINCIPAL – HABITACIONAL SANTA CLARA II; (B)
EROSÃO NO TALUDE DA ETE – HABITACIONAL BAETÊ.**



(a)

(b)

Fonte: Muniz et al., (2022).

APÊNDICE C - RESUMO DE ENSAIOS NO MUNICÍPIO DE PALMARES.

RESULTADOS DOS ENSAIOS - SONDAGEM (SUBLEITO)																							
Dados Gerais		Quilombo dos Palmares II			Platô 02				Platô 03 - Erosão 1			Platô 03 - Erosão 2			Platô 06			Platô 07			Platô 01		
Registro N°		100	101	102	100	101	102	103	100	101	102	100	101	102	100	101	102	100	101	102	100	101	102
Furo		1	1A	1B	2	2A	2B	2C	3	3A	3B	7	7A	7B	4	4A	4B	5	5A	5B	6	6A	6B
Camada		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Prof. (m)	De	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Granulometria % passando	2"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	1"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	3/8"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	N° 4	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,7	99,7	99,7	99,7	99,7	99,7	99,9	99,9	99,9	99,8	99,8	99,8
	N° 10	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,6	99,6	99,6	99,7	99,7	99,7	99,9	99,9	99,9	99,7	99,7	99,7
	N° 40	96,2	96,2	96,2	80,0	80,0	80,0	87,9	91,6	91,6	91,6	89,3	89,1	88,9	91,2	91,3	91,2	90,0	89,9	90,0	97,7	97,7	97,6
	N° 200	72,5	72,6	72,6	55,3	55,4	55,3	55,2	61,2	61,2	61,2	65	64,6	64,3	60,7	60,9	60,8	59,9	59,9	60,0	88,7	88,7	88,6
Faixa AASHTO		F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F
LL.		42,9	42,5	42,5	41,2	41,0	41,0	41,0	49,9	50,0	49,9	46,8	46,9	46,6	50,2	49,8	50	45,1	45,0	45,6	46,6	46,7	46,8
LP.		13,5	12,9	12,9	14,7	14,9	14,4	21,6	16,3	16,4	16,4	17,1	17,2	17	20,5	20,3	20,5	13,9	13,6	14,3	18,0	18,2	18,4
LG.		10	10		7	7			10	10	10	10	10	10	11	11	11	8	8	8	13	13	13
Classificação H. R. B		A-7-6	A-7-6		A-7-6	A-7-6			A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-6	A-7-6	A-7-6	A-7-6	A-7-6	A-7-6	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-6	A-7-6	A-7-6
AASHTO Normal (12 golpes)	Dens. Máxima	1,592	1,594	1,593	1,583	1,584	1,584	1,572	1,555	1,555	1,556	1,587	1,583	1,59	1,500	1,503	1,560	1,562	1,556	1,561	1,506	1,503	1,504
	Umidade Ótima	17,3	17,3	17,2	16,3	16,3	16,3	16,7	21,3	21,3	21,3	22,1	22,1	22,1	21,0	21,0	21,0	21,5	21,5	21,4	26,6	26,5	26,5
	I. S. C	9	9	9	7	7	7	7	8	8	8	6	6	6	11	11	11	15	16	14	5	5	5
	Expansão	1,54	1,54	1,54	0,23	0,25	0,23	0,25	1,63	1,66	1,56	1,69	1,91	1,78	1,45	1,54	1,549	0,33	0,28	0,29	1,39	1,39	1,42
Dados de Campo	Dens. In Situ (g/cm³)	1,085	1,050	1,111	1,043	1,010	1,037	1,03	1,020	1,056	1,043	1,055	1,048	1,101	1,010	1,001	1,005	1,057	0,991	1,051	1,027	1,051	1,043
	Umidade Nat. (%)	8,1	7,9	7,8	7,4	7,2	7,9	7,8	12,0	12,7	12,9	11,3	11,7	9,8	12,0	13,0	12,3	12,0	13,4	12,9	15,8	15,3	17,0
	Grau de Comp. (%)	68,2%	65,8%	69,8%	65,9%	63,8%	65,4%	65,5%	65,6%	67,9%	67,0%	66,40%	66,20%	69,20%	67,3%	66,6%	64,4%	67,7%	63,7%	67,3%	68,2%	69,9%	69,3%

Fonte: Muniz et al., (2022).

APÊNDICE D - RESUMO DE ENSAIOS NO MUNICÍPIO DE BARREIROS.

RESULTADOS DOS ENSAIOS - SONDAGEM (SUBLEITO)																			
Dados Gerais		Barreiros - Baeté			Talude - ETE			Talude Platô 07						Talude Platô 08			Talude Acesso Principal		
Registro N°		100	101	102	1000	1001	1002	100	101	102	103	104	105	100	101	102	100	101	102
Furo		1	1A	1B	1	1A	1B	2	2	2A	2A	2B	2B	3	3A	3B	4	4A	4B
Camada		1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
Prof. (m)	De	0	0	0	0	0	0	0	110	0	105	0	115	0	0	0	0	0	0
	A	150	150	150	150	150	150	110	150	105	150	115	150	150	150	150	150	150	150
Granulometria % passando	2"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	1"	98,5	98,5	98,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	3/8"	96,1	96,1	96,0	100,0	100,0	100,0	99,7	100,0	99,7	100,0	99,7	100,0	99,2	99,2	99,2	99,5	99,5	99,5
	N° 4	92,9	92,9	92,8	100,0	100,0	100,0	96,6	100,0	96,6	99,9	99,6	100,0	90,0	90,0	90,0	99,4	99,4	99,3
	N° 10	92,5	92,4	92,4	100,0	100,0	100,0	96,6	100,0	96,6	99,9	99,5	100,0	90,0	98,9	98,9	99,3	99,3	99,3
	N° 40	53,5	53,0	52,9	79,4	78,2	78,4	85,5	95,7	85,8	95,9	84,6	95,9	84,2	83,9	83,8	85,3	85,2	85,1
	N° 200	27,1	24,3	24,1	61,7	59,2	59,5	65,6	84,7	66,8	85,2	65,3	84,6	64,4	63,8	81,8	64,8	64,6	64,4
Faixa AASHTO		F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F	F/F
LL.		NL	NL	NL	41,4	41,3	41,3	43,7	31,9	34,5	35,5	32,9	32,4	44,7	44,9	44,5	45,3	44,3	44,4
LP.		NP	NP	NP	18,3	17,3	17,9	17,1	8,3	11,9	8,7	11,2	9,1	16,0	16,4	16,2	17,7	16,7	17,0
LG.		0	0	0	9	8	9	10	8	8	8	7	8	9	10		10	10	10
Classificação H. R. B		A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-7-6	A-7-6	A-7-6	A-7-6	A-4	A-6	A-4	A-6	A-4	A-7-6	A-7-6		A-7-6	A-7-6	A-7-6
AASHTO Normal	Dens. Máxima	1,818	1,821	1,818	1,697	1,690	1,702	1,813	1,844	1,806	1,850	1,818	1,842	1,511	1,509	1,513	1,682	1,675	1,680
	Umidade Ótima	13,2	13,3	13,2	18,4	18,5	18,5	7,3	9,0	7,5	9,2	7,5	9,1	20,1	20,1	20,2	14,9	15,1	15,1
	I. S. C	3,2	3,2	3,0	3	2,9	3,2	21	20	21	20	20,9	19,6	15,2	14,6	14,9	8,5	7,9	8,0
	Expansão	1,46	1,44	1,49	0,07	0,09	0,10	0,06	0,07	0,10	0,12	0,13	0,11	0,31	0,38	0,41	0,03	0,08	0,12
Dados de Campo	Den. In Situ (g/cm³)	1,119	1,116	1,115	1,150	1,092	1,081	1,231	1,204	1,258	1,205	1,244	1,204	1,070	1,079	1,071	1,114	1,104	1,113
	Umidade Nat. (%)	7,0	7,3	7,0	8,9	9,1	9,0	6,5	7,1	6,4	7,0	6,3	7,1	11,1	11,0	11,5	7,0	6,9	7,2
	Grau de Comp. (%)	61,5%	61,3%	61,3%	67,7%	64,6%	63,5%	67,9%	65,3%	69,7%	65,1%	68,4%	65,4%	70,8%	71,5%	70,8%	66,2%	65,9%	66,3%

Fonte: Muniz et al., (2022).

APÊNDICE E – RESUMO DE ENSAIOS NO MUNICÍPIO DE CATENDE.

Resultados dos Ensaio - Sondagem (Subleito)				
Dados Gerais		Talude Campos Frio		
Registro N°		100	101	102
Furo		1	1A	1B
Camada		1	1	1
Prof. (m)	De	0	0	0
	A	150	150	150
Granulometria % passando	2"	100,0	100,0	100,0
	1"	100,0	100,0	100,0
	3/8"	99,9	99,9	99,9
	N° 4	99,5	99,4	99,5
	N° 10	99,4	99,3	99,3
	N° 40	87,9	87,6	87,8
	N° 200	71,0	70,7	71,3
Faixa AASHTO		F/F	F/F	F/F
LL.		44,1	43,9	44,0
LP.		14,9	14,3	14,3
LG.		10	10	10
Classificação H. R. B		A-7-6	A-7-6	A-7-6
AASHTO Normal (12 golpes)	Dens. Máxima	1,605	1,607	1,609
	Umidade Ótima	19,3	20,4	20,2
	I. S. C	6	6	6
	Expansão	1,52	1,69	1,58
Dados de Campo	Den. In Situ (g/cm³)	1,53	1,55	1,54
	Umidade Nat. (%)	9,5	10,0	9,8
	Grau de Comp. (%)	71,8%	71,9%	71,7%

Fonte: Muniz et al., (2022).