

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

JAIRO LOPES DA SILVA

**ANÁLISE GEOMECÂNICA DE ENCOSTAS EM
MUNICÍPIOS DO AGRESTE PERNAMBUCANO**

RECIFE

2023

S586a

Silva, Jairo Lopes da
Análise geomecânica de encostas em municípios do
agreste pernambucano / Jairo Lopes da Silva, 2023.
143 f. : il.

Orientador: Joaquim Teodoro Romão de Oliveira
Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de
Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Engenharia
Civil. Mestrado em Engenharia Civil, 2023.

1. Mecânica dos solos. 2. Solos - Compactação.
3. Taludes (Mecânica do solo) - Pernambuco.
4. Deslizamentos (Geologia) - Pernambuco. I. Título.

CDU 624.131 (81)

Luciana Vidal - CRB 4/1338



Jairo Lopes da Silva

ANÁLISE GEOMECÂNICA DE ENCOSTAS EM MUNICÍPIOS DO AGRESTE PERNAMBUCANO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Universidade Católica de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.º Dr. Joaquim Teodoro Romão de Oliveira.

Recife

2023

TERMO DE APROVAÇÃO

JAIRO LOPES DA SILVA

**ANÁLISE GEOMECÂNICA DE ENCOSTAS EM
MUNICÍPIOS DO AGRESTE PERNAMBUCANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP) para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. A presente dissertação foi defendida e aprovada em 30 de agosto de 2023 pela banca examinadora constituída pelos professores doutores:

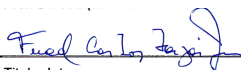
Orientador(a) e Presidente da Banca:



Prof. Dr. Joaquim Teodoro Romão de Oliveira



Prof. Dr. Pedro Eugenio Silva de Oliveira



Prof. Dr. Fuad Carlos Zarzar Júnior

Recife, 2023

DEDICATÓRIA

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo seu amor e cuidado imensuráveis.

À Universidade Católica de Pernambuco, pelo destacado conjunto de docentes, direção e administração e instalações responsáveis pela qualidade do curso.

Ao Departamento de Estradas de Rodagem de Pernambuco, através do 7º Distrito Rodoviário em Garanhuns, pela contribuição com dados da região.

À Maia Melo Engenharia por ceder instalações e pessoal para realização de ensaios de laboratório.

À Seplane Serviços de Engenharia e Planejamento Ltda, pela contribuição nas informações da solução adotada.

Ao meu orientador Prof.º Dr. Joaquim Teodoro Romão de Oliveira, pelo incentivo e suporte.

Aos meus pais, irmãos e sobrinhos pelo suporte e apoio de sempre.

Aos laboratoristas Leandro Moura da UNICAP, e Wellington Virgínio, Cícero Gomes e Rafael Gomes, da Maia Melo Engenharia, os quais me deram grande suporte técnico na realização dos ensaios previstos.

À Macafferri Soluções, através do Eng. Robson Nascimento pelo apoio técnico.

Aos engenheiros Weliton Lima e Rafael Fernandes da empresa Plínio Cavalcanti, pelo suporte.

E a todos que contribuíram direta e indiretamente para conclusão deste trabalho.

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo.”

(Martin Luther King)

RESUMO

A ocorrência de movimentos de massa, ocorridos em grande quantidade no ano de 2022, às margens da Rodovia PE-177, estrada que liga os municípios de Quipapá à Garanhuns, no agreste pernambucano, despertou-nos o interesse pela análise do comportamento geomecânico destas encostas pertencentes ao Planalto da Borborema, com o intuito de investigarmos os fatores causadores desses eventos. A investigação compreendeu em análise dos fatores de acordo com a literatura, bem como a coleta de amostras para ensaios em laboratório. Com a investigação concluímos que a precipitação pluviométrica registrada na região, no ano de 2022, foi mais que o dobro da média histórica, fator intrinsecamente ligado aos eventos verificados. Pelo Sistema de Classificação Unificada (USCC, sigla em inglês), verificamos que as duas amostras se enquadram como argilosas (CH), com alta compressibilidade, pois ambas apresentam $LL > 50$. Submetidos ao ensaio decalçamento direto, foi verificada a diminuição do solo com o incremento da umidade (condição saturada), já o ângulo de atrito não sofreu muita alteração. A inclinação dos taludes contribuiu diretamente para a ocorrência de deslizamentos, pois quanto maior é a inclinação, maior é o aumento da densidade, que reduz a coesão, criando sobrecarga e levando à ruptura. A vegetação existente nas encostas também contribui para o fenômeno de deslizamento.

Palavras-chave: Planalto da Borborema, Quipapá, encosta, estabilidade.

ABSTRACT

The occurrence of mass movements, which took place in large numbers in 2022, on the banks of Highway PE-177, the road linking the municipalities of Quipapá and Garanhuns, in the arid zone of Pernambuco, sparked our interest in analyzing the geomechanical behavior of these slopes belonging to the Borborema Plateau, with the aim of investigating the factors that caused these events. The investigation included analyzing the factors according to the literature, as well as collecting samples for laboratory tests. The investigation led us to conclude that the rainfall recorded in the region in 2022 was more than double the historical average, a factor intrinsically linked to the events. Using the Unified Classification System (USCC), we found that the two samples are classified as clayey (CH), with high compressibility, as they both have $LL > 50$. When they were subjected to the direct shear test, the soil decreased as the humidity increased (saturated condition), while the friction angle did not change much. The steepness of the slopes contributes directly to the occurrence of landslides, because the steeper the slope, the greater the increase in density, which reduces cohesion, creating overload and leading to rupture. The vegetation on the slopes also contributes to the landslide phenomenon.

Keywords: Borborema Plateau, Quipapá, slope, stability.

LISTA DE FIGURAS

Figura	1	- Suscetibilidade a deslizamentos no Brasil.....	18
Figura	2	- Imagem da região serrana do Rio de Janeiro após deslizamentos ocorridos em 2011.....	53
Figura	3	- Ocorrência de deslizamentos em Petrópolis/RJ (2022).....	56
Figura	4	- Ocorrência de deslizamentos em Recife/PE (2022).....	56
Figura	5	- Deslizamento sobre a BR-376/PR (2022).....	56
Figura	6	- Deslizamento registrados na Colômbia (2022).....	57
Figura	7	- Deslizamento registrados na Venezuela (2022).....	57
Figura	8	- Deslizamento registrados na Malásia (2022).....	58
Figuras	9a - 9i	- Registros dos eventos ocorridos na Rodovia PE-177 (2022).....	59-
Figura	10	- QRCode - Registros das ocorrências na Rodovia PE-177 (2022).....	63
Figura	11	- Mapa global de eventos de deslizamento de terra relatados de 2007 a 2013 – GLC.....	64
Figura	12	- Ocorrências de movimentos de massa Norte de Portugal- período1865-2015.....	65
Figura	13	- Comparativo da ocorrência de deslizamentos no Brasil entre 1990 – 2000.....	66
Figura	14	- Aumento da ocorrência de deslizamentos no Brasil entre 1990 – 2000.....	67
Figura	15	- Fisionomia do relevo da região.....	73
Figura	16	- Rodovia PE-177 em relevo ondulado.....	73

Figura	17	Relevo com cotas altimétricas mais elevadas e menos dissecados.....	74
Figura	18	- Aspecto do relevo fortemente ondulado.....	74
Figura	19	- Unidades de paisagem do Planalto da Borborema.....	76
Figura	20	- Unidades geoambientais da região abordada.....	78
Figura	21	- Arcabouço tectônico da Província da Borborema.....	79
Figura	22	- Mapa Geológico da região abordada.....	80
Figura	23	- Latossolos encontrados no município de Quipapá.....	82
Figura	24	- Argissolos encontrados no município de Angelim.....	83
Figura	25	- Neossolos regolítico encontrados no município de São João.....	83
Figura	26	- Mapa pedológico da região abordada.....	84
Figura	27	Mapa de suscetibilidade a riscos geológicos em Pernambuco.....	86
Figura	28	- Deslizamento rotacional em maciço rochoso.....	88
Figura	29	- Deslizamento planar.....	88
Figura	30	- Mapa de localização da região abordada.....	90
Figura	31 –	- Localização dos furos de sondagens utilizados.....	91
Figura	32a 32j	- Imagens aéreas da região abordada.....	92
Figura	33	- Localização das coletas de amostras.....	97
Figura	34	- Amostra 01.....	99
Figura	35	- Amostra 02.....	99

Figura	36a - 36f	- Preparação das amostras 01 e 02.....	99
Figura	37	- Preparação ensaio cisalhamento direto.....	100
Figura	38	Moldes Tensões 50, 100 e 200 Kpa – ensaio cisalhamento - direto.....	101
Figura	39	Prensa eletrônica para ensaio cisalhamento - direto.....	101
Figura	40	Amostra submersa para realização do ensaio cisalhamento - direto.....	101
Figura	41	- Realização do ensaio de cisalhamento direto.....	101
Figura	42	- Retirada da amostra após Ensaio de cisalhamento direto.....	102
Figura	43	- Retirada da amostra após ensaio de cisalhamento direto....	102
Figura	44	Amostra 01 desmoldada após ensaio de cisalhamento - direto. – umidade natural.....	102
Figura	45	Amostra 01 desmoldada após ensaio de cisalhamento - direto – umidade saturada.....	102
Figura	46	Amostra 02 desmoldada após ensaio de cisalhamento - direto – umidade saturada.....	102
Figura	47	Amostra 02 desmoldada após ensaio de cisalhamento - direto – umidade saturada.....	102
Figura	48	- Curva granulométrica - amostra 01.....	103
Figura	49	- Curva granulométrica - amostra 02.....	104
Figura	50	Tensão cisalhamento x deslocamento horizontal – amostra - 01 - (natural).....	108
Figura	51	Deslocamento horizontal x deslocamento vertical– 01 (natural).....	108
Figura	52	Tensão cisalhamento x deslocamento horizontal – 01 (saturada).....	108
Figura	53	Deslocamento horizontal x deslocamento vertical– 01 (saturada).....	108
Figura	54	Tensão normal x tensão de cisalhamento – amostra 01.....	109

Figura	55	Coesão e ângulo de atrito – amostra 01.....	109
Figura	56	Tensão x deslocamento horizontal – amostra 02.....	109
Figura	57	Deslocamento horizontal x deslocamento vertical– amostra 02.....	109
Figura	58	Tensão normal x tensão cisalhamento – amostra 02.....	110
Figura	59	– Coesão e ângulo de atrito – amostra 02.....	110
Figura	60a – 60h	Detalhe solução com geomanta.....	112
Figura	61	Detalhe solução muro de arrimo.....	113
Figura	62a 62ad	Relatório fotográfico da execução das soluções propostas	114
Figura	63	QRCode - Registros fotográficos da implantação das - soluções de engenharia.....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela	1	- Classificação dos tipos de movimentos gravitacionais de massa.....	22
Tabela	2	- Províncias e subprovíncias estruturais com indicação de grau de potencialidade a deslizamentos no Brasil.....	28
Tabela	3	- Características genéticas das litologias e respectivos graus de potencialidade a deslizamentos atribuídos.....	29
Tabela	4	- Litologias e respectivos graus de potencialidade a deslizamentos atribuídos na avaliação.....	31
Tabela	5	- Classes de cobertura e uso da terra e respectivos graus de potencialidade a deslizamentos atribuídos na avaliação.....	43
Tabela	6	- Formações vegetais, contatos vegetacionais e respectivos graus de potencialidade a deslizamentos atribuídos na avaliação.....	44
Tabela	7	- Classes de declividade e respectivos graus de potencialidade a deslizamentos atribuídos na avaliação...	46
Tabela	8	- Classes de precipitação média anual e respectivos graus de potencialidade a deslizamentos atribuídos na avaliação.....	49
Tabela	9	- Resumo do Programa de Investigação geológico-geotécnica.....	69
Tabela	10	- Fator de segurança e condições de estabilidade do talude ou encosta.....	71
Tabela	11	- Precipitação Média Histórica x Ano 2022 da região estudada.....	89
Tabela	12	- Resumo do programa de investgação geotécnica.....	90
Tabela	13	- Caracterização física das amostras coletadas.....	103
Tabela	14	- Resultados dos ensaio de cisalhamento direto das amostras 01 e 02.....	106
Tabela	15	- Parâmetros de resistência do solo em estudos anteriores (ensaio cisalhamento direto).....	107

LISTA DE MAPAS

Mapa	1 -	Potencialidades a deslizamentos ligados a geologia.....	27
Mapa	2 -	Potencialidades a deslizamentos ligados a geomorfologia.....	34
Mapa	3 -	Potencialidades a deslizamentos ligados a pedologia.....	38
Mapa	4 -	Potencialidades a deslizamentos ligados a cobertura vegetal.....	42
Mapa	5 -	Potencialidades a deslizamentos ligados a declividade.....	47
Mapa	6 -	Potencialidades a deslizamentos ligados a pluviosidade.....	50

LISTA DE QUADROS

Quadro	1 - Tipos e níveis de zoneamento e escalas de mapa aplicáveis, segundo o propósito de zoneamento de deslizamentos recomendado.....	21
--------	--	----

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

AASTHO – American Association of State Highway and Transportation Officials

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al – Alumínio

AMBS – Associação Brasileira de Mecânica dos Solos

ASTM – American Society for Testing and Materials

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Climas

CEPED/UFSC - Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil

CETENE – Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste

CONPDEC - Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CRED – Centro para Pesquisas sobre Epidemiologia e Desastres

CONDEPE/FIDEM – Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco

COT – Carbono Orgânico Total

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

DESINVENT - Sistema de Inventário de Efeitos de Desastres

DRX – Difração de Raios-X

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EM-DAT – Banco de Dados Internacional de Desastres

Fe – Ferro

FS – Fator de Segurança

GEGEP – Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas, Planícies e Desastres

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IPCC – Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas

ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco

K – Potássio

LA - Latossolos

LabGeo – Laboratório de Geotecnia

LCT – Laboratório de Caracterização Tecnológica

Na – Sódio

NASA - National Aeronautics and Space Administration

ONU – Organização das Nações Unidas

pH – Potencial hidrogeniônico

Si – Sílica

TCU – Tribunal de Contas da União

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UNICAP – Universidade Católica de Pernambuco

USP – Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

°C – graus Celsius

m/cm/mm – metro, centímetro, milímetro

e – índice de vazios

N / S / NE / CO / SE – norte, sul, nordeste, centro-oeste, sudeste

m², m³ – metro quadrado, metro cúbico

un – unidade

s - segundos

h – hora

kCal/h.m.°C – condutibilidade térmica

pç – peça

kgf – kilo-grama força

kPa, MPa – kilo Pascal, Mega Pascal

% - percentual

ψ – sucção

γg – peso específico do grão

γs – peso específico seco

σ - tensão

λ – comprimento de onda

μ - densidade

D – Darcy

K – Coeficiente de Permeabilidade

E_{ed} – Módulo edométrico

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	15
1.1. Objetivos.....	16
1.2. Estrutura da Dissertação	17
CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. Tipos de movimentos.....	18
2.2. Fatores e causas influentes	23
2.2.1. Geologia.....	24
2.2.2. Geomorfologia.....	30
2.2.3. Pedologia.....	35
2.2.4. Cobertura e uso da terra e vegetação.....	39
2.2.5. Declividade.....	45
2.2.6. Pluviosidade.....	48
2.3. Eventos extremos e a ocorrência de deslizamento de encostas.....	51
2.3.1. 2022 Um ano atípico.....	55
2.4. Histórico de deslizamentos.....	64
2.5. Investigação geotécnica para estabilização de talude	67
2.6. Métodos de análise de estabilidade	70
2.7. Características geomorfológicas, geológicas e pedológicas do solo da região abordada.....	72
2.7.1. Geomorfologia.....	72
2.7.2. Geologia.....	79
2.7.3. Pedologia.....	81
2.8. Riscos geológicos da região estudada.....	85

CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	90
3.1. Investigação geotécnica.....	91
3.1.1. Sondagem de reconhecimento.....	91
3.2. Imagens aéreas realizadas com drone.....	91
3.3. Coleta de amostras	96
3.3.1. Caracterização física do solo	98
3.7. Resistência ao cisalhamento.....	100
CAPÍTULO 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	103
4.1. Caracterização física	103
4.1.1. Granulometria e peso específico dos grãos	103
4.2. Resistência ao cisalhamento.....	105
CAPÍTULO 5. SOLUÇÃO ADOTADA	111
5.1. Soluções de engenharia adotadas.....	111
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA CONTINUAÇÃO DA PESQUISA.....	120
6.1. Sugestões para continuação da pesquisa.....	120
REFERÊNCIAS.....	121
APÊNCICE A.....	125
APÊNCICE B.....	127
ANEXO A.....	134

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

A ocorrência dos deslizamentos de terra no Brasil, todos os anos, provocam além de perdas de vidas humanas, grandes prejuízos financeiros, incluindo destruição de edificações, equipamentos urbanos, interrupção de vias, entre outros.

Dentre os sistemas de monitoramento e mapeamento de riscos das grandes cidades, deve existir mecanismos que propiciem a minimização das ocorrências com vítimas.

A instituição de ferramentas como a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei 12.608/2012), estabelece as responsabilidades dos entes federal, estadual e municipal para adoção de medidas contra riscos e desastres.

Quando não adotadas medidas de contenção das encostas, faz-se necessário a implantação de sistemas de alerta para evacuação das áreas quando da iminência dos riscos.

A análise geomecânica dos taludes no trecho indicado, é de extrema necessidade, face à importância da via, que além de interligar vários municípios da região, permite o escoamento da produção local.

A Rodovia PE-177 intercepta os domínios municipais de Quipapá, Canhotinho, Angelim, São João e Garanhuns, todos localizados no estado de Pernambuco. O município de Quipapá faz parte da Mesorregião da Mata Pernambucana e da Microrregião da Mata Meridional. Já os municípios de Canhotinho, Angelim, São João e Garanhuns situam-se na Mesorregião do Agreste Pernambucano e na Microrregião de Garanhuns.

1.1. OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho visa analisar o comportamento geomecânico de encostas localizadas às margens da Rodovia Estadual PE-177, que liga os municípios de Quipapá à Garanhuns /PE. E os objetivos específicos são:

- Identificar os elementos que contribuem para a instabilidade das encostas estudadas;
- Complementar através de ensaios de campo e laboratório, o conhecimento do solo da região, comparando com os descritos na literatura;
- Avaliar o grau do risco apresentado;
- Apresentar solução aplicada para solucionar o problema.

1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está estruturada em mais 4 capítulos, nos quais os conteúdos se subdividem da seguinte forma:

O Capítulo 2 descreve a revisão bibliográfica relativa à estabilidade de taludes, trazendo o histórico de deslizamentos, os critérios de classificação de movimento de massa, caracterização de cada tipo de movimento de massa, agentes e fatores causadores de escorregamentos, fatores geológicos e geomecânicos significativos, métodos aplicados na investigação e apresentação dos dados, métodos para cálculo de estabilidade de taludes, destacando a suscetibilidade à escorregamentos em Pernambuco.

O Capítulo 3 descreve a metodologia utilizada na investigação geotécnica em laboratório.

No Capítulo 4 são apresentados e analisados os resultados obtidos através dos ensaios de laboratório

No Capítulo 5, encontram-se as conclusões da dissertação, assim como as sugestões para continuação dos estudos.

E nos Apêndices encontram-se os perfis de sondagem à percussão (SPT) obtidas relativas a um projeto executado na região.

CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Deslizamento de terra é um vocábulo geral usado para descrever o movimento descendente de solo, rochedo e matéria orgânica sob o efeito da ação da gravidade, e a forma geomorfológica resultante desse movimento (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

Basicamente ocorre quando a força de tração criada pela gravidade atuando na inclinação da encosta supera a força de resistência.

A principal força de tração que causa deslizamentos de terra é o cisalhamento. Quando a força de cisalhamento supera a forma de atrito, há movimento de massa. (Montgomery, 1992).

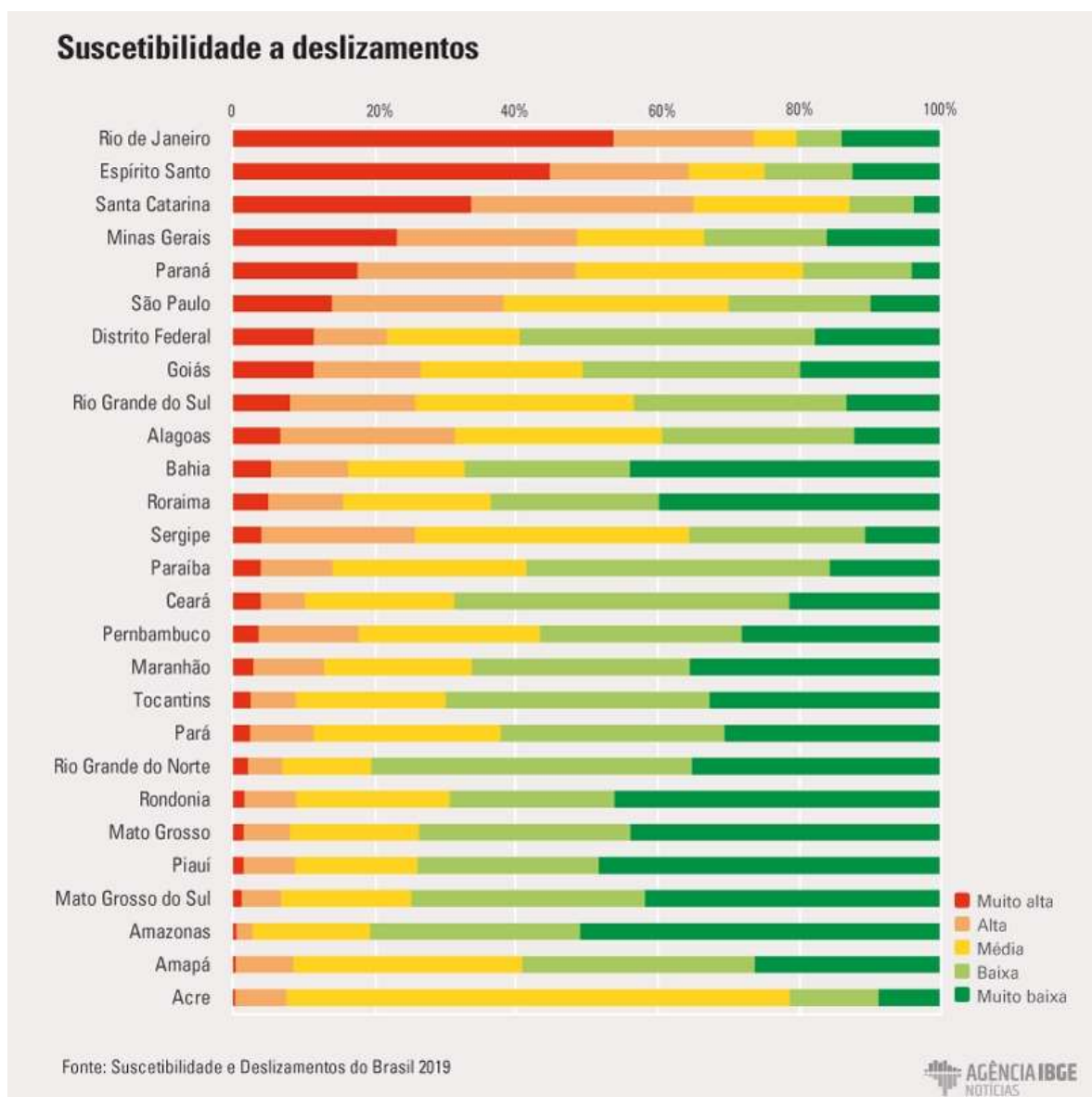
Estudos voltados à identificação da suscetibilidade a deslizamentos são necessários para identificar e minimizar os riscos à população além de promover políticas públicas que se referem ao planejamento e organização, bem como orientações para o uso adequado do solo.

Neste capítulo investigamos os tipos de movimentos, os fatores e causas, os métodos de investigação e aplicação de cálculos para estabilização, e abordaremos as características da região em estudo.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) editou o "mapa de Propensão a Deslizamentos no Brasil" com o objetivo de identificar a setorização das áreas mais propensas a deslizamentos.

Este mapa apresenta uma classificação dos estados federados de acordo com seus níveis de suscetibilidade(Figura 1).

Figura 1– Suscetibilidade a deslizamentos no Brasil



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019)

Embora no aludido mapa o estado de Pernambuco apresente uma baixa suscetibilidade à deslizamentos, registra-se frequentemente, a ocorrência de tal fenômeno, vitimando várias vidas.

2.1. TIPOS DE MOVIMENTOS

Várias classificações de deslizamentos de terra, ou movimentos de massa gravitacionais, estão disponíveis na literatura. O sistema de classificação de Freire

(1965) apud Guidicini e Nieble (1984), elaborado a partir da combinação ou síntese de aspectos naturais ou geológicos, e baseado em classificações anteriores, é amplamente difundido e de fácil compreensão.

Dentro desse sistema, existe uma classificação de deslizamentos, composta por tipos fundamentais denominados fluxos, deslizamentos e subsidência. O fluxo consiste em deformação ou movimento contínuo com ou sem uma superfície de deslizamento definida e é subdividido em corridas em um grupo, e rastejo e reptação, em outro.

Os deslizamentos de terra consistem em movimentos limitados ao longo de superfícies existentes ou emergentes e é dividido em deslizamentos translacionais e rotativos. Em última análise, as subsidências são deslocamentos finitos ou uma deformação vertical contínua. Inclui subespécies conhecidas como subsidência (especificamente), recalques e desabamentos. Esta classificação com explicações adicionais de parâmetros físicos, mecanísticos e causais pode ser encontrada em Guidicini e Nieble (1984).

Hyland e Bobrowski (2008) apresentam uma categorização semelhante com base nos mecanismos internos de movimento de massa. Isso resulta nos tipos conhecidos como queda, tombamento, escorregamento, subsidência e escoamento.

Em geral, segundo Fell et al.,(2008), o mapeamento ou zoneamento de escorregamentos é dividido em quatro tipos principais: inventário, suscetibilidade, perigo e risco. No Brasil, o serviço Geológico Brasileiro - CPRM preparou informações para o inventário da tendência a deslizamentos nos assentamentos prioritários onde esse fenômeno ocorre (Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações, 2014).

Os mapas de suscetibilidade mostram a distribuição espacial da propensão a escorregamentos em uma região (JACKSON; BOBROWSKY; BICHLER, 2012). Segundo Fell et al., (2008), é uma avaliação quantitativa ou qualitativa da classificação volume (ou área) e distribuição espacial dos deslizamentos que existem ou podem ocorrer em uma área.

Visando aprimorar a conformidade, exatidão e confiabilidade das pesquisas relacionadas à suscetibilidade a deslizamentos encontradas na literatura global, Fell e colaboradores (2008) estabeleceram diversas diretrizes para a condução de estudos abordando a suscetibilidade, perigo e risco a deslizamentos. Esses autores indicaram variedades de categorias e graus de zoneamento, além das escalas para a confecção de mapas de zoneamento, todos associados à finalidade específica de caracterizar áreas ao propósito do zoneamento (Quadro 1).

Em paralelo, Jackson, Bobrowsky e Bichler (2012) identificam cinco abordagens distintas para a avaliação da suscetibilidade a características: avaliação subjetiva (baseada em um algoritmo subjetivo predefinido); análise de trajetórias de movimento (fundamentada em trajetórias projetadas ou áreas potencialmente protegidas); calculado de estabilidade (apoiado em cálculos relativos à estabilidade do terreno); abordagem relativa (fundamentada em um algoritmo estatístico bem definido); e método probabilístico (dependente da relação estatística entre combinações passadas e parâmetros já conhecidos (ocorrência de eventos do tipo) por sua associação com deslizamentos).

Dentro dessa perspectiva, é pertinente destacar que o presente estudo empregou uma delimitação regional de suscetibilidade, resumida no Quadro 1, com a intenção de fornecer informações relevantes, sendo com uma escala de 1:1.000.000 (resolução espacial de 1 km x 1 km). Essas particularidades e outras características identificam, portanto, este estudo como pertencente à categoria de avaliação subjetiva, de acordo com a abordagem de Jackson, Bobrowsky e Bichler (2012).

Quadro 1 - Tipos e níveis de zoneamento e escalas de mapa aplicáveis, segundo o propósito de zoneamento de deslizamentos recomendado

Propósito de zoneamento	Tipo de zoneamento			
	Inventário	Suscetibilidade	Perigo	Risco
Zoneamento regional				
Informativo	X	X		
Consultivo	X	X	(X)	
Estatutário	Não recomendado			
Zoneamento local				
Informativo	X	X	X	(X)
Consultivo	(X)	X	X	X
Estatutário		(X)	X	(X)
Zoneamento em local específico				
Informativo	Não recomendado			
Consultivo	Não usado comumente			
Estatutário		(X)	X	X
Projeto (design)		(X)	(X)	X
Propósito de zoneamento	Nível de zoneamento			Escalas de mapa aplicáveis
	Preliminar	Intermediário	Avançado	
Zoneamento regional				1:25.000 até 1:250.000
Informativo	X			
Consultivo	X	(X)		
Estatutário				
Zoneamento local				1:5.000 até 1:25.000
Informativo	X	(X)		
Consultivo	X	X	X	
Estatutário		X	X	
Zoneamento em local específico				1:5000 até 1:1000
Informativo				
Consultivo				
Estatutário		X	X	
Projeto (design)		(X)	X	

Fonte: FELL, R. et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Engineering Geology, New York: Elsevier, v. 102, n. 3-4, p. 85-98, 2008. Tradução nossa.

Nota: X = Aplicável; (X) = Pode ser aplicável.

Tabela 1 – Classificação dos tipos de movimentos gravitacionais de massa

Tipo de movimento	Rocha	Solo
Queda	1. Queda de rochas/gelo*	2. Queda de pedregulho/detrito/silte*
Tombamento	3. Tombamento de bloco de rocha* 4. Tombamento a flexão de rocha	5. Tombamento de cascalho/areia/silte*
Escorregamento ou deslizamento	6. Escorregamento rotacional de rocha 7. Escorregamento planar de rocha* 8. Escorregamento em cunha de rocha* 9. Escorregamento de rocha 10. Escorregamento irregular de rocha*	11. Escorregamento rotacional de argila/silte 12. Escorregamento planar de argila/silte 13. Escorregamento de pedregulho/areia/detrito* 14. Escorregamento composto de argila/silte
Espalhamento lateral	15. Espalhamento de talude de rocha	16. Espalhamento de areia/silte 17. liquefeito* Espalhamento de argila* sensitiva
Fluxo	18. Avalanche de rocha/gelo*	19. Fluxo seco de areia/silte/detrito 20. Corrida úmida de areia/silte/detrito* 21. Fluxo úmido de argila sensitiva* 22. Corrida de detritos* 23. Corrida de lodos* 24. Inundação de detritos 25. Avalanche de detritos* 26. Fluxo de terra 27. Fluxo de turfa
Deformação de talude	28. Deformação de talude de montanha 29. Deformação de talude de rocha	30. Deformação de talude de solo 31. Rastejo de solo 32. Solifluxão

*Movimentos que usualmente atingem velocidades extremadamente altas Cruden e Varnes (1996).

2.2. FATORES E CAUSAS INFLUENTES

A investigação da predisposição a deslizamentos exige a incorporação de elementos que esclarecem de maneira adequada o funcionamento desse fenômeno. De acordo com Guidicini e Nieble (1984), a análise segmenta os agentes e causas do movimento em categorias de agentes predisponentes e efetivos. Os agentes predisponentes, conforme os autores, dizem respeito ao conjunto de condições geológicas, geométricas e ambientais em que ocorre o movimento, com base exclusivamente em fatores naturais, excetuando-se influências humanas. Esses agentes abordam complexos geológicos, morfológicos, climatológicos-hidrologógicos, gravidade, radiação solar e tipo de vegetação nativa. Doutra forma, os agentes efetivos englobam os elementos diretamente responsáveis pelo fenômeno, incluindo a intervenção humana.

No desenvolvimento do Mapeamento de Suscetibilidade a Deslizamentos do Brasil, informações georreferenciadas foram avaliadas para elucidar o desencadeamento do fenômeno, seguindo a abordagem dos agentes predisponentes e efetivos proposta por Guidicini e Nieble (1984). No tocante aos agentes predisponentes, foram empregadas bases temáticas vetoriais em escala 1:250 000 de geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação, produzidos pelo IBGE ao longo de duas décadas no contexto do projeto de Mapeamento Sistemático de Recursos Naturais. Essas informações foram integradas ao Banco de Dados de Informações Ambientais - BDIA (IBGE, 2018a; IBGE, 2018b; IBGE, 2018c; IBGE, 2019a; IBGE, 2019b).

Além desses recursos, no que se refere aos agentes efetivos, ou seja, as variáveis que em geral desencadeiam os deslizamentos, foram utilizadas informações provenientes do Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil 2014-2016, em escala 1:1 000 000, divulgado pelo IBGE (MONITORAMENTO da cobertura e uso da terra do Brasil, 2018), para identificar a ocupação e uso do território brasileiro. Além disso, informações do Atlas Pluviométrico do Brasil, desenvolvido pelo CPRM (ATLAS..., 2011), em escala 1:5 000 000, foram empregadas para compreender os padrões de chuva (médias aéreas de chuvas).

Para integrar essas diferentes fontes de dados associadas a unidades geográficas heterogêneas, as informações temáticas foram agregadas à Grade Estatística do IBGE, que divide o país em células de 1 km x 1 km (GRADE..., 2016).

A seguir, serão detalhados os métodos e variáveis utilizados em cada um dos temas abordados, seguidos pelos procedimentos de avaliação e calculados da suscetibilidade às opções, englobando todas as variáveis pensadas.

2.2.1. Geologia

Dentre os fatores intrínsecos à Geologia, a litologia emerge como um fator determinante nos estudos de suscetibilidade a deslizamentos. Conseqüentemente, essa variável foi avaliada com base no mapeamento geológico do Brasil em escala 1:250 000, fornecida pelo IBGE (IBGE, 2019a; IBGE, 2019b). Contudo, aceitar que a litologia, apesar de sua importância, quando utilizada como um dado geológico isolado, é insuficiente para uma avaliação precisa com essa abordagem. Isso se deve ao fato de que um mesmo tipo de rocha, ou litologia, pode apresentar diferentes níveis de resistência a processos de deslizamentos. Além disso, o mapeamento geológico em escala 1:250.000 não representa diretamente a distribuição da litologia. Nessa escala, o mapeamento retrata a distribuição de unidades litoestratigráficas, que frequentemente englobam uma mistura de litologias com vulnerabilidades distintas, dificultando a identificação da predominante. Além disso, a suscetibilidade a deslizamentos pode variar consideravelmente de acordo com a presença e intensidade de deformações tectônicas sofridas pelas rochas ou unidades geológicas.

Portanto, na análise dos dados geológicos, foram empregados quatro fatores predisponentes ou avaliados acompanhados e essenciais para uma avaliação adequada da suscetibilidade ou resistência das rochas a movimentos gravitacionais. Essas variáveis compreendem: litologia; características genéticas da litologia; província estrutural; e subprovíncia estrutural em que essas litologias estão inseridas.

As características genéticas da litologia ganham reconhecimento ao distinguir diferentes origens para litologias que podem compartilhar a mesma

classificação, influenciando em seus comportamentos distintos. Um exemplo disso são os granitos, que podem ser ígneos (granitos alcalinos) ou metamórficos (metagranitos ou granitos gnáissicos), ou ainda arenitos, que podem ser sedimentares clásticos (arenitos litícos), químicos (calcarenitos) ou vulcanoclásticos (arenitos tufaceosos). Também se incluem as diversas rochas metamórficas, em que quartzitos, xistos ou gnaisses podem pertencer a diferentes graus (baixo, baixo a médio, médio, médio a alto e alto) na escala de pressão e temperatura do metamorfismo, os quais resultam em diferentes potenciais de suscetibilidade à deslizamentos.

No contexto das províncias e subprovíncias isoladas, essas categorias refletem a história geológica das rochas, agrupando unidades litoestratigráficas com base em sua evolução estratigráfica, magmática, tectônica e metamórfica, diferenciando-as em diversos aspectos, incluindo a intensidade e os tipos de deformações sofridas. Esses aspectos são de grande valia para esta avaliação.

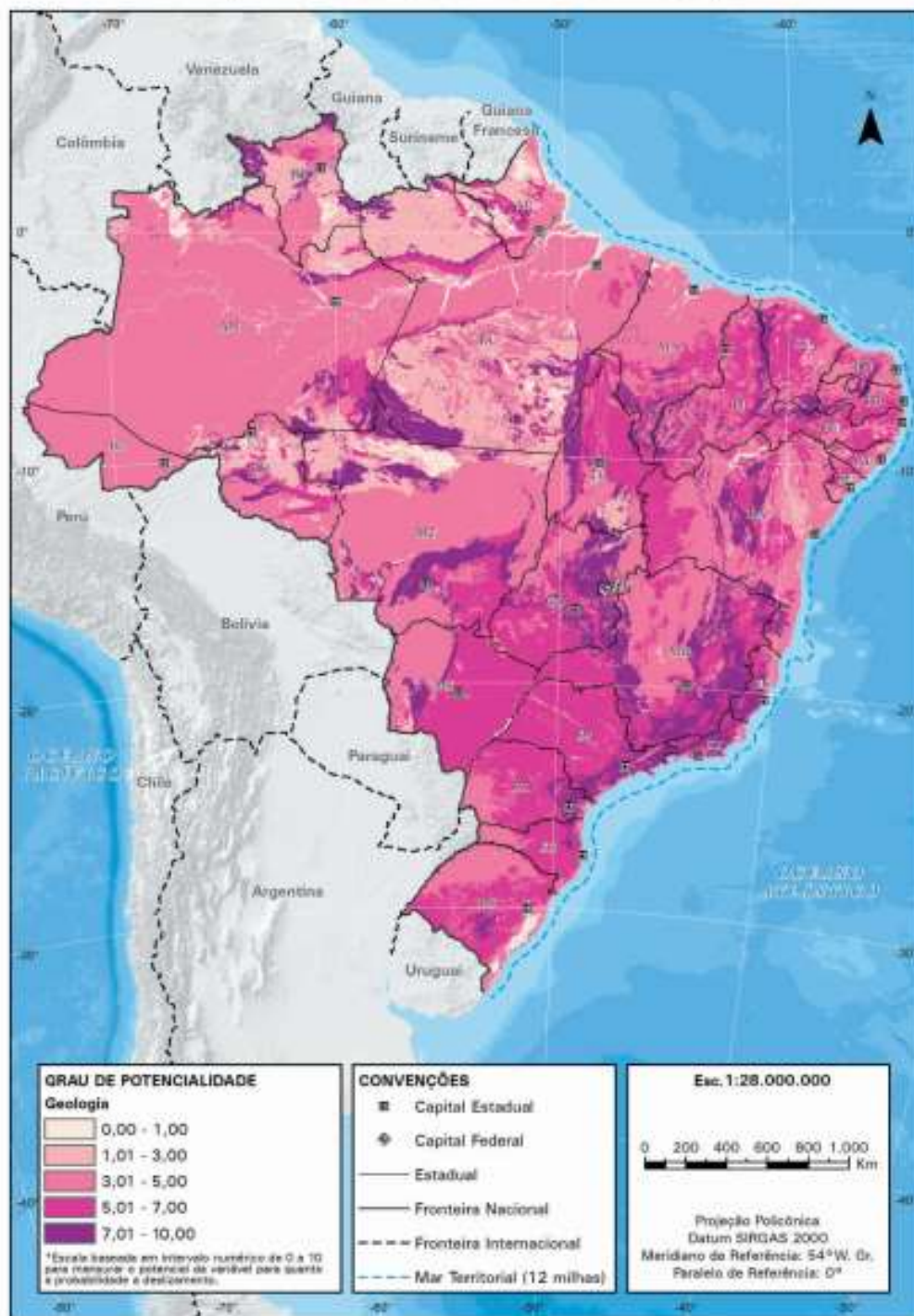
Neste cenário, as bases fundamentais que guiaram a seleção dessas variáveis estão relacionadas ao entendimento de que uma composição litológica e suas características genéticas influenciam a resistência aos processos erosivos e, por consequência, às ocorrências de deslizamentos. Por outro lado, as subdivisões regionais e provinciais em termos desenvolvidos estão relacionados à morfotectônica e à morfoestrutura, além de desempenharem um papel crucial na morfogênese, esses elementos também servem como indicadores da intensidade da deformação das formações rochosas e, por extensão, do seu comportamento frente a esses processos.

Essas quatro variáveis foram avaliadas quanto ao seu potencial de contribuição para deslizamentos numa escala que varia de 1 (mínimo potencial) a 10 (máximo potencial). Essas características são derivadas diretamente da tabela de unidades geológicas do BDIA (IBGE, 2019a), que, como mencionadas, frequentemente representam uma combinação ou conjunto de tipos litológicos. Nesse contexto, os pesos foram atribuídos a todos os tipos de rocha que compuseram essas unidades, e então foram adicionados à média aritmética, representando assim o peso médio da combinação como um todo.

Os níveis finais de potencial para deslizamentos foram determinados a partir da média aritmética dos valores atribuídos a cada uma das variáveis e aplicados aos 84.119 polígonos que compõem o mapa geológico. A Tabela 2 apresenta os atributos das subdivisões regionais e provinciais, juntamente com seus respectivos graus de potencial para deslizamentos, variando de 1 a 10. É importante notar que os valores atribuídos às subdivisões provinciais foram calculados pela média dos graus de potencialidade associados às subdivisões regionais. A Tabela 2 também destaca a relação entre as características genéticas das várias litologias mapeadas e seus respectivos graus de potencial para deslizamentos, detalhados na Tabela 3.

O Mapa 1 apresenta visualmente a distribuição do potencial para estrelas com base na geologia.

Mapa 1 - Potencialidade a deslizamentos do tema Geologia



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Banco de Dados de Informações Ambientais - Geologia.

Nota: Elaboração a partir de dados da Base Cartográfica Contínua do Brasil na Escala 1:250 000, do IBGE.

Fonte: IBGE (2019)

Tabela 2 - Províncias e subprovíncias estruturais com indicação do grau de potencialidade a deslizamentos - Brasil

Províncias Estruturais	Subprovíncias Estruturais
Amazonas-Solimões (4)	Alter do Chão (2); Amazonas (9); Cururu-Penatecaua (2); Içá (1); Moa-Divisor (8); Solimões (4)
Amazônia (5)	Alto Guaporé (1); Bacajá-Tumucumaque-Cauarane (8); Cassiporé (8); Penatecaua (3); Complexos Alcalinos (7); Guiana Central (9); Jaci-Paraná (3); Oiapoque (1); Parima-Tapajós (8); Pau D'Arco (2); Rio Apa (2); Rio Negro-Juruena (8); Serra Arqueada (10); Tacutu (4)
Borborema (7)	Araripe (2); Cachoeirinha (8); Ceará Central (4); Zona Transversal (8); Bacias Interiores (3); Complexos Alcalinos (7); Granja (1); Macau (2); Magmática Pós-Orogênica (10); Martinópolis-Ubajara (10); Paulistana-Monte Orebe (8); Pernambuco-Alagoas (8); Rio Ceará-Mirim (7); Rio Grande do Norte (10); Segipana-Riacho do Pontal (7); Seridó (10)
Coberturas Cenozoicas (1)	Alto Xingu (1); Baixo Tocantins (1); Bananal (1); Barreiras (1); Boa Vista (1); Indiscriminadas (1); Riftes Cenozoicos da Mantiqueira (1); Dunas do São Francisco (1); Guaporé (1); Pantanal (1); Rio Branco-Rio Negro (1)
Costeira e Margem Continental (3)	Bacias da Margem Continental (2); Complexo Alcalinos (7); Depósitos Costeiros (1); Foz do Amazonas-Marajó (1).
Província Gurupi (5)	Gurupi (5)
Mantiqueira (10)	Araçuaí-Rio Doce (10); Curitiba-Luiz Alves-Itajaí (10); Complexos Alcalinos (10); Embu-Rio Negro-Paranapiacaba (10); Pelotas (9); São Gabriel-Camaquã (8)
Paraná(6)	Bauru-Caiuá (2); Complexos Alcalinos (5); Paraná (9); Serra Geral (8); Telêmaco Borba (8)
Parecis (3)	Anari-Tapirapuã (3); Parecis (2); Pimenta Bueno-Casa Branca (5)
Parnaíba (6)	Alpercatas (9); Grajaú (2); Mosquito-Sardinha (3); Parnaíba (10)
Recôncavo-Tucano-Jatobá (3)	Recôncavo-Tucano-Jatobá (3)
São Francisco (6)	Bambuí (5); Espinhaço Meridional (10); Espinhaço-Chapada Diamantina (10); Jequié-Curaçá (3); Quadrilátero Ferrífero (9); Salitre (5); São Franciscana (2); Sobradinho-Paramirim (4)
São Luís (4)	São Luís (4)
Tocantins (7)	Araguaia-Tocantins (8); Arai-Serra da Mesa (9); Brasília (10); Corumbá-Alto Paraguai (10); Crixás-Goiás Velho (6); Bacias Interiores (2); Dianópolis (5); Complexos Alcalinos (7); Iporá-Amorinópolis (7); Magamática Pós-Orogênica (1); Mara Rosa (1); Paraguai (8); Porto Nacional-Nova Crixás (2); Socorro-Guaxupé (10)

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Banco de Dados de Informações Ambientais - Geologia.

Nota: A numeração entre parênteses representa o grau (1 a 10) atribuído a cada província ou subprovíncia estruturais.

Tabela 3 – Características genéticas das litologias e respectivos graus de potencialidade a deslizamentos atribuídos

Características genéticas das litologias	Graus de potencialidade a deslizamentos
Hipoabissal ácida-intermediária	4
Hipoabissal básica	5
Metamórfica de contato	5
Metamórfica de zona de cisalhamento	7
Metamórfica regional de grau alto	3
Metamórfica regional de grau baixo	7
Metamórfica regional de grau baixo a médio	6
Metamórfica regional de grau baixo a médio	6
Metamórfica regional de grau fraco	7
Metamórfica regional de grau fraco a baixo	8
Metamórfica regional de grau médio	5
Metamórfica regional de grau médio a alto	4
Metaplutônica	6
Metassedimentar	6
Metavulcanossedimentar	6
Plutônica ácida	1
Plutônica alcalina	2
Plutônica básica	3
Plutônica intermediária	3
Plutônica ultrabásica	4
Sedimentar clástica	8
Sedimentar clasto-química bem consolidada	4
Sedimentar clasto-química	9
Sedimentar piroclástica	8
Sedimentar química	10
Vulcânica ácida-intermediária	4
Vulcânica alcalina	4
Vulcânica básica/ultrabásica	5

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Banco de Dados de Informações Ambientais - Geologia.

Nota: Os graus de potencialidade a deslizamentos variam de 1 a 10.

2.2.2. Geomorfologia

As informações geomorfológicas utilizadas no presente estudo derivam do mapeamento geomorfológico em escala 1:250.000, elaborado pelo IBGE (IBGE, 2018a; IBGE, 2019a). Esse mapeamento se baseia em uma classificação de relevos, na qual são identificados domínios morfoestruturais, regiões geomorfológicas, unidades geomorfológicas e padrões de relevo, organizados em uma hierarquia decrescente (Manual técnico de geomorfologia, 2009).

Para avaliar a suscetibilidade a mudanças com base nas variáveis geomorfológicas, recorra-se à quarta ordem desta classificação, ou seja, os padrões de relevância. Esses padrões representam formas geométricas semelhantes devido a uma origem comum e aos processos morfogenéticos atuantes, originados na ocorrência recorrente de materiais correspondentes (Manual técnico de geomorfologia, 2009). São identificados quatro tipos principais modelados de acumulação (A), dissecação (D), dissolução (K) e aplainamento (P), cada um deles com vários subtipos, conforme características geomorfológicas específicas. Por exemplo, os padrões de exclusão (A) podem ser planos, como detectados em planos fluviais (Apf), terraços fluviais (Atf), marinhos (Atm), lacustres (Atl), entre outros.

Assim, cada padrão de relevo foi categorizado com um valor de 1 a 10, onde 1 corresponde ao menor potencial de opções e 10, ao maior potencial (conforme Tabela 4). A classificação foi realizada com base em critérios técnicos, levando em conta as próprias características geomorfológicas desenvolvidas pelo padrão de relevo, embora submetida a alguma subjetividade na avaliação técnica.

O Mapa 2 exibe a potencialidade de ocorrência de deslizamentos relacionadas à geomorfologia.

Tabela 4 Litologias e respectivos graus de potencialidade a deslizamentos atribuídos na avaliação

(continua)

Litologias	Graus de potencialidade a deslizamentos	Litologias	Graus de potencialidade a deslizamentos
actinolita-xisto	5	calcoxisto	5
adamelito	1	calhau	8
alásquito	1	caliche	10
álcali feldspato-granito	1	canga	8
álcali feldspato-sienito	2	carbonatito	2
álcali granito	1	carvão	10
álcali sienito	2	cascalho	10
andesito	4	cataclasito	8
anfíbólio-xisto	5	coquina	10
anfíbólito	4	cordi-silim-granada-gnaisse	3
anortosito	3	cromitito	2
aplito	1	dacito	4
arcósio	8	diabásio	3
arcósio lítico	8	diamictito	7
ardósia	7	diatexito	1
areia	10	diopsidito	3
areia siltosa	10	diorito	3
arenito	8	dolomito	10
arenito argiloso	8	dunito	3
arenito caulínico	8	enderbitito	1
arenito siltico	8	epidotito	3
argila	8	escarnito	7
argilito	8	essexito	2
augen gnaisse	3	evaporito	10
basalto	3	fels	7
basalto alcalino	3	fenito	3
basanito	3	filito	7
bauxita	8	filito carbonoso	8
biotita-granito	1	filonito	7
biotita-hornblenda-granito	1	folhelho	8
biotita-xisto	5	folhelho betuminoso	10
brecha	8	folhelho carbonoso	10
brecha de falha	9	fonolito	3
brecha intraformacional	8	formação ferrífera	7
brecha vulcânica	6	fosforito	10
calcarenito	10	foyaite	2
calcário	10	gabro	3
calcilito	10	gabronorito	3
calcissilicática	4	gnaisse	3
calcixisto	5	gnaisse aluminoso	3

Tabela 4 Litologias e respectivos graus de potencialidade a deslizamentos atribuídos na avaliação

(continuação)			
Litologias	Graus de potencialidade a deslizamentos	Litologias	Graus de potencialidade a deslizamentos
gondito	5	meta-anostosito	6
granada-biotita-xisto	5	meta-arcósio	8
granada-gnaisse	3	meta-argilito	8
granada-xisto	5	metabasalto	5
granito	1	metabasito	5
granito a duas micas	1	metabrecha	8
granito a titanita	1	metabrecha vulcânica	8
granito aplito	1	metacalcário	10
granitoide	1	metachert	6
granoblastito	1	metaconglomerado	6
granodiorito	1	metadacito	5
granófiro	1	metadiabásio	3
granolito	1	metadiorito	3
granulito	1	metagabro	3
grauvaca	8	metagranito	1
greisen	5	metagranodiorito	1
jotunito	3	metagrauvaca	8
kersantito	2	metahornblendito	3
k-feldspato-quartzo-sienito	2	metakomatiito	6
kimberlito	3	metamáfica	5
kinzigito	1	metandesito	4
komatiito	5	metanorito	5
lamito	10	metapelito	7
lamprófiro	3	metaperidotito	5
laterito	8	metaultramáfica	5
latito	4	metavulcânica félsica	4
leptito	1	metavulcânica básica	5
leucitito	4	metavulcânica intermediária	5
leuco gabronorito	3	micaxisto	5
leuco granito	1	micro brecha	9
leuco granodiorito	1	micro granito	1
leuco monzogranito	1	micro granodiorito	1
linhito	3	micro monzonito	1
litchfieldito	2	micro nefelina monzonito	2
malignito	3	micro nefelina sienito	2
mangerito	1	micro quartzo diorito	3
marga	10	micro quartzo monzonito	1
mármore	6	micro sienito	2
matacão	5	migmatito	2
melteigito	3	milonito	7

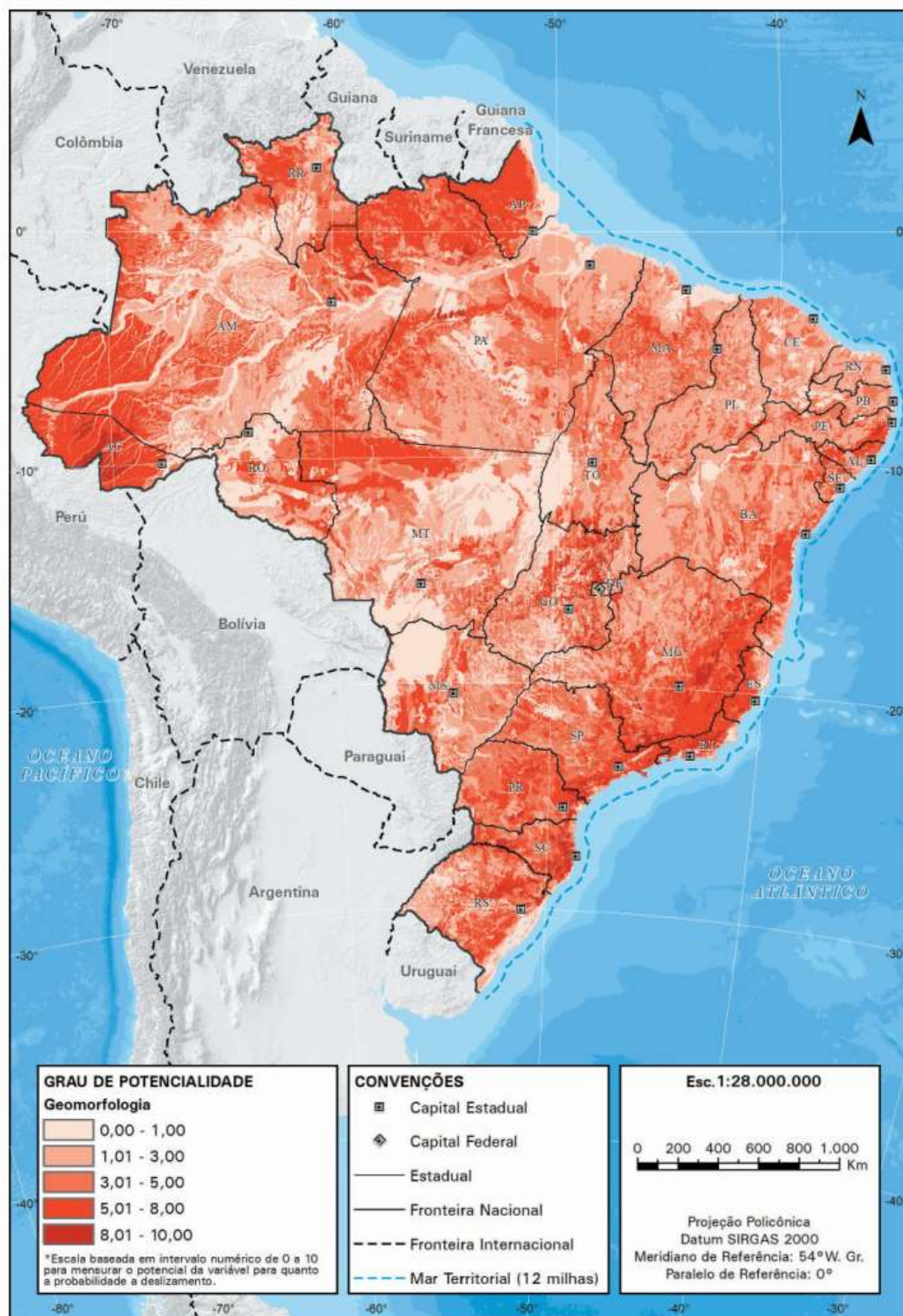
Tabela 4 Litologias e respectivos graus de potencialidade a deslizamentos atribuídos na avaliação

(conclusão)			
Litologias	Graus de potencialidade a deslizamentos	Litologias	Graus de potencialidade a deslizamentos
caulim	10	metarritmito	8
charnockito	1	metassilito	8
charnoenderbito	1	metatexito	1
chert	5	metatonalito	1
clinopiroxenito	3	metatufo	8
clorita-talco-xisto	6	quartzito	4
coluvião	10	quartzito ferruginoso	4
conglomerado	7	quartzito micáceo	5
congl. polimít.	7	quartzo queratófiro	4
harzburgito	3	quartzo-arenito	8
hidrotermalito	5	quartzolatito	4
hornblenda-peridotito	3	quartzolito	1
hornblendito	3	quartzomonzonito	1
hornfels	5	quartzo-pórfiro	3
hulha	10	quartzo-sienito	2
ignimbrito	7	vulcânica intermediária	4
ijolito	2	websterito	3
itabirito	7	wehrlito	3
jaspilito	7	xisto	5
metapiroxenito	5	xisto aluminoso	5
metaquartzo diorito	4	xisto grafitoso	7
metarenito	8	xisto magnésiano	5
metarriodacito	4	xisto quartzítico	5
metarriolito	4	xisto ultramáfico	5

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Banco de Dados de Informações Ambientais - Geologia.

Nota: Os graus de potencialidade a deslizamentos variam de 1 a 10.

Mapa 2 - Potencialidade a deslizamentos do tema Geomorfologia



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Banco de Dados de Informações Ambientais - Geomorfologia.

Nota: Elaboração a partir de dados da Base Cartográfica Contínua do Brasil na Escala 1:250 000, do IBGE.

Fonte: IBGE (2019)

2.2.3. Pedologia

Os níveis de suscetibilidade a deslizamentos relativos a este tópico foram deduzidos a partir de análises das informações pedológicas do Brasil criadas nos gráficos de dados do Banco de Dados de Informações Ambientais de Pedologia. Dentro desse repositório, estão contidas as representações vetoriais das unidades de mapeamento de Pedologia, numa escala de 1:250.000 com recortes proporcionais, abrangendo todo o Território Nacional (IBGE 2018b; IBGE, 2019a).

Para essas estimativas, foi levada em consideração a classe predominante do solo nas unidades de mapeamento, em conformidade com os critérios constantes na terceira edição do Manual Técnico de Pedologia do IBGE (Manual técnico de pedologia, 2015). Solos que ocorrem de forma menos expressiva, quer seja como subdominantes, quer seja como inclusões em combinação de unidades de mapeamento, ou mesmo em unidades compreendidas, não foram considerados.

No processo de estabelecer os níveis de suscetibilidade a deslizamentos baseadas nos dados pedológicos do Brasil, foram selecionados atributos do solo que experimentaram a capacidade de infiltração e condutividade hidráulica do solo, bem como a dispersão da argila, todos eles cruciais para os desencadeamentos dos mecanismos de movimentos gravitacionais e de liquefação do solo. As propriedades do solo utilizadas na análise – profundidade, textura e relação textural – estão implicitamente presentes na classificação atribuída, ou seja, estão diretamente ou representadas na legenda do mapeamento pedológico do IBGE.

Cada atributo variável foi pontuado numa escala de 1 a 10, através de estimativas subjetivas, onde pontuações mais altas indicam maior suscetibilidade a deslizamentos. Não calculado da pontuação final (grau de suscetibilidade), considerando-se o valor mais elevado (mais restritivo) entre os atributos avaliados, utilizando análises multicriteriais ponderadas. Visto que as áreas urbanas não foram criadas na classificação pedológica do IBGE, foi atribuído o valor mínimo (1) para evitar duplicações com as classes de cobertura e uso do solo.

No contexto da profundidade do solo, foram consideradas as características que influenciam a capacidade de infiltração, percolação e

condutividade hidráulica do solo, às vezes experimentadas pela evolução pedogenética incipiente. Os solos foram categorizados em rasos, pouco profundos, profundos e muito profundos, com base nos atributos presentes na legenda do mapeamento pedológico do IBGE. Assim, quanto mais rasa a camada de solo, maior a suscetibilidade a deslizamentos. Essa característica possibilita a avaliação dos riscos potenciais de saturação do solo, que podem induzir a diminuição ou colapso das forças de tensão, gerados em movimentos gravitacionais, associados ou não com a dispersão da argila, levando ao aumento da fluidez ou mesmo à liquefação do solo.

No que diz respeito à textura do solo, que envolve uma proporção granulométrica de areia, silte e argila, o agrupamento textural foi utilizado, de forma binária ou não, juntamente com a distribuição de cascalhos nos solos predominantes das unidades de mapeamento.

Os agrupamentos texturais classificados como mais suscetíveis a deslizamentos são aqueles com maior presença de cascalho e teor mais alto de silte. Solos de textura média ou orgânicos foram classificados como menos suscetíveis. Portanto, dependendo da textura do solo, juntamente ou não com a presença de cascalhos, o comportamento e suscetibilidade a deslizamentos variam. Isso ocorre porque a textura afeta a infiltração, percolação, condutividade hidráulica saturada e não saturada, o potencial matricial (atração de água pela matriz do solo), estabilidade de agregados, grau de flocculação e dispersão da argila.

Assim, por exemplo, solos mais argilosos possuem maior microporosidade e porosidade total, maior potencial matricial e menor condutividade hidráulica, favorecendo a saturação. Nesse cenário, quanto maior a inclinação, maior é o aumento da densidade, o que reduz a coesão, cria sobrecarga e leva à ruptura, ocasionando deslizamentos, associados ou não com a dispersão da argila, e, portanto, à liquefação do solo.

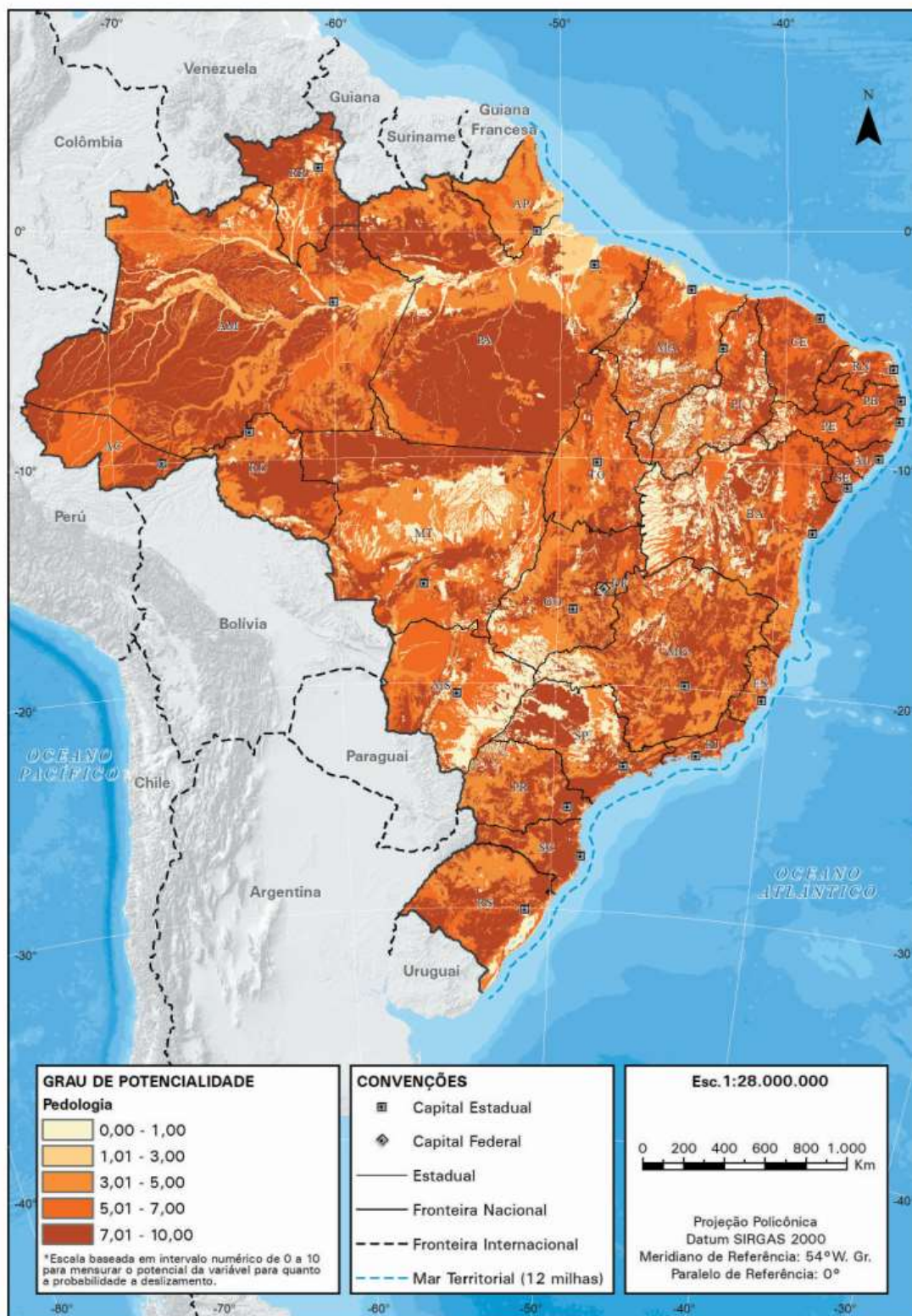
A relação textural do solo é uma variável que evidencia a discrepância na quantidade de argila entre o horizonte superficial e subsuperficial, podendo ser formada por diferentes processos pedogenéticos. Essa característica do solo influencia a condutividade hidráulica saturada e não saturada, a continuidade dos

poros, a variação no potencial matricial ao longo do perfil, bem como a resistência à infiltração e percolação da água na subsuperfície.

Na classificação da suscetibilidade a deslizamentos com base na relação textural, foram selecionados atributos e horizontes diagnósticos que indicam variações na textura do solo. Quanto mais acentuada a relação textural (teor de argila no horizonte B maior que no horizonte A), maior a suscetibilidade a deslizamentos.

O Mapa 3 ilustra a suscetibilidade a deslizamentos em relação à pedologia.

Mapa 3 - Potencialidade a deslizamentos do tema Pedologia



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Banco de Dados de Informações Ambientais - Pedologia.

Nota: Elaboração a partir de dados da Base Cartográfica Contínua do Brasil na Escala 1:250 000, do IBGE.

Fonte: IBGE (2019)

2.2.4. Cobertura e uso da terra e vegetação

Diversas pesquisas sobre a vulnerabilidade a deslizamentos tem empregado informações do ambiente físico relacionadas ao uso e cobertura da terra, bem como à vegetação. Como o IBGE é responsável pelo levantamento dos recursos naturais do Brasil e conduz o monitoramento da cobertura e uso da terra, foi possível utilizar os Mapas de Vegetação e de Cobertura e Uso da Terra (IBGE, 2018c; IBGE, 2019a; Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil, 2018) como base para desenvolver o Mapa de Vulnerabilidade a Deslizamentos do Brasil.

No que diz respeito à cobertura e uso da terra, das 12 classes aprovadas, foram excluídas as correspondentes aos corpos d'água, que consistiam em duas classes: corpo d'água continental e corpo d'água costeiro. Conseqüentemente, para as 10 classes restantes, os níveis de vulnerabilidade a deslizamentos atribuídos na análise são detalhados na tabela 5. Devido à integração dos temas "Cobertura e uso da terra" e "Vegetação" em um mapa único, os níveis de vulnerabilidade a deslizamentos atribuídos às formações vegetais (tabela 6) foram associados aos apresentados na tabela 5.

Embora tanto a classe "vegetação florestal" quanto a classe "vegetação campestre" representem ambientes naturais, optou-se por atribuir diferentes níveis de vulnerabilidade à deslizamentos a ambas, levando em consideração suas características distintas. Ambas foram consideradas de baixa vulnerabilidade a deslizamentos.

No contexto do monitoramento da cobertura e uso da terra, a classe "silvicultura" representa plantios florestais em monocultura. Portanto, mesmo sendo uma categoria antropogênica, o nível de vulnerabilidade atribuído a ela se assemelha aos níveis atribuídos às classes naturais, devido à semelhança estrutural. A classe "área descoberta" abrange regiões sem vegetação, com exposição do solo, rochas, dunas etc. As classes "mosaico de ocupações em área florestal" e "mosaico de ocupações em área campestre" representam áreas com um nível intermediário de intervenção humana, situando-se entre as áreas naturais e as altamente antropizadas. Essas classes foram consideradas de vulnerabilidade média a deslizamentos.

Já as classes "pastagem com manejo", "área agrícola" e "área artificial" foram classificadas com alto grau de intervenção humana. Para diferenciar os níveis de vulnerabilidade a deslizamentos entre elas, considerou-se que a intensidade mais elevada de atividades humanas na "Área agrícola" contribui para um nível superior de vulnerabilidade em comparação com a "pastagem com manejo". A "Área artificial" recebeu o maior nível de vulnerabilidade a deslizamentos dentre todas as classes sustentáveis, devido a presença de edificações e pavimentação, que alteram significativamente as condições do solo e do meio ambiente. Essas classes foram consideradas de alta vulnerabilidade a deslizamentos.

Apesar de alguns estudos não abrangerem todas as classes apresentadas no monitoramento da cobertura e uso da terra realizado pelo IBGE (Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil, 2018), os valores atribuídos às classes de cobertura e uso da terra neste estudo são compatíveis com os valores de vulnerabilidade a deslizamentos associadas a classes de cobertura e uso da terra em outros mapeamentos (CANAVESI et al., 2013; SILVEIRA; VETTORAZZI; VALENTE, 2014).

A cobertura vegetal desempenha um papel crucial na proteção do solo contra várias situações de equilíbrio na natureza, especialmente causadas por enxurradas que resultam em erosão, lixiviação e outras alterações. Com o intuito de avaliar a contribuição de diferentes formações vegetais encontradas no Brasil para mitigar esses efeitos, foram atribuídos níveis de vulnerabilidade e características a cada uma delas, com base em características como tipo e porte das copas (arbóreas, arbustivas ou herbáceas), distribuição densa ou rala dos arbustos no terreno, e a presença ou ausência de sub-bosque.

Apesar de terem objetivos distintos, os levantamentos da vegetação realizados ao longo de décadas em todo o território brasileiro possibilitaram a criação empírica da tabela 6, que apresenta os níveis de vulnerabilidade a deslizamentos atribuídas a cada formação ou transição de vegetação. Conforme ilustrado na tabela 6, as formações vegetais e suas transições com outros tipos de vegetação registram os níveis mais baixos de vulnerabilidade a deslizamentos. Entre as formações florestais, a "floresta ombrófila densa" apresenta o nível mais

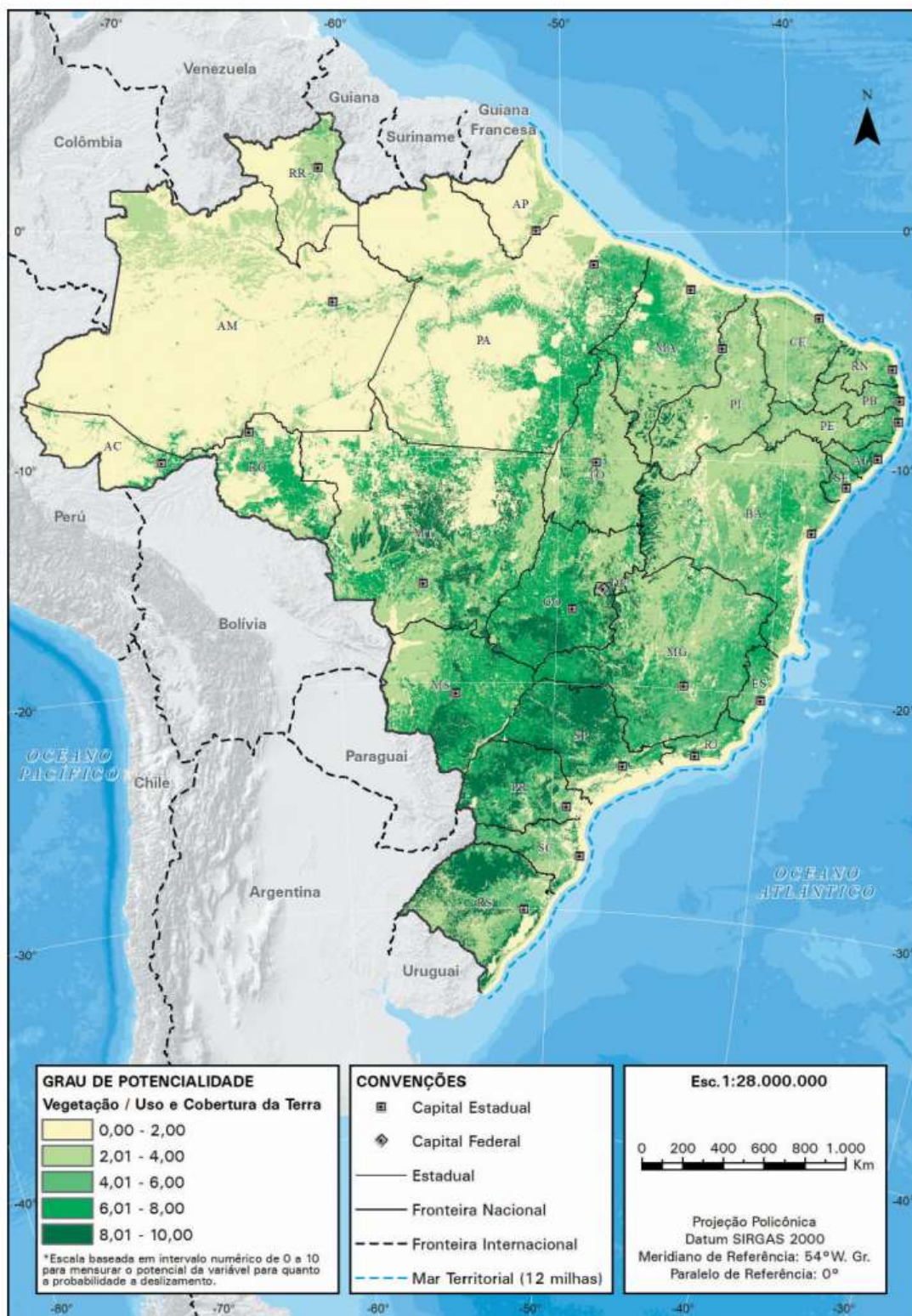
baixo devido às árvores altas, copas densas e sub-bosque também denso. O nível aumenta para a "floresta ombrófila aberta", onde as espécies estão mais espaçadas devido à presença de cipós, palmeiras, bambus, dentre outras.

Entre as formações campestres, a "savana" apresenta o menor nível de vulnerabilidade a deslizamentos, devido a presença geralmente constante de arbustos com copas bem formadas e que não perdem folhas. O nível mais alto é observado na "estepe", onde prevalecem os herbáceos individuais.

Os níveis de vulnerabilidade a deslizamentos atribuídos às classes de cobertura e uso da terra e às formações vegetais brasileiras foram ajustados para garantir consistência, considerando a interdependência desses temas. Assim, os níveis para as formações florestais variam entre 1 e 2, enquanto para as formações campestres variam entre 3 e 4, conforme mostrado na Tabela 6.

O mapa 4 apresenta a potencialidade a deslizamentos relacionada aos temas.

Mapa 4 - Potencialidade a deslizamentos dos temas Cobertura e uso da terra e Vegetação



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Banco de Dados de Informações Ambientais - Vegetação e Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil, Escala 1:1 000 000.

Nota: Elaboração a partir de dados da Base Cartográfica Contínua do Brasil na Escala 1:250 000, do IBGE.

Fonte: IBGE (2019)

Tabela 5 - Classes de cobertura e uso da terra e respectivos graus de potencialidade a deslizamentos atribuídos na avaliação

Classes de cobertura e uso da terra	Graus de potencialidade a deslizamentos
Vegetação florestal	1
Vegetação campestre/Área úmida	2
Silvicultura	4
Área descoberta	5
Mosaico de ocupações em área florestal/Mosaico de ocupações em área campestre	6
Pastagem com manejo	8
Área agrícola	9
Área artificial	10

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil, Escala 1:1 000 000.

Nota: Os graus de potencialidade a deslizamentos variam de 1 a 10.

Tabela 6 - Formações vegetais, contatos vegetacionais e respectivos graus de potencialidade a deslizamentos atribuídos na avaliação

Formações vegetais	Graus de potencialidade a deslizamentos
Floresta Ombrófila Densa	1,1
Floresta Ombrófila Aberta	1,2
Floresta Ombrófila Mista	1,2
Floresta Estacional Semidecidual	1,3
Floresta Estacional Decidual	1,4
Campinarana	2,6
Savana	2,5
Savana-Estépica	2,7
Estepe	2,9
Refúgios	2,9
Formações Pioneiras	2,8
Contatos vegetacionais	Graus de potencialidade a deslizamentos
Estepe-Floresta Ombrófila Mista (EM)	1,9
Estepe-Floresta Estacional (EN)	1,8
Estepe-Formações Pioneiras (EP)	2,9
Campinarana-Floresta Ombrófila (LO)	1,5
Floresta Estacional-Floresta Mista (NM)	1,3
Floresta Estacional-Formações Pioneiras (NP)	1,6
Floresta Ombrófila-Floresta Mista (OM)	1,2
Floresta Ombrófila-Floresta Estacional (ON)	1,3
Floresta Ombrófila-Formações Pioneiras (OP)	1,5
Savana-Floresta Ombrófila Mista (SM)	1,4
Savana-Floresta Estacional (SN)	1,5
Savana-Floresta Ombrófila (SO)	1,3
Savana-Formações Pioneiras (SP)	2,5
Savana-Savana Estépica (ST)	2,6
Savana-Floresta Estacional-Savana Estépica (SNT)	1,7
Savana Estépica-Floresta Estacional (TN)	1,6
Savana Estépica-Floresta Ombrófila (TO)	1,5
Savana Estépica-Formações Pioneiras (TP)	2,9

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Banco de Dados de Informações Ambientais - Vegetação.

2.2.5. Declividade

A inclinação do terreno é um dos principais elementos que motivam a desencadeamento de fenômenos de deslizamentos, conforme indicado por diversos estudos focados nesse tema. Isso é evidenciado por pesquisas conduzidas no Canadá e na Europa (BOBROWSKY, et al., 2012; WILDE et al., 2018), que associam a inclinação do terreno como causas nas avaliações de suscetibilidade a deslizamentos.

Para essas análises, foram utilizadas imagens do Modelo Digital de Elevação (MDE) CGIAR-CSI-SRTM41, originalmente desenvolvido pelo projeto Shuttle Radar Topography Mission - SRTM (NASA, 2004) e posteriormente investigado pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT2 (JARVIS et al., 2008).

O MDE é uma representação digital da superfície terrestre em que os dados de elevação (altitude) são armazenados em uma estrutura de dados matriciais, organizados em linhas e colunas. Esses dados são frequentemente referidos na literatura e em programas de computador como dados raster, sendo o menor elemento de representação conhecido como pixel (HUNTER; GOODCHILD, 1997; CASANOVA et al., 2005). As informações altimétricas são representadas em imagens com pixels de 90 m x 90 m. A análise altimétrica foi realizada no software ArcGIS 10.3, utilizando a função "slope", que calcula a mudança máxima de aumento entre um pixel e seus vizinhos. Isso permite identificar a tendência mais acentuada entre um pixel e seus oito vizinhos, atribuindo um valor percentual ao pixel em análise (BURROUGH; MCDONELL, 1998).

Posteriormente, os valores de inclinação foram agrupados de acordo com as classes definidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1979), conforme mostrado na tabela 7. Os graus de potencialidade a deslizamentos de cada classe foram estimados segundo a premissa de quanto maior a declividade, maior a probabilidade de ocorrência de fenômenos de movimentos gravitacionais de massa.

Tabela 7 - Classes de declividade e respectivos graus de potencialidade a deslizamentos atribuídos na avaliação

Classes de declividade	Declividade (%)	Graus de potencialidade a deslizamentos
Plano	0 - 3	1
Suave-ondulado	3 - 8	3
Ondulado	8 - 20	5
Forte-ondulado	20 - 45	8
Montanhoso	45 - 75	9
Escarpado	>75	10

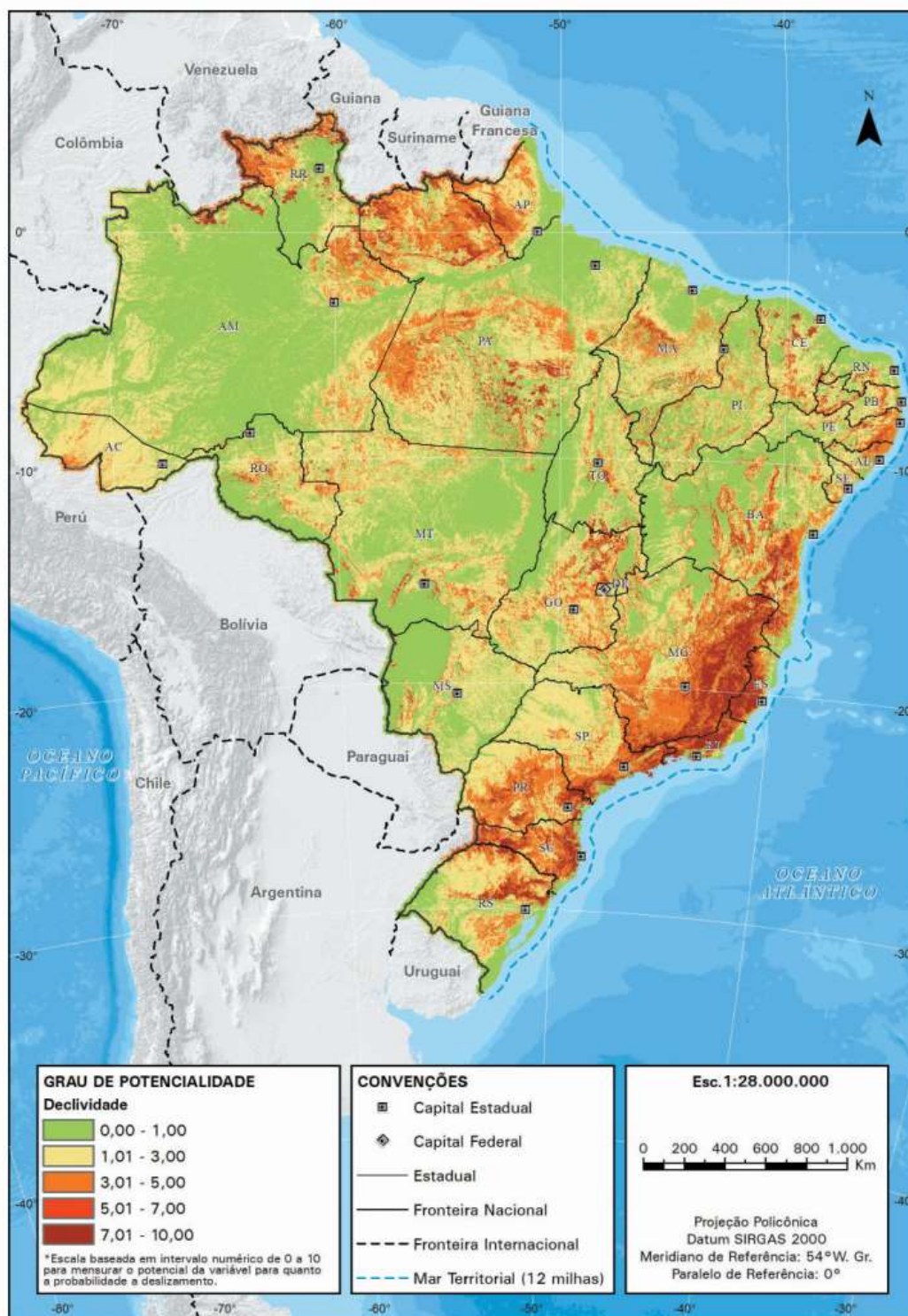
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.

Notas: 1. Elaboração a partir das classes de declividade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1979).

2. Os graus de potencialidade a deslizamentos variam de 1 a 10.

O Mapa 5 apresenta a potencialidade a deslizamentos relacionada à declividade.

Mapa 5 - Potencialidade a deslizamentos do tema Declividade



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.

Nota: Elaboração a partir de dados da NASA (2004) e da Base Cartográfica Contínua do Brasil na Escala 1:250 000, do IBGE.

Fonte: IBGE (2019)

2.2.6.Pluviosidade

Geralmente, as chuvas tendem a ser o principal gatilho para deslizamentos em ambientes tropicais. Quanto mais intensa a chuva durante um determinado período, maior a probabilidade de ocorrências de deslizamentos em áreas predispostas, onde fatores físicos, biológicos e humanos favorecem movimentos de terra.

Devido à falta de informações sobre a intensidade da chuva em todo o Brasil, a escolha foi usar a média anual de precipitação do Atlas Pluviométrico do Brasil, elaborado pelo CPRM, 2011, como indicador dessa variável. Apesar dessa limitação, é razoável supor que áreas com maior média anual de chuva também sejam mais propensas a episódios de chuva intensa.

Assim, foram atribuídos níveis que seguem a premissa de que quanto maior a média anual de chuva, maior a suscetibilidade a deslizamentos (ver tabela 8). No entanto, é importante destacar que as chuvas no Brasil são geralmente abundantes em quase todo o território. Portanto, considere-se que 1.500 mm/ano, por exemplo, já representa um valor elevado de média anual de chuva e, conseqüentemente, é associado a um alto potencial para deslizamentos.

Tabela 8 - Classes de precipitação média anual e respectivos graus de potencialidade a deslizamentos atribuídos na avaliação

Classes de precipitação média anual (mm)	Graus de potencialidade a deslizamentos
400 - 1000	4
1000 - 1500	6
1500 - 2000	8
2000 - 2500	9
2500 - 4300	10

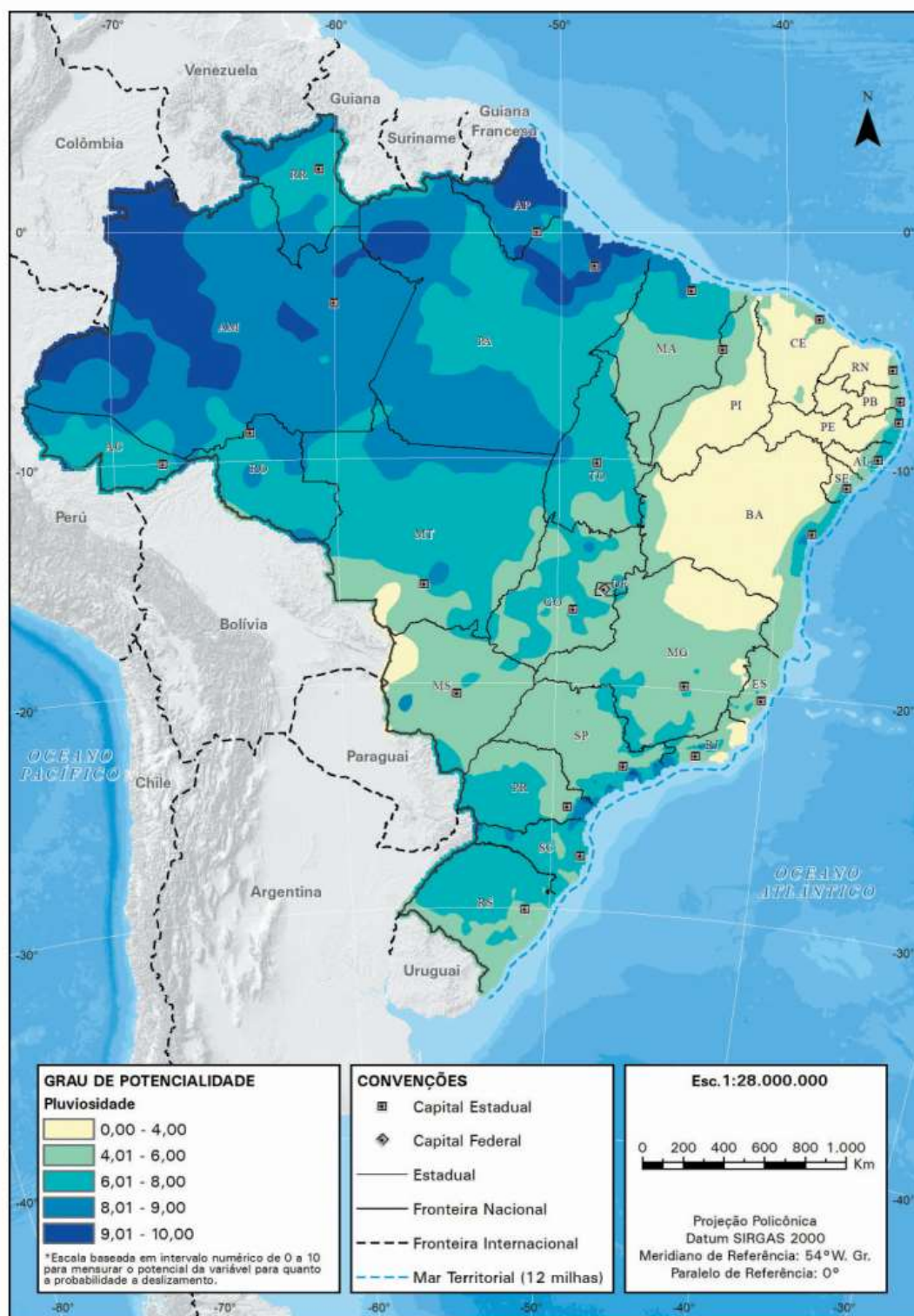
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.

Notas: 1. Elaboração a partir de dados do CPRM (ATLAS..., 2011).

2. Os graus de potencialidade a deslizamentos variam de 1 a 10.

O Mapa 6 apresenta a potencialidade a deslizamentos relacionada à pluviosidade.

Mapa 6 - Potencialidade a deslizamentos do tema Pluviosidade



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.

Nota: Elaboração a partir de dados do CPRM (ATLAS..., 2011) e da Base Cartográfica Contínua do Brasil na Escala 1:250 000, do IBGE.

Fonte: IBGE (2019)

2.3. EVENTOS EXTREMOS E AS OCORRÊNCIAS DOS DESLIZAMENTOS DE ENCOSTAS

Eventos climáticos extremos são caracterizados por sua ocorrência em um curto espaço de tempo, apresentando um alto fluxo de energia e valores acima das médias históricas (HEATCOTE, 1985). Geralmente, a mensuração desses eventos pode ser realizada em minutos ou em termos de anos de recorrência, sendo comum estabelecer um limite de retorno de 10 anos.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), em seu quinto Relatório de Síntese (AR5), trouxe uma estrutura baseada no conceito de "risco climático", que resulta da interação entre três dimensões: "perigos", "exposição" e "vulnerabilidade". Perigos climáticos representam a possibilidade de ocorrência de fenômenos meteorológicos que impactam as pessoas e suas atividades. A vulnerabilidade refere-se à suscetibilidade de um elemento ser impactado adversamente por um perigo, abrangendo somente as variáveis de sensibilidade e suscetibilidade a eventos como inundações repentinas e deslizamentos de terra.

O relatório de 2021 da Organização Meteorológica Mundial sobre o clima global destaca que eventos climáticos extremos, como inundações, secas, ondas de calor e tempestades, resultaram em perdas de centenas de bilhões de dólares e tiveram um impacto significativo nas vidas humanas em todo o mundo. No Brasil, de acordo com o Tribunal de Contas da União (TCU), entre 2013 e 2022, o governo federal destinou R\$ 13,4 bilhões para recuperação e resposta a desastres, além de R\$ 5,9 bilhões para medidas preventivas.

A Organização Meteorológica Mundial ressalta a eficácia comprovada e viabilidade dos Sistemas de Alerta Antecipado como uma medida de adaptação ambiental que salva vidas. O sexto Relatório de Avaliação de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade do IPCC também reconhece a importância dos sistemas de alerta precoce e das atividades de gestão de risco de desastres como opções de adaptação transversal, potencializando os benefícios de outras estratégias de adaptação.

A presença de água no solo desempenha um papel fundamental na maioria dos deslizamentos de terra, uma vez que amplifica os esforços atuantes e diminui a resistência do solo da encosta.

A relação entre a intensidade das chuvas e a capacidade de retenção de água no solo é fundamental para determinar a ocorrência de diferentes tipos de deslizamentos. Quando a intensidade da chuva excede a capacidade de retenção do solo, a saturação da superfície ocorre rapidamente, favorecendo a suscetibilidade a deslizamentos.

Em contraste, chuvas de menor intensidade, porém mais prolongadas, podem saturar camadas mais profundas do solo, propiciando deslizamentos profundos.

A velocidade de movimento do material deslizado varia, podendo ocorrer desde movimentos milimétricos por hora até deslizamentos rápidos, onde grandes deslocamentos acontecem em questão de segundos.

Deslizamentos de terra são eventos globais, frequentes e grandemente influenciados por condições climáticas e geomorfológicas. Diversas instituições, como a NASA e o Sistema de Inventário de Efeitos de Desastres (DesInvent), monitoram e registram deslizamentos de terra em níveis que vão desde localidades até a escala global.

Os inventários de autoridades associadas por tais instituições representam uma valiosa fonte de informações para a compreensão deste fenômeno, incluindo as variáveis locais que influenciam sua ocorrência, bem como para o desenvolvimento de modelos de avaliação, monitoramento e gestão de riscos.

Um dos eventos mais significativos de deslizamento de terra devido a chuvas na América do Sul foi o incidente que aconteceu nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, na Região Serrana do Rio de Janeiro (figura 2). A Organização das Nações Unidas (ONU) reconheceu esse evento como o oitavo maior deslizamento de terra global nos últimos 100 anos.

Figura 02 – Imagem da região serrana do Rio de Janeiro após deslizamentos ocorridos em 2011.



Fonte: O Globo (2011)

Neste desastre, diversos fatores fundamentais contribuíram para a ocorrência de múltiplos deslizamentos de terra na Região Serrana do Rio de Janeiro, a saber:

- Topografia íngreme ou montanhosa com taludes acentuados;
- Encostas constituídas por solos altamente suscetíveis à perda de resistência devido à saturação de água;
- Influências antrópicas que resultaram em desmatamento e alteração das características das encostas para permitir o crescimento urbano na área;
- Precipitações intensas - Segundo registros do Instituto Nacional de Meteorologia, entre os dias 11 e 12 de janeiro de 2011, a cidade de Nova Friburgo registrou um total de 280 mm de chuva em um período de 24 horas. Comparativamente, é relevante mencionar que a média histórica de precipitação para o mês de janeiro nessa cidade é de 277 mm, indicando que a chuva em 24 horas foi semelhante à média mensal. Esse volume substancial de chuva resultou em aproximadamente 3.500 deslizamentos de

terra na área, predominando os tipos superficiais translacionais e fluxos de detritos.

A busca por gerenciar o risco de deslizamentos induzidos por chuva é abrangente em níveis global e local, apoiada por inúmeras pesquisas e avanços tecnológicos no monitoramento de variáveis hidrometeorológicas e no rastreamento de notícias online.

Um aspecto crucial é a análise dos fatores que influenciam as forças atuantes e resistentes nas encostas, aliada à estimativa dos padrões representativos de intensidade/duração das chuvas capazes de desencadear deslizamentos em áreas específicas.

Esse enfoque viabiliza a validação de modelos preditivos de deslizamento que servem para:

- Estabelecer sistemas de alerta precoce para deslizamentos;
- Orientar o projeto e a construção de obras de engenharia para controlar regiões instáveis ou potencialmente instáveis;
- Fundamentar planos de ordenamento territorial que direcionem o uso mais adequado do solo em áreas propensas a deslizamentos.

Técnicas analíticas, associadas a instrumentação terrestre e sensores remotos, oferecem vastas possibilidades para aprimorar a compreensão desses fenômenos e, por conseguinte, otimizar a gestão dos riscos correlatos. Com a compreensão atual dos mecanismos subjacentes aos deslizamentos induzidos por chuva, é factível planejar e implementar medidas eficazes embasadas em informações sólidas.

É primordial não desconsiderar que esses eventos são processos dinâmicos, dependentes não somente das condições naturais, mas também do desenvolvimento urbano na área em questão. Os modelos analíticos continuarão a serem aprimorados, tornando possível estimar os padrões de intensidade e duração das chuvas que desencadeiam tais eventos com maior confiabilidade. O ponto crucial reside em reconhecer que hoje dispomos de meios para analisar e

gerir esse risco, sob uma abordagem que integra aspectos regionais e locais, orientando as decisões de forma a resguardar vidas, propriedades e produção.

2.3.1. 2022 - Um ano atípico.

O Brasil e o mundo registraram no ano de 2022 inúmeros casos de eventos extremos, causando deslizamentos e enchentes, com elevado número de vidas humanas perdidas (Figuras 03 a 08).

Na rodovia objeto deste estudo também foram registrados eventos do tipo (Figuras 9a-9i e 10).

Figura 03 –Ocorrência de deslizamentos em Petrópolis/RJ (2022)



Fonte: Metrópole (2022).

Figura 04 - Ocorrência de deslizamentos em Recife/PE (2022)



Fonte: Metrópole (2022)

Figura 05– Deslizamento sobre a BR-376/PR (2022)



Fonte: Metrópole (2022)

Figura 06– Deslizamento Risaralda-Colômbia (02/2022)



Fonte: Agência EBC (2022)

Figura 07– Deslizamento Venezuela (10/2022)



Fonte: Exame (2022)

Figura 08– Deslizamento Malásia (12/2022)



Fonte: Portal G1 (2022)

Registros dos eventos ocorridos na Rodovia PE-177 (2022)

Figura 9a– Rodovia PE-177



Fonte: Autor (07/2022)

Figura 9b– Rodovia PE-177 (07/2022)



Fonte: Autor (07/2022)

Figura 9c– Rodovia PE-177 (07/2022)



Fonte: Autor (07/2022)

Figura 9d– Rodovia PE-177 (07/2022)



Fonte: Autor (07/2022)

Figura 9e– Rodovia PE-177 (07/2022)



Fonte: Autor (07/2022)

Figura 9f– Rodovia PE-177 (07/2022)



Fonte: Autor (07/2022)

Figura 9g– Rodovia PE-177 (07/2022)



Fonte: Autor (07/2022)

Figura 9h– Rodovia PE-177 (07/2022)



Fonte: Autor (07/2022)

Figura 9i– Rodovia PE-177 (07/2022)



Fonte: Autor (07/2022)

Figura 10– QRCode Registros (vídeos) dos deslizamentos na Rodovia PE-177 em 07/2022



Fonte: Autor (2023)

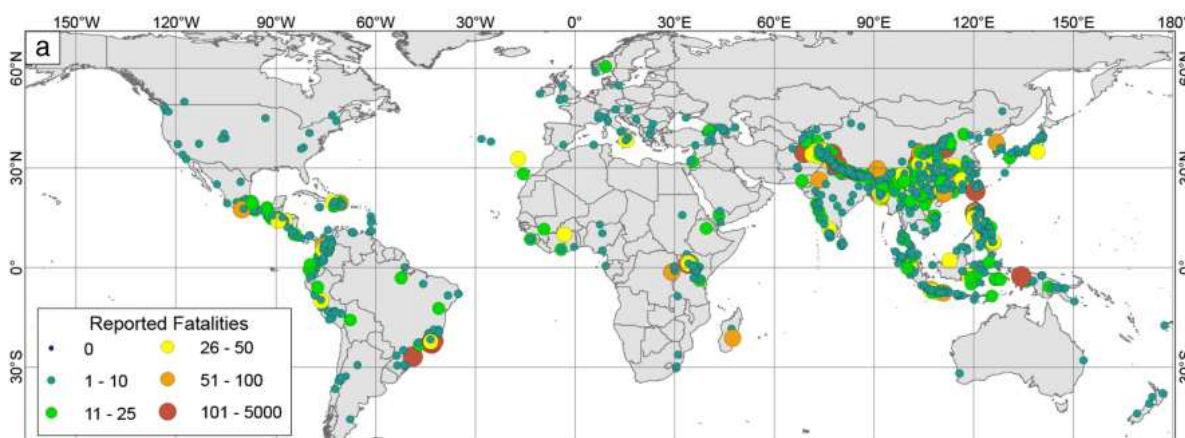
2.4 HISTÓRICO DE DESLIZAMENTOS

Há registros documentados de deslizamentos de terra ocorrendo em diversos países. Abordagens para consolidar dados globais foram observadas nos estudos de Kirschbaum et al. (2010) e de Kirschbaum, Stanley e Zhou (2015).

O primeiro estudo se dedicou a desenvolver um método sistemático de catalogação de deslizamentos em escala global, utilizando informações da mídia e relatórios em tempo real dos anos 2003, 2007 e 2008. Esses relatórios registraram eventos em 44, 60 e 67 países, respectivamente (Kirschbaum et al., 2010).

Por sua vez, Kirschbaum, Stanley e Zhou (2015) criaram um catálogo global de deslizamentos ativados por chuvas intensas entre 2007 e 2013, compilando dados de relatórios midiáticos, fontes secundárias e literatura científica. Esse catálogo reuniu informações de 5.741 deslizamentos, classificados por eventos com e sem fatalidades, em 124 países e territórios (Kirschbaum, Stanley e Zhou, 2015).

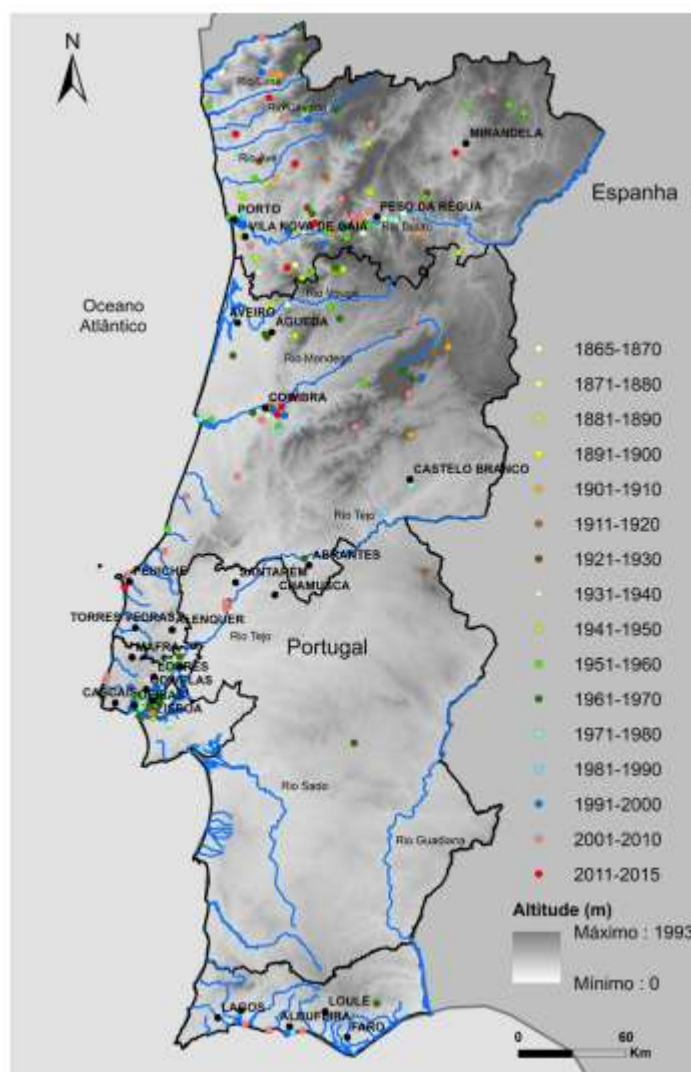
Figura 11 - Mapa global de eventos de deslizamento de terra relatados de 2007 a 2013 - GLC



Vale mencionar também os trabalhos de Pereira et al. (2014) na região norte de Portugal, que mantiveram um banco de dados de deslizamentos abrangendo o período de 1900 a 2010. Além disso, Pennington et al. (2015) estabeleceram a Base de Dados Nacional de Deslizamentos (National Landslide Database) no Reino Unido, contendo mais de 17.000 registros de deslizamentos

em encostas naturais e artificiais. O estudo de Calvello e Pecoraro (2018), intitulado "Frane Italia", investigou deslizamentos na Itália usando informações midiáticas entre 2010 e 2017.

Figura12 - Ocorrências de movimentos de massa
Norte de Portugal- período1865-2015

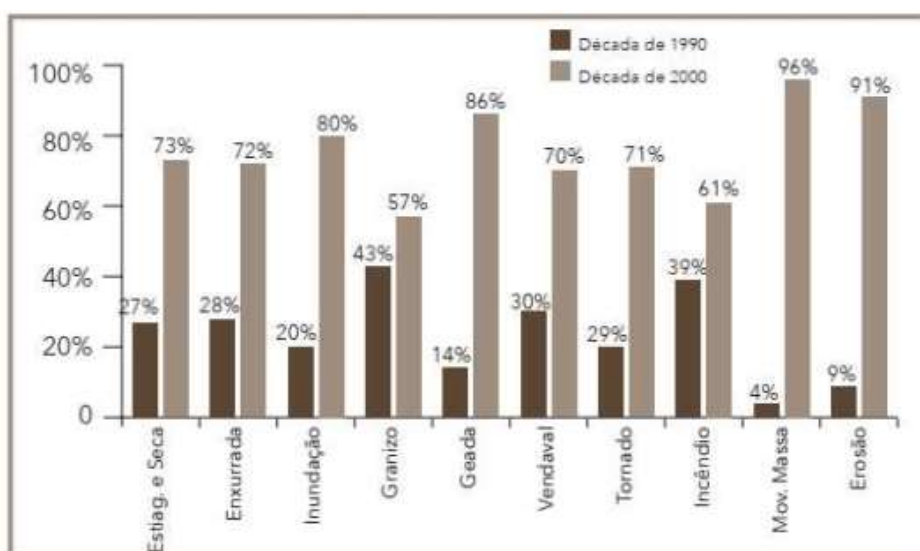


No geral, esses estudos reuniram informações substanciais de fontes midiáticas e acadêmicas, incluindo detalhes como a ocorrência, duração e características dos deslizamentos, bem como suas consequências.

A crescente urbanização em países em desenvolvimento contribuiu para um aumento de habitações em áreas de risco, muitas vezes em encostas íngremes de forma inadequada, resultando em mais deslizamentos. Isso levou à expansão de zonas perigosas e causou danos econômicos significativos e perdas de vidas (AYALA, 2002; NATENZON e RÍOS, 2015; LISTO et al., 2021). Somente no Brasil, aproximadamente 8.266.000 pessoas residem em áreas de risco a deslizamentos e inundações em 825 municípios (IBGE, 2018a; Alvalá et al., 2019).

Na região nordeste do Brasil, Pernambuco e Bahia se destacam como estados com frequentes movimentos de massa. Juntos, eles representaram 89,5% dos casos desde 1991 (CEPED/UFSC, 2013; Santos et al., 2018). Em Pernambuco, as características geomorfológicas e climáticas influenciam uma diversidade de usos e ocupações do solo. A variedade de paisagens e condições ambientais contribui para processos morfodinâmicos, incluindo erosões e deslizamentos, que afetam áreas úmidas e semiáridas. Na Região Metropolitana do Recife (RMR), por exemplo, municípios como Recife, Jaboatão dos Guararapes, Ipojuca e Igarassu estão entre os dez com maior população vivendo em áreas de risco a deslizamentos no Brasil, onde a instalação precária de assentamentos é comum (IBGE, 2018a).

Figura 13 – Comparativo da ocorrência de deslizamentos no Brasil entre 1990 - 2000



Fonte: Brasil (2013)

Figura 14 – Aumento da ocorrência de deslizamentos no Brasil entre 1990 - 2000



Fonte: Brasil (2013)

2.5 – INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

O propósito visa compreender as particularidades do terreno, avaliar a resistência do talude e estabelecer as soluções mais apropriadas para reforçar a prevenção contra eventuais deslocamentos ou colapsos.

A seguir, apresentam-se as fases típicas de uma pesquisa geotécnica voltada para a estabilização de taludes:

- Coleta de dados: Reunião inicial de informações sobre a área, como mapas topográficos, histórico de escorregamentos, condições geológicas (requisito fundamental de Terzaghi, 1950) e aspectos geotécnicos da região;
- Exploração de campo: Avaliação no local para entender o estado atual do talude, identificar padrões de escorregamento, características dos solos e rochas, presença de água, vegetação e outras variáveis que afetem a estabilidade;

- Testes de amostras de solo e rocha: Coleta de amostras representativas do material do talude e realização de ensaios laboratoriais para determinar propriedades geotécnicas, como resistência, permeabilidade e coesão;
- Avaliação da água: Medição do nível de água no talude, avaliação do fluxo de água e análise do impacto da água na estabilidade do talude;
- Análise de Parâmetros Geotécnicos: Uso de métodos de análise e modelagem geotécnica para calcular índices de segurança e compreender o comportamento do talude em diferentes condições;
- Identificação de riscos potenciais: Reconhecimento de fatores de risco, como chuvas intensas, atividades sísmicas ou humanas, que podem causar movimentações no talude;
- Sugestão de medidas de reforço: Baseado nos dados coletados, o engenheiro geotécnico deve propor soluções para fortalecer o talude. Tais medidas podem envolver drenagem adequada, reforço do solo, uso de materiais geossintéticos, construção de muros de contenção e outras técnicas;
- Planejamento de reforço: Criação de projetos detalhados para as soluções de reforço recomendadas, incluindo cálculos estruturais e especificações técnicas;
- Monitoramento: Estabelecimento de sistemas de monitoramento para avaliar a eficácia das medidas de reforço ao longo do tempo, assegurando a contínua segurança do talude.

•
Na Tabela 09, observamos um resumo do Programa de Investigação Geológico-Geotécnica proposto por Guidicini e Nieble (1976) e Oliveira e Brito (1996).

Tabela 9– Resumo do Programa de Investigação geológico-geotécnica.

DADOS DA REGIAO			
Dados da Região em estudo	<ul style="list-style-type: none"> • Mapas geológicos • Mapas geomorfológicos • Mapas topográficos • Mapas geotécnicos • Índices pluviométricos e relação deste com ocorrência de instabilidades na área de estudo 		
INVESTIGAÇÕES SUPERFICIAIS			
Investigações	Tipos		
SUPERFÍCIE	Levantamentos de Campo		<ul style="list-style-type: none"> • Formações Geológicas • Perfil de alteração • Estruturas geológicas (foliação, fraturas, etc) • Instabilizações existentes (tipo e características) • Feições de movimentação (trincas, degraus, etc) • Turgências da água e zonas de saturação • Geometria do talude, encostas e processo de estabilização. • Tipo de cobertura • Inferências antrópicas (terraplenagem, obras, redes de esgoto e água, edificações, etc)
	Levantamentos Topográficos	Avaliação preliminar	Destaque no local, utilizando-se de plantas de pequena escala, dos seguintes aspectos: <ul style="list-style-type: none"> • Bacias de contribuição • Continuidade da encosta • Litologias principais • Depósitos, etc
		Expedito	Fases iniciais de estudo utilizando trena, inclinômetro e bússola
		Planialtimétrico	Levantamento dos aspectos de interesse de acordo com vistorias realizadas em campo (afloramentos rochosos, feições de instabilidades, turgências, etc). Utilização de técnicas de irradiação.
	Levantamentos Fotogramétricos	Aerofotogramétricos Tradicionais	Através da interpretação de fotografias, pode-se obter várias características da região.
		Aerofotogramétricos Obliquos de baixa altitude	
Fotográficos Terrestres			
INVESTIGAÇÕES SUBSUPERFICIAIS			
SUBSUPERFÍCIE	Métodos Diretos	Poços	Acesso direto aos diferentes horizontes do terreno obtendo amostras deformadas.
		Sondagem a trado	Nível de água, horizontes em maciços terrosos, amostras deformadas, ensaios de permeabilidade e pesquisa de jazidas para aterro.
		Sondagem à Percussão	Horizontes em maciços terrosos e transição solo/rocha, amostras pouco deformadas, ensaio SPT.
		Sondagem Rotativa	Horizontes em maciços terrosos e rochosos, amostras pouco deformadas, ensaio de permeabilidade, ensaio de perda de água.
	Métodos Indiretos	Geofísicos	Levantamentos extensivos, extrapolações a partir de algumas investigações de subsuperfície. Identificação do topo rochoso e posição do lençol freático.
INVESTIGAÇÕES SUPERFICIAIS			
INSTRUMENTAÇÃO	Marcos superficiais, prismas óticos, extensômetros, fissurômetros, medidores de recalque, indicadores de movimentação em profundidade, inclinômetros, células de carga em tirantes, células de pressão total, piezômetros, tensiômetros, medidores de vazão.	Permite a obtenção de dados quantitativos sobre a geometria da superfície de ruptura, deslocamentos horizontais e verticais de áreas instáveis, comportamento hidromeccânico e avaliação de resistência, deformabilidade e estado de tensões do talude ou encosta.	
ENSAIOS DE LABORATÓRIO	Análise granulométrica, determinação de índices físicos, limites de consistência, compactação, resistência ao cisalhamento.	Os ensaios de laboratório buscam a determinação das propriedades e dos parâmetros de interesse dos maciços terrosos em relação ao processo de instabilização.	

Fonte: Guidicini e Nieble (1976) e Oliveira e Brito (1996)

2.6 – MÉTODOS DE ANÁLISE DE ESTABILIDADE

As avaliações de estabilidade de taludes frequentemente empregam a abordagem do equilíbrio limite, presumindo a existência de uma superfície de escorregamento com uma forma conhecida (planar, circular ou irregular), e utilizando o critério de resistência de Mohr-Coulomb.

Nesse método, são calculadas as cargas atuantes e a resistência ao cisalhamento necessária para manter o equilíbrio do maciço. A seguir, essa força é comparada com a resistência ao cisalhamento disponível no solo, resultando no cálculo do coeficiente de segurança ou fator de segurança.

De acordo com Soares (1996), a abordagem determinística nos métodos de análise de estabilidade de taludes envolve a seleção de valores apropriados para as variáveis principais e o cálculo dos correspondentes fatores de segurança para diversas condições de solicitação. O cálculo da relação entre as forças de resistência e as cargas é expresso por meio do fator de segurança, que, na verdade, é outro coeficiente aplicado ao modelo de cálculo escolhido. Portanto, nos cálculos, há uma consideração implícita das incertezas resultantes da variabilidade dos parâmetros de resistência e das incertezas quanto à aplicabilidade do modelo para representar o mecanismo de falha.

A seleção do coeficiente de redução e do próprio fator de segurança é um processo subjetivo que reflete a confiança (ou falta dela) nos parâmetros e métodos adotados. No caso específico de um talude, o fator de segurança também reflete seu grau de estabilidade.

Na análise determinística, o Fator de Segurança (FS) é calculado com base em valores fixos dos parâmetros dos materiais constituintes do talude. Se o FS for superior a 1, o talude é considerado estável; caso contrário, é considerado instável ou suscetível a um colapso. O Fator de Segurança determinístico é definido pela seguinte relação:

$$FS = \frac{M_R}{M_S}$$

Onde: MR é o momento resistente ao deslizamento e MS o momento solicitante que tende provocar o deslizamento, podendo este, assumir valores superior, inferior ou igual a 1 (CARVALHO,1991), conforme tabela 10.

Tabela 10 – Fator de segurança e condições de estabilidade do talude ou encosta.

FATOR DE SEGURANÇA E CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE DO TALUDE OU ENCOSTA	
FATOR DE SEGURANÇA (FS)	CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE
FS < 1	Talude instável: caso o talude venha a ser modificado geometricamente com cortes e/ou aterros; nestas condições, deverá sofrer rupturas.
FS = 1	Condição limite de estabilidade associada à iminência de ruptura; condição adotada geralmente nos cálculos de retroanálise.
FS > 1	Condição estável: quanto mais próximos de 1 o FS, mais precária e frágil a condição de estabilidade do talude, quanto mais distante de 1 o FS, menores serão as possibilidades de o talude vier a sofrer ruptura quando submetido a condições críticas.

Fonte: Carvalho (1991)

2.7. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS, GEOLÓGICAS E PEDOLÓGICAS DO SOLO DA REGIÃO ABORDADA

2.7.1. Geomorfologia

Neste estudo, o foco está direcionado para as regiões cristalinas, mais especificamente para o Planalto da Borborema, que é a unidade geomorfológica presente na área analisada.

O Planalto da Borborema é uma porção da Plataforma do Nordeste que foi reativada durante o Ciclo Brasileiro e posteriormente estabilizada. Ele se caracteriza por uma tectônica positiva com um amplo raio de curvatura, embora tenha passado por movimentos verticais vigorosos que a diferenciam das demais áreas estáveis do embasamento. As rochas granitizadas localmente foram elevadas por intrusões que ocorreram ao longo de fraturas reativadas.

As influências litológicas resultantes da extensidade da granitização destacam filões mais resistentes e corpos intrusivos, formando zonas de fraturas aprofundadas que geram segmentos angulares ao longo dos cursos de água. Os padrões de erosão diferencial são observáveis nos diferentes níveis de dissecação, na densidade dos vales, no perfil e na inclinação das encostas.

A topografia exibe uma transição entre duas características distintas. Na parte inicial da área estudada, o relevo é levemente ondulado, evidenciando a aparência dos "Mares de Morro" na região conhecida como Zona da Mata. De acordo com Aziz Ab'Sáber, os "Mares de Morro" englobam uma região repleta de colinas residuais de formato curto e convexo, com ocorrência frequente de movimentos de massa.

Os processos de intemperismo, especialmente o químico, são frequentes nessa região, resultando na decomposição generalizada das rochas locais.

A rede de drenagem é proeminente nessa área, combinada com chuvas abundantes provenientes da massa de ar tropical atlântica e dos ventos alísios de sudeste, responsáveis pelas chuvas orográficas nas zonas de colinas. Isso

gera efeitos significativos de sedimentação nos fundos de vales e acumulação de colúvios nas áreas mais elevadas.

Figura 15 - Fisionomia do relevo da região



Fonte: Estudo do projeto de restauração da rodovia (2014)

Figura 16 – Rodovia PE-177 em relevo ondulado



Fonte: Estudo do projeto de restauração da rodovia (2014)

Na zona de transição entre as duas características geomorfológicas, o relevo assume uma configuração ondulada, porém com um nível menor de entalhamento. Os morros apresentam altitudes mais elevadas e é possível identificar a presença de intrusões rochosas.

Figura 17 - Relevo com cotas altimétricas mais elevadas e menos dissecados



Fonte: Estudo do projeto de restauração da rodovia (2014)

Figura 18 - Aspecto do relevo fortemente ondulado

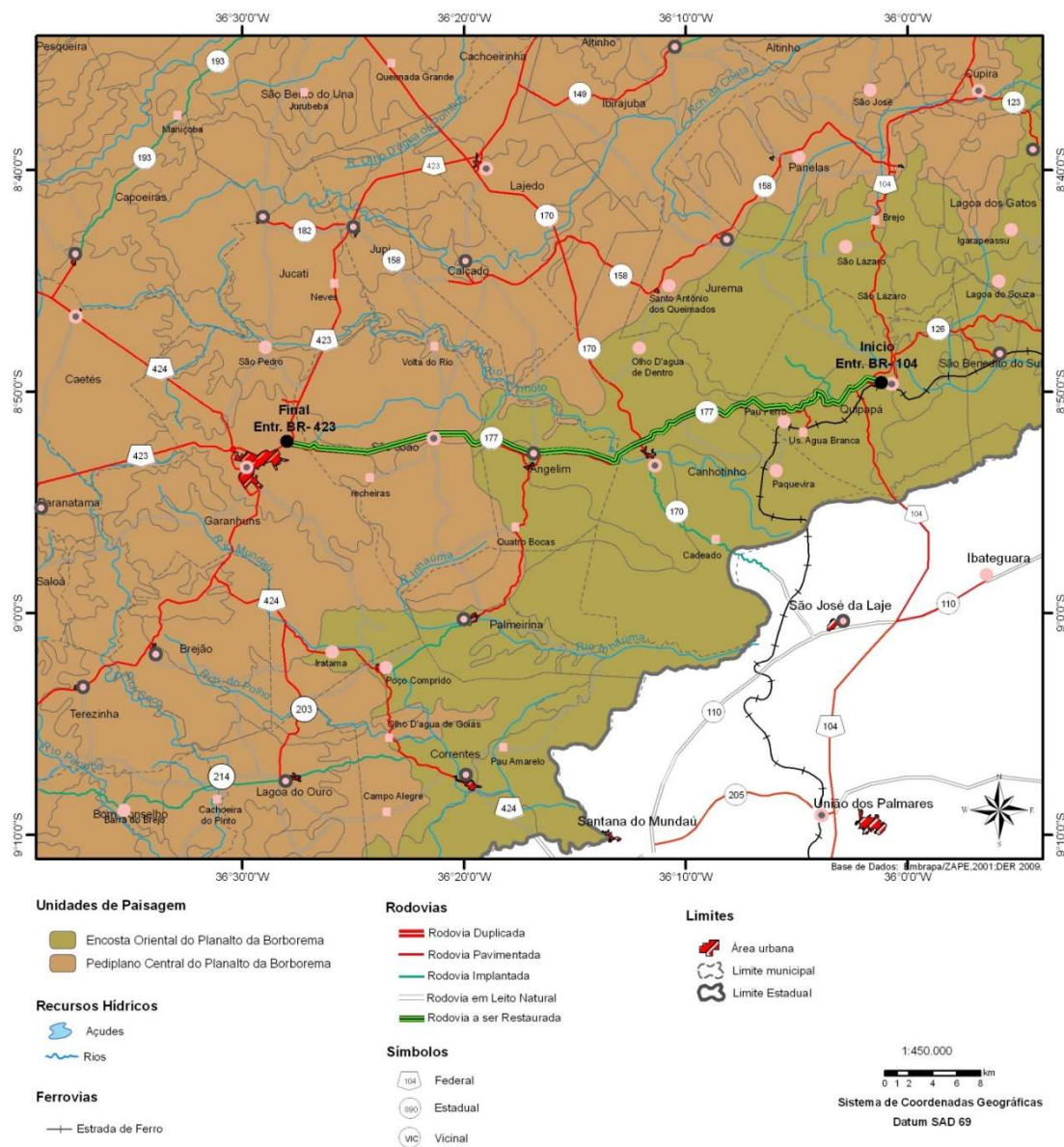


Fonte: Estudo do projeto de restauração da rodovia (2014)

A segunda configuração do relevo é caracterizada por uma paisagem de altitudes mais elevadas e terreno acidentado. Devido a essa elevação, o clima apresenta variações, com temperaturas mais baixas e níveis de precipitação mais significativos. Essas regiões são denominadas de Brejos de Altitude.

A região de estudo está compreendida por duas Unidades de Paisagem distintas. Inicialmente, ela está situada na Encosta Oriental do Planalto da Borborema e, posteriormente, na unidade dos Pediplanos Arenosos/Argilosos, conforme demonstrado na Figura 20.

Figura 19- Unidades de Paisagem do Planalto da Borborema



Fonte: DER/PE (2009)

O Pediplano Central apresenta uma configuração aproximadamente triangular e engloba a porção central do Planalto da Borborema.

Este compartimento possui uma elevação ligeiramente inclinada para leste. Encontra-se em um nível intermediário da Borborema, associado à Superfície dos Cariris Velhos ou Superfície Soledade, conforme descrito por Andrade (1958 e 1968).

Sua fronteira norte está delimitada pelos Maciços Setentrionais por meio de uma diferença considerável de elevação e dissecação, relacionada à falha de direção leste-oeste, conhecida como Lineamento Pernambuco. Na direção leste, suas fronteiras são com as Encostas Orientais da Borborema, marcadas por discrepâncias no relevo. A oeste, limita-se com o Pediplano do Baixo São Francisco, com uma escarpa dissecação associada a uma falha de direção norte-sul.

Apesar de não ser a área mais elevada da Borborema, o Pediplano Central desempenha um papel significativo na drenagem da região, com padrões de drenagem variando de radial a dendrítico, frequentemente controlados por elementos estruturais.

As hipóteses paleogeográficas atuais sugerem que esses pediplanos originaram-se de uma extensa e gradual degradação em condições muito úmidas, seguida por um período de aridez intensa. Essa degradação teve início no Terciário e posteriormente passou por fases mais modernas de pediplanação, contemporâneas ao grupo barreiras. A presença de seixos rolados em terraços e entre interflúvios nas cabeceiras dos rios indica a existência de um período climático passado mais úmido.

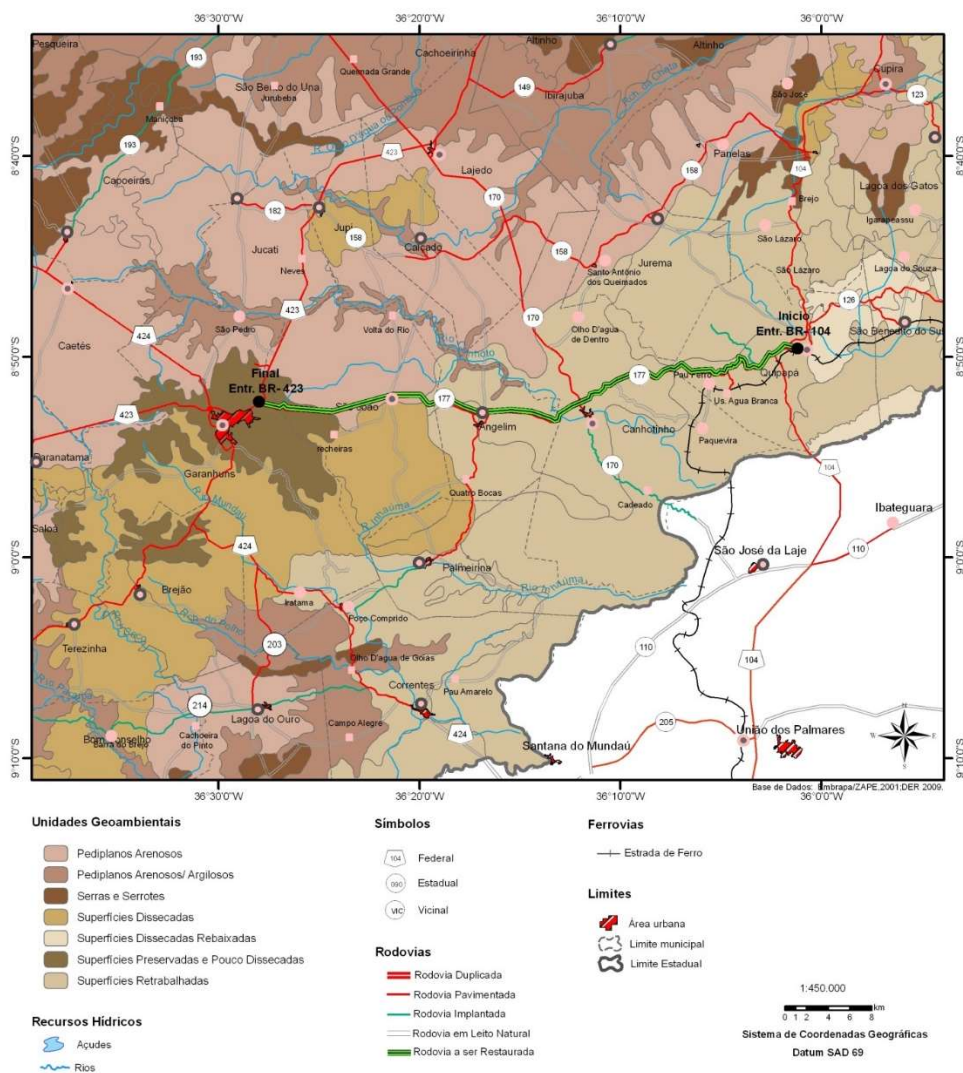
A segunda unidade de paisagem, a Encosta Oriental do Planalto, situa-se a uma média de 70 km da linha da costa, fazendo fronteira a leste com a Planície Litorânea e a oeste com o Planalto Central da Borborema. No estado de Pernambuco, essa unidade abrange uma área total de 5.840,90 km². As altitudes variam entre 200m e 800m.

Essa unidade é caracterizada pela predominância de formas convexas e aguçadas. A drenagem flui para leste, refletindo a inclinação do terreno nessa direção. A paisagem exibe áreas bem dissecações com colinas intercaladas por vales encaixados.

O relevo apresenta diferentes níveis de aprofundamento da drenagem, resultando em formas de dissecação diferencial, além de modelados de dissecação homogênea com densidade fina e aprofundamentos de drenagem baixos a médios.

Dentro dessas unidades de paisagem, podem ser identificadas Unidades Geoambientais, sendo predominantes as Superfícies Dissecadas, Superfícies Retrabalhadas e Superfícies Preservadas e pouco Dissecadas (conforme Figura 20).

Figura 20: Unidades Geoambientais da Região Abordada

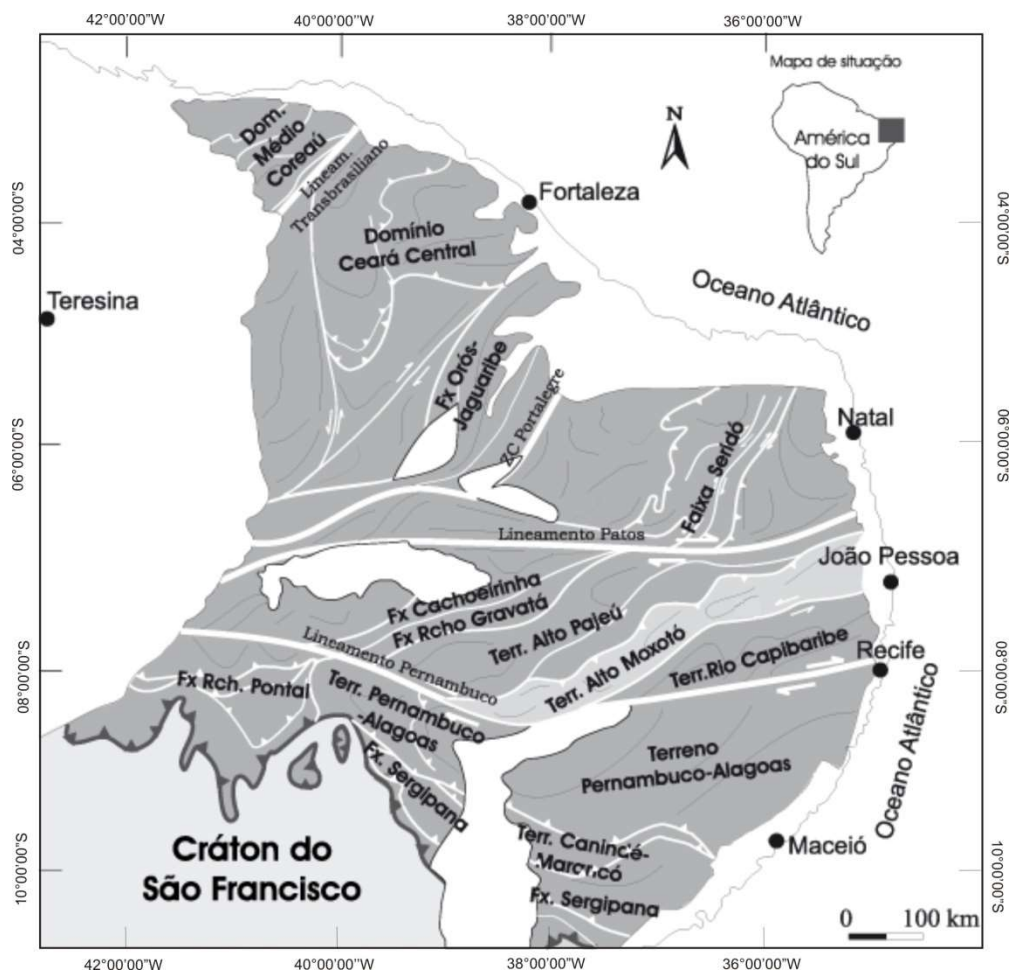


Fonte: DER/PE (2009)

2.7.2. Geologia

A área de estudo encontra-se inserida, geologicamente, na Província Borborema, como pode ser observada na figura 22, apresentada a seguir.

Figura 21 - :Arcabouço Tectônico da Província da Borborema



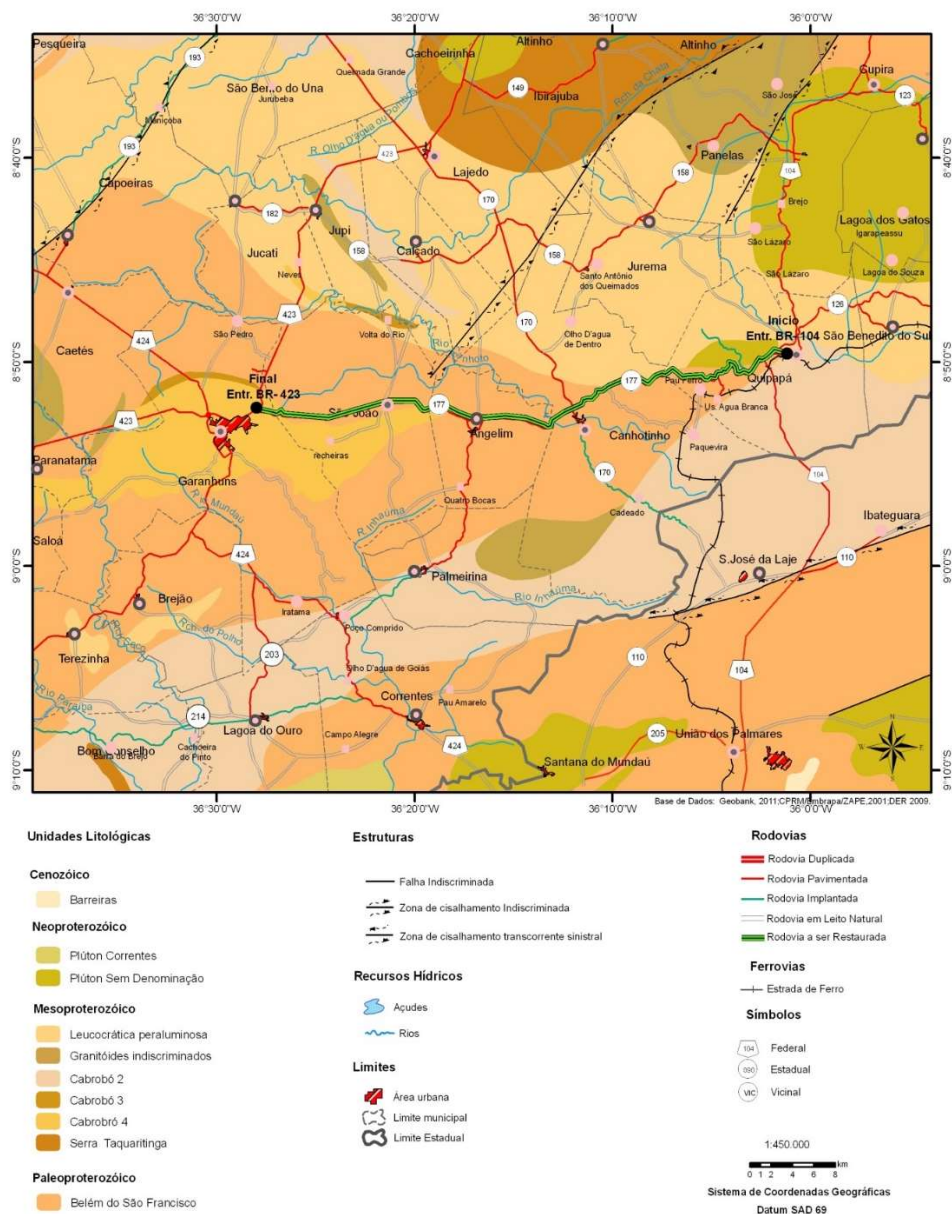
Fonte: DER/PE (2009)

A Província Borborema, também conhecida como o arcabouço geológico do Precambriano no Nordeste, abrange faixas de rochas supracrustais com idade proterozoica, bem como domínios gnáissico-migmatíticos de idade paleoproterozoica ou arqueana. Essas rochas são atravessadas por uma série de intrusões de granito e sujeitas a intensa deformação ocorrida durante o Ciclo Brasileiro (Santos & Brito Neves, 1984; Jardim de Sá, 1984, 1994). As estruturas

predominantes são falhas transcorrentes dextróginas com orientações leste-oeste ou nordeste-sudoeste.

A área de estudo está localizada na Província Borborema, abrigando os litótipos do Complexo Belém de São Francisco, um plutão sem nome específico, e a Unidade Cabrobó 4 (conforme Figura 22), em termos geológicos.

Figura 22 - Mapa Geológico da Região Abordada



Fonte: DER/PE (2009)

O Complexo Belém de São Francisco, datado do Paleoproterozoico, é composto principalmente por ortognaisses tonalíticos/granodioríticos de coloração cinza e enriquecidos em biotita. Essas rochas frequentemente exibem características de migmatização. Além disso, o complexo contém migmatitos com mesossomas compostos por quartzo diorítico/tonalítico, anfibólio e/ou biotita, juntamente com fragmentos de rochas paraderivadas.

Dentro do Complexo Belém de São Francisco, ainda podem ser encontrados vestígios de rochas remanescentes do Complexo Cabrobó, como quartzitos, mármore e rochas cálcio-silicáticas. Essas relíquias indicam que essas rochas foram retrabalhadas tectonicamente durante o Mesoproterozoico, provavelmente devido à influência de um extenso magmatismo predominante na região do Terreno Pernambuco-Alagoas.

A Unidade conhecida como Complexo Cabrobó 4 é datada do Mesoproterozoico e consiste principalmente em rochas metamórficas do tipo quartzito feldspático, metarcóseo e quartzito micáceo.

2.7.3. Pedologia

O solo é uma composição tridimensional natural resultante da interação entre o clima, os organismos e o material de origem, moldada pelo relevo ao longo de diversos períodos de tempo. As características do solo são uma expressão dos processos e mecanismos predominantes em sua formação.

De acordo com o Manual Técnico de Pedologia do Brasil (2007), dentre várias definições de solo, a mais apropriada para estudos pedológicos é aquela proveniente do Soil Taxonomy (1975) e do Soil Survey Manual (1984), que descreve o solo como a coletividade de organismos naturais presentes na superfície terrestre, possivelmente modificada ou até construída pelo ser humano. Ele contém matéria orgânica viva e é capaz de sustentar o crescimento de plantas ao ar livre. Em sua parte superior, o solo faz limite com a atmosfera ou águas rasas. Lateralmente, ele limita-se gradualmente com rochas consolidadas ou parcialmente desintegradas, águas profundas ou gelo. O limite inferior é mais complexo de definir, mas um solo reconhecido deve excluir materiais que mostram pouco

impacto das interações climáticas, biológicas, geológicas e topográficas ao longo do tempo.

As classes de solos na área influenciada pela via variam conforme os fatores que contribuíram para sua formação, como características geológicas, clima, relevo, influência biológica e o tempo de desenvolvimento. Na área do projeto, de acordo com dados da Embrapa (2001), são encontrados principalmente três tipos de solos: Latossolos (Figura 23), Argissolos Vermelhos (Figura 24) e Neossolos Regolíticos (Figura 25). Suas distribuições espaciais podem ser observadas no mapa pedológico (Figura 26).

Figura 23 - Latossolos encontrados no Município de Quipapá



Fonte: Estudo do projeto de restauração da rodovia (2014)

Figura 24 - Argissolos encontrados no Município de Angelim



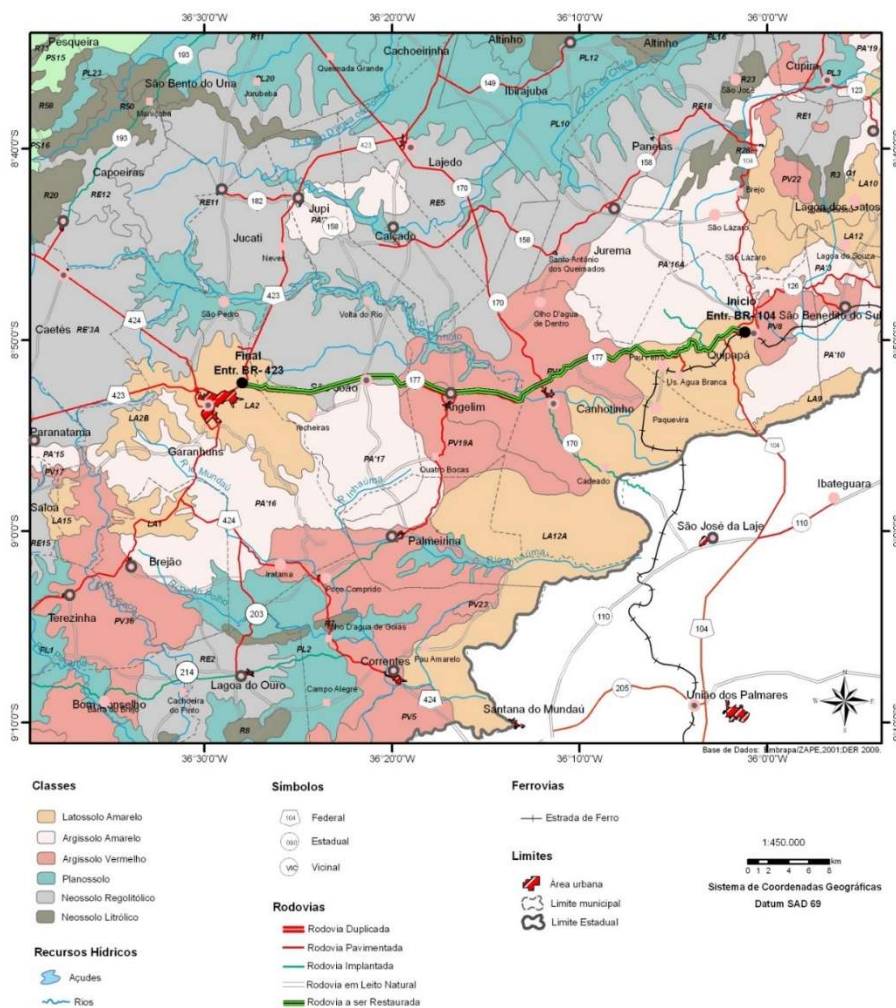
Fonte: Estudo do projeto de restauração da rodovia (2014)

Figura 25 - Neossolos Regolítico encontrados no Município de São João



Fonte: Estudo do projeto de restauração da rodovia (2014)

Figura 26 - Mapa Pedológico



Fonte: DER/PE (2009)

2.8. RISCOS GEOLÓGICOS DA REGIÃO ESTUDADA

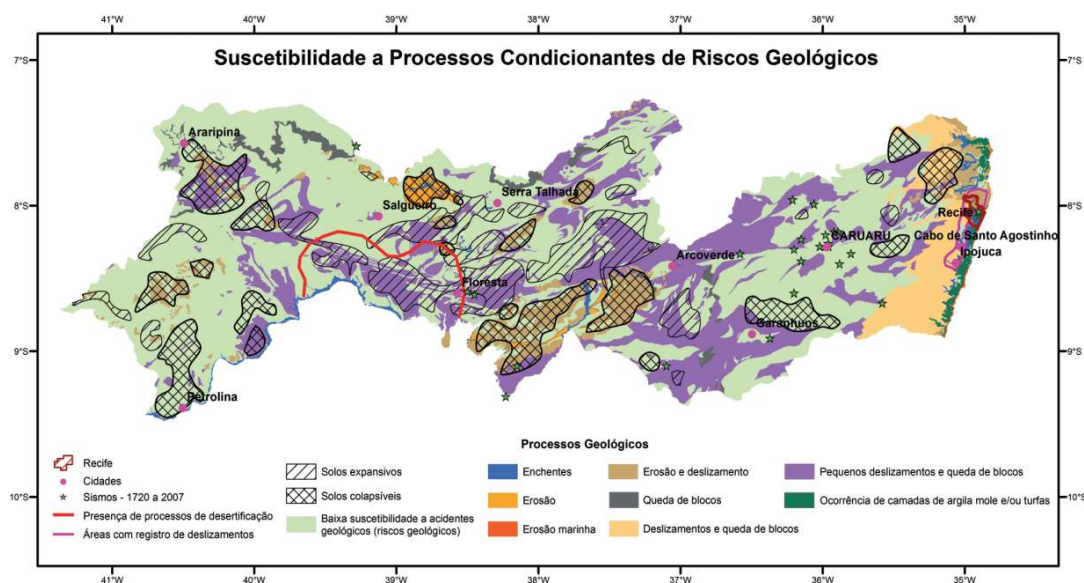
A geodiversidade, por meio do estudo do meio físico, das características naturais de cada tipo de rocha e dos processos naturais e antrópicos, possibilita o conhecimento de suscetibilidades, perigos e riscos geológicos a que está sujeita determinada área. Dessa forma, é possível delimitar espacialmente áreas mais seguras ou mais problemáticas para a ocupação humana e sugerir medidas de remediação onde existam problemas já instalados.

O estado de Pernambuco, há muitos anos, enfrenta desafios relacionados a deslizamentos de terra, especialmente na Região Metropolitana do Recife (RMR), onde uma parte considerável da população, principalmente de baixa renda, reside em áreas de morros. Além disso, as regiões das bacias dos rios Una, Capibaribe e Ipojuca frequentemente sofrem com inundações, como ocorreu de maneira significativa no ano de 2010, causando impactos econômicos e sociais consideráveis.

Além desses problemas mais amplamente noticiados pela mídia, também existem outros desafios em Pernambuco, tais como solos colapsíveis e expansivos no sertão do estado, erosão costeira ao longo de toda a costa pernambucana e a presença de camadas de argila mole em várias áreas, incluindo planícies fluviais e fluviomarinhas (como os manguezais). Muitas obras de engenharia importantes, como a Rodovia BR-101 Norte, e edificações urbanas estão localizadas nessas áreas

A figura 27 apresenta o mapeamento dos Riscos Geológicos no Estado de Pernambuco

Figura 27 – Suscetibilidade a processos condicionantes de Riscos Geológicos no Estado de Pernambuco.



Fonte: CPRM (2014).

Os deslizamentos, também conhecidos como escorregamentos, são eventos geológicos que envolvem fluxos ou movimentos gravitacionais de materiais, como solos, sedimentos e rochas. Eles podem ser desencadeados por fatores naturais, como chuvas intensas e terremotos, ou por ações humanas, como explosões ou alterações na geometria dos taludes. Esses eventos contribuem para a evolução do relevo e podem causar sérios danos socioeconômicos. A magnitude dos deslizamentos varia em termos de velocidade, volume, dimensões e tipos de materiais envolvidos.

A ocupação inadequada das encostas é um fator significativo na ocorrência desses deslizamentos, principalmente em áreas urbanas. Alguns dos principais fatores que induzem deslizamentos incluem geometria inadequada dos taludes de corte, lançamento de aterros sem compactação adequada, impermeabilização do solo, plantio de vegetação inadequada, alterações nas drenagens naturais e descarte inadequado de águas servidas.

Esses problemas geológicos representam desafios complexos para o planejamento urbano e a gestão do território em Pernambuco, requerendo medidas

adequadas de prevenção, mitigação e remediação para garantir a segurança das comunidades e a sustentabilidade das áreas afetadas.

A maioria dos deslizamentos que ocorrem no estado de Pernambuco são registrados na Região Metropolitana do Recife (RMR). No município do Recife, onde cerca de um terço da população reside em morros, foram identificadas, em 2004, 4,2 mil áreas consideradas de risco (RECIFE, 2004).

Principalmente na área norte da RMR, encontram-se sedimentos não consolidados da Formação Barreiras, caracterizados por tabuleiros de topo plano. Durante a estação chuvosa (de junho a agosto), as encostas destes tabuleiros enfrentam deslizamentos. As camadas de areia grossa, frequentemente intercaladas com camadas de areia fina e/ou argila, altamente suscetíveis à erosão, facilitam o desenvolvimento de processos erosivos que originam voçorocas, destruindo edificações localizadas nas encostas.

Os deslizamentos na Formação Barreiras são predominantemente do tipo planar, em que camadas relativamente finas de solo excessivamente saturado deslizam sobre camadas menos saturadas. Geralmente, uma camada argilosa saturada desliza sobre outra camada menos saturada, ou a camada argilosa sofre afundamento e desliza devido à erosão da camada de areia subjacente.

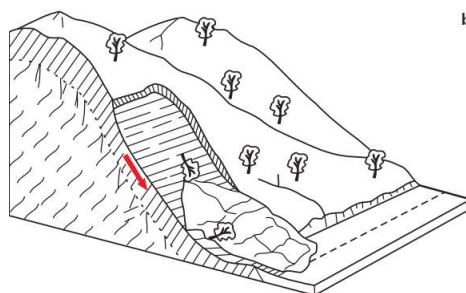
Na parte central-sul da RMR, predominam rochas metamórficas e ígneas, que quando intemperizadas, resultam em camadas espessas de solo argiloso (para as rochas metamórficas) ou solos síltico-arenoargilosos (para as rochas ígneas). A expansão desordenada ocorre principalmente nas áreas cobertas por solos residuais argilosos. Grandes projetos de infraestrutura, como o Complexo Industrial Portuário de Suape, o Estaleiro Atlântico Sul, uma refinaria de petróleo e o Complexo Turístico de Porto de Galinhas, aceleraram a ocupação das encostas desses morros, frequentemente sem planejamento adequado ou técnicas de construção apropriadas para terrenos acidentados, envolvendo corte e aterro. Essas áreas são propensas a deslizamentos de tipos rotacionais e planares (Figuras 28 e 29).

Figura 28 – Deslizamento rotacional em maciço rochoso



Fonte: ITGE (1991)

Figura 29 – Deslizamento planar



Fonte: OLIVEIRA; BRITO (1998)

Embora deslizamentos sejam registrados em outras partes do estado (principalmente na Zona da Mata Sul), em geral ocorrem poucas ocorrências, com número limitado de vítimas e danos materiais menores. Por exemplo, há relatos de casos em Quipapá e Garanhuns (Agreste), em períodos de chuvas excepcionalmente intensas, acima da média, que é a região objeto desse estudo.

A tabela 11 apresenta o comparativo da média histórica e a precipitação registrada no ano de 2022, com base nos dados constantes no site da Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC.

Tabela 11- Precipitação Média Histórica x Ano 2022 da Região Estudada

Período	Posto	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	ANUAL
MÉDIA HISTÓRICA	Garanhuns	45	58	100	116	105	123	133	74	48	32	18	22	874,00
ANO 2022		78	78	4,5	94,1	60,5	270,4	348,4	313,5	129	32	28	39	1.475,40
MÉDIA HISTÓRICA	Quipapá	31	42	78	110	136	139	121	65	35	18	14	17	806,00
ANO 2022		44,5	44,5	3,5	185,1	88,6	249,3	276,2	268,3	139,9	36,7	24,9	44,1	1.405,60

Unidade: (mm)

Fonte: Autor (2023)

Vale ressaltar que chuvas muito acima das médias históricas aumentam significativamente os deslizamentos, mesmo em áreas consideradas de baixo risco com declividades moderadas nas encostas. O clima seco em outras partes do estado não é propício para desencadear deslizamentos, devido à falta de chuvas prolongadas e à presença de camadas de solo finas ou inexistentes nas encostas, que não favorecem movimentos de massa (tanto de solos quanto de rochas). No entanto, em várias áreas, há ocorrências de blocos de rochas suscetíveis a quedas, tombamentos ou rolamentos. Esses movimentos podem ser causados por vibrações de veículos pesados, tremores de terra, deslocamento dos blocos, chuvas torrenciais ou intervenções humanas, como a exploração do bloco ou do espaço ocupado por ele.

Tais observações não indicam que apenas a RMR e a Zona da Mata enfrentam problemas de deslizamentos. No entanto, elas demonstram que a ocupação limitada nas áreas mais íngremes do interior do estado e a ausência de chuvas intensas e persistentes até o momento não criaram condições favoráveis para deslizamentos em grande escala.

CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS

São apresentados os materiais e métodos empregados na investigação geotécnica da área estudada, às margens da Rodovia PE-177(figura 30).

Figura 30 – Mapa de localização da região abordada



Fonte: DER-PE (2021).

Foram coletadas amostras deformadas de 2 pontos distintos, para realização de ensaios de caracterização física e hidromecânicas (cisalhamento direto).

As amostras foram coletadas nas estacas 38 (amostra 1) e 427 (amostra 2), ambas dentro dos limites do município de Quipapá.

A tabela 12 apresenta o programa experimental elaborado para a análise do comportamento dos taludes estudados.

Tabela 12 – Resumo do programa de investigação geotécnica

INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA	
EM CAMPO	NORMA
Coleta das Amostras	NBR 6467
EM LABORATÓRIO	PROCEDIMENTO EXECUTADO
Ensaio de Granulometria	NBR 7181
Determinação da Massa Específica Real dos Grãos	NBR 6805
Limites de Liquidez	NBR 6459
Limites de Plasticidade	NBR 7180
Ensaio de Compactação	NBR 7182
Ensaio de Cisalhamento Direto	ASTM D3080

Fonte: Autor (2023)

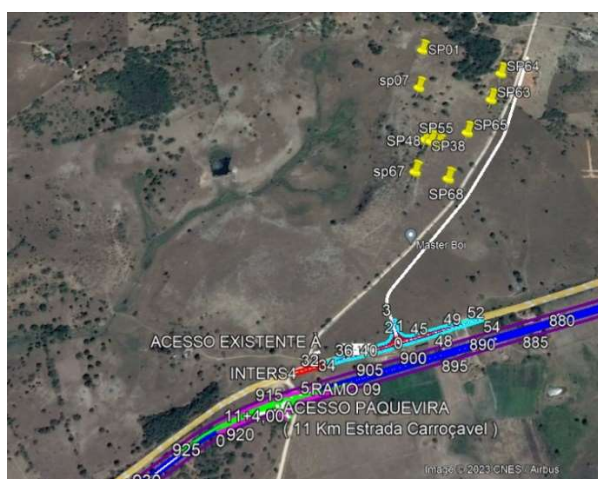
3.1. – INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

O tema corresponde ao conjunto de práticas e ensaios alusivos à caracterização do solo, sondagens e imagens aéreas.

3.1.1 Sondagens de Simples Reconhecimento

As sondagens constantes no Apêndice A, foram obtidas de uma campanha realizada para a implantação de um empreendimento na região, também às margens da rodovia em estudo (figura 31). Foi utilizado o Standard Penetration Test (SPT), como ferramenta para determinação do perfil geotécnico, e da resistência à penetração do amostrador padrão, conforme a ABNT NBR 6484 – Método de Execução de Sondagem. (Anexo A)

Figura 31– Localização dos Furos de Sondagens Utilizados



Fonte: Autor (2023)

3.2. Imagens Aéreas

Foram realizadas algumas imagens aéreas, com a utilização de drone para registro dos eventos, conforme série das figuras 32 a - 32j. .

Figura 32a Registro do movimento de massa verificado



Figura 32b Registro do movimento de massa verificado



Figura 32c Registro do movimento de massa verificado



Figura 32d Registro do movimento de massa verificado



Figura 32e Registro do movimento de massa verificado



Figura 32f Registro do movimento de massa verificado



Figura 32g Registro do movimento de massa verificado



Figura 32h Registro do movimento de massa verificado



Figura 32i Registro do movimento de massa verificado



Figura 32j Registro do movimento de massa verificado

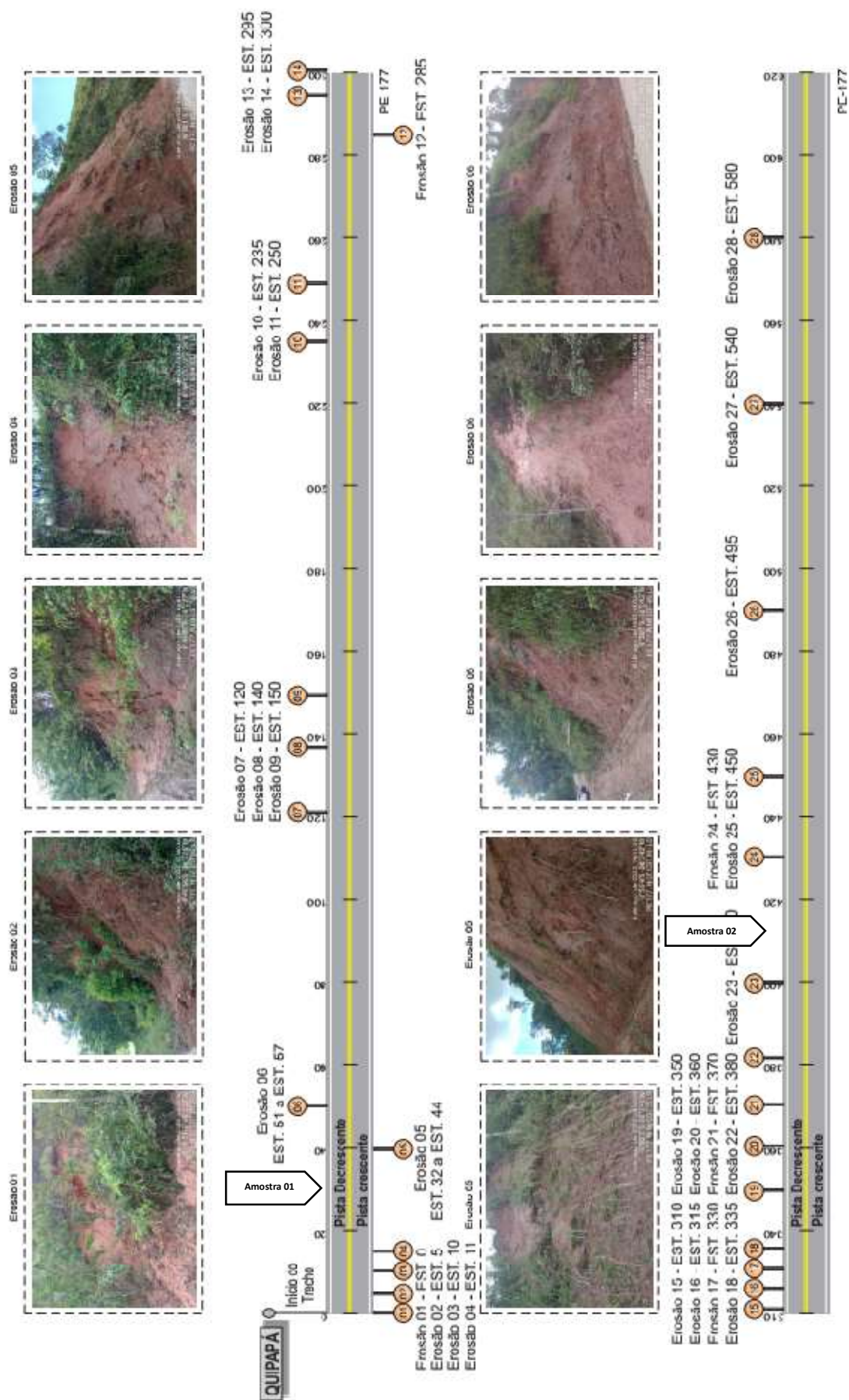


Fonte: Empresa responsável pelo levantamento (2022)

3.3. COLETA DE AMOSTRAS

As amostras deformadas foram coletadas na base dos taludes, nas estacas 38 (amostra 1) e 427 (amostra 2), ambas dentro dos limites do município de Quipapá (Figura 34). Face as dificuldades do local, não foi possível a coleta de amostras indeformadas.

Figura 33 – Localização das coletas de amostras



Fonte: Adaptação do autor (2022).

Os ensaios de caracterização, granulometria, índices físicos foram realizados nos laboratórios de Geotecnia da Universidade Católica de Pernambuco e os ensaios de cisalhamento direto foram realizados nas instalações do laboratório da empresa Maia Melo Engenharia.

3.3.1 - Caracterização Física do Solo

Os ensaios de caracterização física do solo, tais como: granulometria; limites de consistência; peso específico real dos grãos; teor de umidade. Tais ensaios são normatizados pela ABNT, conforme as normas correspondentes: NBR 6467–Preparação de Amostras; NBR 7181- Análise Granulométrica; NBR 6805– Massa Específica Real dos Grãos do Solo; NBR 6459–Limite de Liquidez; NBR 7180–Limite de Plasticidade; NBR 7182–Ensaio de Compactação (Figuras 29, 30 e 31).

Figura 34- Amostra 01



Fonte: Autor (2023)

Figura 35 - Amostra 02



Fonte: Autor (2023)

Figura 36 – Preparação das Amostras



Fonte: Autor (2023)

3.4. RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

Os Ensaio de Cisalhamento Direto foi realizado no laboratório da empresa Maia Melo Engenharia. Foram ensaiadas as duas amostras coletadas (figuras 37a - 37f). Ambas foram submetidas à compactação para obtenção dos corpos de prova.

Figura 37a Preparação Ensaio Cisalhamento



Fonte: Autor (2023)

Figura 37b Preparação Ensaio Cisalhamento



Fonte: Autor (2023)

Figura 37c Preparação Ensaio Cisalhamento



Fonte: Autor (2023)

Figura 37d Preparação Ensaio Cisalhamento



Fonte: Autor (2023)

Figura 37e Preparação Ensaio Cisalhamento



Fonte: Autor (2023)

Figura 37f Preparação Ensaio Cisalhamento



Fonte: Autor (2023)

Os ensaios foram realizados nas condições da umidade natural e umidade saturada. Nas duas condições ensaiadas foram aplicadas tensões normais de 50, 100 e 200 KPa, sendo utilizado um corpo de prova para cada tensão normal ensaiada (figuras 38 e 39).

O ensaio de Cisalhamento Direto é normatizado através da ASTM D3080.

Figura 38 Moldes Tensões 50, 100 e 200 KPa



Fonte: Autor (2023)

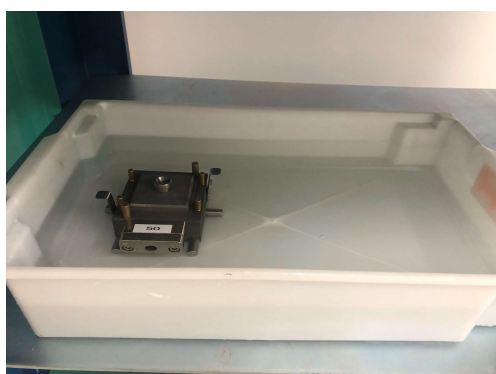
Figura 39 – Prensa Eletrônica Ensaio Cisalhamento Direto



Fonte: Autor (2023)

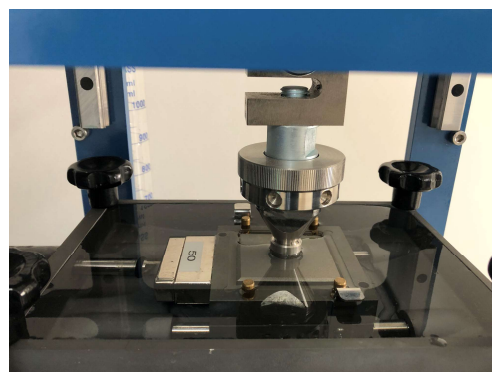
Nos ensaios com a umidade saturada, a amostra ficou submersa durante 24 horas, após esse período, era iniciado o ensaio (figuras 36 e 37).

Figura 40 – Amostra submersa



Fonte: Autor (2023)

Figura 41 - Realização do Ensaio



Fonte: Autor (2023)

Terminado o ensaio, a amostra é retirada do molde e é feita a leitura da umidade (figuras 42 e 43).

Figura 42 – Retirada da amostra do molde



Fonte: Autor (2023)

Figura 43 – Retirada da amostra do molde



Fonte: Autor (2023)

Após a realização do ensaio das amostras desmoldadas (figuras 44 a 47), o corpo de prova era destruído e coletado o material para obtenção da umidade pós-ensaio.

Figura 44– Amostra 01
Desmoldada – umidade natural



Fonte: Autor (2023)

Figura 45 – Amostra 01
Desmoldada – umidade saturada



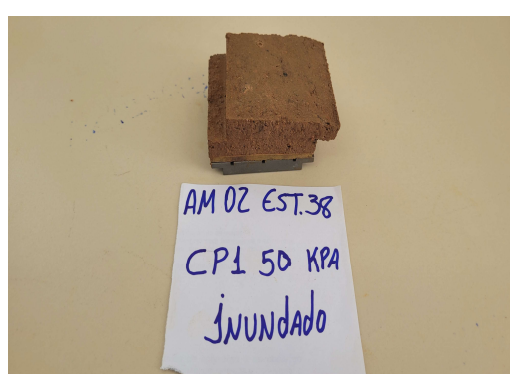
Fonte: Autor (2023)

Figura 46 – Amostra 02
Desmoldada – umidade natural



Fonte: Autor (2023)

Figura 47 – Amostra 02
Desmoldada – umidade saturada



Fonte: Autor (2023)

CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo são abordados os resultados e análise dos ensaios realizados a partir de amostras coletadas na região estudada.

4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

As figuras 44 e 45 mostram as curvas granulométricas das amostras ensaiadas e resultados da caracterização física das mesmas estão apresentadas estão na tabela 13

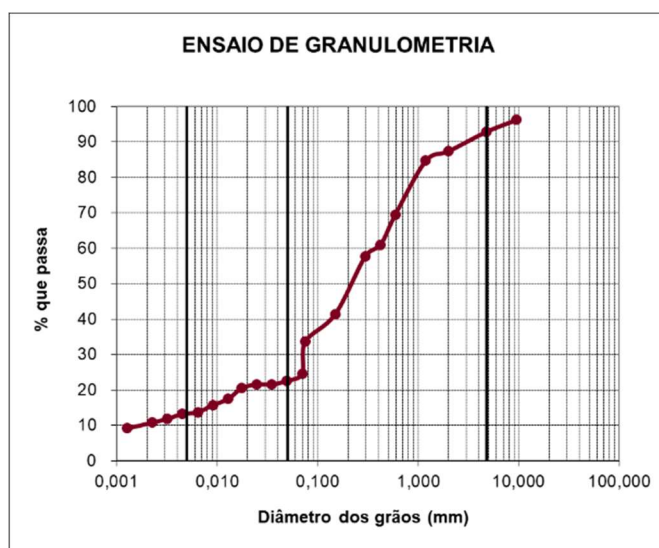
Tabela 13 - Caracterização Física das Amostras Coletadas

AMOSTRAS	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)					LIMITES DE ATTEMBERG					DEFINIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO	
	Pedregulho	Areia	Silte	Argila	< 2 μ	δ (kN/m ³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC		HBR	UNIFICADA
Amostra 01	6,98	30,31	24,13	38,59	14,46	26,9	36,8	31,5	5,3	1,00	MEDIANAMENTE PLÁSTICO	A-4	ML
Amostra 02	6,10	24,60	26,66	42,64	15,98	27,2	31,9	23,50	8,4	1,00	MEDIANAMENTE PLÁSTICO	A-4	ML

$z\mu$ = Percentual de argila; δ = Peso específico real dos grãos; LL = Limite de Liquidez; LP = Limite de Plasticidade; IP = Índice de Plasticidade; IC = Índice de Consistência; IA = Índice de Atividade

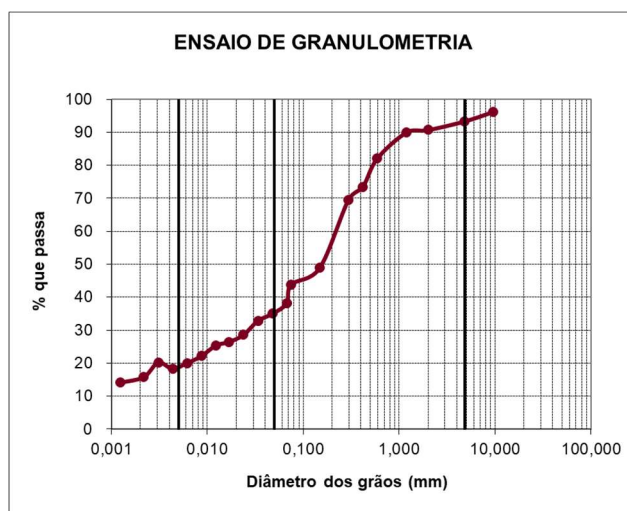
Fonte: Autor (2023)

Figura 48 – Curva granulométrica - Amostra 01



Fonte: Autor (2023).

Figura 49 – Curva granulométrica - Amostra 02



Fonte: Autor (2023).

Ambas as amostras 01 e 02 apresentam teor de argila de 38 e 42%, respectivamente. São medianamente plásticas, com índice de plasticidade de (5) para amostra 01 e (8), para amostra 02.

Observando a composição granulométrica das amostras, observamos que existe uma grande quantidade de finos, ambas com mais de 50% de material passando na peneira 200 (0,075mm, conforme mostrado na tabela 13).

Pelo Sistema de Classificação Unificada (USCC, sigla em inglês), verifica-se que as duas amostras se enquadram como argilosas (ML), com alta compressibilidade, pois ambas apresentam $LL < 50$.

Já pela classificação rodoviária da AASSHTO (2017), a HRB (Highway Research Board), as amostras se enquadram como A4 (Silte argiloso).

4.2.RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

Verfica-se os resultados de resistência dos solos ao cisalhamento sob as condições de umidade natural e saturada.

São apresentadas as curvas de Tensão Cisalhante x Deslocamento Horizontal; Deslocamento Vertical x Deslocamento Horizontal, obtidas dos ensaios de Cisalhamento Direto das duas condições de umidades analisadas.

A tabela 14 apresenta o resumo dos resultados obtidos do Ensaio de Cisalhamento Direto para as duas amostras.

Tabela 14 - Resultados obtidos do Ensaio de Cisalhamento Direto das amostras 01 e 02.

Amostras	Condição de Umidade	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhamento (kPa)	c (kPa)	ϕ (°)		
Amostra 01	Natural	50	113,42	70,77	36,3		
		100	135,36				
		200	220,65				
	Saturada	50	66,07			42,95	35,07
		100	131,15				
		200	177,38				
Amostra 02	Natural	50	109,81	70,37	35,92		
		100	137,98				
		200	216,87				
	Saturada	50	76,17			55,77	32,14
		100	135,13				
		200	175,93				

c=coesão; ϕ = ângulo de atrito

Fonte: Autor (2023).

Tabela 15 - Parâmetros de resistência do solo em estudos anteriores (ensaio cisalhamento direto)

Amostras	Condição de Umidade	c (kPa)	ϕ (°)
Formação Barreiras, Horto de Dois Irmãos - Recife/PE (Santos, 2001)	Natural	13	31
	Saturada	0	30
Formação Barreiras, Alto do Reservatório - Recife/PE (Lafayette, 2000; Lima 2002)	Natural	28-84	31-34
	Saturada	1 - 13	16-32
Formação Barreiras - Camaragibe/PE (Silva, 2007)	Natural	45,7-47	31,3-44,2
	Saturada	0-3,7	31,2-34,6
Formação Barreiras, Alto do Padre Cícero - Camaragibe/PE (Magalhães, 2013)	Natural	13, 7-35	28-36
	Saturada	3,3 - 8,7	30-35
Formação Ipojuca, Centro - Ipojuca/PE (Pereira, 2020)	Natural	11-173	15-34
	Saturada	5-35,5	16-23
Planalto Borborema, Margens da Rodovia PE-155 (Quipapá/PE) - Presente dissertação	Natural	70,37-70,77	35,05-35,92
	Saturada	42,95-55,77	32,14-35,07

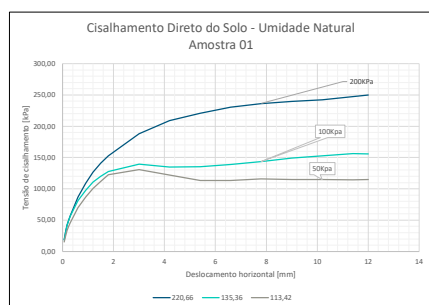
c=coesão; ϕ = ângulo de atrito

Fonte: Autor (2023)

A tabela 15 apresenta resultados obtidos a partir de outros estudos em áreas de Formação Barreiras. O presente estudo apresenta valores superiores tanto para coesão, quanto para o ângulo de atrito.

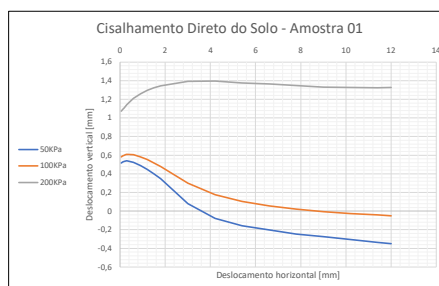
As figuras 50 e 51 mostram os gráficos da Tensão x Deslocamento da amostra 01 ensaiadas na umidade natural.

Figura 50 – Tensão Cisalhamento x Deslocamento Horizontal – 01 (Natural)



Fonte: Autor (2023)

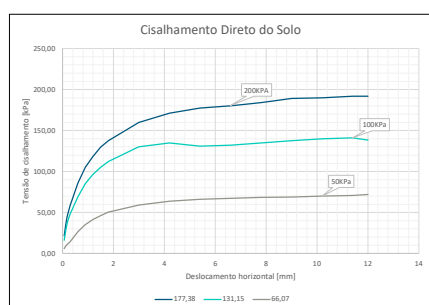
Figura 51 – Deslocamento Horizontal x Deslocamento Vertical – 01 (Natural)



Fonte: Autor (2023)

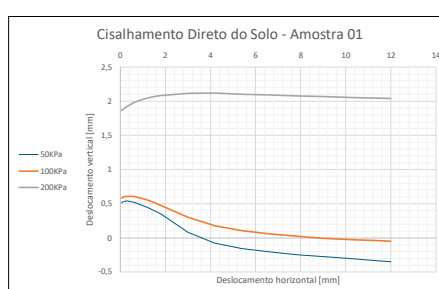
As figuras 52 e 53 mostram os gráficos da Tensão x Deslocamento e Deslocamento Horizontal x Deslocamento Vertical, respectivamente da amostra 01 ensaiada na umidade saturada.

Figura 52 – Tensão Cisalhamento x Deslocamento Horizontal – 01 (saturada)



Fonte: Autor (2023)

Figura 53 – Deslocamento Horizontal x Deslocamento Vertical – 01 (saturada)

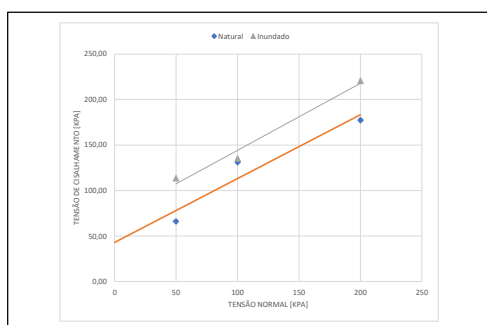


Fonte: Autor (2023)

Verifica-se através dos gráficos acima, que o solo ensaiado apresenta comportamento plástico para ambas as condições de umidades ensaiadas, tendo a tensão cisalhante crescendo de forma indefinida ao longo do deslocamento horizontal.

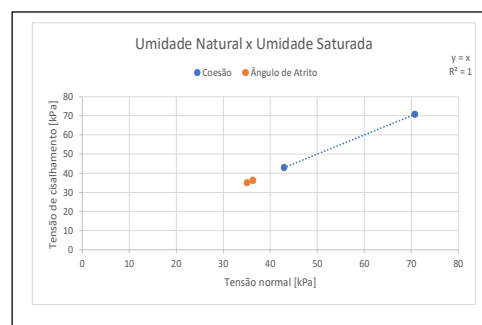
Pela granulometria, da amostra 01, o solo foi classificado como ML (silte argiloso), com Índice de Plasticidade de 5%, medianamente plástico ($IP < 15$).

Figura 54– Tensão Normal x Tensão Cisalhamento – Amostra 01



Fonte: Autor (2023)

Figura 55 – Coesão e Ângulo de Atrito – Amostra 01



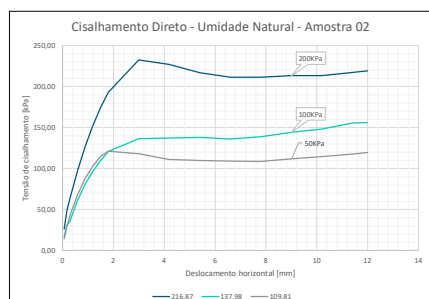
Fonte: Autor (2023)

A figura 54 mostra o comportamento das Tensões de Cisalhamento face às Tensões Normais impostas. Na figura 60 verifica-se uma diminuição da coesão devido ao crescimento da umidade, apresentando comportamento linear variando de 70 a 35 kPa.

Já o ângulo de atrito (figura 55), o comportamento também é linear, mas não apresenta variação representativa, reduzindo apenas de 35 para 32 graus.

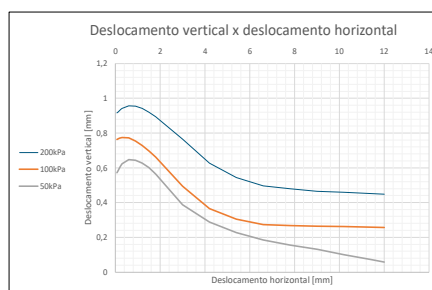
Para a amostra 02, as figuras 56 e 57 que mostram os gráficos da Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal e Deslocamento Horizontal x Deslocamento Vertical da amostra ensaiada na umidade natural.

Figura 56 – Tensão x Deslocamento Horizontal – Amostra 02



Fonte: Autor (2023)

Figura 57 –Deslocamento Horizontal x Deslocamento Vertical– Amostra 02



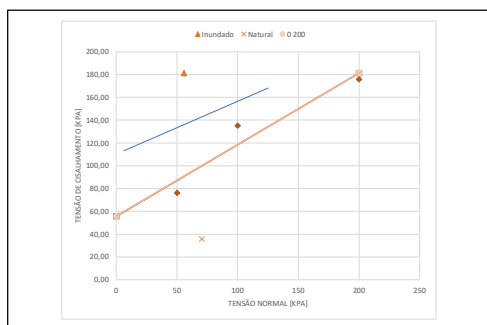
Fonte: Autor (2023)

Verifica-se através dos gráficos acima, que o solo ensaiado também apresenta comportamento plástico para ambas as condições de umidades

ensaiadas, tendo a tensão cisalhante ascendendo de forma indefinida ao longo do deslocamento horizontal.

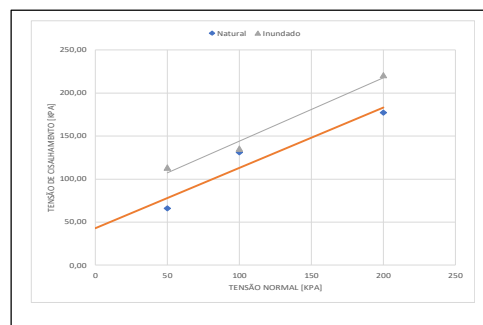
A granulometria da amostra 02, ML (silte argiloso), com Índice de Plasticidade de 8%, medianamente plástico ($IP < 15$).

Figura 58 – Tensão Normal x Tensão Cisalhamento – Amostra 02



Fonte: Autor (2023)

Figura 59 – Coesão e Ângulo de Atrito – Amostra 02



Fonte: Autor (2023)

A figura 58 apresenta o comportamento das Tensões de Cisalhamento mediante às Tensões Normais impostas.

Na figura 59 verifica-se uma diminuição da coesão devido ao aumento da umidade, esta possui comportamento linear variando de 70 a 55 kPa.

Para o ângulo de atrito, o comportamento também é linear, mas não houve quase variação, tendo sido reduzido de 35 para 32 graus.

5.0. SOLUÇÕES DE ENGENHARIA ADOTADAS

Face a importância da rodovia e a necessidade de solução do problema, foram especificadas intervenções com obras de engenharia, a saber: aplicação de geomantas (Figuras 63a a 63h), muro tipo Gabião (Figura 60) , e execução de dispositivos de drenagem.

Para dimensionamento do muro de contenção, utilizou-se o Software Gawac 3.0, considerando seguintes os parâmetros:

- Determinação do Empuxo;
- Análise da Estabilidade Externa;
- Verificação contra Deslizamento;
- Verificação contra Tombamento;
- Verificação das Pressões aplicadas à Fundação;
- Verificação da Estabilidade Global;
- Verificação da Estabilidade Interna (Estado Limite Último);
- Verificação da Estabilidade Interna (Estado Limite de Serviço).

No Apêndice A verifica-se exemplos de dimensionamento utilizando o software Gawac 3.0.

Figuras 60 (série)– Detalhe solução com geomanta

Detalhe da Execução
Geomanta

Figura 60a



Figura 60b



Figura 60c



Figura 60d



Figura 60e



Figura 60f



Figura 60g

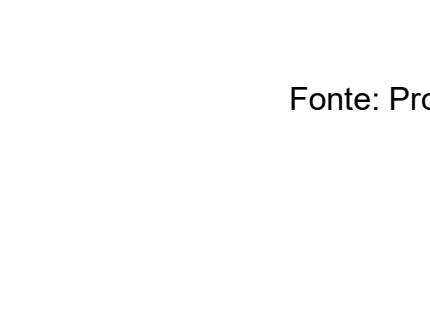
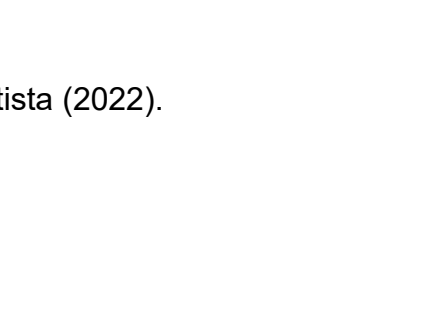
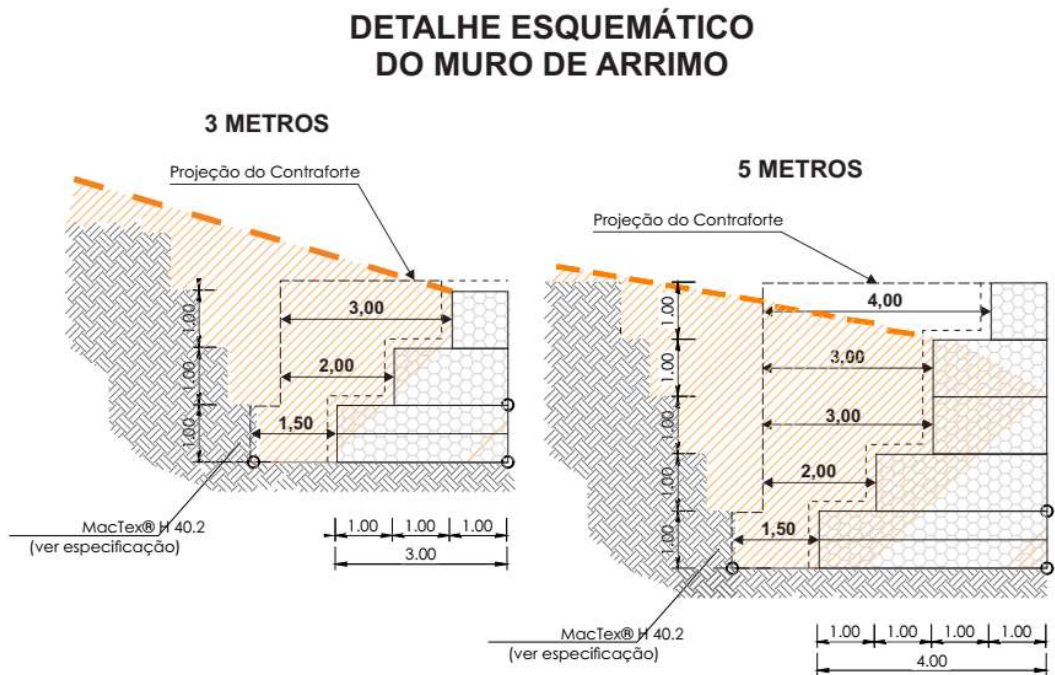


Figura 60h

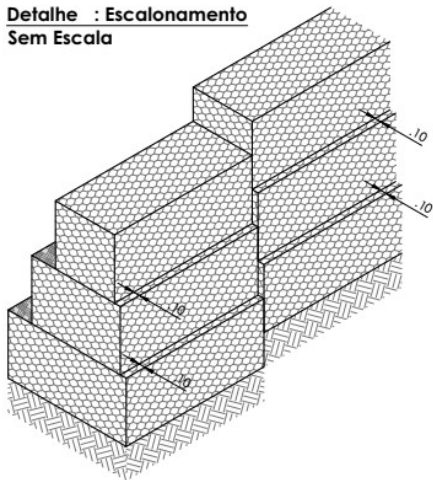


Fonte: Projetista (2022).

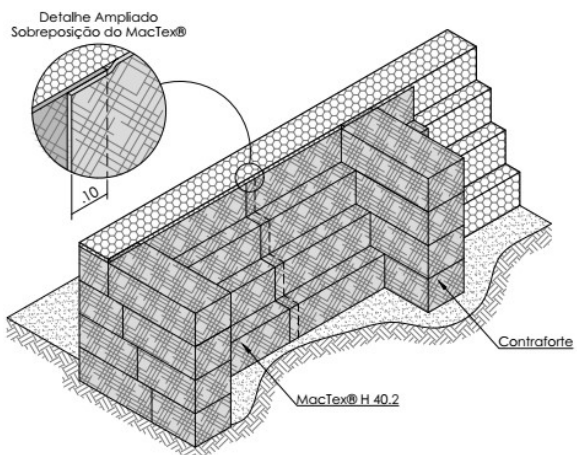
Figura 61– Detalhe solução muro de arrimo



Detalhe : Escalonamento Sem Escala



Detalhe : Perspectiva esquemática do contraforte Sem Escala



Fonte: Fabricante (2022).

Relatório Fotográfico da Execução das Soluções Propostas

Figuras 62 (série)

Figura 62a – Dispositivos de drenagem (descia d'água em degraus/manta para plantio de vegetação)

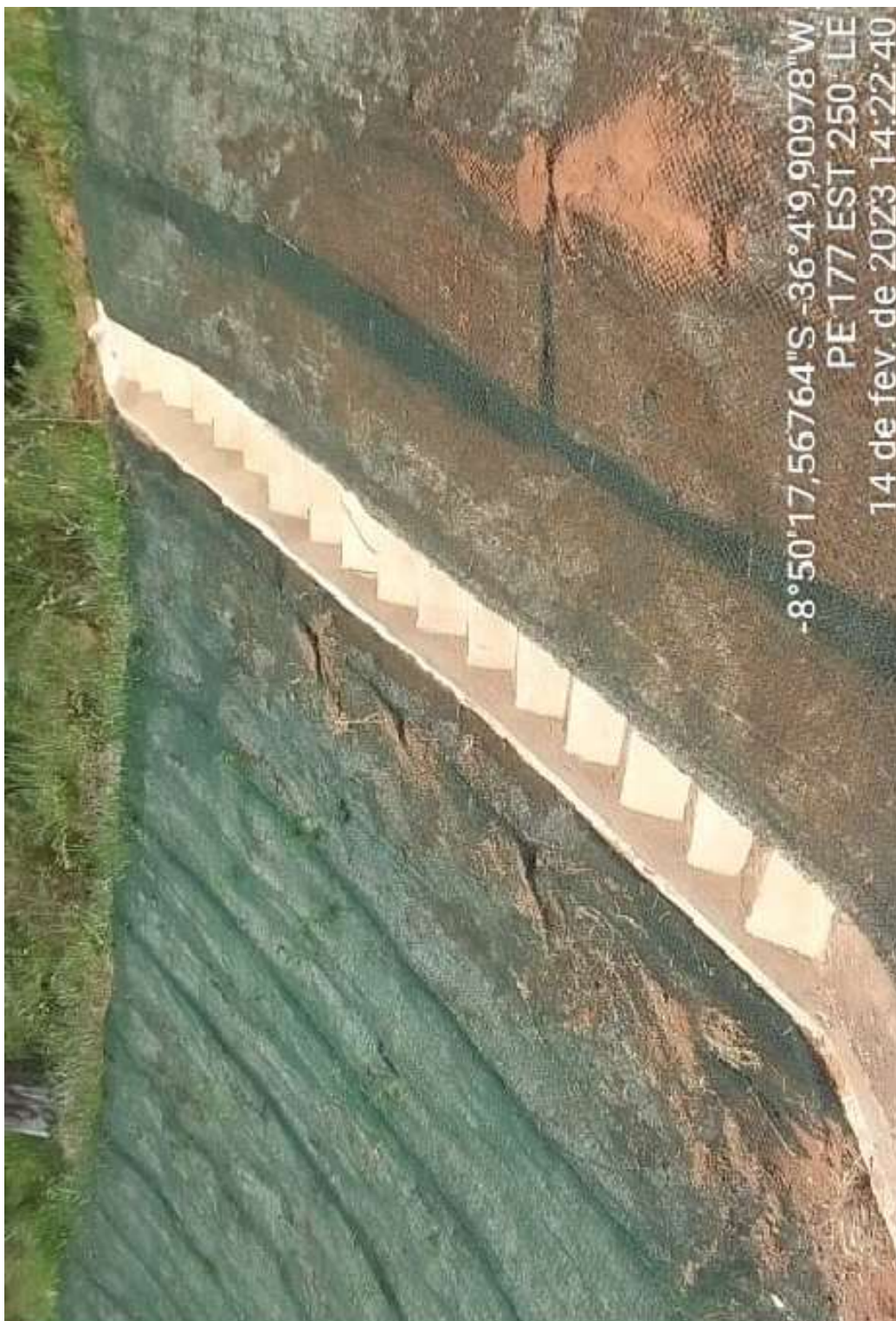


Figura 62b – Jateamento de argamassa em geomanta



Figura 62c – Dispositivos de drenagem (sarjeta de pé de corte), aplicação de geomanta



Figura 62d– Construção de muro de contenção tipo gabião



Figura 62e– Construção de muro de contenção tipo gabião



Figura 63– QRCode Registros fotográficos da implantação de soluções de engenharia.



Fonte: Autor (2023)

6.0. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA CONTINUAÇÃO DA PESQUISA

Neste capítulo são abordadas as principais conclusões obtidas no presente estudo, bem como apresenta-se sugestões para continuação da pesquisa.

- A precipitação pluviométrica registrada na região, no ano de 2022, foi mais que o dobro da média histórica, fator intrinsecamente ligado aos deslizamentos.
- Os projetos de obras de engenharia precisarão levar em conta as verificações atuais dos registros de precipitações.
- Os relatórios de sondagem utilizados com o complemento à identificação dos solos existentes na região, comprovam o estudo realizado;
- Submetidos ao ensaio de cisalhamento direto, foi verificado a diminuição do solo com o incremento da umidade (condição saturada), já o ângulo de atrito não sofre muita alteração;
- Os cortes muito íngremes para implantação da rodovia, geralmente para evitar custos com desapropiação, indenizações, etc., tranfe o problema para área geotécnica, pois contribui diretamente para a ocorrência de deslizamentos, quanto maior é a inclinação, maior é o aumento da densidade, que reduz a coesão, criando sobrecarga e levando à ruptura;
- A vegetação existente nas encostas também contribuem para o fenômeno de deslizamento.

6.1 Sugestão para continuação da pesquisa

- Sugere-se a continuação da pesquisa alusiva ao tema aqui tratado, visto que dispomos de poucos trabalhos abordando o assunto;
- Recomenda-se também que seja ampliado o mapeamento das áreas de risco ao longo da rodovia e entorno, de modo que se obtenha um melhor entendimento sobre a temática e se fomente os órgãos públicos de informações que visem auxiliar no planejamento e melhor uso do solo.

REFERÊNCIAS:

AASHTO (ed.). AASHTO M 145: Standard Specification for Classification of Soils and Soil – Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. Washinton: AASHTO,2017.

ABNT (ed.). NBR 6457 Amostras de solo: Preparação de Amostras. Rio de Janeiro:ABNT,2016.

ABNT (ed.). NBR 6458 Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm: Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ABNT (ed.). NBR 6459 Solo: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ABNT (ed.). NBR 7180 Solo: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT (ed.). NBR 7181 Solo: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT (ed.). NBR 7182 Solo: Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABNT (ed.). NBR 11682: Estabilidade de Taludes. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT (ed.). NBR 14545 Solo: Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABNT (ed.). NBR 16097 Solo: Determinação do teor de umidade — Métodos expeditos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT (ed.). NBR 16853: Solos - Ensaio de Adensamento Unidimensional. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

AB'SABER, Aziz N. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. SãoPaulo: Ateliê Editorial, 2003.

ALHEIROS, M. M. (1998), **Riscos de Escorregamentos na Região Metropolitana do Recife**. Tese de Doutorado em Geologia Sedimentar. Universidade Federal da Bahia. Salvador – BA, 129p.

ALHEIROS, M. M., (2004), **Risco Geológico**. Notas de Aula. Universidade Federal de Pernambuco. Recife-PE.

ARAÚJO, M. R. A; CAMPOS, D. J. S. L; SILVA, L. A. A. (2010).

ARAÚJO FILHO, J.C.; ARAÚJO, M.S.B.; MARQUES, F.A.; LOPES, H.L. Solos. In: TORRES, F.S.M.; PFALTZGRAFF, P.S (Eds.). Geodiversidade de Pernambuco. Recife: CPRM, 2014. p.109-138.

ASTM (ed.). **ASTM D2487**: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). West Conshohocken: ASTM, 2017.

ASTM D3080 - 04 - Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained. West Conshohocken:ASTM, 2012.

ASTM (ed.). **ASTM D3282**: Standard Practice for Classification of Soils and SoilAggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. West Conshohocken: ASTM, 2015.

ASTM (ed.). **ASTM D5126**: Standard Guide for Comparison of Field Methods for Determining Hydraulic Conductivity in Vadose Zone. West Conshohocken: ASTM, 2016.

ASTM (ed.). **ASTM D5298**: Standard test method for mesurment of soil potential (suction) using filter paper. Philadelphia, 2003. 6 p.

ATLAS pluviométrico do Brasil. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2011. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>. Acesso em: maio.2023.

AYALA, I.A. (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47, p. 107-124.

BITAR, O. Y.; CERRI, L. E. S.; NAKAZAWA, V. A (1992). **Carta de risco geológico e carta geotécnica: uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil**. In: Simpósio latino-americano sobre risco geológico urbano. Pereira: CARDER/INGEOMINAS/EAFIT/AGID/IUGS/IAEG/ONAD. p. 35-41.

BOBROWSKY, P.T.; DOMINGUEZ-CUESTA, M. J.Landslide susceptibility map of Canada. Ottawa: Geological Survey of Canada - GSC, 2012. 1mapa. Escala 1:6 000 000. Open file 7228. Disponível em: <https://doi.org/10.4095/291902>. Acesso em: maio.2022.

Burrough, P. A.; Mcdonell, R.A. Principles of geographical information systems. Oxford: Oxford University Press, 1998, 333 p

CANAVESI, V.et al. Análise da suscetibilidade a deslizamentos de terra:estudo de caso de Paraibuna, SP.Trabalho apresentado no XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, realizado em Foz do Iguaçu, 2013.Disponível em: <https://bit.ly/2Chjzgh>. Acesso em: maio.2022.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1987.

COUTINHO, R. Q. et. al. (1990), **Carta Geotécnica da Cidade do Recife**. In: 6° CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E IX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES. ABMS, Salvador – BA. v.1.

CUNHA FILHO, A. C. da. (2012), **Modelo Experimental Baseado na Declividade da Encosta Para Avaliação de Risco de Deslizamento**. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Pernambuco. Recife – PE.

Heathcote, R.L., 1985. Extreme event analysis. In: Kates, R.W., Ausubel, J.H.,

HUNTER, G. J.; GOODCHILD, M. F. Modeling the uncertainty of slope and aspect estimates derived from spatial databases. *Geographical Analysis*, Columbus: Ohio State University; New York: Wiley, v. 29, n. 1, p.35-49, Jan. 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1997.tb00944.x>. Acesso em: maio.2022.

JARDIM DE SÁ EF. 1984. Geologia da região do Seridó: reavaliação de dados. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 11., 1984, Natal. Atas... Natal: SBG, p. 278-296.

JARDIM DE SÁ EF. 1994. A Faixa Seridó (Província Borborema NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileiro/Pan-Africana. Brasília. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 803 p.

JARVIS, A. et al. E.Hole-filled seamless SRTM data V4.[S. I.]: Consultative Group on International Agricultural Research/Consortium for Spatial Information - CGIAR-CSI, 2008. SRTM 90m DEM Digital Elevation Database. Disponível em: <http://srtm.csi.cgiar.org>. Acesso em: jan.2023.

Kirschbaum, D. B., Stanley, T., & Zhou, Y. (2015). Spatial and temporal analysis of a global landslide catalog. *Geomorphology*, 249, 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.016>

LISTO, F.L.R., GOMES, M.C.V., FERREIRA, F.S. (2021). Evaluation of shallow landslide susceptibility and Factor of Safety variation using the TRIGRS model, Serra do Mar Mountain Range, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 107, p. 01-13

Manual técnico de geomorfologia, 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 178 p. Acompanha 1 CD-ROM. (Manuais técnicos em geociências, n. 5). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=244353>. Acesso em: maio.2022.

Manual técnico de Pedologia. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 428p. Acompanha 1 CD-ROM. (Manuais técnicos em geociências, n. 4). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=295017>. Acesso em: maio.2022.

Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil 2014-2016. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Escala 1:1 000 000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/cobertura-e-uso-da-terra>. Acesso em: maio.2022.

MONTGOMERY, C. W. Environmental geology. 3rd. ed. Dubuque: Wm Brown, 1992. 465 p.

NATENZON, C.E., RÍOS, D. (2015). Riesgos, catástrofes y vulnerabilidades. Aportes desde la geografía y otras ciencias sociales para casos argentinos. 1a ed. Buenos Aires: Colección Bitácora Argentina, 228 p

Santos E.J. & Brito-Neves B.B. 1984. Província Borborema. In: Almeida F.F.M., Hasui Y. (eds.) O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo, Edgard Blucher, p. 123-186

SOIL SURVEY STAFF. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436, 1999.

SOIL SURVEY STAFF. Keys to soil taxonomy, 12th edition. USDA Natural Resources Conservation Service, 2014

Xavier, Joaquim Pedro de Santana, Listo, Fabrizio de Luis Rosito e Nery, Tullius Dias. ESCORREGAMENTOS NO ESTADO DE PERNAMBUCO. Mercator (Fortaleza) [online]. 2022, v. 21 [Acessado 6 Agosto 2023], e21003. Disponível em: <<https://doi.org/10.4215/rm2022.e21003>>. Epub 06 Abr 2022. ISSN 1984-2201. <https://doi.org/10.4215/rm2022.e21003>.

APAC – Dados Pluviométricos

<http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#> Acessado em 08/2023

APAC – Dados Pluviométricos – Média histórica

<https://www.apac.pe.gov.br/193-climatologia/521-climatologia-por-municipio> -
Acessado em 08/2023

Apêndice A – Resumo dos Resultados.

APÊNDICE A - RESUMO DOS RESULTADOS

Caracterização Física das Amostras Coletadas

Amostras	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)						LIMITES DE ATTEMBERG			DEFINIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO	
	Pedregulho	Areia	Silte	Argila	δ (kN/m ³)	$< 2\mu$	LL (%)	LP (%)	IP (%)		IC	HBR
Amostra 01	6,98	30,31	24,13	38,59	26,9	14,46	36,8	31,5	5,3	1	A-4	ML
Amostra 02	6,10	24,60	26,66	42,64	27,2	15,98	31,9	23,50	8,4	1,00	A-4	ML

2μ = Percentual de argila; δ = Peso específico real dos grãos; LL = Limite de Liquidez; LP = Limite de Plasticidade; IP = Índice de Plasticidade;
 IC = Índice de Consistência; IA = Índice de Atividade

Amostras	Condição de Umidade	Cisalhamento Direto			ϕ (°)
		Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhamento (kPa)	c (kPa)	
Amostra 01	Natural	50	113,42	70,77	36,3
		100	135,36		
		200	220,65		
Amostra 02	Saturada	50	66,07	42,95	35,07
		100	131,15		
		200	177,38		
Amostra 01	Natural	50	109,81	70,37	35,92
		100	137,98		
		200	216,87		
Amostra 02	Saturada	50	76,17	55,77	32,14
		100	135,13		
		200	175,93		

c=coesão; ϕ = ângulo de atrito

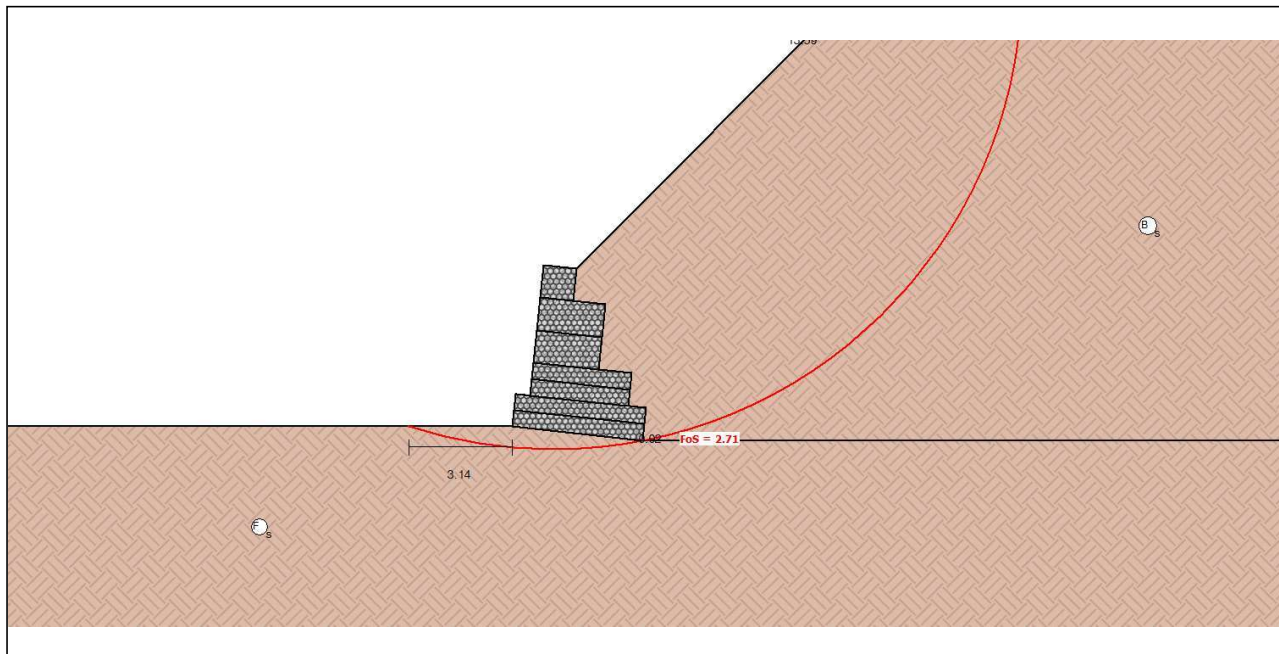
Fonte: Autor (2023)

Apêndice B – Exemplos de dimensionamento dos muros de contenção, utilizando o software Gawac 3.0.

● Resultados

ELU Estado Limite Último

Geometria do Muro



Resultados das Análises

Empuxos Ativo e Passivo

Empuxo Ativo [kN/m]	626.39
Ponto de apl. ref. ao eixo X [m]	3.19
Ponto de apl. ref. ao eixo Y [m]	1.62
Direção do empuxo ref. ao eixo X [°]	51.55
Empuxo Passivo [kN/m]	0.00
Ponto de apl. ref. ao eixo X [m]	0.00
Ponto de apl. ref. ao eixo Y [m]	0.00
Direção do empuxo ref. ao eixo X [°]	0.00

Deslizamento

Força normal sob a base [kN/m]	726.19
Ponto de apl. ref. ao eixo X [m]	1.79
Ponto de apl. ref. ao eixo Y [m]	-0.19
Força atuante tangencial [kN/m]	336.06
Força resistente tangencial [kN/m]	588.55
Deslizamento	1.75

Tombamento

Momento Atuante [kN/m x m]	632.29
Momento Resistente [kN/m x m]	1933.76
Tombamento	3.06

Tensões Atuantes na Fundação

Excentricidade	0.21
Tensão normal na borda externa [kN/m ²]	238.14
Tensão normal na borda interna [kN/m ²]	124.96
Tensão última da fundação [kN/m ²]	2515.20
Tensão na Base esq.	10.56
Tensão na Base dir.	20.13

Estabilidade Global | Bishop

Centro do arco ref. ao eixo X [m]	1.28
Centro do arco ref. ao eixo Y [m]	13.58
Global	2.71

Resultados

ELS Estado Limite de Serviço

Gabion Serviceability Coefficient



ELU Estado Limite Último

Externa

Tombamento

Deslizamento

Tensão na Base esq.

Tensão na Base dir.

Global

Global

FoS	3.06	FoS	1.75	FoS	10.56	FoS	20.13	FoS	2.71
------------	-------------	------------	-------------	------------	--------------	------------	--------------	------------	-------------

Interna

Camada	H [m]	N [kN/m]	T [kN/m]	M [kN/m x m]	τ_{Max} [kN/m]	τ_{All} [kN/m ²]	τ FoS	σ_{Max} [kN/m ²]	σ_{All} [kN/m ²]	σ FoS
1	0.99	16.71	-1.76	9.23	-1.76	36.22	20.58	15.12	545.79	36.10
2	2.09	50.12	-5.27	43.67	-2.63	44.58	16.95	28.77	545.79	18.97
3	3.09	77.32	-6.04	70.71	-3.02	58.18	19.26	42.27	545.79	12.91
4	3.69	410.67	155.39	572.60	51.80	167.29	3.23	147.27	545.79	3.71
5	4.19	358.33	131.30	493.63	43.77	149.84	3.42	130.05	545.79	4.20
6	4.74	879.72	387.43	1614.89	96.86	250.33	2.58	239.62	545.79	2.28

GAWAC 3.0

Gabion Wall Design Software

MACCAFERRI

www.maccaferri.com

10/08/2023 pag. 1 / 3

● Informações do Projeto

Título	RODOVIA PE-177 ESTACA 115+10 - 1231110	Descrição
Número	Projeto	Comentários

● Dados de Entrada

Dados sobre o muro

Inclinação do muro [°]	6.00
Peso específico da pedra [kN/m ³]	24.00
Porosidade dos gabiões [%]	30.00
Geotêxtil no terrapleno	Sim
Redução do atrito [%]	5.00
Geotêxtil sob a base	Não
Redução do atrito [%]	0.00

Dados sobre o terrapleno

Inclinação do 1º trecho [°]	45.00
Comprimento do 1º trecho [m]	8.40
Inclinação do 2º trecho [°]	0.00
Peso específico do solo [kN/m ³]	17.00
Ângulo de atrito do solo [°]	32.14
Coesão do solo [kN/m ²]	55.77

Layer	Altura inicial [m]	Inclinação deg	Peso específico [kN/m ³]	Coesão [kN/m ²]	Ângulo de atrito [deg]

Dados sobre a fundação

Altura da superfície superior [m]	0.00
Comprimento inicial [m]	100.00
Inclinação [°]	0.00
Peso específico do solo [kN/m ³]	17.00
Ângulo de atrito do solo [°]	32.14
Coesão do solo [kN/m ²]	55.77
Pressão admissível na fundação [kN/m ²]	
Altura do nível d'água [m]	

Camada	Prof. [m]	Peso específico [kN/m ³]	Coesão [kN/m ²]	Ângulo de atrito [deg]

Dados sobre as cargas

Cargas distribuídas sobre o terrapleno

Primeiro trecho [kN/m ²]	q1
Segundo trecho [kN/m ²]	q2

Cargas distribuídas sobre o muro

Carga [kN/m ²]	
----------------------------	--

Linhas de carga sobre o terrapleno

Carga 1 [kN/m]	
----------------	--

Dist. ao topo do muro [m]

Carga 2 [kN/m]	
----------------	--

Dist. ao topo do muro [m]

Carga 3 [kN/m]	
----------------	--

Dist. ao topo do muro [m]

Linha de carga sobre o muro

Carga [kN/m]	
--------------	--

Dist. ao topo do muro [m]

Dados sobre a superfície freática

Altura inicial [m]	0.00
Inclinação do 1º trecho [°]	0.00
Comprimento do 1º trecho [m]	0.00
Inclinação do 2º trecho [°]	0.00
Comprimento do 2º trecho [m]	0.00

Dados sobre as ações sísmicas

Coefficiente de aceleração horizontal	
Coefficiente de aceleração vertical	

Produto

Ambiente	Baixa Agressividade
----------	---------------------

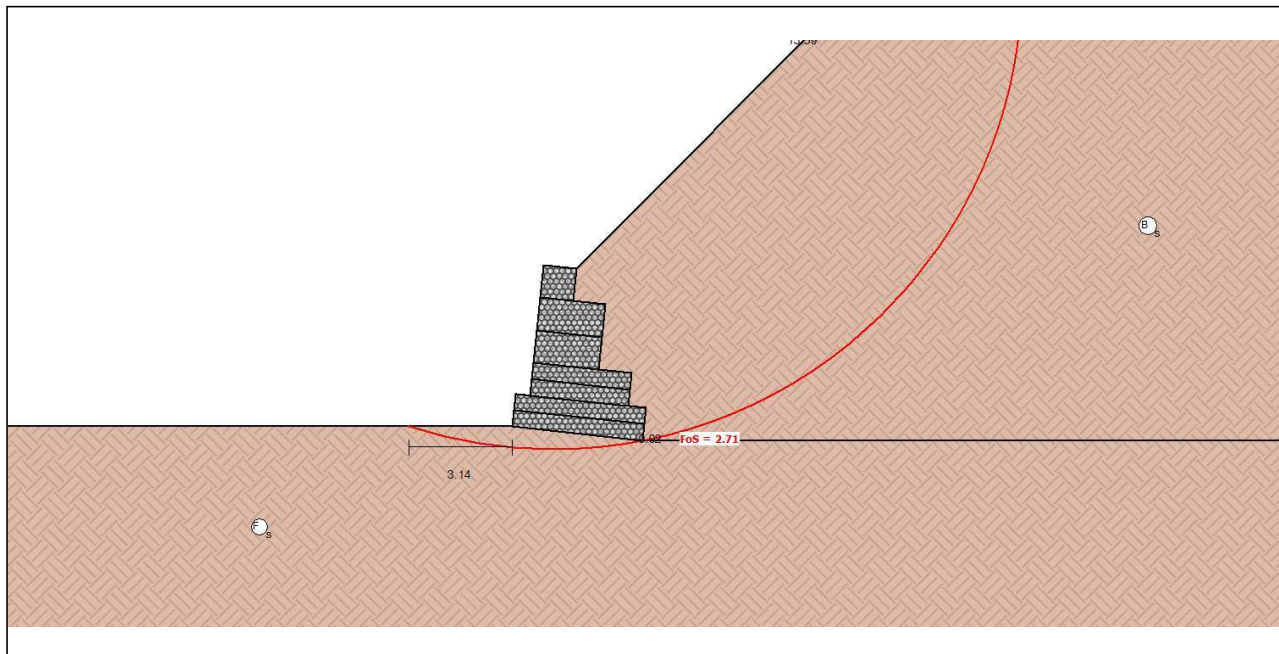
Mesh

	GSC 0.5	GSC 1.0
Gabion GALMAC 4R 80/279	558	279

● Resultados

ELU Estado Limite Último

Geometria do Muro



Resultados das Análises

Empuxos Ativo e Passivo

Empuxo Ativo [kN/m]	626.39
Ponto de apl. ref. ao eixo X [m]	3.19
Ponto de apl. ref. ao eixo Y [m]	1.62
Direção do empuxo ref. ao eixo X [°]	51.55
Empuxo Passivo [kN/m]	0.00
Ponto de apl. ref. ao eixo X [m]	0.00
Ponto de apl. ref. ao eixo Y [m]	0.00
Direção do empuxo ref. ao eixo X [°]	0.00

Deslizamento

Força normal sob a base [kN/m]	726.19
Ponto de apl. ref. ao eixo X [m]	1.79
Ponto de apl. ref. ao eixo Y [m]	-0.19
Força atuante tangencial [kN/m]	336.06
Força resistente tangencial [kN/m]	588.55
Deslizamento	1.75

Tombamento

Momento Atuante [kN/m x m]	632.29
Momento Resistente [kN/m x m]	1933.76
Tombamento	3.06

Tensões Atuantes na Fundação

Excentricidade	0.21
Tensão normal na borda externa [kN/m ²]	238.14
Tensão normal na borda interna [kN/m ²]	124.96
Tensão última da fundação [kN/m ²]	2515.20
Tensão na Base esq.	10.56
Tensão na Base dir.	20.13

Estabilidade Global | Bishop

Centro do arco ref. ao eixo X [m]	1.28
Centro do arco ref. ao eixo Y [m]	13.58
Global	2.71

Resultados

ELS Estado Limite de Serviço

Gabion Serviceability Coefficient



ELU Estado Limite Último

Externa

Tombamento

FoS 3.06

Deslizamento

FoS 1.75

Tensão na Base esq.

FoS 10.56

Tensão na Base dir.

FoS 20.13

Global

Global

FoS 2.71

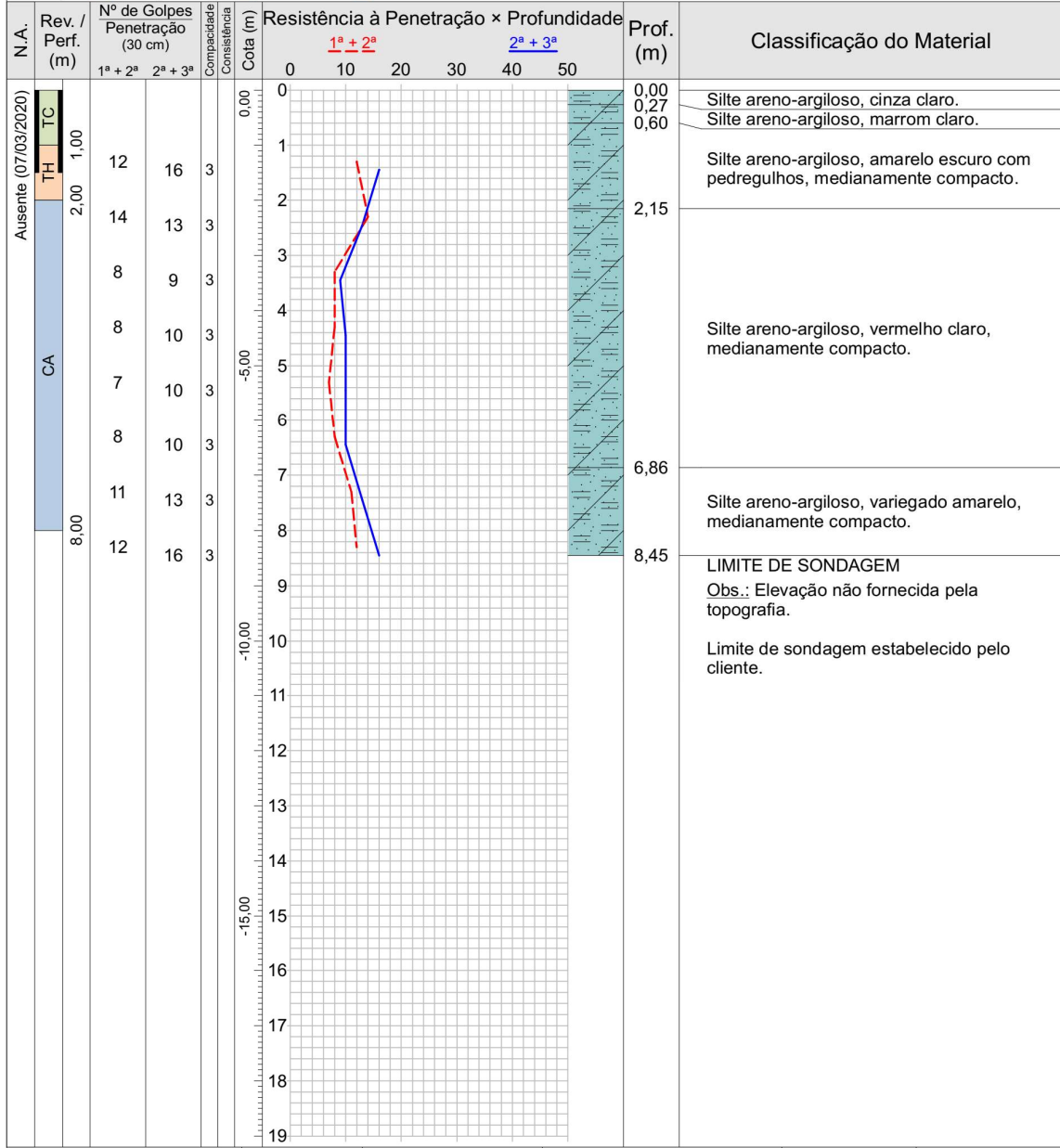
Interna

Camada	H [m]	N [kN/m]	T [kN/m]	M [kN/m x m]	τ_{Max} [kN/m]	τ_{All} [kN/m ²]	τ FoS	σ_{Max} [kN/m ²]	σ_{All} [kN/m ²]	σ FoS
1	0.99	16.71	-1.76	9.23	-1.76	36.22	20.58	15.12	545.79	36.10
2	2.09	50.12	-5.27	43.67	-2.63	44.58	16.95	28.77	545.79	18.97
3	3.09	77.32	-6.04	70.71	-3.02	58.18	19.26	42.27	545.79	12.91
4	3.69	410.67	155.39	572.60	51.80	167.29	3.23	147.27	545.79	3.71
5	4.19	358.33	131.30	493.63	43.77	149.84	3.42	130.05	545.79	4.20
6	4.74	879.72	387.43	1614.89	96.86	250.33	2.58	239.62	545.79	2.28

Anexo A – Perfis de sondagens de área próxima à região estudada.

Ø Amostrador	Externo: 2"	Altura de queda: 75 cm	Cota da boca do furo: 0,00 m	Ensaio de Avanço por Circulação de Água			
	Interno: 1 1/4"	Peso (PP): 65 kgf	Revestimento: 1,50 m	Início	10 min	20 min	30 min
Ø Revestimento (Rev.): 2 1/2"	Escala vertical: 1:100	Nível d'água: Ausente		-	-	-	-

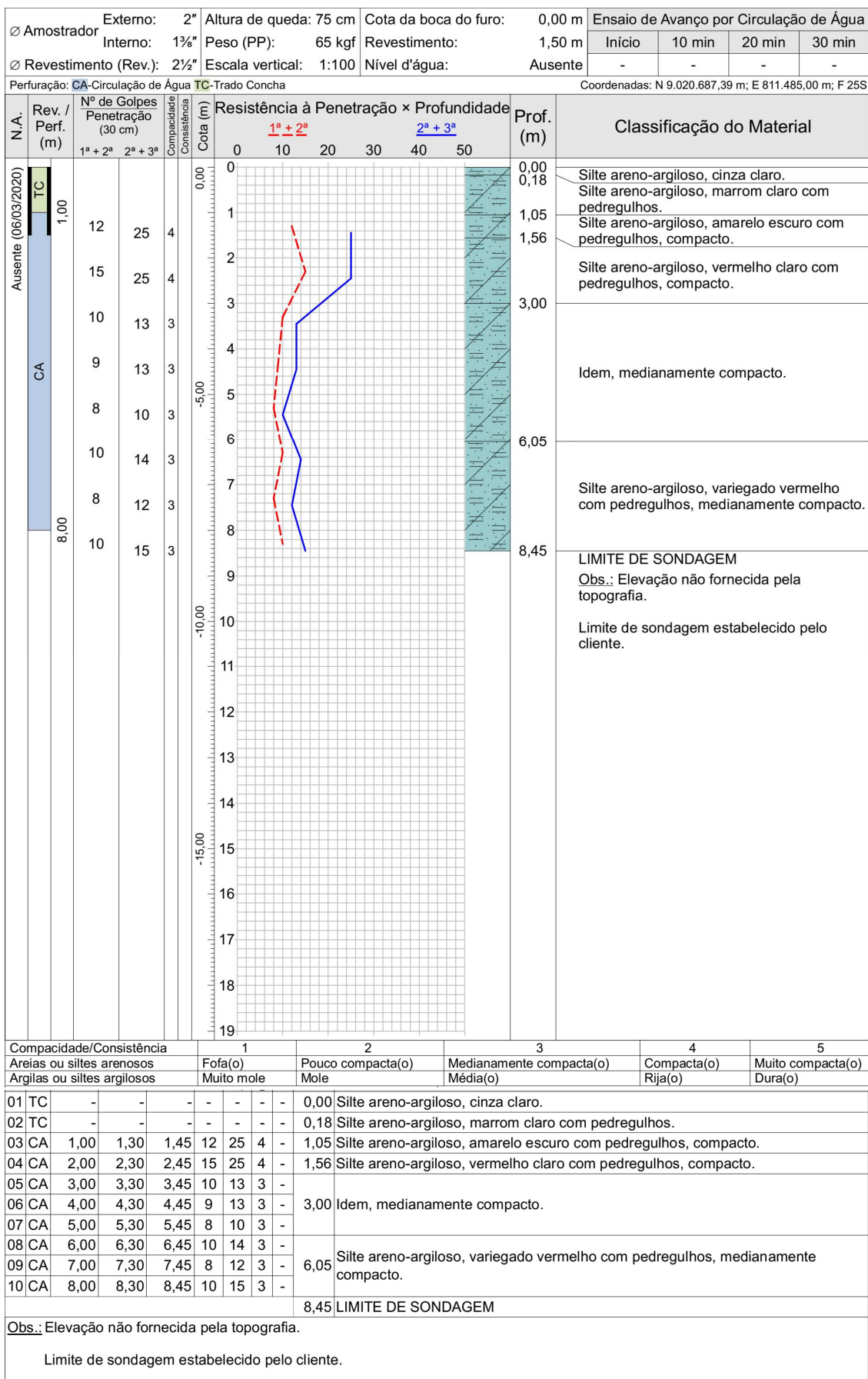
Perfuração: CA-Circulação de Água TC-Trado Concha TH-Trado Helicoidal Coordenadas: N 9.020.694,40 m; E 811.470,42 m; F 25S

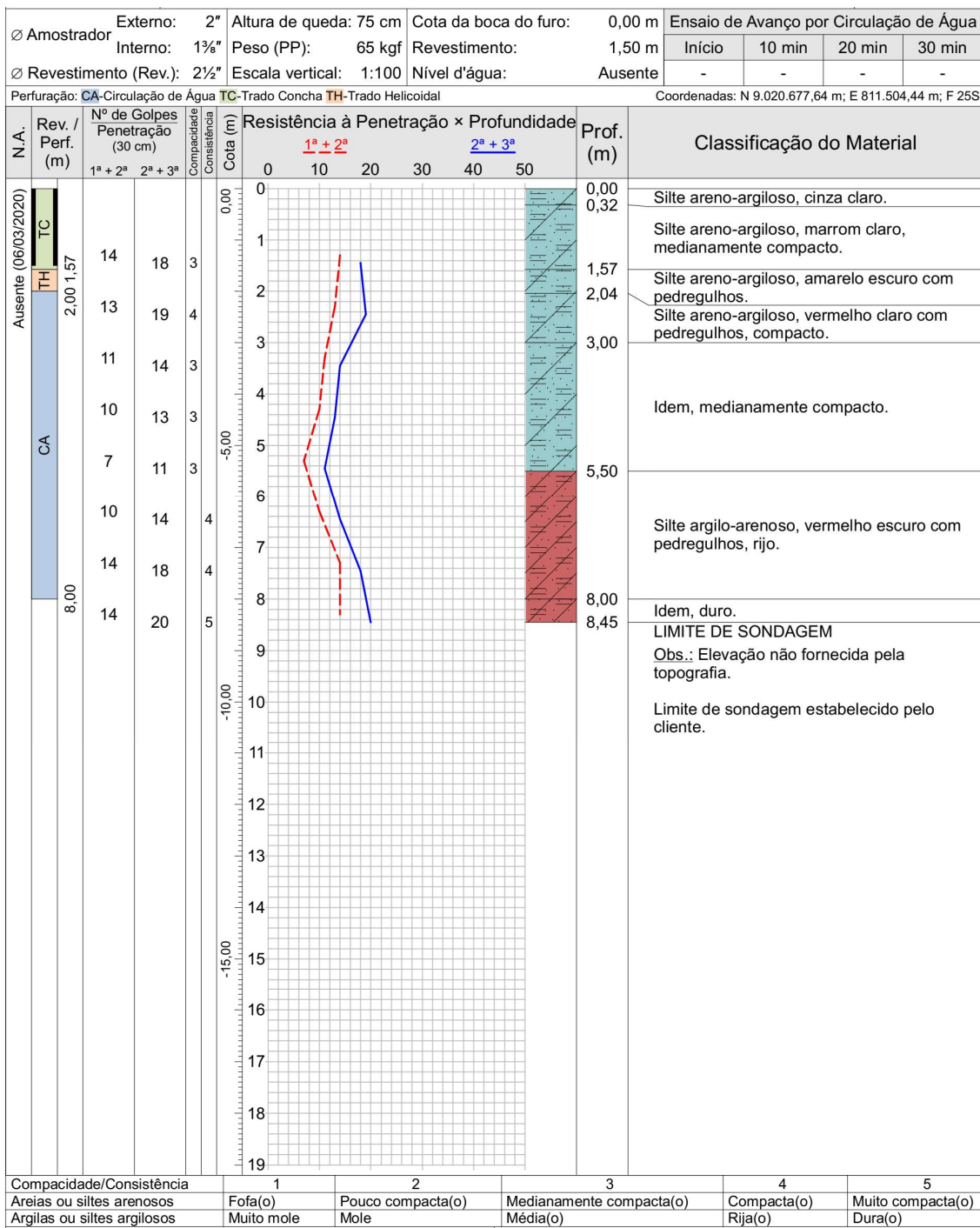


Compacidade/Consistência	1	2	3	4	5
Areias ou siltes arenosos	Fofa(o)	Pouco compacta(o)	Medianamente compacta(o)	Compacta(o)	Muito compacta(o)
Argilas ou siltes argilosos	Muito mole	Mole	Média(o)	Rija(o)	Dura(o)

01	TC	-	-	-	-	-	-	0,00	Silte areno-argiloso, cinza claro.	
02	TC	-	-	-	-	-	-	0,27	Silte areno-argiloso, marrom claro.	
03	TH	1,00	1,30	1,45	12	16	3	0,60	Silte areno-argiloso, amarelo escuro com pedregulhos, medianamente compacto.	
04	CA	2,00	2,30	2,45	14	13	3	2,15	Silte areno-argiloso, vermelho claro, medianamente compacto.	
05	CA	3,00	3,30	3,45	8	9	3			
06	CA	4,00	4,30	4,45	8	10	3			
07	CA	5,00	5,30	5,45	7	10	3			
08	CA	6,00	6,30	6,45	8	10	3			
09	CA	7,00	7,30	7,45	11	13	3	6,86	Silte areno-argiloso, variegado amarelo, medianamente compacto.	
10	CA	8,00	8,30	8,45	12	16	3			
									8,45	LIMITE DE SONDAGEM

Obs.: Elevação não fornecida pela topografia.
Limite de sondagem estabelecido pelo cliente.





Nível d'água		Ausente 05/03/2020		Cota da boca do furo: 0,00 m		Ensaio de Avanço por Circulação de Água				
Inicial:		Ausente —/—/—		Revestimento: 1,50 m		Início	10 min	20 min	30 min	
Estabilizado:		Ausente 06/03/2020				-	-	-	-	
Final:										
Perfuração: CA-Circulação de Água TC-Trado Concha TH-Trado Helicoidal						Coordenadas: N 9.020.677,64 m; E 811.504,44 m; F 25S				
Amostra	Perfuração	Profundidade (m)			Golpes 30 cm		Compacidade	Consistência	Profundidade Camada (m)	Classificação do Material
		Inicial	1ª + 2ª	2ª + 3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª				
01	TC	-	-	-	-	-	-	-	0,00	Silte areno-argiloso, cinza claro.
02	TC	1,00	1,30	1,45	14	18	3	-	0,32	Silte areno-argiloso, marrom claro, medianamente compacto.
03	TH	-	-	-	-	-	-	-	1,57	Silte areno-argiloso, amarelo escuro com pedregulhos.
04	CA	2,00	2,30	2,45	13	19	4	-	2,04	Silte areno-argiloso, vermelho claro com pedregulhos, compacto.
05	CA	3,00	3,30	3,45	11	14	3	-	3,00	Idem, medianamente compacto.
06	CA	4,00	4,30	4,45	10	13	3	-		
07	CA	5,00	5,30	5,45	7	11	3	-		
08	CA	6,00	6,30	6,45	10	14	-	4	5,50	Silte argilo-arenoso, vermelho escuro com pedregulhos, rijo.
09	CA	7,00	7,30	7,45	14	18	-	4		
10	CA	8,00	8,30	8,45	14	20	-	5	8,00	Idem, duro.
									8,45	LIMITE DE SONDAGEM
Obs.: Elevação não fornecida pela topografia.										
Limite de sondagem estabelecido pelo cliente.										
Compacidade/Consistência		1		2		3		4		5
Areias ou siltes arenosos		Fofa(o)		Pouco compacta(o)		Medianamente compacta(o)		Compacta(o)		Muito compacta(o)
Argilas ou siltes argilosos		Muito mole		Mole		Média(o)		Rija(o)		Dura(o)

