



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

RAYSSA MAGDYELLI NOGUEIRA DA SILVA

**MAPEAMENTO DA SUSCEPTIBILIDADE A OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS
DE MASSA EM PACOTI (CE)**

FORTALEZA

2021

RAYSSA MAGDYELLI NOGUEIRA DA SILVA

MAPEAMENTO DA SUSCEPTIBILIDADE A OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE
MASSA EM PACOTI (CE)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geologia.
Área de concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cynthia Romariz Duarte.

Co-orientador: Dr. Eduardo Viana Freires

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S583m Silva, Rayssa Magdyelli Nogueira da.
Mapeamento da susceptibilidade a ocorrência de movimentos de massa em Pacoti (CE) / Rayssa Magdyelli Nogueira da Silva. – 2021.
126 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2021.

Orientação: Profa. Dra. Cynthia Romariz Duarte.

Coorientação: Prof. Dr. Eduardo Viana Freires.

1. Susceptibilidade. 2. Movimentos de massa. 3. Maciço de Baturité. 4. Classificação supervisionada. I. Título.

CDD 551

RAYSSA MAGDYELLI NOGUEIRA DA SILVA

MAPEAMENTO DA SUSCEPTIBILIDADE A OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE
MASSA EM PACOTI (CE)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geologia.
Área de concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Cynthia Romariz Duarte
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcelo Ribeiro Barison
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL)

AGRADECIMENTOS

Chegar ao final dessa etapa não é mérito só meu. Tive a honra de ter o apoio de pessoas queridas, próximas e distantes, em todo o percurso. Deixo aqui minha sincera gratidão a vocês.

A Deus, que sinto nas coisas mais discretas e belas à minha volta.

A minha (grande) família, que me conhece além das aparências e sempre me apoiou. Mas eu não poderia deixar de citar cada um, pois sei que seria um puxão de orelha depois! Rayanna, obrigada por cada riso, comidas e conversas sérias com a linguagem que só nós entendemos. Raellen, você, mesmo sendo mais nova, é mais madura que eu e te admiro. Raylana, minha caçula, não vou esquecer de ouvir você tocando teclado enquanto eu estudava, se tornando uma tentação para eu esquecer meus afazeres e ir lá me juntar com você (haha). Meu pai Evandro, o senhor me ensinou o que é honestidade, carinho e dedicação. Minha mãe Emiliana, a senhora me mostrou a força, atitude e avidez. Amo vocês.

Ao meu namorado/amigo Samuel que me acompanhou em cada fase, mesmo nas mais difíceis e estranhas. Você conseguiu deixar tudo mais leve.

As minhas amigas/friends (Amanda, Jamille e Stefanny) pelas conversas ricas que só poderiam sair de quatro pessoas tão diferentes, mas ao mesmo tempo tão conectadas e parceiras. Vocês são mulheres fortes e exemplo para mim.

A todos os amigos que ganhei nesses sete anos de UFC, que foram muuuitos! Mas não poderia deixar de citar Cassiano, Mateus e Robert por estarem comigo desde o princípio. Obrigada por não desistirem de mim!

Ao clube do livro que veio para quebrar meu medo de ler e trazer encontros tão divertidos e aleatórios. Sei que nessa etapa final fiquei em falta com vocês, mas juro que vou voltar aos eixos!

A todos àqueles que fazem parte do GEOCE, principalmente Aline, Eduardo (co-orientador) e Linara por me ajudarem com dicas, conversas e tutoriais quando eu precisei aprender ou simplesmente quando todo mundo parava para desabafar da vida cotidiana.

A minha orientadora Cynthia pela compreensão e apoio na pesquisa, bem como nas decisões que tomei durante e após essa jornada acadêmica.

A todos os professores (as) e demais funcionários (as) do Departamento de Geologia, que participaram do meu crescimento profissional e pessoal.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradeço aos

órgãos de fomento à pesquisa por darem suporte aos pesquisadores brasileiros, mesmo em tempos difíceis para quem faz ciência. Agradeço também à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico (FUNCAP).

RESUMO

Cartografar as áreas susceptíveis aos movimentos de massa é um passo inicial importante na construção do conhecimento sobre o fenômeno e, junto a outros estudos, assessora decisões de desenvolvimento urbano, mitigação de riscos e gestão do uso da terra. As regiões serranas são cenários potenciais de ocorrência dos movimentos de massa, com isso, escolheu-se o município de Pacoti, inserido no Maciço de Baturité, que é um enclave úmido cearense em constante crescimento social e econômico. Para avaliar a susceptibilidade, foram selecionados 8 fatores: declividade, orientação das vertentes, curvatura vertical, curvatura horizontal, litologia, densidade de lineamentos, distância em relação às estradas e cobertura e uso da terra. A integração das variáveis foi feita em ambiente SIG, determinando notas, para a padronização dos valores, e pesos de influência dos planos de informação pelo método Analytic Hierarchy Process (AHP). A integração das variáveis foi feita em ambiente SIG, determinando notas para a padronização dos valores e atribuindo pesos de influência dos planos de informação pelo método *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Dois mapas de susceptibilidade foram gerados: o Mapa de Susceptibilidade Natural aos Movimentos de Massa (MSNMM) com as variáveis naturais e o Mapa de Susceptibilidade aos Movimentos de Massa (MSMM) com as variáveis naturais e antrópicas. Os resultados indicam a predominância de deslizamentos translacionais e quedas de blocos, principalmente na CE-253. A maioria das cicatrizes relacionam-se às declividades maiores que 20%, às vertentes orientadas nos quadrantes NE e SE e naquelas caracterizadas como convergentes-convexas. Quanto aos aspectos geológicos, percebe-se um forte controle dos micaxistos e migmatitos e uma menor relação com as maiores densidades de lineamentos, provavelmente por ocorrerem em locais que há o domínio da mata úmida. Porém, percebe-se que as cicatrizes ocorrem próximas a pelo menos um lineamento. Ainda, reforça-se a influência das estradas, pois estas favorecem a ocorrência de movimentos de massa em locais classificados como Mata Úmida e Mata de Transição, sendo essa última ligada a áreas previamente alteradas e/ou em recuperação da vegetação. O MSNMM demonstrou 55% da área como de alta e muito alta susceptibilidade, principalmente no setor central e norte do município. Porém o MSMM restringiu essas classes para 27% da área, destacando as estradas abaixo de 600 metros de altitude, que permeiam locais com forte descaracterização da paisagem natural. Ambos os mapas exibem semelhança no número de cicatrizes relacionadas às duas classes de maior susceptibilidade, porém, destaca-se que as áreas das referidas classes no MSNMM são cerca de duas vezes maiores que as áreas do MSMM, pois neste último as variáveis antrópicas afunilam as regiões mais propícias aos movimentos de massa.

Palavras-chave: susceptibilidade; movimentos de massa; Maciço de Baturité; classificação supervisionada.

ABSTRACT

Mapping susceptible areas to mass movements is an important initial step in building knowledge about these phenomena and, together with other studies, it advises decisions on urban development, risk mitigation and land use management. The mountainous regions are potential scenarios for the occurrence of mass movements, with this, the municipality of Pacoti was chosen, located in the Massif de Baturité, which is a humid enclave in the Ceará state in constant social and economic growth. To assess susceptibility, 8 factors were selected: slope, slope orientation, vertical curvature, horizontal curvature, lithology, lineament density, distance from roads and land use and land cover. The integration of variables was performed in a GIS environment, determining grades for the standardization of values and assigning influence weights to the information planes using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. Two susceptibility maps were generated: the Natural Susceptibility Map to Mass Movements (NSMMM) with the natural variables and the Susceptibility Map to the Mass Movements (SMMM) with the natural and anthropogenic variables. The results indicate the predominance of translational landslides and falls of blocks, mainly in CE-253. Most scars are related to slopes greater than 20%, slopes oriented in the NE and SE quadrants and those characterized as converging-convex. As for geological aspects, there is a strong control of mica schists and migmatites and a lower relationship with the higher densities of lineaments, probably because they occur in places where the humid forest dominates. However, it is clear that scars occur close to at least one lineament. Furthermore, the influence of roads is reinforced, as they favor the occurrence of mass movements in places classified as humid forest and transition forest, the latter being linked to areas previously altered and/or under vegetation recovery. MSNMM demonstrates 55% of the area as high and very high susceptibility, mainly in the central and northern sectors of the municipality. However, the MSMM restricts these classes to 27% of the area, highlighting the roads below 600 meters in altitude, which permeate places with a strong mischaracterization of the natural landscape. Both maps show similarity in the number of scars related to the two classes of greater susceptibility, however, it is noteworthy that the areas of these classes in the MSNMM are about twice as large as the areas in the MSMM, since in the latter the anthropic variables narrow the regions more conducive to mass movements.

Keywords: susceptibility; mass movements; Baturite massif; supervised classification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo	22
Figura 2 – Ilustração de Quedas (Falls)	29
Figura 3 – Ilustração de Tombamentos (Topples)	29
Figura 4 – Ilustração de Deslizamentos (Slides) Rotacionais A) e Translacionais B)	30
Figura 5 – Ilustração de Espalhamentos (Lateral Spreads)	32
Figura 6 – Ilustração de Corridas/Escoamentos (Flows), sendo A) Corrida de Terra, B) Fluxo de detritos, C) Avalanche de detritos e D) Fluxos lentos de terra ou Rastejos	33
Figura 7 – Mapa cronoestratigráfico da Província Borborema	44
Figura 8 – Mapa geológico de Pacoti	47
Figura 9 – Mapa Pluviométrico de Pacoti	49
Figura 10 – Precipitação Média (1974 a 2019) do Posto Pacoti	51
Figura 11 – Mapa pedológico de Pacoti	55
Figura 12 – Testes com valores diferentes de escala, shape e compactness para a segmentação (Detalhe da área urbana da sede municipal de Pacoti em RGB 4-3-2): A) Escala 30, shape 0,2 e compactness 0,7; B) Escala 50, shape 0,2 e compactness 0,7; C) Escala 100, shape 0,3 e compactness 0,6; D) Escala 150, shape 0,3 e compactness 0,6	62
Figura 13 – Segunda segmentação (Spectral Difference Segmentation) unindo segmentos com pixels parecidos (Detalhe da área urbana da sede municipal de Pacoti em RGB 4-3-2)	63
Figura 14 – Esquematização do processo de classificação supervisionada	66
Figura 15 – Exemplo de Matriz de Confusão com os índices de acurácia individual e a exatidão global	67
Figura 16 – Cicatrizes de movimentos de massa em Pacoti (CE)	75

Figura 17 – Exemplos de movimentos de massa encontrados em Pacoti: A) Deslizamento Translacional recente na rodovia CE-253 (Latitude - 4.236368361°/Longitude -38.885824972°), B) Deslizamento Translacional antigo, já em fase de recuperação da vegetação, dentro do perímetro urbano da sede municipal, C) Deslizamento Translacional + Queda de Blocos em estrada secundária na zona rural, D) Deslizamento Translacional + Queda de Blocos na CE-065, próximo a sede municipal, E) Queda de Blocos na CE-065, provavelmente mais antigo, F) Queda de Blocos em estrada secundária da zona rural com blocos rochosos retangulares de ~ 2 m de comprimento, G) Bloco rochoso entre um bananeiral provavelmente participante de evento antigo de Queda ou Rolamento de Blocos e H) Poste de energia elétrica inclinado indicando movimento lento de Rastejo em zona rural	77
Figura 18 – Possível cicatriz de movimento de massa em local de difícil acesso	79
Figura 19 – Ravinamento em vertentes modificadas por ações antrópicas, com exposição de solo residual jovem	79
Figura 20 – Mapa de Declividade	82
Figura 21 – Mapa de Orientação das Vertentes	84
Figura 22 – Ilustração das curvaturas vertical e horizontal, bem como as formas do terreno	85
Figura 23 – Mapas de Curvatura Vertical e Horizontal	87
Figura 24 – Mapa com os lineamentos vetorizados nos azimutes 0°, 40° e 315°	89
Figura 25 – Diagrama de Roseta dos lineamentos	91
Figura 26 – Mapa de Densidade de Lineamentos	92
Figura 27 – Distância em relação às Estradas de Pacoti (CE)	94
Figura 28 – Mapa de Cobertura e Uso da Terra em Pacoti (CE)	98
Figura 29 – Exemplos de áreas da classe Agropecuária em Pacoti: A) Grandes áreas de cultivo de policultura na zona rural, B) Vertente com vegetação secundária e presença de animais pastando, C) Vertente quase totalmente desmatada,	99

provavelmente para alguma atividade de agropecuária, com vegetação secundária em desenvolvimento, D) Bananeiral em zona rural, comumente encontrado em todo o município, E) Morros e vales fortemente ocupados por áreas de policultura e F) Áreas de cultivo entre espaços ocupados por vegetação nativa

Figura 30 – Casas muito próximas aos cortes de vertentes sem dispositivos de contenção. Identifica-se a presença de solos residuais jovens nas camadas claras	101
Figura 31 – Plantação de bananeiras e casas em uma mesma vertente dentro da sede municipal	102
Figura 32 – Exemplos de povoados rurais em Pacoti	102
Figura 33 – Cultivos de Olericultura, especificamente de chuchu, em Pacoti	103
Figura 34 – Depressão Sertaneja que circunda o Maciço de Baturité, demonstrando a diferença dos ambientes, principalmente no relevo e vegetação (A e B)	104
Figura 35 – Presença de Mata Úmida em uma das entradas da sede municipal	105
Figura 36 – Mapa de susceptibilidade aos movimentos de massa com variáveis naturais .	112
Figura 37 – Mapa de susceptibilidade com variáveis naturais e ambientais	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
ALOS	Advanced Land Observing Satellite
APA	Área de Proteção Ambiental
ASAS	Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul
ASF	Alaska Satellite Facility
CC	Complexo Ceará
CE	Ceará
CI	Consistency Index
CMM	Cicatrizes de Movimentos de Massa
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CR	Consistency Ratio
CTSQ	Complexo Tamboril-Santa Quitéria
DCC	Domínio Ceará Central
E	Leste
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
MDE	Modelo Digital de Elevação
MSMM	Mapa de Susceptibilidade aos Movimentos de Massa
MSNMM	Mapa de Susceptibilidade Natural aos Movimentos de Massa
N	Norte
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NE	Nordeste
NIR	Near Infrared
NW	Noroeste
PALSAR	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar

RGB	Red, Green and Blue
RI	Index of a random-like matrix
S	Sul
SAR	Synthetic Aperture Radar
SE	Sudeste
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SR	Sensoriamento Remoto
SW	Sudoeste
UNDRR	United Nations Office for Disaster Risk Reduction
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transversa de Mercator
VNIR	Visible and Near Infrared
W	Oeste
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Apresentação	17
1.2	Justificativa	19
1.3	Objetivos	21
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	21
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	21
1.4	Localização e Acesso	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	Movimentos de Massa como Desastres Naturais	23
2.2	Conceituando Movimentos de Massa	24
<i>2.2.1</i>	<i>Classificação dos movimentos de massa</i>	26
<i>2.2.1.1</i>	<i>Quedas (Falls)</i>	28
<i>2.2.1.2</i>	<i>Tombamentos (Topples)</i>	29
<i>2.2.1.3</i>	<i>Escorregamentos / Deslizamentos (Slides)</i>	30
<i>2.2.1.3.1</i>	<i>Deslizamentos Rotacionais</i>	30
<i>2.2.1.3.2</i>	<i>Deslizamentos Translacionais</i>	31
<i>2.2.1.4</i>	<i>Espalhamentos (Lateral Spreads)</i>	31
<i>2.2.1.5</i>	<i>Corridas / Escoamentos (Flows)</i>	32
<i>2.2.1.6</i>	<i>Movimentos Complexos</i>	33
2.3	Fatores deflagradores dos Movimentos de Massa	34
<i>2.3.1</i>	<i>Geologia</i>	35
<i>2.3.2</i>	<i>Geomorfologia</i>	36
<i>2.3.3</i>	<i>Vegetação</i>	37
<i>2.3.4</i>	<i>Ação antrópica</i>	38
2.4	Susceptibilidade e outros conceitos relacionados	38
2.5	Metodologias para análise da susceptibilidade	39
2.6	Sensoriamento Remoto (SR) na susceptibilidade a movimentos de massa	40
<i>2.6.1</i>	<i>Sistema de Informação Geográfica - SIG</i>	42
3	ASPECTOS GEOLÓGICOS E FISIAGRÁFICOS	44
3.1	Geologia	44
<i>3.1.1</i>	<i>Domínio Ceará Central (DCC)</i>	45
<i>3.1.2</i>	<i>Geologia Local de Pacoti</i>	46
<i>3.1.2.1</i>	<i>Unidade Independência</i>	46

3.1.2.2	<i>Complexo Tamboril - Santa Quitéria</i>	48
3.1.2.3	<i>Granitoide Santa Quitéria</i>	48
3.2	Clima	49
3.3	Hidrografia	51
3.4	Geomorfologia	52
3.5	Solos	53
3.6	Vegetação	56
4	MATERIAIS E MÉTODOS	57
4.1	Base Cartográfica	57
4.2	Campanhas de Campo	58
4.3	Imagens de Satélite	58
4.3.1	<i>PlanetScope</i>	58
4.3.2	<i>ALOS PALSAR</i>	59
4.4	Geoprocessamento	60
4.4.1	<i>Classificação Supervisionada por Região</i>	60
4.4.2	<i>Acurácia da Classificação Supervisionada</i>	66
4.5	Lineamentos Estruturais	69
4.6	Distância em relação às estradas	69
4.7	Derivação Geomorfométrica	70
4.8	Integração dos dados para geração da susceptibilidade	71
4.8.1	<i>Técnica AHP</i>	71
4.8.2	<i>Geração dos Mapas de Susceptibilidade</i>	73
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
5.1	Cicatrizes de Movimentos de Massa	75
5.2	Variáveis de Entrada	80
5.2.1	<i>Variáveis Geomorfométricas</i>	80
5.2.2	<i>Geologia</i>	87
5.2.3	<i>Densidade de Lineamentos</i>	89
5.2.4	<i>Distância em relação às estradas</i>	93
5.2.5	<i>Cobertura e Uso da Terra</i>	95
5.3	Susceptibilidade aos Movimentos de Massa	105
6	CONCLUSÕES	114
	REFERÊNCIAS	117

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Os movimentos de massa podem impactar a vida humana, as propriedades, a infraestrutura urbana e os ambientes naturais na maior parte das áreas montanhosas ou acidentadas do mundo (SPIZZICHINO *et al.*, 2013). Estudos que produzem mapas de inventários, susceptibilidade e/ou risco do fenômeno são ferramentas essenciais para assessorar o planejamento e gestão do uso da terra, planos de proteção civil, trabalhos de engenharia e de outros profissionais e programas de redução do risco (MARGOTTINI; CANUTO; SASSA, 2013).

Movimentos de massa são definidos como movimentos combinados de massa rochosa, detritos ou solo ao longo de um declive, havendo a possibilidade de ocasionarem grandes acidentes e perdas econômicas. Os estudos relacionados a esse processo, como o tipo, fatores desencadeantes, susceptibilidade e risco, têm se tornado importantes e visados, tanto pela academia quanto por órgãos públicos e privados (ZHAO; LU, 2018). Estes estudos permitem o zoneamento adequado de áreas a serem modificadas (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

Os desastres relacionados aos movimentos de massa são frequentes no Brasil devido às suas condições climáticas, especialmente nas regiões serranas, porém também ocorrem acidentes induzidos pela ação antrópica devido aos desmatamentos, cortes para construção de casas e estradas entre outras atividades (FERNANDES; AMARAL, 2000).

Segundo o IPT (2021), de 1988 a 2020, os movimentos de massa ocasionaram a morte de 3.679 pessoas no Brasil. Em 2021, ano corrente dessa pesquisa, já se contabilizou 11 mortes até o dia 05 de abril. Em paralelo, o número real de movimentos de massa no país é maior do que o registrado, pois, entre outros fatores, geralmente são inventariados somente movimentos de massa que afetam diretamente áreas com ocupação humana (GUIDICINE; NIEBLE, 1984).

Entre os dados citados há o evento que muitos consideraram como o maior desastre natural da história do Brasil, ocorrido no dia 12 de janeiro de 2011, que afetou principalmente os municípios de Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo. Em decorrência de chuvas concentradas num período de 24 horas, deslizamentos afetaram áreas urbanas e rurais do Rio de Janeiro, deixando 918 óbitos, 8.795 desabrigados e 22.604 desalojados. A partir desse episódio foi criado o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

(CEMADEN), pertencente ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (FREITAS *et al.*, 2012).

Porém, ainda necessita-se melhorar o registro adequado desses eventos no Brasil. Como retrato disso, pode-se citar o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2id, criado em 2013 com o intuito de gerar um banco de dados sobre registros de desastres para ser consultado de forma *online*. Através dele, sabe-se que, no ano de 2020, considerando os registros de desastres relacionados aos movimentos de massa feitos pelos municípios, o Brasil contabilizou cerca de 2,6 bilhões de reais em prejuízos econômicos públicos/privados e quase 2,7 bilhões de reais em danos materiais, como unidades habitacionais, instalações públicas e obras de infraestrutura (BRASIL, 2020).

Paralelamente, fazendo uma consulta ao S2id para o município de Pacoti, área desse estudo, observa-se que há apenas um decreto de Situação de Emergência, datado em 2009, devido a enxurradas, que é um dos fatores determinantes na ocorrência de movimentos de massa, sem qualquer registro do fenômeno de interesse. Essa ausência de informação não quer dizer, necessariamente, que não houveram ocorrências de movimentos de massa no município, como foi constatado por Oliveira (2018) e Bastos (2012).

No Maciço de Baturité, onde encontra-se o município de Pacoti, não existem registros de óbitos causados por movimentos de massa, porém na Serra de Maranguape, que é próxima ao maciço, houve um deslizamento de terra, catalisado pela expansão da bananicultura e desmatamento, que culminou na morte de 12 pessoas no ano de 1974 (IPT, 1975). Ainda, sabe-se que, no geral, os movimentos de massa ocorridos no Maciço de Baturité são de elevada energia em função das altas declividades de algumas encostas, tendendo a causar efeitos catastróficos sobre estradas e áreas residenciais (BASTOS; PEULVAST, 2016).

De acordo com Highland e Bobrowsky (2008), é possível estimar os movimentos de massa a partir de observações de eventos já ocorridos, com possibilidade de recorrência sob os mesmos fatores naturais presentes. Porém, não se descarta a susceptibilidade a movimentos em uma área específica apenas pela ausência de eventos passados. Essa susceptibilidade pode ainda ser ampliada por interferência humana na topografia natural ou por condições hidrológicas.

Nesse contexto, métodos de Sensoriamento Remoto (SR) entram como ótimas ferramentas para auxiliar no entendimento dos movimentos de massa, pois podem ser usadas nas diferentes etapas do estudo, como no mapeamento dos pontos de ocorrência dos movimentos, monitoramento dos eventos, avaliação da susceptibilidade e mitigação do risco associado (WERNER; FRIEDMAN, 2010).

1.2 Justificativa

O Maciço de Baturité faz parte do conjunto de serras úmidas do estado do Ceará, se caracterizando por concentrar maiores índices pluviométricos comparados com os das superfícies sertanejas circunvizinhas e, conseqüentemente, pelos sistemas naturais com dinâmica ambiental distinta. Por essas condições, o maciço experimentou processos de ocupação variados ao longo do tempo histórico e ciclos econômicos com expansão de atividades agrícolas, como a bananicultura, até o desenvolvimento de atividades turísticas nas últimas décadas (BASTOS; CORDEIRO; SILVA, 2017).

Recentemente, há o adensamento populacional acarretado pela especulação imobiliária e atrativos turísticos, práticas agrícolas inadequadas em áreas fortemente dissecadas e descaracterização da paisagem natural através de aberturas de estradas e ocupação das encostas nas áreas urbanas e rurais (OLIVEIRA, 2012; BATISTA; VERÍSSIMO; AMARAL, 2014). Nesse contexto – levando em consideração fatores climáticos, geológicos, pedológicos, pluviométricos e topográficos relacionados às atividades predatórias de uso e ocupação do solo desse ambiente serrano – torna-se evidente a presença de áreas de instabilidade geotécnica e a predisposição significativa a eventos ligados a movimentos de massa (BASTOS; PEULVAST, 2016).

Bastos e Peulvast (2016) mapearam a susceptibilidade à movimentos de massa no Maciço de Baturité, afirmando que em áreas de alta susceptibilidade pode haver interferência de atividades agrícolas e construção de rodovias, desencadeando o fenômeno em setores naturalmente susceptíveis.

Bastos (2012) fez um inventário com pontos de movimentos de massa nos municípios do maciço, com 21 pontos identificados no município de Pacoti. Na comunidade do Rolador, identificou antigas cicatrizes de blocos pesando toneladas, indicando movimentos com elevada energia. Foi o maior movimento de massa registrado em todo o maciço, classificado como um deslizamento rotacional, com uma cicatriz circular de aproximadamente 100 metros de extensão, com áreas desmatadas e cultivadas no seu entorno. Também foi encontrada cicatriz de deslizamento rotacional em área florestada, mesmo estando no grupo de casos isolados no maciço. Ao total, foram identificados, em Pacoti, 17 deslizamentos translacionais, 3 deslizamentos rotacionais e 1 queda de blocos.

A ocorrência dos movimentos no maciço está associada especialmente com a saturação do solo durante a estação chuvosa, principalmente entre março e abril. No geral, as

áreas de maior risco são rodovias, em grande maioria sem manutenção adequada quanto ao pavimento ou sistema de drenagem, e casas isoladas (BASTOS; PEULVAST, 2016).

Segundo Oliveira (2018), as inundações, seguidas de movimentos de terra, registradas em Pacoti, apresentaram grandes intervalos de tempo, mesmo com proporções variadas, levando as pessoas a ter um falso sentimento de segurança, mesmo diante dos fatores naturais e antrópicos.

Neste trabalho foram levantados dados históricos e pessoais de moradores sobre os principais episódios relacionados a esse fenômeno no município, indicando que houve um grande evento em junho de 1987, conhecido como um dos que causou maiores prejuízos, com inundação da sede municipal e soterramento de casas por deslizamentos de terra, além de colapso de pontes, desabamento de comércios e residências e destruição de plantações.

Após a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) de Baturité, houve crescimento das plantações de bananeira entre 1990 e 2000, porém posteriormente declinaram, o que influenciou na adesão de novas atividades de renda no município por parte da população crescente, como o turismo. Porém, na área rural ainda há a execução de técnicas agrícolas rudimentares que podem desencadear processos erosivos, deslizamentos de terra e escoamento superficial torrencial (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Atualmente, com a crescente ocupação desordenada das vertentes, há inúmeros registros de pequenos deslizamentos em quintais, rachaduras nas residências e afundamentos em calçadas, indicando que a interferência humana pode potencializar a susceptibilidade aos movimentos de massa (OLIVEIRA, 2018).

Batista (2014) realizou o zoneamento geotécnico do Maciço de Baturité, sendo possível observar que o município de Pacoti abriga uma diversidade de variáveis que permitem diferentes cenários para o desencadeamento dos movimentos de massa, inclusive uma alta probabilidade em decorrência do relevo acentuado, litologia predominantemente metamórfica e lineamentos que recortam o relevo e influenciam na morfodinâmica da área.

Sabe-se que os movimentos de massa ocorrem quando há mudança de um ambiente de equilíbrio metaestável por um fator ativo, como uma chuva anômala. Porém existem fatores condicionantes importantes que incluem cobertura vegetal, topografia, geomorfodinâmica, estrutura geológica, solo e comportamento hidrogeológico (ZINCK *et al.*, 2001).

Diante dessas considerações, torna-se muito importante um estudo inicial na busca por compreensão da susceptibilidade a movimentos de massa no município em questão, através da análise de variáveis naturais e aspectos referentes a intervenção humana, utilizando informações de SR, para auxílio em pesquisas posteriores de detalhamento do fenômeno no

município e outros aspectos como o risco associado. Em adição, os resultados podem servir de base aos órgãos públicos e privados, que necessitem de informações dessa natureza para planejamento/prevenção/mitigação, às pesquisas futuras relacionadas ao fenômeno e à população em geral, como fonte de informação.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Mapear a susceptibilidade a ocorrência de movimentos de massa no município de Pacoti através da análise de variáveis naturais e antrópicas, assim como o entendimento da tipologia e espacialização dos mesmos.

1.3.2 Objetivos Específicos

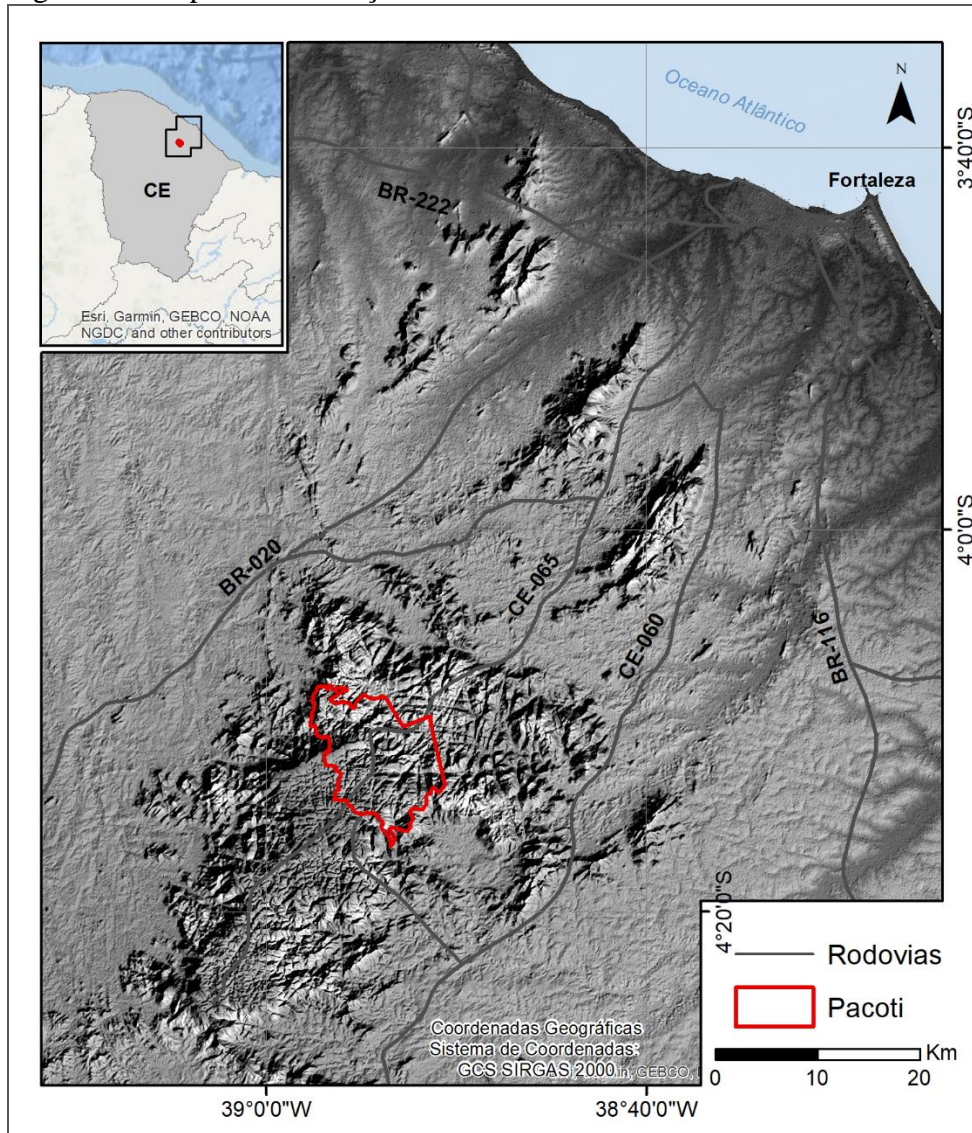
- Reunir informações e caracterizar o município, principalmente com aspectos naturais, para compreender o cenário de ocorrência do fenômeno em questão e apuração de dados espaciais para integrar as variáveis de entrada.
- Elaborar um mapa de Cobertura e Uso da Terra por meio do método de classificação supervisionada;
- Mapear as ocorrências de movimentos de massa no município de Pacoti com o intuito de classificá-los e entender sua distribuição espacial.
- Observar como as variáveis de entrada se relacionam com os registros de movimentos de massa e perceber a influência de cada uma na deflagração do fenômeno;
- Gerar mapas de susceptibilidade a ocorrência de movimentos de massa por meio de dois caminhos: o primeiro com variáveis naturais e o segundo com a integração de variáveis naturais e antrópicas.

1.4 Localização e Acesso

O município de Pacoti situa-se na região do Maciço de Baturité, nordeste do estado do Ceará, a uma altitude de 736,13 metros (Figura 1). Tem como limite os municípios de

Caridade, Guaramiranga, Baturité, Palmácia e Redenção (IPECE, 2018). Possui uma área de 112,433 km² (IBGE, 2020), dos quais 56,20% se encontram inseridos na APA da Serra de Baturité, conhecida por ter sido a primeira e mais extensa APA criada pelo Governo do Estado do Ceará (SEMACE, 2010; CEARÁ, 2013).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: elaborado pela autora.

A área está localizada a cerca de 90 km da capital Fortaleza, sendo acessível através da CE-065 (via Maranguape). Outras rotas possíveis são: seguir pela BR-020 até a cidade de Inhuporanga e prosseguir, a partir daí, pela CE-253 ou partir da CE-060 até Acarape e prosseguir pela CE-253.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Movimentos de Massa como Desastres Naturais

Em decorrência da dinâmica natural do planeta, ocorrem fenômenos físicos de variadas intensidades, como movimentos de massa, terremotos e inundações. Porém, havendo interação destes com grupos sociais, causando prejuízos econômicos, ambientais ou humanos, são desenvolvidos os desastres naturais (SAITO; SORIANO; LONDE, 2015).

Segundo a Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres UNDRR (2019), os desastres naturais aumentaram ligeiramente nos últimos vinte anos e deslocaram, em média, 24 milhões de pessoas por ano na última década em escala global. As perdas econômicas decorridas desses eventos são sentidas principalmente por famílias e comunidades de baixa renda e os dados referentes às perdas ainda são imperfeitos e comprometem a precisão dos impactos reais.

No Brasil, esses desastres são, majoritariamente, oriundos da dinâmica externa da Terra e normalmente associam-se a eventos pluviométricos intensos e extensos do período chuvoso, que correspondem ao inverno no Nordeste (TOMINAGA, 2009a). Nesse contexto, o aquecimento global tem atenuado a periodicidade e a intensidade das adversidades climáticas, acarretando no aumento da ocorrência de desastres naturais (KOBAYAMA *et al.*, 2006).

Em meio aos fenômenos relacionados a desastres naturais, no país, estão os movimentos de massa, que ocorrem com menor frequência, porém apresentam-se como o segundo maior responsável pelo número de óbitos. Entre as décadas de 1990 e 2000 teve o maior aumento de ocorrências e registros comparado com outros tipos de desastres (UFSC; CEPED, 2013a).

Os números correspondentes às ocorrências desse fenômeno provavelmente não representam a realidade brasileira. Entre os motivos estão os erros nos registros desses eventos quando classificados como apenas inundações, o equívoco e dúvida quanto ao conceito de movimentos de massa e inundações bruscas e, ainda, o município querer arcar com as consequências sem precisar decretar situação de emergência (SAITO; SORIANO; LONDE, 2015). Além disso, frequentemente são noticiados aqueles que afetam diretamente pontos de ocupação humana, estando despercebidos os que ocorrem em outras regiões (GUIDICINE; NIEBLE, 1984).

Dessa maneira, são necessárias ações integradas entre a comunidade e a universidade. É preciso que o meio acadêmico compreenda os fenômenos naturais que causam

desastres, através do diagnóstico e modelagem, enquanto a sociedade deve receber essas informações para monitorar, agir e minimizar os impactos negativos causados (KOBAYAMA *et al.*, 2006).

Existem várias etapas na gestão (de risco) de desastres, entre elas está o conhecimento dos fenômenos naturais que possuem potencial de danos a uma sociedade, retratando os aspectos pertinentes ao fenômeno estudado (GREGORIO; SAITO; SAUSEN, 2015). Dito isso, esse trabalho se aterá apenas à fase inicial, ou seja, o entendimento da susceptibilidade do processo escolhido.

2.2 Conceituando Movimentos de Massa

Os movimentos de massa fazem parte dos fenômenos que podem provocar desastres naturais e, segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade), se enquadram no grupo de desastres naturais geológicos (UFSC; CEPED, 2013b). Estudá-los torna-se importante pelo caráter recorrente, possibilitando etapas de mitigação e prevenção (RIFFEL, 2017).

Eles são conceituados como movimentos do solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente sob ação direta da gravidade. Há a chance de haver contribuição de outras variáveis, como gelo e água, que encurta a resistência dos materiais da vertente e/ou induz o comportamento plástico e fluido dos solos (TOMINAGA, 2009b). Esse processo natural é conhecido como o mais importante processo geomorfológico modelador da superfície terrestre (BIGARELLA; BECKER; PASSOS, 1996).

Um termo utilizado frequentemente como sinônimo de movimento de massa é o deslizamento, porém trata-se de um termo genérico para movimentos descendentes resultantes de falha de cisalhamento ao longo de um plano bem definido (DIKAU, 2004). A partir dessa observação, preferiu-se o termo movimento de massa para ser utilizado ao longo do trabalho.

Os diferentes tipos de movimentos de massa trazem efeitos diferentes sobre o ambiente. Movimentos mais lentos são menos destrutivos e muitas vezes permitem aplicação de medidas mitigadoras a tempo. Porém, sem monitoramento, até mesmo eventos menores e lentos podem destruir estruturas completamente a longo prazo (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

Highland e Bobrowsky (2008) sintetizaram que esse fenômeno é capaz de ocasionar danos a ambientes construídos e naturais. No primeiro caso, qualquer estrutura feita pelo homem acaba por ser afetada em diferentes escalas, estando acima ou abaixo do solo,

comprometendo poucos indivíduos ou populações. Um dos maiores efeitos recai sobre a indústria do transporte, afetando pessoas ao redor do mundo. São comuns colapsos de estradas e aterros passíveis de desmoronamentos. Na natureza, os movimentos têm poder de transformar a morfologia da superfície da Terra e afetar florestas, pastagens e a vida selvagem, porém, por serem frequentemente fenômenos locais, a fauna e flora podem se recuperar mais facilmente.

Apesar dos danos causados pelos movimentos de massa, trata-se de um fenômeno natural e faz parte da evolução da paisagem, porém a ação do homem possibilita o agravamento deste processo através de atitudes imprudentes, como a ocupação desordenada de áreas que apresentam elevada susceptibilidade a escorregamentos (KOBİYAMA *et al.*, 2006).

Os movimentos podem ter causas naturais, antrópicas ou ter a combinação de ambas. Essas têm habilidade de surtir efeitos variados, pois dependem de outros fatores, como declividade, morfologia do terreno, tipo de solo, rochas subjacentes e presença de pessoas ou estruturas. Highland e Bobrowsky (2008), analisando estudos de outros autores, categorizaram as principais causas desse fenômeno. No Quadro 1 estão indicadas as causas mais compatíveis com o contexto brasileiro.

Além disso, como fatores que desencadeiam esses desastres, nas áreas urbanas destacam-se a impermeabilização do solo e construções adensadas e, nas áreas rurais, tem-se a compactação dos solos, assoreamento de rios, desmatamentos e queimadas (KOBİYAMA *et al.*, 2006).

Quadro 1 – Principais causas dos movimentos de massa

Causas Físicas		<ul style="list-style-type: none"> • Precipitação intensa; • Precipitação intensa e prolongada; • Escoamento ou enchimento rápido (de inundações e marés); • Intemperismo redução/inchaço; • Inundação.
Causas Naturais	Causas Geológicas	<ul style="list-style-type: none"> • Materiais frágeis, tais como sedimentos marinhos não consolidados; • Materiais intemperizados; • Materiais cisalhados; • Materiais diaclasados ou fissurados; • Descontinuidade de massa negativamente orientada (estratificação, xistosidade, etc.); • Descontinuidade estrutural orientada em contraste (falha, inconformidade, contato, etc.); • Contraste de permeabilidade; • Contraste de rigidez (material denso e rígido sobre material plástico).
	Causas Morfológicas	<ul style="list-style-type: none"> • Levantamento tectônico ou vulcânico; • Erosão fluvial na base da inclinação; • Erosão causada por ondas na base da encosta; • Erosão das margens laterais; • Erosão subterrânea (dissolução, canalização); • Deposição da carga no talude ou na sua crista; • Remoção de vegetação (incêndios florestais, seca).
Causas Humanas		<ul style="list-style-type: none"> • Escavação do talude ou de sua base; • Uso de aterros instáveis para construções; • Carregamento sobre o declive ou sua crista, tais como aterros no topo de uma encosta; • Escoamento e enchimento de reservatórios; • Desmatamento (corte de árvores, extração de madeira, desmatamento para cultivo e estradas instáveis de acesso a florestas); • Irrigação de gramado; • Retenção de resíduos de mineração; • Vibração artificial (cravação de estacas, explosões, etc.); • Vazamento de água de infraestruturas; • Desvios de um rio, córrego ou corrente litorânea.

Fonte: adaptado de Highland e Bobrowsky (2008).

2.2.1 Classificação dos movimentos de massa

Existem diversas classificações nacionais e internacionais desse fenômeno (RIFFEL, 2017). Geralmente as classificações apresentadas pelos autores são influenciadas pelas condições locais ou regionais em que se encontram, o que induz diretamente o nível de complexidade e aplicabilidade delas. Ademais, cada autor segue um caminho de acordo com a

sua formação, podendo se basear, por exemplo, em princípios geológico-descritivos ou na natureza dos materiais (GUIDICINE; NIEBLE, 1984).

Uma das classificações pioneiras foi a de Sharpe (1938), na qual o autor simplifica e correlaciona o tipo e velocidade de movimentação com a natureza do material em movimento, associando este último aos ambientes geomorfológicos e climáticos. Porém, por se ater a condições climáticas rigorosas, dificilmente pode ser aplicada ao ambiente físico brasileiro (GUIDICINE; NIEBLE, 1984).

Mais tarde, surgiu a classificação de Varnes (1978), que até hoje serve de base para outras classificações e atualizações, como a de Hungr, Leroueil e Picarelli (2013). É uma das mais empregadas internacionalmente, devido a sua simplicidade (TOMINAGA, 2007), e está apresentada na Quadro 2. O autor classifica os movimentos de massa de acordo com o mecanismo do movimento e o tipo de material envolvido (rocha, detritos e solo).

De acordo com Fernandes e Amaral (2000), no contexto brasileiro, destacam-se os trabalhos de Freire (1965), Guidicini & Nieble (1984) e IPT (1991), os quais são comparados resumidamente no Quadro 3 quanto aos tipos de movimentos de massa propostos por esses autores. Os mesmos autores observam que as classificações no geral apresentam limitações práticas, pois na natureza os movimentos tendem a ser mais complexos, seja pela transição entres os tipos conhecidos ou pela ocorrência de vários tipos em um só movimento.

Quadro 2 – Versão abreviada da classificação de Varnes (1978)

Tipo de Movimento		Tipo de Material		
		Rocha	Solos (Engenharia)	
			Predominantemente grosso	Predominantemente fino
Quedas (Falls)		Queda de rocha	Queda de detritos	Queda de solo
Tombamentos (Topples)		Tombamento de rocha	Tombamento de detritos	Tombamento de solo
Escorregamentos (Slides)	Rotacional	Escorregamento de rocha	Escorregamento de detritos	Escorregamento de solo
	Translacional			
Espalhamentos (Lateral Spreads)		Espalhamento de rocha	Espalhamento de detritos	Espalhamento de solo
Corridas / Escoamentos (Flows)		Corrida de rocha (deep creep)	Corrida de detritos	Corrida de solo
Complexos		Rastejo de solo		
		Combinação de dois ou mais dos tipos principais de movimento		

Fonte: adaptado de Varnes (1978).

Quadro 3 – Comparação entre as classificações de Freire (1965), Guidicini & Nieble (1984) e IPT (1991)

Freire (1965)	Guidicini & Nieble (1984)	IPT (1991) / Augusto Filho (1992)
Escoamentos Rastejos e Corridas	Escoamentos Rastejos e Corridas	Rastejos Corridas de Massa
Escorregamentos Rotacionais e Translacionais	Escorregamentos Rotacionais, Translacionais, Queda de Blocos e Queda de Detritos	Escorregamentos
Subsidências e Desabamentos	Subsidências Subsidências, recalques e desabamentos	Quedas / Tombamentos
	Forma de Transição Movimentos Complexos	

Fonte: Fernandes e Amaral (2000).

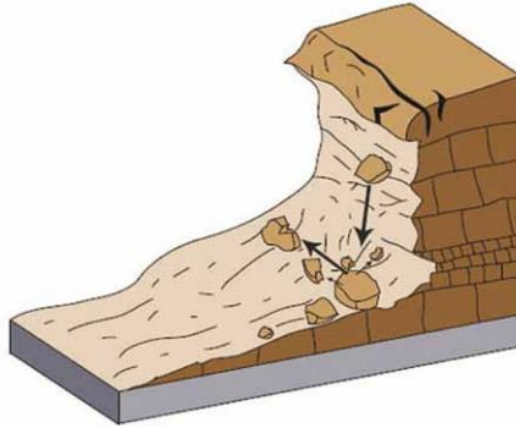
Para destrinchar os diferentes tipos de movimentos de massa, utilizou-se como base a classificação de Varnes (1978) com contribuições de diferentes autores ao longo do texto.

2.2.1.1 *Quedas (Falls)*

As quedas são movimentos rápidos em uma vertente bastante íngreme com pouco ou nenhum plano de deslocamento, onde o material cai em queda livre, rolando ou saltando (Figura 7). Podem ser precedidas por movimentos menores decorrentes da progressiva separação do material de sua fonte (VARNES, 1978). O material movimentado geralmente é rochoso e com geometria variável, como lascas, placas e blocos (AUGUSTO FILHO, 1992).

As quedas ocorrem em variados ambientes, entre eles as falésias costeiras, escarpas ou até mesmo em cortes de estrada (DIKAU, 2004). Por apresentarem alto risco em ambientes montanhosos, como o Maciço de Baturité, podem ocasionar a interrupção de estradas e inclusive a destruição de casas (BASTOS; PEULVAST, 2016).

Figura 2 – Ilustração de Quedas (*Falls*)



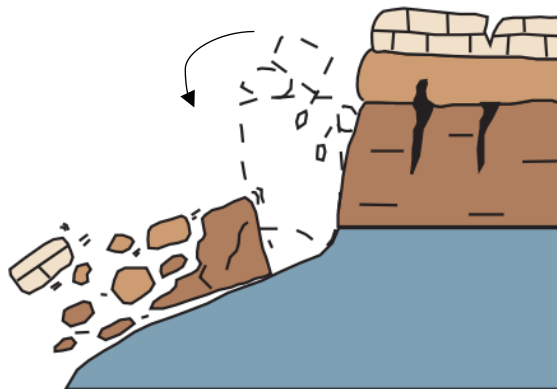
Fonte: Highland e Bobrowsky (2008).

2.2.1.2 Tombamentos (*Topples*)

Os tombamentos (Figura 8) são movimentos onde ocorre uma rotação frontal de material em torno de um ponto da encosta sob ação da gravidade sobre o peso do material na parte superior e por forças exercidas por unidades vizinhas ou por fluidos nas fissuras (VARNES, 1978). Predominam em estruturas colunares vulcânicas ou rocha sedimentar interdigitada e falhada ao longo de cortes de rodovias ou cursos de rios (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008)

Alguns processos responsáveis por esse movimento são o progressivo intemperismo ou erosão, acarretando perda de material subjacente elástico, dilatação e encolhimento de materiais ricos em argila e aprofundamento ou escavação de vertentes ocasionando uma descompressão pela descarga (DIKAU, 2004).

Figura 3 – Ilustração de Tombamentos (*Topples*)

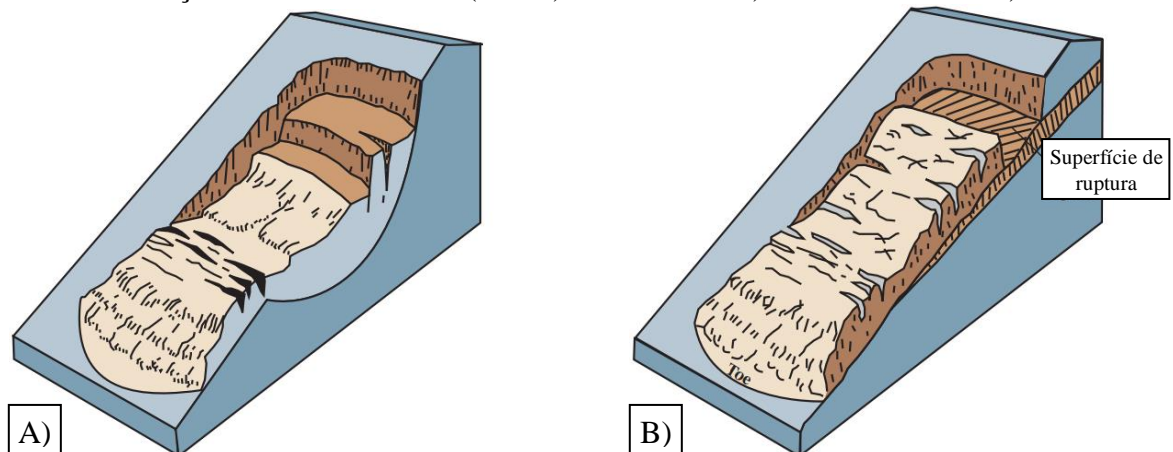


Fonte: USGS (2006).

2.2.1.3 Escorregamentos / Deslizamentos (*Slides*)

Esses movimentos se caracterizam por serem rápidos e curtos, onde o centro de gravidade da massa movimentada se desloca para baixo e para fora do talude, sendo possível atingir velocidades na ordem de metros por segundo (GUIDICINE; NIEBLE, 1984). Podem envolver solo, saprólito, rocha e depósitos e comumente tem sua geometria relacionada à existência ou não de planos de fraqueza nos materiais deslocados que condicionam a geração das superfícies de ruptura (RIFFEL; GUASSELLI, 2016). No geral, permitem a diferenciação entre o material deslizado e aquele estacionário e são subdivididos quanto à forma do plano de ruptura em rotacionais e translacionais (FERNANDES; AMARAL, 2000), como demonstra a Figura 9.

Figura 4 – Ilustração de Deslizamentos (*Slides*) Rotacionais A) e Translacionais B)



Fonte: USGS (2006).

2.2.1.3.1 Deslizamentos Rotacionais

São movimentos catastróficos e ocorrem em função da mobilização de solo residual que recobre a rocha ao longo de uma superfície qualquer de ruptura ou da superfície da rocha (GUIDICINE; NIEBLE, 1984).

Nesse cenário, a massa transportada é delimitada de um lado pelo talude e do outro por uma superfície contínua de ruptura, assumindo-se, como teoria, a forma mais simplificada e próxima a realidade, que é em forma cilíndrica, conhecida por cunha de ruptura. O limite inferior pode ser rocha ou qualquer outro material de resistência superior à do material movimentado. Resumidamente, em um material mais coeso e homogêneo, como algumas argilas, a superfície de ruptura tende a ser mais circular cilíndrica, enquanto em solos com

variações de resistência ao cisalhamento, a cunha torna-se mais achatada ou desenvolvida verticalmente (GUIDICINE; NIEBLE, 1984).

São favorecidos em solos espessos homogêneos, comumente em encostas com material resultante da alteração de rochas argilosas. O início do movimento pode se associar a cortes na base desses materiais, seja por ação antrópica ou natural, como erosão fluvial (FERNANDES; AMARAL, 2000).

2.2.1.3.2 Deslizamentos Translacionais

São o tipo mais recorrente dentre os movimentos de massa e frequentemente ocorrem em períodos de intensa precipitação. Estes, diferentemente dos deslizamentos rotacionais, possuem superfície de ruptura planar e, no geral, são rasos (0,5cm a 5,0m) e compridos (FERNANDES; AMARAL, 2000). Majoritariamente são controlados estruturalmente por planos de fraqueza, como falhas, juntas, interface das camadas de depósitos bandados ou contatos entre uma rocha subjacente e uma camada superior detrítica (VARNES, 1978).

Os deslizamentos translacionais de rocha têm, em sua maioria, uma superfície de movimentação regida por estruturas geológicas (xistosidade, estratificação, diaclasamento, falhas e outras) e carregam desde massas volumosas de encostas montanhosas até um único bloco. O equilíbrio de um talude, onde as rochas mergulham para fora dele, pode ser quebrado por linhas de erosão ou escavação, tornando a estabilidade dependente do atrito entre os planos de acamamento. Em adição, esse atrito pode ser ainda reduzido por condições climáticas, pressões hidrostáticas e intemperismo, iniciando o movimento da massa rochosa (GUIDICINE; NIEBLE, 1984).

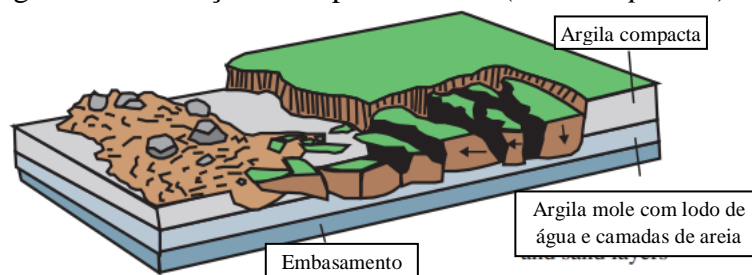
Os deslizamentos translacionais de solo comumente são condicionados por feições estruturais do substrato e apresentam forma tabular, sendo possível adquirir o aspecto de corridas, dependendo do teor de água, ou de rastejos, após a movimentação e acumulação na base da encosta. Via de regra, ocorrem dentro do manto de alteração das rochas predominando carregamento de solo, porém têm poder de envolver blocos rochosos mais ou menos alterados. Se há um aumento de massa rochosa no movimento, pode-se denominar deslizamento de solo e rocha, tendo atenção para os depósitos de sopé de escarpas gerados principalmente pela força da gravidade, que são palcos desses movimentos (GUIDICINE; NIEBLE, 1984).

2.2.1.4 Espalhamentos (*Lateral Spreads*)

Os espalhamentos (Figura 10) ocorrem por extensão lateral em decorrência de fraturas de tração ou de cisalhamento (VARNES, 1978). Em suma, há a extensão de um material mais coeso sobre um material subjacente mais macio e deformado (DIKAU, 2004).

Varnes (1978) distinguiu dois tipos de espalhamentos. No primeiro, presente principalmente nas cristas de serra, a extensão ocorre, mas sem um controle basal bem definido. O segundo tipo é causado pela liquefação ou fluxo plástico do material subjacente. Como resultado, a camada superior pode sofrer subsidência, movimento rotacional, translacional, desintegração ou ainda liquefação.

Figura 5 – Ilustração de Espalhamentos (*Lateral Spreads*)



Fonte: USGS (2006).

2.2.1.5 Corridas / Escoamentos (*Flows*)

Varnes (1978) explicou que os escoamentos e corridas (denominados de *flows*) em materiais inconsolidados, ordinariamente são fluxos rápidos ou lentos e secos ou encharcados. Na rocha, torna-se mais difícil de os caracterizar, pois na maioria das vezes os movimentos são lentos, se assemelhando à velocidade de fluidos viscosos. Dentro dessa categoria estão as corridas, também denominadas de fluxos, as avalanches de detritos e os rastejos.

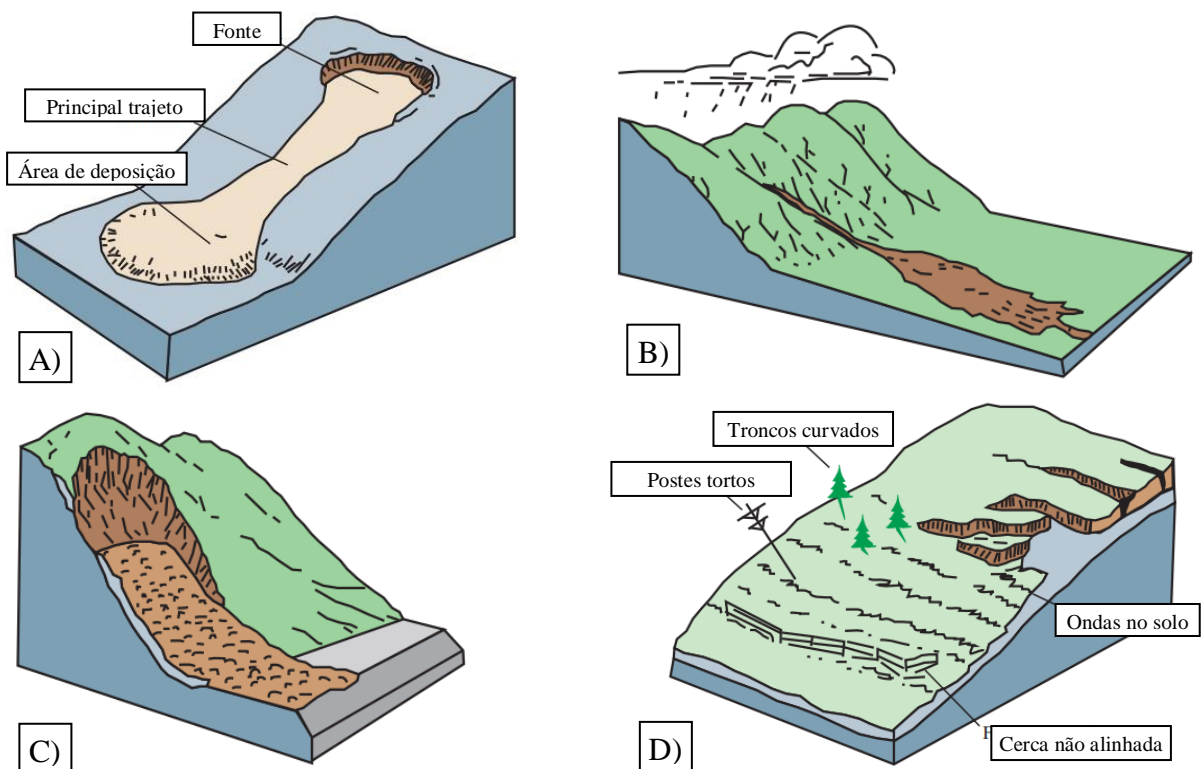
As **corridas**, de caráter hidrodinâmico, são rápidos escoamentos em decorrência da perda de atrito interno pelo excesso de água. As corridas de terra (Figura 11A) têm os menores graus de fluidez e geralmente são caracterizadas por uma forma parecida com uma língua, porém corridas com altos volumes de material podem chegar a barrar provisoriamente o curso de um rio. As corridas de areia ou silte ocorrem por uma liquefação espontânea associada a um acréscimo rápido e temporário da pressão intersticial. Assim, o material passa a ser uma suspensão concentrada durante o escoamento, voltando ao seu estado de sedimento quando o movimento é cessado. As corridas de lama, também conhecidas como fluxo de detritos (Figura 11B) são de extrema fluidez, sendo produzidas em função da remoção de solos por água durante

enchentes e tempestades (GUIDICINE; NIEBLE, 1984). Os fluxos de detritos, que são velozes, são os tipos mais destrutivos para estruturas, pois muitas vezes ocorrem sem precursores. Estes tendem a destruir mais que deslizamentos lentos, que permitem aplicação de medidas mitigadoras se tomadas a tempo (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

As **avalanches de detritos** (Figura 11C) são movimentos bruscos que se aceleram pela elevada inclinação da encosta e extensão, carreando uma mistura de rocha e solo, representando uma das formas mais catastróficas de movimentos de massa (GUIDICINE; NIEBLE, 1984).

Os **rastejos** (Figura 11D) são movimentos lentos e contínuos de material pela ação da gravidade, com intervenções térmicas e climáticas provocando a expansão e a contração do material. Têm capacidade de envolver grandes massas de solo sem que haja diferenciação entre o material em movimento e o estacionário. Se diferencia dos escorregamentos por apresentar um mecanismo de deformação semelhante ao de um líquido muito viscoso. Quando as tensões atingem valores de resistência máxima ao cisalhamento, inicia-se o escorregamento (GUIDICINE; NIEBLE, 1984).

Figura 6 – Ilustração de Corridas/Escoamentos (*Flows*), sendo A) Corrida de Terra, B) Fluxo de detritos, C) Avalanche de detritos e D) Fluxos lentos de terra ou Rastejos.



Fonte: USGS (2006).

2.2.1.6 Movimentos Complexos

Estes são uma combinação de um ou mais dos principais tipos de movimentos já descritos, observados nas partes que compõem o movimento ou nos diferentes estágios de seu desenvolvimento (VARNES, 1978). Com isso, é comum um tipo de movimento inicial evoluir para outro ao longo da sua trajetória na vertente. O *flow slide* é um exemplo corriqueiro desse processo e são uma subclasse do fluxo de detritos. Geralmente compõem-se por material solto que perde coesão e torna-se uma massa fluidizada por ar ou água (DIKAU, 2004).

2.3 Fatores deflagradores dos Movimentos de Massa

Zhao e Lu (2018), através de uma análise ampla sobre os movimentos de massa em diferentes países, confirmam que os fatores que desencadeiam o fenômeno, majoritariamente, são de origem natural, como o terremoto Wenchuan de 2008, que ocorreu na China, ou as chuvas intensas que ocasionaram o deslizamento de Guanling, no mesmo país. Porém, não se descarta os fatores antrópicos, que podem decorrer da rápida urbanização, exemplificado pela cidade Chittagong em Bangladesh.

Desse modo, os movimentos de massa podem ser possibilitados por uma série de fatores, como afirmaram Bigarella *et al.* (2003, p. 1026):

As condições que favorecem os movimentos de massa dependem principalmente da estrutura geológica, da declividade da vertente (forma topográfica), do regime de chuvas (em especial de episódios pluviais intensos), da perda de vegetação e da atividade antrópica, bem como pela existência de espessos mantos de intemperismo, além da presença de níveis ou faixas impermeáveis que atuam como planos de deslizamentos.

Guidicine e Nieble (1984) nomearam os fatores como agentes, sendo estes predisponentes ou efetivos. Os agentes predisponentes são aqueles essencialmente de condições naturais, que incluem um conjunto de características geológicas, morfológicas e ambientais, que são palco dos eventos de movimentos de massa. Os agentes efetivos são os diretamente responsáveis pelo fenômeno, incluindo a ação do homem. Estes são, ainda, subdivididos em preparatórios e imediatos. Exemplos de agentes efetivos preparatórios são a pluviosidade, erosão, dissolução química, oscilação do lençol freático, ação humana e de animais. Enquanto os agentes efetivos imediatos têm como exemplos uma chuva intensa, ventos e ações humanas abruptas.

Com isso, é importante compreender os principais aspectos que podem desencadear movimentos de massa, destacando os que embasam a análise da susceptibilidade do fenômeno na área em questão.

2.3.1 Geologia

Em uma visão generalizada, maciços rochosos apresentam anisotropia em seus aspectos de resistência, permeabilidade e deformabilidade, refletindo em dois grandes grupos de fatores geológicos que causam instabilidade em uma encosta: descontinuidades estruturais, afetando a resistência da rocha, e percolação de água, que são um reflexo do primeiro grupo (GUIDICINE; NIEBLE, 1984).

As descontinuidades da rocha, como falhas e fraturas, são facilitadoras da infiltração e circulação da água, com conseqüente intemperização do material. Os movimentos de massa são mais frequentes em regiões com regolito espesso, com movimentos de material alterado, mas também são possíveis em mantos de intemperismo menos desenvolvidos, com movimentos de blocos de rocha. Ainda, a concentração e arranjo de diaclases facilitam a movimentação de material da encosta (BIGARELLA *et al.*, 2003).

No geral, as falhas podem atuar como caminhos de alteração, efetivando a evolução do intemperismo no interior do maciço. Quando há interseção das falhas com outros planos de fraqueza, blocos são individualizados dentro do manto de intemperismo com conseqüente heterogeneização do maciço rochoso (FERNANDES; AMARAL, 2000).

As fraturas geradas por forças tectônicas, durante o resfriamento de um magma ou nas fases de uma deformação, quando se apresentam sub-verticais e pouco espaçadas, tendem a gerar movimentos de blocos rochosos, geralmente na forma de tombamentos. Quando as fraturas são associadas a processos não tectônicos, como as fraturas de alívio de tensão por erosão, acompanham a topografia do terreno e são condicionadas pelo tipo de rocha. Em rochas mais homogêneas, como os granitos, as fraturas são mais contínuas e paralelas à superfície, enquanto em gnaisses elas são condicionadas pelos planos de fraqueza da rocha. Nesse cenário, o intemperismo avança na rocha por meio da infiltração de água nessas fraturas, sendo capaz de gerar um movimento translacional, com superfície de ruptura acompanhando a fratura de alívio (FERNANDES; AMARAL, 2000).

Em rochas metamórficas, quase totalidade da área de estudo, a orientação da foliação e/ou bandamento composicional também influencia na ocorrência de movimentos,

principalmente quando estas mergulham para fora da encosta em cortes de estrada (FERNANDES; AMARAL, 2000).

De um ponto de vista geomorfológico, a natureza da rocha intervém no perfil da vertente, no seu declive e na velocidade de recuo ou evolução através de propriedades físicas e químicas. Como exemplo, cita-se as rochas graníticas, que são coesas, impermeáveis e não plásticas, porém com capacidade de exibir planos de descontinuidade e caráter heterogêneo, enquanto os minerais argilosos e os xistos portam fraca resistência à erosão por escoamento superficial e possuem alta plasticidade (CASSETI, 2005). Essas características geológicas influenciam nos processos morfogenéticos de uma vertente, que incluem os movimentos de massa.

2.3.2 Geomorfologia

Sabe-se que os aspectos geológicos, como descritos anteriormente, andam lado a lado com os aspectos geomorfológicos. No Maciço de Baturité, observa-se a relação do tipo de rocha com a declividade e morfologia da área, como é o caso dos quartzitos, onde os dobramentos condicionam feições de cristas estruturais e, em alguns casos, relevos mais escarpados (BASTOS; CORDEIRO; SILVA, 2017).

Por conta da escassez de verbas para estudos dessa natureza em países como o Brasil, é essencial aproveitar materiais e métodos baratos e acessíveis. Entre eles estão os parâmetros morfométricos que auxiliam na previsão, monitoramento e efeitos das corridas de detritos (VIEIRA *et al.*, 2019). Parâmetros extraídos de dados altimétricos, como declividade e orientação de vertentes, compõem fatores fundamentais para a susceptibilidade a desastres geodinâmicos e hidrológicos (SAUSEN; LACRUZ, 2015).

A Geomorfometria Moderna extrai parâmetros de medida e feições espaciais a partir de dados topográficos digitais (WILSON, 2012), permitindo o refinamento e tratamento de dados de elevação, descrição e visualização da topografia e uma vasta variedade de análises numéricas, sendo possível a integração dos parâmetros gerados com outros dados não topográficos (PIKE; EVANS; HENGL, 2009). No presente trabalho, optou-se pela geração de quatro variáveis a partir dos dados de elevação: declividade, orientação de vertentes, curvatura vertical e curvatura horizontal.

A declividade torna-se básica nos procedimentos de análise geomorfológica e planejamento territorial e é a variável mais utilizada em trabalhos relacionados a movimentos de massa, segundo a análise de Pinto, Passos e Caneparo (2013) sobre 36 pesquisas, e pode ser

definida como o ângulo de inclinação da superfície do terreno em relação a uma superfície horizontal. Quando associada a outros fatores, como o clima e orientação de vertentes, auxilia na previsão de riscos em função de sua estreita relação com processos de transporte gravitacional, tais como os movimentos de massa, permitindo entender a dinâmica dos materiais que transitam na vertente. (VALERIANO, 2008; CARMO, 2014).

A orientação de vertentes é importante para entender a direção das linhas de fluxo de água e sedimentos e, depois de definida, para contribuir na previsão da direção de deslocamento de movimentos gravitacionais (CARMO, 2014). A curvatura vertical refere-se ao caráter convexo/côncavo do terreno e descreve a variação da declividade ao longo de uma determinada distância podendo ajudar a inferir possíveis pontos de movimentação e acumulação de material, além da distribuição local do regime hídrico (CARMO, 2014; VALERIANO, 2008). A curvatura horizontal se traduz no caráter de divergência ou convergência das linhas de fluxo e está associada à intensidade dos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície pela gravidade (VALERIANO, 2008).

2.3.3 Vegetação

Guidicine e Nieble (1984) consideraram que o senso geral, segundo a maioria quase absoluta de estudos científicos e a experiência de populações ligadas às atividades de exploração e/ou ocupação de encostas, é de que as florestas e matas são importantes protetoras do solo e de que o desmatamento propicia o aparecimento de processos erosivos e movimentos coletivos de solo.

A vegetação arbustiva tem efeitos positivos sobre a estabilidade de uma vertente. As raízes reforçam mecanicamente o solo, a evapotranspiração e a camada protetora de folhagem limitam a pressão poro positiva da água e o peso da vegetação, em alguns casos, aumenta a estabilidade por meio da pressão confinante em superfícies de falha. Geralmente, a vegetação influencia no controle de erosão superficial ou movimentos rasos, tendo influência maior quando as raízes penetram no solo e chegam ao embasamento por meio de discontinuidades da rocha ou quando as raízes atravessam uma zona de transição entre o solo e a rocha, onde essa zona tem aumento da densidade e força de cisalhamento em função da profundidade (GRAY, 1995).

A retirada da cobertura vegetal por desmatamento gera uma série de efeitos que diminuem a segurança de uma encosta. Pode-se citar o término da estabilização dada pela

vegetação no decorrer de variações térmicas e climáticas, aumento da quantidade de água que atinge o terreno e no processo de infiltração, perda (curto prazo) dos efeitos da camada rasa de detritos por calcinação e erosão facilitando erosão e infiltração, conseqüente elevação do lençol freático refletindo na saturação do solo superficial e aumento do peso, perda (médio prazo) dos efeitos mecânicos do sistema radicular, com conseqüente redução da coesão aparente induzida, propiciando a redução da resistência ao cisalhamento do maciço (GUIDICINE; NIEBLE, 1984).

2.3.4 Ação antrópica

Além dos fatores naturais, as ações do homem sobre o ambiente podem causar ou agravar movimentos de massa em áreas susceptíveis ao fenômeno. Diversos autores colocam esse aspecto como um importante agente modificador da dinâmica natural do relevo e, conseqüentemente, da estabilidade das encostas. Entre essas ações, destaca-se a ocupação acelerada e desequilibrada nas regiões serranas do Brasil (TOMINAGA, 2009b)

A expansão e criação de áreas urbanas permitem atividades que modificam os padrões de drenagem, desestabilizam encostas e removem a cobertura vegetal. Áreas, outrora estáveis, têm seu equilíbrio alterado por irrigação, drenagem de reservatórios, escavação ou ocupação imprópria de encostas, além de outras ações. Por isso, é de suma importância saber a susceptibilidade a movimentos de massa das áreas a serem modificadas, para zoneamento adequado (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

A falta de fiscalização e a escassa educação ambiental da população por parte de órgãos responsáveis, principalmente em municípios pequenos, induzem atividades e ocupação em encostas com pouca segurança. Em suma, a população, além de ser a principal afetada do fenômeno, contribui na deflagração do mesmo (RIFFEL, 2017).

2.4 Susceptibilidade e outros conceitos relacionados

Inicialmente, é importante diferenciar alguns conceitos amplamente discutidos em estudos dessa natureza e que podem causar confusão, se não compreendidos.

O **evento** é o fenômeno de características, dimensões e localização geográfica conhecidas, porém com ausência de danos econômicos e/ou sociais (BRASIL; IPT, 2007). A partir disso, segue-se com os outros termos relacionados.

A **susceptibilidade** do evento pode ser confundida com perigo, vulnerabilidade ou risco. Ela tem a capacidade de avaliar, quantitativamente e/ou qualitativamente, a classificação, volume/área, velocidade, intensidade e distribuição espacial dos movimentos de terra que existem ou que têm potencial de ocorrer na área. A partir dela, espera-se que os movimentos ocorram com mais frequência em determinadas áreas, porém ela não permite descobrir o intervalo de tempo para tal (FELL *et al.*, 2008).

Exemplificando, a declividade, um dos aspectos presentes em terrenos que favorecem o desenvolvimento dos movimentos de massa, pode ser incluída no cálculo de susceptibilidade. Porém salienta-se que a susceptibilidade não é capaz de dizer quando o evento ocorrerá, nem tampouco o grau de certeza concernente a essa possibilidade (BITAR, 2014). A potencialidade desse fenômeno ocorrer, de forma induzida ou natural, é dada por classes de probabilidade de ocorrência (BRASIL; IPT, 2007).

O **perigo** ou *hazard* é o potencial do fenômeno causar uma consequência negativa ou indesejável. Ele deve incluir as características do evento e qualquer material resultante, além da probabilidade de ocorrência dentro de um determinado período de tempo (FELL *et al.*, 2008).

A **vulnerabilidade** determina o grau de perda de um elemento, grupo ou comunidade dentro da área susceptível ao fenômeno (BRASIL; IPT, 2007). Expressa-se numa escala de zero (sem perda) a um (perda total), de acordo com o valor do dano ou vidas perdidas (FELL *et al.*, 2008).

O **risco** ou *risk* mensura a probabilidade e gravidade de um efeito adverso sobre a saúde, propriedade ou meio ambiente (FELL *et al.*, 2008). Geralmente é calculado relacionando a possibilidade de ocorrência do processo (susceptibilidade) e a magnitude dos danos ou consequências sociais e/ou econômicas (vulnerabilidade). Dito isso, a **área de risco** será aquela passível de ser atingida por fenômenos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso (BRASIL; IPT, 2007).

O presente estudo se ateve à susceptibilidade dos movimentos de massa, que é parte fundamental das etapas rumo à mitigação do problema e na promoção do uso adequado de áreas potencialmente instáveis, como fora proposto por Vieira *et al.* (2019).

2.5 Metodologias para análise da susceptibilidade

Riffel (2017) explicou, consultando diversos estudos, que os métodos utilizados para determinar áreas susceptíveis a movimentos de massa podem ser subdivididos em três

grupos maiores. O primeiro abrange os métodos determinísticos, baseados em modelos hidrológicos e de estabilidade de encostas. No segundo grupo estão os métodos estatísticos e matemáticos, que utilizam amostras de ocorrências para aplicar análises estatísticas, como regressão logística, árvore de decisão e probabilidade bayesiana. No outro agrupamento encontram-se os métodos heurísticos que se apoiam na combinação de mapas/dados relacionados aos fatores que interferem no fenômeno, com atribuição de pesos aos mesmos por meio do conhecimento adquirido pelo especialista. Podem haver métodos híbridos, comumente com a combinação de decisões heurísticas iniciais com posterior análise estatística.

Nesse estudo, optou-se pela aplicação de um método heurístico, levando em consideração o conhecimento sobre a área adquirido ao longo da pesquisa. O principal método escolhido para determinar o peso de cada fator sobre a susceptibilidade foi o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que se encontra mais detalhado no Tópico 4.8.1.

Tominaga (2007) determinou que a análise AHP é recomendada em estudos que envolvem diferentes e diversos fatores, sendo eles qualitativos ou quantitativos, pois permite a simplificação de um problema complexo através de uma hierarquia de decisão.

Durante o processo de geração do mapa de susceptibilidade, os dados de SR entram como auxiliares na derivação dos planos de informação que compõem a análise. Nesse contexto, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite a visualização e manipulação desses dados, como será explicado a frente.

2.6 Sensoriamento Remoto (SR) na susceptibilidade a movimentos de massa

Em síntese, Schowengerdt (2006) explicou que o SR permite a medição de propriedades dos objetos da superfície terrestre utilizando dados adquiridos de aeronaves e satélites, sem contato direto do sensor com o objeto de interesse. Com isso, sabe-se que o SR fornece dados que podem ser grandes aliados no monitoramento e prevenção de desastres naturais (SAUSEN; LACRUZ, 2015).

Desde que o primeiro satélite de observação, o *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS 1) ou Landsat-1, foi lançado, em julho de 1972, as investigações acerca da superfície terrestre e fenômenos associados passaram por uma revolução, pois nossa capacidade de visão e entendimento dos recursos naturais foi ampliada (SAUSEN; LACRUZ, 2015).

Como fruto dessa evolução, os dados de SR são frequentemente utilizados nos estudos referentes aos movimentos de massa. Contribuem desde a identificação dos impactos

deixados por esses fenômenos, como as cicatrizes, até a análise dos indicadores, como a cobertura vegetal, uso da terra, tipologia das encostas ou dissecação do relevo (RIFFEL, 2017).

Sem dúvidas, os dados de SR contribuem para o mapeamento e monitoramento de movimentos de massa, porém há a necessidade de se atender às limitações em áreas com maior interferência do relevo, que podem causar distorções geométricas e as restrições atmosféricas nas imagens (ZINCK *et al.*, 2008). Essas limitações, dependendo da área, podem dificultar na aquisição de dados e posterior análise pela presença de nuvens, por exemplo.

O constante avanço do SR permite aplicação de diferentes dados na análise do fenômeno, entre eles pode-se citar os radares de abertura sintética (SAR) e sensores remotos ópticos, além de dados de varredura a laser obtidos pela tecnologia LiDAR, por meio aéreo ou terrestre (ZHAO; LU, 2018). No presente estudo, foram utilizados dados de sensores ópticos orbitais e de radar.

Os sensores ópticos orbitais utilizam fonte solar de radiação eletromagnética. Normalmente possuem várias bandas espectrais do visível e do infravermelho, facilitando a diferenciação de diferentes tipos de materiais através de suas reflectâncias, pois cada um tem um comportamento particular nas quantidades da radiação refletida, absorvida e transmitida. Com isso, é importante saber a diferença entre reconhecer a natureza do objeto e distinguir um objeto do outro para analisar uma imagem. (MENESES; ALMEIDA, 2012).

As imagens oriundas do SR óptico geralmente são aplicadas à geração do inventário dos movimentos, a depender da extensão da cicatriz deixada e da resolução espacial da imagem, e podem oferecer longas séries temporais, dependendo do satélite (ZHAO; LU, 2018). Outra aplicabilidade, útil para diversos objetivos, é o mapeamento de cobertura e uso da terra, por meio da classificação dos pixels.

Segundo (OLIVEIRA, 1999), o termo classificação, geralmente associado à palavra agrupamento, tem um sentido geral apropriado quando associado à palavra identificação, pois seu objetivo é descobrir agrupamentos naturais ou tipos específicos a depender das hipóteses levantadas sobre o fenômeno em foco. Nesse processo, os objetos ou pixels são unidos pela sua semelhança ou afinidade.

Dentro das possibilidades de métodos, destaca-se a classificação supervisionada, diferindo-se da não-supervisionada por possuir uma etapa de treinamento antes da etapa de classificação. Aqui, o usuário especifica as características dos vários alvos a serem mapeados na cena e supervisiona todo o processo. Abaixo estão as três etapas principais da classificação supervisionada (OLIVEIRA, 1999):

- a) treinamento: identifica-se as áreas de treinamento, podendo haver uma descrição dos atributos espectrais de cada classe;
- b) classificação: o objeto ou pixel é colocado em alguma das classes especificadas a depender da semelhança de suas características com a mesma. Se não for compatível, é identificado como não classificado;
- c) resultado: a depender do objetivo, os resultados podem apresentar-se em mapas temáticos, tabelas com dados estatísticos e dados de entrada para outros *softwares* de geoprocessamento.

Em outra vertente estão os dados obtidos por radar que podem apresentar ampla cobertura e alta resolução espacial, além de operarem em condições climáticas diversas, tornando-se grandes aliados nas pesquisas de movimentos de massa (ZHAO; LU, 2018). As imagens obtidas por essa tecnologia permitem gerar Modelos Digitais de Elevação (MDEs), que são importantes na derivação de parâmetros geomorfológicos que atuam no controle de movimentos de massa, como declividade, orientação das vertentes, elevação e curvaturas vertical e horizontal (SURENDRANATH *et al.*, 2008).

Vale recordar que as imagens de radar diferem das imagens ópticas e termais devido à natureza dual da radiação eletromagnética (onda e energia). A energia contida nas microondas é muito pequena e, por essa razão, é insuficiente para possibilitar informações sobre a composição do material. Em contrapartida, fornece informações sobre as formas dos objetos pela relação entre o tamanho da onda e as variações texturais e estruturais das superfícies do terreno (MENESES; ALMEIDA, 2012).

2.6.1 Sistema de Informação Geográfica - SIG

Dados de tecnologias geoespaciais são, frequentemente, combinados com outros dados relevantes por meio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Ferramentas analíticas existentes nesse meio, podem ser utilizadas para geração de cenários de um fenômeno a fim de auxiliar no planejamento e gestão de uma área (STEVENS, 2008). A expansão da aplicação do SIG em estudos práticos e de pesquisa de fenômenos relacionados a desastres cresceu com o advento do uso do computador, quando o *hardware* e *software* se tornaram mais acessíveis, no final dos anos 1980 e 1990 (THOMAS; ERTUGAY; KEMEÇ, 2007).

O SIG é usado para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, comportando diferentes tipos de dados e aplicações, facilitando a integração de informações de fontes distintas, tais como dados cartográficos, imagens de satélite e modelos numéricos de

terreno (CÂMARA *et al.*, 1996). Portanto, o SIG permite o entendimento da natureza dos dados espaciais, visando o projeto, planejamento, elaboração de mapas que combinem temas e possuam alta flexibilidade de escolha das variáveis em apoio na fase operacional da pesquisa (ALVES; SUERTEGARAY, 2004).

Há uma quantidade considerável de trabalhos utilizando o meio SIG para o estudo de movimentos de massa, desde áreas pequenas até escalas regionais, como um país (DOMÍNGUEZ-CUESTA; BOBROWSKY, 2013; EVANS *et al.*, 2013; TRIGILA *et al.*, 2013). Esses estudos corriqueiramente visam o mapeamento das áreas afetadas, a correlação de parâmetros naturais e antrópicos com os movimentos, a geração de mapas de susceptibilidade aos movimentos e de modelos que simulam os mesmos (ZINCK *et al.*, 2001; ABDALLAH *et al.*, 2005; SAHA *et al.*, 2005; MARCHESINI *et al.*, 2013; PALOMBELLA, 2013; PAULÍN *et al.*, 2013; TROFYMCHUK; KALYUKH; HLEBCHUK, 2013).

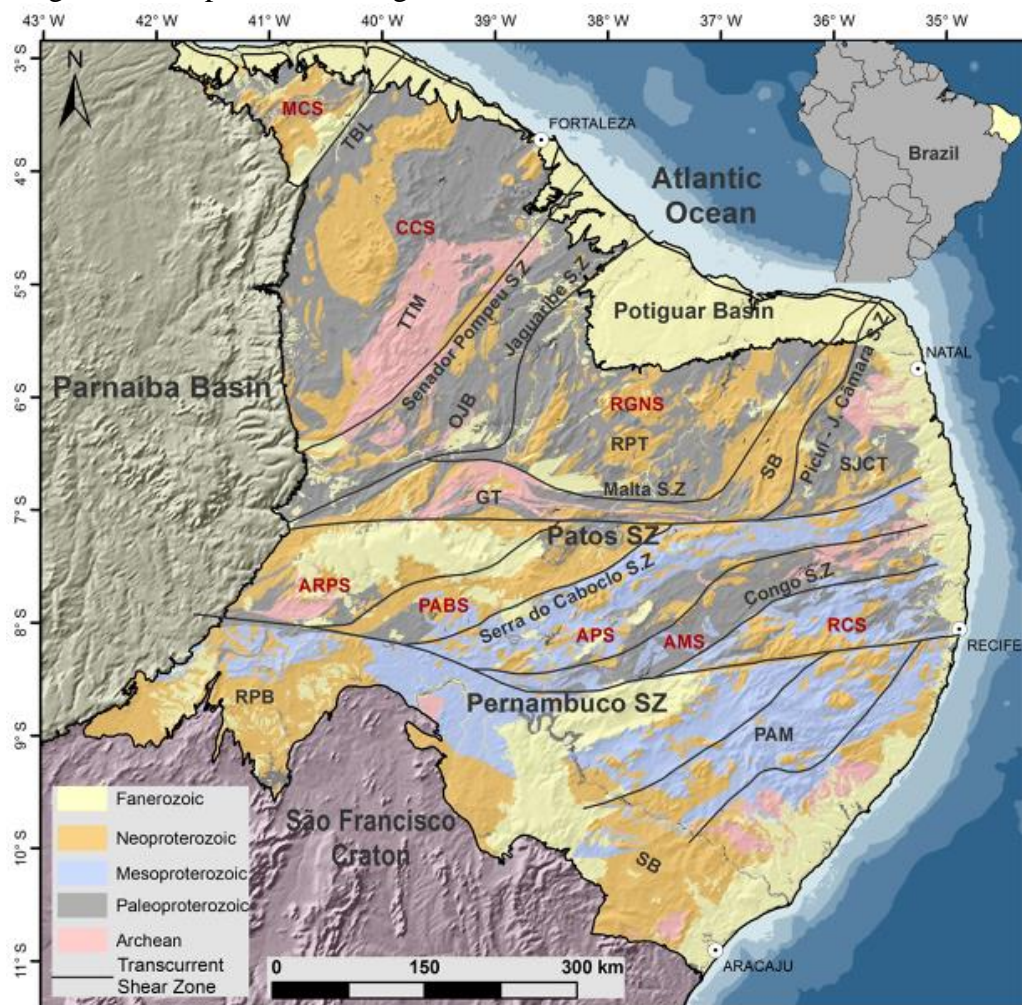
Geralmente os modelos empíricos, baseados em regras e conhecimento da pessoa que estuda o fenômeno, são bem assistidos pelo SIG, permitindo explorar relações entre os fatores e a distribuição espacial dos movimentos de massa, ajudando a identificar áreas favoráveis ao fenômeno (ZINCK *et al.*, 2008).

3 ASPECTOS GEOLÓGICOS E FISIAGRÁFICOS

3.1 Geologia

A geologia do município de Pacoti está inserida na Subprovíncia Setentrional da Província Borborema (ALMEIDA *et al.*, 1981), acima do Lineamento Patos, no nordeste do Brasil (Figura 7).

Figura 7 – Mapa cronoestratigráfico da Província Borborema



Fonte: Correa, Vidotti e Oksum (2016) adaptado de Bizzi *et al.*, 2003. **Domínio Setentrional:** TBL — Lineamento Transbrasiliano, MCS — Subdomínio Médio Coreaú, CCS — Subdomínio Ceará Central, TTM — Maciço Tróia Tauá, RGNS — Subdomínio Rio Grande do Norte, OJB — Faixa Orós Jaguaribe, RPT — Terreno Rio Piranhas, SB — Faixa Seridó, SJCT — Terreno São José do Campestre; **Domínio Central:** ARPS — Subdomínio Araripina, PABS — Subdomínio Piancó Alto Brígida, APS — Subdomínio Alto Pajeau, AMS — Subdomínio Alto Moxotó, RCS — Subdomínio Rio Capibaribe; **Domínio Meridional:** PAM — Maciço Pernambuco Alagoas, SB — Faixa Sergipana, RPB — Faixa Riacho Pontal. Zonas de Cisalhamento propostas por Oliveira (2008).

Essa província, limitada pelas províncias São Francisco e Parnaíba, como também por bacias costeiras e a margem continental (ALMEIDA *et al.*, 1981), se consolidou durante a Orogenia Brasileira/Pan-Africana, ao final do Neoproterozoico (NEVES, 1975). Esse evento foi responsável pela amalgamação dos crátons São Luís – Oeste Africano e São Francisco – Congo, há cerca de 600 Ma (ARTHAUD, 2007).

Genericamente, a estratigrafia regional e geologia da Província Borborema é composta por complexos gnáissicos e migmatíticos arqueanos a paleoproterozoicos como embasamento, subjacente a sequências supracrustais deformadas e metamorfasadas (*fold belts*), presença de zonas de cisalhamento ou lineamentos do Brasileiro e plutons graníticos brasileiros tardios (VAN SCHMUS *et al.*, 1995).

Há um complexo sistema de falhas profundas e de larga escala que percorrem e atravessam toda a província (ALMEIDA *et al.*, 1981). Caby e Artahud (1986) defendem que houve uma colisão inicial frontal continente-continente, tipo-Himalaiano, em torno de 610 Ma, com desenvolvimento de nappes. Mais tarde, o regime mudou para colisão oblíqua, por volta de 590 Ma, evidenciado pelas zonas de cisalhamento transcorrentes de direção NNE-SSW. As duas megatranscorrências dextrais – lineamentos Patos e Pernambuco – de direção E-W apareceram tardiamente recortando esse arcabouço (ARTHAUD, 2007).

Delgado *et al.* (2003), com base em outros trabalhos, coloca a existência de três segmentos tectônicos fundamentais limitados por zonas de cisalhamento brasileiras, que são: Subprovíncia Setentrional, Subprovíncia da Zona Transvesal ou Central e Subprovíncia Externa ou Meridional. Na literatura, esses segmentos são subdivididos em domínios, terrenos ou faixas de acordo com dados litoestratigráficos, estruturais, geocronológicos e geofísicos. Na Subprovíncia Setentrional, encontram-se, de oeste para leste, os domínios Médio Coreauá, Ceará Central e Rio Grande do Norte (Bizzi *et al.*, 2003). Nessa seção, a ênfase recai sobre o Domínio Ceará Central, onde encontra-se a área de estudo.

3.1.1 Domínio Ceará Central (DCC)

O DCC é limitado, ao norte, pela zona de cisalhamento Sobral-Pedro II, separando-o do Domínio Médio Coreauá; a leste, pela zona de cisalhamento dúctil Orós, ambas de orientação NE-SW e de natureza dextral; ao sul fica a zona de cisalhamento Aiuába; e a oeste faz fronteira com a Bacia do Parnaíba, do Fanerozoico.

O DCC é composto, em síntese, por um embasamento policíclico de rochas paleoproterozoicas associadas a um núcleo arqueano, com coberturas metassedimentares

proterozoicas (ainda indefinido) a neoproterozoicas, complexos granito-migmatíticos de idade neoproterozoica e uma série de corpos granitoides pós-colisionais a anorogênicos de idade predominantemente cambriana para o primeiro grupo e ordoviciana para o último (ARTHAUD, 2007; ARAUJO, 2014).

Localmente, o contexto geológico que abrange a área tem como embasamento ortognaisses e paragnaisses paleoproterozoicos agrupados no Complexo Canindé do Ceará. Sobrejacentes ao embasamento têm-se rochas paraderivadas da Unidade Independência pertencente ao Complexo Ceará, o Complexo Tamboril – Santa Quitéria e a Suíte Máfica a Intermediária Pedra Aguda, todas do Neoproterozoico. Há ainda o Granitoide Tanques (pós-colisional) do Cambriano e, do Cenozoico, têm-se o Grupo Barreiras, Depósitos Colúvio-Eluviais e os Depósitos Aluvionares (PINÉO, 2017).

3.1.2 Geologia Local de Pacoti

Para identificação da geologia mapeada no município (Figura 3), utilizou-se a Folha SB 24-X-A-I Baturité confeccionada pela CPRM em 2013 com escala de 1:100.000. A folha é caracterizada por um embasamento paleoproterozoico, supracrustais neoproterozoicas, granitogênese sin- a tardi-colisional associada ao Orógeno Brasileiro/Pan-Africano, seguido por magmatismo pós-colisional e coberturas sedimentares do Cenozoico (PINÉO, 2017).

Em Pacoti estão cartografadas a Unidade Independência, o Complexo Tamboril-Santa Quitéria e o Granitoide Santa Quitéria.

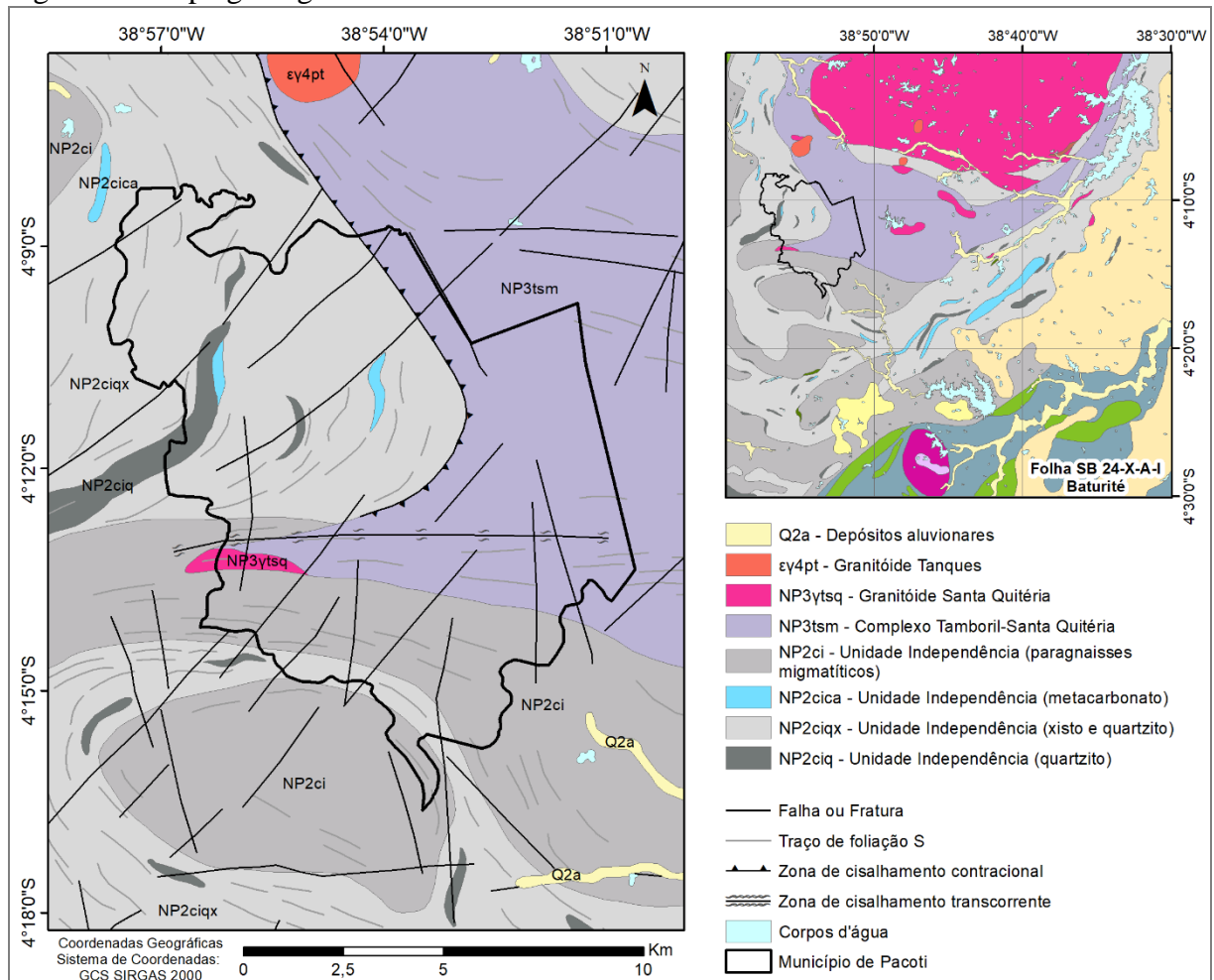
3.1.2.1 Unidade Independência

Arthaud (2007) explica, comparando seus dados geocronológicos com de outros autores, que a Unidade Independência (Complexo Ceará), pode representar um episódio magmático, entre 850 a 750 Ma, associado ao rifteamento do embasamento Arqueano/paleoproterozoico com posterior abertura de um oceano.

Genericamente, a unidade mapeada é composta por gnaisses (NP2ci), em sua maioria paraderivados, representados por biotita gnaisses, granada-biotita gnaisses e granadamuscovita-biotita gnaisses, podendo conter sillimanita. Esses litotipos encontram-se comumente migmatizados em diferentes graus de anatexia. A granada e a passagem de muscovita para sillimanita indica o início do metamorfismo de alto grau, no Fácies Anfíbolito Alto. Os gnaisses

ortoderivados compreendem rochas de composição granítica, leucocráticas de cor cinza e com bandamento gnáissico (PINÉO, 2017).

Figura 8 – Mapa geológico de Pacoti



Fonte: adaptado de Pinéo e Zwirtes (2013).

Em Pacoti, essa unidade se apresenta, principalmente, como xistos aluminosos e quartzos xistos, seguidos por quartzitos (NP2ciqx), que não foram cartografados na escala da Folha Baturité. Através da associação Quartzos + Biotita + Muscovita + Granada + Cianita + Silimanita + Plagioclásio + K-Feldspato é possível indicar que as rochas passaram por um metamorfismo de grau médio a alto, no Fácies Anfibolito (PINÉO, 2017).

Os quartzitos (NP2ciq) ocorrem como lentes e contêm, além do quartzo, muscovita, turmalina, feldspato e por vezes biotita. Geralmente sustentam cristas de serra, como o Pico Alto com 1.115 metros de altitude, localizado próximo a Pacoti (PINÉO, 2017).

Concordante aos xistos e paragnaisses estão corpos lenticulares de rochas carbonáticas (NP2cica). São mármore impuros, predominantemente calcíticos, com sulfetos,

micas e outros (wollastonita e tremolita). A paragênese mineral Calcita + Tremolita caracteriza Fácies Anfibolito, assim como os paragnaisses e xistos da unidade (PINÉO, 2017).

3.1.2.2 Complexo Tamboril - Santa Quitéria

Segundo Fetter *et al.* (2003), assinaturas isotópicas de Nd do Complexo Tamboril-Santa Quitéria consistem com um evento de subducção de um domínio oceânico neoproterozóico. Essa idade foi confirmada por Castro (2004) através de dados radiométricos, sugerindo que a evolução dessas rochas ocorreu entre 0,62 e 0,60 Ga, sendo esta última idade referente ao clímax do metamorfismo térmico, responsável por um grande volume de granitoides e diatexitos gerados no interior do complexo.

Na Folha Baturité, os afloramentos relacionados ao complexo distam cerca de 70 km da ocorrência principal, mas são tratados como correlatos, pois apresentam características litológicas e isotópicas (Sm-Nd e U-Pb) similares (PINÉO, 2017).

Em Pacoti está presente a unidade com migmatitos (NP3tsm), geralmente ortoderivados e com diferentes taxas de fusão, que bordejam toda a unidade Granitoide Santa Quitéria. Os metatexitos são, comumente, hornblenda-biotita migmatitos estromáticos com enclaves máficos de rocha gabróica e de paragnaisses com granada do Complexo Ceará. Os diatexitos possuem em geral composição sienogranítica, com minerais aluminosos (granada e muscovita) e paleossoma rico em biotita. A paragênese mineral associada à fusão parcial indica grau metamórfico do Fácies Anfibolito (PINÉO, 2017).

Outra unidade presente, pertencente a esse complexo, é o Granitoide Santa Quitéria (NP3γtsq).

3.1.2.3 Granitoide Santa Quitéria

Nesta unidade, encontra-se uma associação de granitoides sin a pós-deformacionais com composição variando de sienogranito a granodiorito. Em geral, há presença de granitoides porfiríticos gnáissicos, onde os porfiroclastos de K-feldspato chegam a atingir 4 cm de comprimento. Essas rochas podem conter variados tipos de deformação a depender da localização de zonas de cisalhamento. Há também granitoides gnáissicos cinzas, não porfiríticos, compostos por plagioclásio, quartzo, biotita e K-feldspato. Associado a esses litotipos há corpos graníticos isotrópicos equigranulares (PINÉO, 2017).

Como intrusões nesses granitoides, ocorrem veios pegmatoides, de composição ácida, originários da ação pneumatolítica tardia (PINÉO, 2017).

3.2 Clima

O município de Pacoti encontra-se no Maciço de Baturité, que faz parte dos enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido nordestino. Esses ambientes – também denominados de serras úmidas, brejos e matas – concentram melhores condições de umidade, temperaturas mais amenas, determinadas pela altitude, e balanços hídricos excedentes durante a estação chuvosa (SOUZA; OLIVEIRA, 2006).

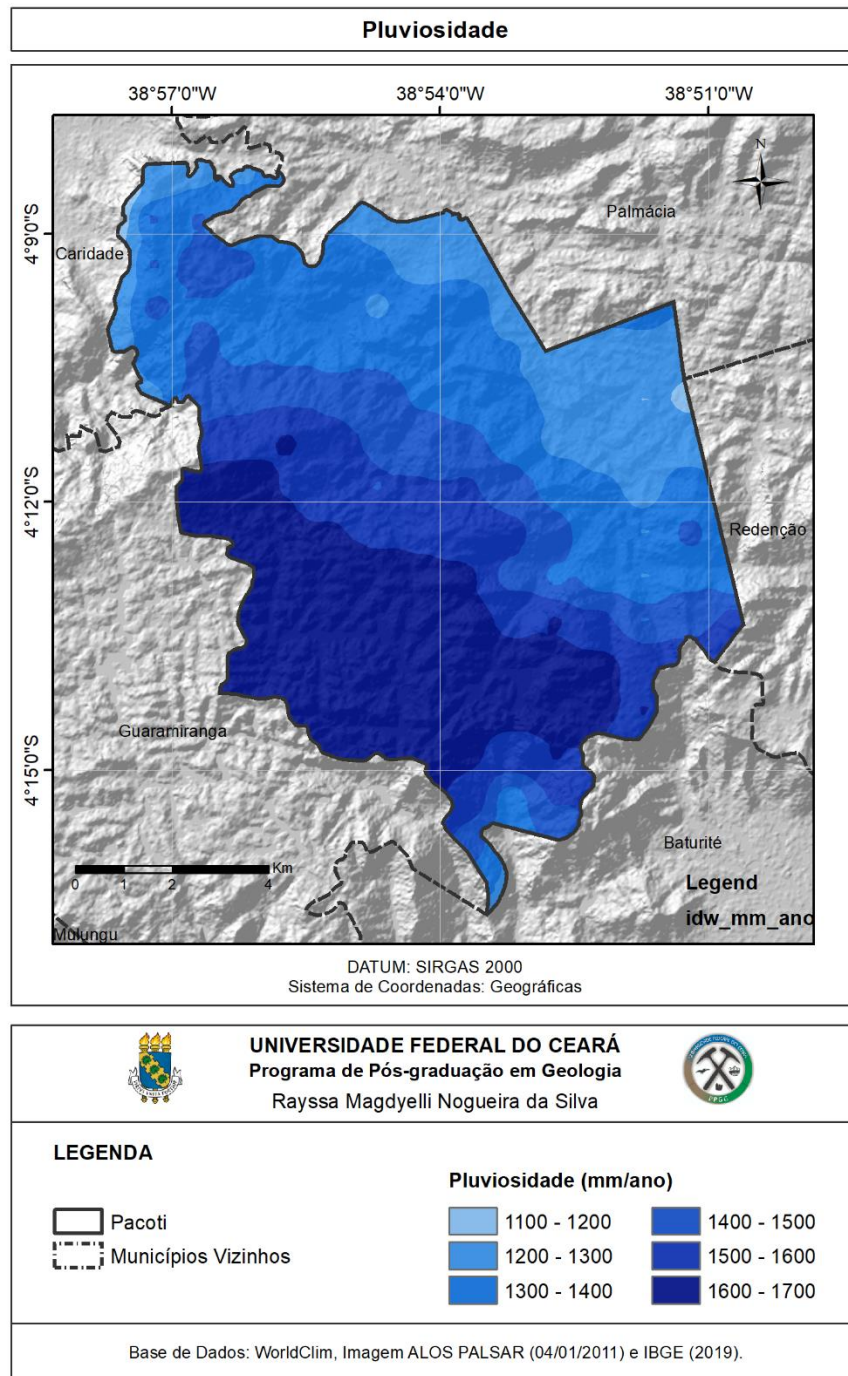
O regime de chuvas concentradas no primeiro semestre do ano é regulado, assim como nos demais enclaves úmidos do Ceará, pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (SOUZA; OLIVEIRA, 2006). Essa zona forma-se em baixas latitudes, onde há o encontro dos ventos alísios de SE com aqueles provenientes do NE, criando uma ascendência das massas de ar, que são normalmente úmidas e caracterizam a cintura equatorial do planeta. A ZCIT é móvel, ficando mais ao sul em março, justificando as maiores taxas de precipitação na região (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Em junho e julho há a influência de ondas de leste deslocadas para o continente em função de ventos alísios, podendo ocasionar chuvas. No restante do ano, atuam mais intensamente os ventos alísios de SE, vindos das altas pressões do Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS), formando uma massa de ar com gradientes elevados de temperatura, homogeneidade e estabilidade climática (ZANELLA; SALES, 2011).

No maciço, deve-se considerar ainda a influência do relevo e altitude, que forçam a ascensão do ar, aumentando a atividade convectiva e fortalecendo climas úmidos nessa região. Em resumo, caracteriza-se a vertente barlavento do maciço de Baturité como úmida, a vertente a sota-vento (oeste) como sub-úmida e as áreas sertanejas circunvizinhas como de clima árido (ZANELLA; SALES, 2011).

Há uma diferenciação pluviométrica nos municípios que se encontram nas cotas mais elevadas do maciço, destacando-se Pacoti e Guaramiranga, que exibem totais pluviométricos mais expressivos em função da altitude e localização no setor setentrional (BASTOS; CORDEIRO; SILVA, 2017). Essa relação entre a altitude e quantidade de chuva pode ser visualizada na Figura 4. O mapa é produto da interpolação dos dados do banco de dados *WorldClim* (FICK; HIJMANS, 2017), com dados de 1970 a 2000.

Figura 9 – Mapa Pluviométrico de Pacoti

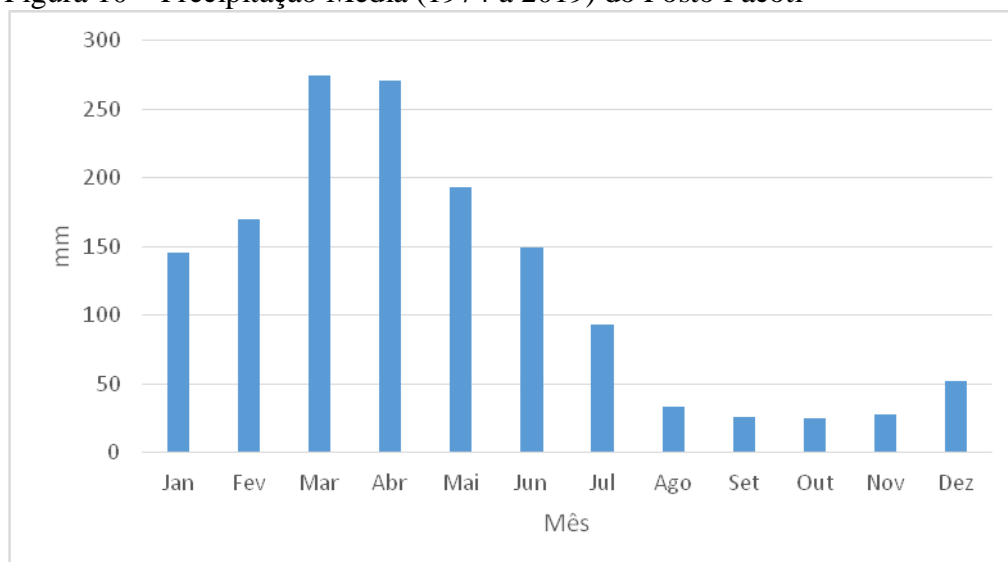


Fonte: adaptado de Fick e Hijmans (2017).

Analisando dados históricos fornecidos pela FUNCEME, do período de 1974 a 2019, dentro do contexto climático já discutido, pode-se afirmar que as chuvas se concentram no primeiro semestre do ano, principalmente entre fevereiro e maio, sendo março o mês mais chuvoso, com uma média de chuva de 275,1 mm (Figura 5). A precipitação média anual, considerando o mesmo intervalo de tempo, fica em torno de 1460,98 mm, que é bem maior que

a precipitação dos municípios vizinhos sertanejos, como ocorre em Caridade com precipitação média anual de 477,7 mm, no período de 1983 a 2019.

Figura 10 – Precipitação Média (1974 a 2019) do Posto Pacoti



Fonte: FUNCEME (2020).

No ambiente serrano, a amplitude térmica diária apresenta menor variação do que nos sertões vizinhos, justificando a maior cobertura vegetal e umidade relativa do ar (BASTOS; CORDEIRO; SILVA, 2017). Segundo o IPECE (2018), a temperatura média de Pacoti permanece entre 24° e 26° C.

3.3 Hidrografia

O maciço de Baturité é o maior dispersor de drenagem da porção NW do estado, onde o sistema mais relevante é o formado pelo rio Pacoti, que contribui no abastecimento hídrico da Região Metropolitana de Fortaleza (SOUZA; OLIVEIRA, 2006).

Cerca de 95,05% da área de Pacoti é abrangida pelo Grupo das Bacias Hidrográficas Metropolitanas do Ceará, que se localizam na porção nordeste do estado e encontram-se limitadas ao sul pela bacia do rio Banabuiú, a leste pela bacia do rio Jaguaribe, a oeste pela bacia do rio Curu e, ao norte, pelo Oceano Atlântico (SANTANA, 2009). Dentro desse contingente, estão a Bacia do Rio Pacoti, recobrindo maior área do município, e a Bacia do Rio Choró (CEARÁ, 2010). A pequena área restante (4,95%) pertence a Bacia do Curu.

O município não engloba reservatório grande de água superficial, ainda que na Bacia Hidrográfica ocorram 15 reservatórios com capacidade maior que 10 milhões de metros cúbicos (SANTANA, 2009).

Em relação aos recursos hídricos subterrâneos, é necessário considerar que a maior parte do maciço é constituída por rochas cristalinas pré-cambrianas, com baixa porosidade intergranular, com percolação fissural apenas. Isto implica que tais rochas são capazes de armazenar e conduzir água apenas por fraturas, geralmente produzidas por esforços tectônicos de ruptura (CONSÓRCIO FAUSTO NILO / ESPAÇO PLANO, 2002).

Em suma, o município é abastecido em maior parte por sistemas coletivos, como a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), e individuais, como cisternas com armazenamento de água da chuva, canalização de manancial superficial e/ou de manancial subterrâneo (PACOTI, 2019).

3.4 Geomorfologia

A evolução geomorfológica do nordeste brasileiro ocorreu principalmente durante o Pleistoceno, em que a semiaridez provocou o aplainamento de grandes compartimentos do relevo regional. Porém, a diferença nas propriedades e resistência das rochas propiciou a existência de núcleos de planaltos residuais diversificando a paisagem dos sertões semiáridos (SANTOS; MEDEIROS; SOUZA, 2012). A serra de Baturité, que abrange o município de Pacoti, faz parte dos Planaltos residuais do Domínio dos Escudos e Maciços Antigos do Ceará (SOUSA, 1988).

Bétard, Peulvast e Sales (2007) compartimentaram a região do Maciço e seu entorno em quatro unidades morfoedológicas. A primeira, chamada Zona de cimeira com modelado multiconvexo, corresponde às altitudes mais elevadas do Maciço, de 800 a 900 metros, predominando o modelado na forma de meia-laranjas e fundos de vales planos com espesso manto de intemperismo. A segunda unidade é a Zona periférica de dissecação profunda, que marca a transição geomorfológica e climática entre o Maciço e a depressão sertaneja, caracterizando-se pela dissecação profunda dos vales pelos rios, exibindo domos rochosos nus, do tipo pão de açúcar. Abaixo, entre 100 e 200 metros de altitude, há a Baixa planície cristalina com inselbergs (Sertão), com inclinação suave em direção ao oceano, que é ligeiramente dissecada e expõe relevos residuais do tipo inselberg. Finalmente, os Baixos platôs sedimentares pré-litorâneos (Tabuleiros) são acumulações detríticas cenozoicas da Formação

Barreiras e repousam em discordância sobre o embasamento pré-cambriano, se estendendo ao longo dos vales principais do interior do sertão.

Os planaltos residuais são constituídos por rochas cristalinas, predominando rochas metamórficas, que se apresentam dissecadas em feições convexo-aguçadas. Desenvolvem-se solos podzólicos vermelho-amarelos e litólicos, drenagens com padrões dendríticos e subdendríticos e revelam certa instabilidade nas encostas em função das altas declividades (SOUZA, 1988).

Segundo Sousa (1988), a morfologia da porção úmida do maciço é mais propensa à morfogênese química, sendo bastante dissecada em aspecto de topos convexos, lombadas e, mais esporadicamente, em cristas. Os vales, em formato de V, mostram a forte capacidade de entalhe da drenagem e em locais onde os vales se alargam, há a possibilidade da formação de depósitos colúvio-aluvionares. Enquanto o contato entre as vertentes a barlavento com as planícies sertanejas encontra-se como pedimentos dissecados.

Nas áreas a sotavento, relativamente mais secas, as feições morfológicas são mais conservadas e com incisão fluvial menos marcada. O contato com as depressões sertanejas também é feito por pedimentos recobertos por paleo-pavimentos grosseiros, porém sem dissecação. Em geral, ocorre morfogênese mecânica (SOUZA, 1988).

Oliveira, Rodrigues e Bastos (2014), identificaram as unidades geomorfológicas presentes em Pacoti. Na vertente dissecada úmida, há dissecação dos vales em V e forte atuação da morfogênese química, com profundos mantos de alteração e argissolos encobertos por mata úmida perenifólia. Isoladamente, ocorrem domos rochosos de 100 a 200 metros de altitude. No Platô, que apresenta menores declividades e maiores altitudes (média de 700 metros), há colinas convexas ou meias-laranjas intercaladas com planícies alveolares, exibindo bom potencial agrícola. Por fim, a vertente dissecada seca dispõe de altitudes maiores associadas às cristas formadas principalmente por quartzitos. Menor umidade e predomínio da morfogênese mecânica, proporciona pequenos mantos de intemperismo associados a neossolos litólicos.

3.5 Solos

Resumidamente, as classes de solos dominantes no Maciço de Baturité são distribuídas em grandes grupos:

Os Argissolos predominam no platô da Serra e estão associados aos relevos colinosos, lombas alongadas e aos estreitos interflúvios tabulares, sendo medianamente profundos e muito profundos com fertilidade natural de média e alta; os Neossolos

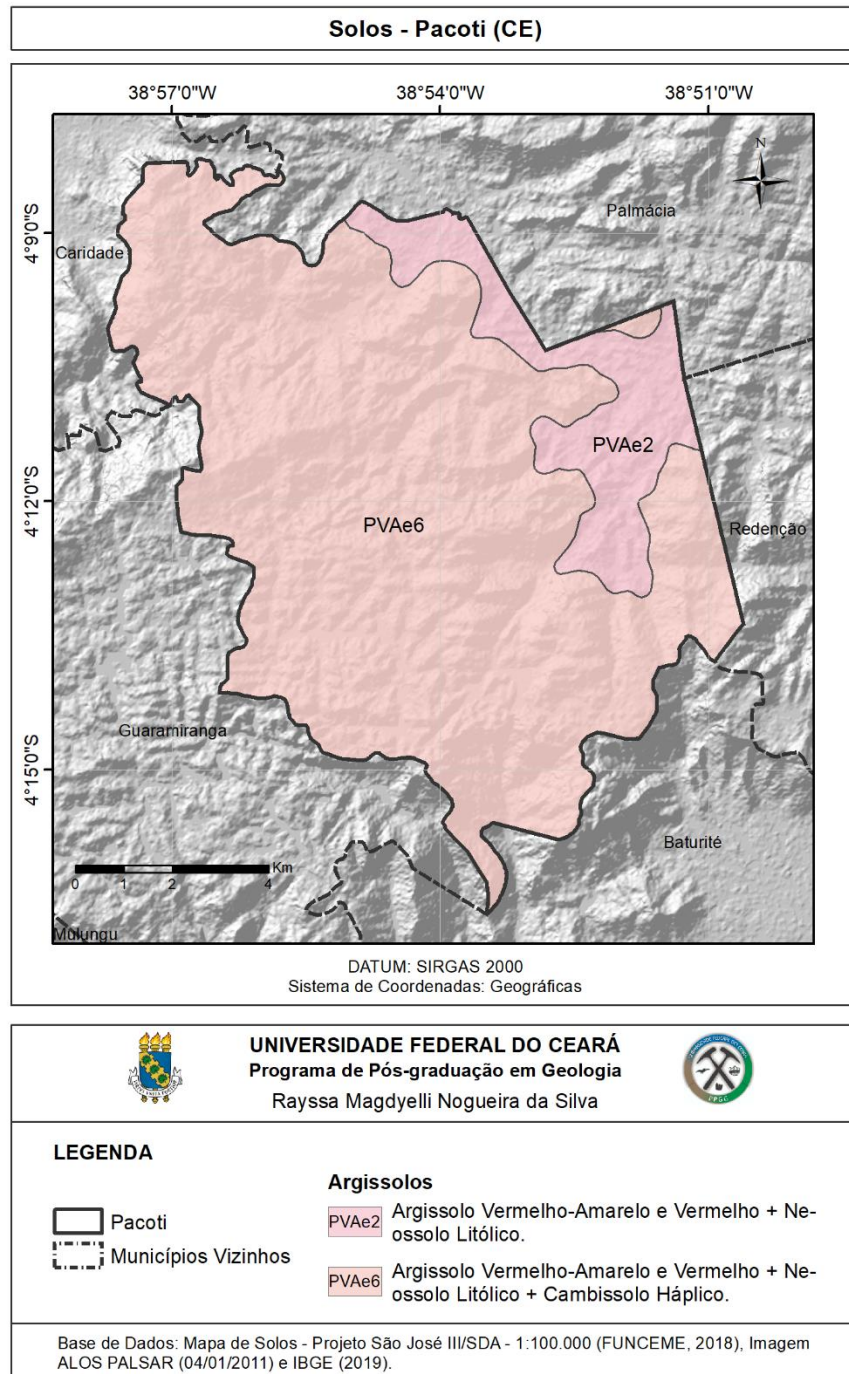
Litólicos assentam-se sobre as áreas de cristas ou vertentes mais íngremes onde é comum a sua ocorrência associada aos afloramentos rochosos. São rasos e muito rasos, pedregosos e têm média a alta fertilidade natural; os Neossolos Flúvicos ocupam as planícies fluviais alongadas e os alvéolos com fertilidade natural que varia de média a alta (SOUZA; OLIVEIRA, 2006, p. 91).

Em Pacoti, de acordo com o mapeamento dos solos, em escala 1:100.000, produzido pela FUNCEME e ainda em fase de conclusão (FUNCEME, 2018), os dois grupos de solos presentes se encaixam, em 1º nível categórico, na classe dos Argissolos, que compreendem solos formados por material mineral, com presença de horizonte B textural (Bt) de argila de atividade baixa, ou, se conjugada com saturação por bases baixa e caráter alumínico, de atividade alta. A maioria dos solos da classe mostra incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, podendo existir transição clara, abrupta ou gradual do horizonte A para o Bt (SANTOS *et al.*, 2018). O mapa encontra-se na Figura 6.

O grupo mais predominante na área (PVAe6) ocupa áreas de relevo forte ondulado e montanhoso, que podem apresentar declividade entre 20% a 45% e 45% a 75%, respectivamente. É composto, em 50%, por Argissolo Vermelho-Amarelo e Vermelho Eutrófico léptico cambissólico úmbrico e típico, com textura média/argilosa (FUNCEME, 2018). Assim, sabe-se que é um solo com saturação por bases igual ou superior a 50% e com contato lítico entre 50 e 100 cm a partir da superfície (SANTOS *et al.*, 2018). 30% do grupo corresponde ao Neossolo Litólico Eutrófico típico e fragmentário, com textura média, apresentando fase pedregosa e rochosa, tendo como substrato gnaisse. Os 20% restantes são formados por Cambissolo Háptico Tb (argila de atividade baixa) e Ta (argila de atividade alta) Eutrófico e Distrófico típico, de textura média, com substrato gnáissico. Todos os solos contêm horizonte A moderado e proeminente (FUNCEME, 2018).

Na região leste do município, em menor contingente de área, encontra-se o grupo (PVAe2) em relevo ondulado e forte ondulado, onde a declividade varia de 8% a 45%. Este contém 70% de Argissolo Vermelho-Amarelo e Vermelho Eutrófico léptico cambissólico úmbrico e típico, de textura média/argilosa e 30% de Neossolo Litólico Eutrófico típico e fragmentário, textura média, fase pedregosa e rochosa, tendo gnaisse como substrato. Ambos com horizonte A moderado e proeminente (FUNCEME, 2018). Outros solos mapeados citados, em menor expressão na área, são o Cambissolo Háptico e o Neossolo Litólico.

Figura 11 – Mapa pedológico de Pacoti



Fonte: adaptado de FUNCEME (2018).

Os Cambissolos abrangem solos com características que podem variar de acordo com o local devido a heterogeneidade do material de origem, relevo e clima. Os Cambissolos Háplicos são aqueles que não se enquadram nas outras categorias de Cambissolos Hísticos, Húmicos ou Flúvicos. Porém, todos são diagnosticados pelo horizonte B incipiente (Bi), logo abaixo de um horizonte superficial, de textura francoarenosa ou mais argilosa, refletindo uma alteração física e química em grau não muito avançado, mas competente para o

desenvolvimento de cor ou de unidades estruturais. Os Neossolos Litólicos são pouco desenvolvidos e por isso não apresentam horizonte B diagnóstico. O horizonte A ou hístico tem contato direto com a rocha, horizonte C ou com material contendo 90% do volume de fragmentos grosseiros com diâmetro maior que 2 mm (SANTOS *et al.*, 2018).

3.6 Vegetação

Mediante os aspectos já discutidos, a vegetação primária do ambiente serrano, na qual restam apenas manchas “testemunhas”, é distinta da caatinga dos sertões circunvizinhos, sendo composta principalmente por formações florestais (SOUZA; OLIVEIRA, 2006).

Moro *et al.* (2015) separa a vegetação mata úmida e mata seca em função do substrato rochoso na qual ela se desenvolve, pela diferença da flora em meio sedimentar e cristalino, detalhando a classificação de Figueiredo (1998). De acordo com essas considerações, Pacoti se encaixa nas classes de Mata Úmida do Cristalino e Mata Seca do Cristalino, em concordância com o contexto dos maciços residuais do Ceará.

As matas úmidas do cristalino, também denominados “brejos de altitude”, ocorrem nas serras altas que barram o vento que vem do mar, condensando a umidade e ocasionando maior aporte de chuvas. No Maciço de Baturité, essa vegetação possui uma influência maior da Mata Atlântica. Atualmente encontra-se ameaçada pela expansão urbana e desmatamento (MORO *et al.*, 2015). Outra característica é a conservação das folhas de 75% a 100% durante o ano (CEARÁ, 2010). Segundo Bastos, Cordeiro e Silva (2017), a mata úmida está presente a partir da cota de 600 metros, possuindo estrato arbóreo, chegando a atingir 20 m, e espécies arbustivas, ambas associadas a líquens, epífitas e lianas.

A mata seca do cristalino ocorre na região a sotavento dos maciços, com quantidade menor de chuvas. Segundo Moro *et al.* (2015), ainda faltam estudos mais detalhados, podendo ser considerada com uma formação intermediária entre a caatinga do cristalino e as matas úmidas, ou uma vegetação floristicamente bem definida. Essa vegetação geralmente ocorre em solos rasos, do tipo litólico, em temperaturas mais elevadas e suas folhas tendem a cair nos períodos de estiagem (CEARÁ, 2010).

Em suma, a mata úmida encontra-se em maioria na área do município, principalmente nas altitudes mais elevadas, acima de 600 metros, enquanto a mata seca se apresenta preferencialmente nas encostas da vertente oriental, da direção dos municípios vizinhos de Caridade e Palmácia (OLIVEIRA, 2012).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa bibliográfica, uma das vertentes relacionadas aos materiais e métodos, acompanhou todo o estudo, desde a obtenção de informações básicas sobre a área até a elaboração das discussões. Nela pôde-se compreender melhor os movimentos de massa e os aspectos relacionados ao fenômeno para correlação com o ambiente serrano de Pacoti e entendimento dos principais fatores atuantes na possibilidade de ocorrência dos movimentos.

Os materiais empregados e as outras etapas metodológicas estão descritos nos tópicos a seguir.

4.1 Base Cartográfica

Inicialmente, procuraram-se registros de movimentos de massa em Pacoti através do site da defesa civil, relatórios da CPRM, informações de monitoramento do Cemaden, que é feito desde agosto de 2014 no município, no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2id, em jornais, sites de notícias e produções científicas, porém percebeu-se a escassez de dados concretos e claros, pois muitas vezes há a confusão entre termos e até mesmo o encobrimento de eventos menores por um outro fenômeno mais abrangente na área, como as inundações. Não se encontrou um banco de dados que englobem dados de movimentos no município.

Para auxílio na produção cartográfica, usou-se fontes conhecidas e gratuitas, como o site do IBGE (limites geográficos) e banco de dados da CPRM (geologia e estruturas geológicas). O mapa de solos (1:100.000), ainda em fase de conclusão, foi cedido pela FUNCEME por meio de solicitação no Portal da Transparência do Ceará. As estradas do município, por serem mais localizadas, foram vetorizadas no *Google Earth Pro* analisando dados cc de 2016, com altitude do ponto de visão ± 1 km.

Os índices pluviométricos foram retirados dos postos monitorados pela FUNCEME para compreensão do regime de chuvas na região e integração aos textos sobre aspectos fisiográficos da região. Porém, por haver grande espaçamento entre os postos, decidiu-se recorrer aos dados disponibilizados no site do *WorldClim*, que podem ser baixados em diferentes resoluções, para gerar o mapa de Pluviosidade. Foi escolhida a escala de melhor detalhe 30", referentes a 1 km² por pixel. Os dados, que compreendem os anos de 1970 a 2000, vêm em formato GeoTiff, onde cada pixel tem um valor de precipitação, e podem ser manipulados em ambiente SIG.

4.2 Campanhas de Campo

As etapas de campo tiveram o intuito de identificar cicatrizes de movimentos de massa, localizando-as através de coordenadas UTM e registro fotográfico, e foram realizadas em duas visitas: 29/06/2019 e 23/07/2020. Além disso, a visita à área trouxe uma ideia geral dos aspectos ambientais do município, visualização de possíveis agentes deflagradores do fenômeno analisado e permitiu um conhecimento geral que auxiliou no mapeamento de Cobertura e Uso da Terra por meio da classificação supervisionada.

Separou-se os pontos de movimentos de massa dos pontos de controle e acrescentou-se os registros de cicatrizes encontrados no trabalho de Bastos (2012) para aumento e integração das informações sobre o fenômeno no município.

4.3 Imagens de Satélite

Foram empregadas duas imagens de satélite, sendo uma óptica e uma de radar. A imagem PlanetScope (PS2.SD) serviu de base para a classificação supervisionada a fim de gerar classes de cobertura e uso da Terra do município de Pacoti. Já a imagem do sensor PALSAR, do satélite ALOS, permitiu a geração do MDE e derivação das variáveis morfométricas, assim como a vetorização dos lineamentos de relevo.

4.3.1 PlanetScope

A constelação PlanetScope, operada pela empresa *Planet*, tem, aproximadamente, 130 satélites e apresenta habilidade de imagear toda a superfície da Terra diariamente, com uma capacidade de 200 milhões de km²/dia. Ela entrega imagens com resolução espacial em média de 3,7 metros e com extensão radiométrica de 12 bits. Resumidamente disponibiliza três produtos, sendo eles: *Basic Scene product*, *Ortho Scene product* e *Ortho Tile product* (PLANET, 2020).

No presente estudo, utilizou-se o *Ortho Scene product* que provê uma única imagem pós-processada, sendo designada para uma gama de projetos que demandam um produto com geolocalização e projeção cartográfica acuradas. Possui quatro bandas espectrais na região do VNIR (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo) em uma cena de 24 Km x 16 Km. O usuário pode baixar mais de uma imagem e fazer o ortomosaico, caso necessite (PLANET, 2020).

Na Tabela 1, encontram-se detalhadas as bandas do visível e do infravermelho próximo utilizadas na classificação, adquiridas através do sensor PS2.SD.

Tabela 1 – Características das bandas da imagem PlanetScope (PS2.SD) aplicadas no estudo

PlanetScope (PS2.SD)		
Banda	Comprimento de Onda (nm)	Resolução Espacial (m)
1 - Azul	464 - 517	3
2 - Verde	517 - 585	3
3 - Vermelho	650 - 682	3
4 - NIR	846 - 888	3

Fonte: Planet (2020).

Fez-se o *download* de duas cenas PlanetScope para cobrir a área do município, no site planet.com/explorer, ambas coletadas pelo satélite em 05/09/2020. A data condiz com o período seco da região, que auxilia na distinção dos tipos de cobertura e uso da terra. A imagem, até o momento de sua aquisição, não era disponibilizada gratuitamente, sendo adquirida através de parceria com a universidade.

4.3.2 ALOS PALSAR

Utilizou-se imagem de radar PALSAR disponível no satélite ALOS, com resolução espacial de 12,5 metros, para vetorização dos lineamentos de relevo, confecção do MDE e posterior derivação das variáveis morfométricas, além de auxiliar nas demais observações acerca da geomorfologia da área. Segundo Correa-Muñoz, Murillo-Feo e Martínez-Martínez (2018), após comparação com as imagens SRTM3, SRTM1, ASTER GDEM em referência a um mapa topográfico de escala 1:25.000 e levantamento GPS estático, a acurácia vertical do MDE gerado a partir do dado PALSAR (RTC-hi), teve um bom potencial para se obter parâmetros do terreno em uma escala regional.

O satélite Advanced Land Observing Satellite (ALOS), que operou de 2006 a 2011, foi lançado por meio da Japan Aerospace Exploration Agency – JAXA em parceria com a Japan Resources Observation System Organization (JAROS) (EMBRAPA, 2018). O satélite continha a bordo três sensores, entre eles o PALSAR ou *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*, um sensor ativo de micro-ondas capaz de operar em estados atmosféricos diversos e em

condições noturnas ou diurnas. Os dados PALSAR apresentam como características terem sido obtidos em múltiplos modos de observação com variável polarização, resolução, área imageada e ângulo off-nadir (JAXA, 2020).

O banco de dados do Alaska Satellite Facility (ASF) da Universidade do Alaska Fairbanks em parceria com o projeto ESDIS da NASA, que encontra-se no site <https://search.asf.alaska.edu>, disponibiliza três produtos ALOS, sendo eles o L1.0, sem qualquer processamento prévio, o L1.5, com a imagem georreferenciada, e o RTC, com correção radiométrica e de terreno em formato GeoTIFF, sendo esse último, o empregado nesse trabalho.

4.4 Geoprocessamento

Técnicas de processamento digital de imagens e de geoprocessamento foram empregadas na interpretação das imagens adquiridas e geração de novos dados cartográficos, incluindo o mapa de Cobertura e Uso da Terra por meio da classificação supervisionada.

4.4.1 Classificação Supervisionada por Região

A classificação pode ser supervisionada, quando o usuário estabelece as classes a serem classificadas através de amostras das mesmas, e não-supervisionada, onde o próprio programa realiza o agrupamento das classes a partir de parâmetros simples inseridos mediante o usuário (MENESES; ALMEIDA, 2012). Nesse estudo, optou-se pela classificação supervisionada orientada ao objeto, na qual o ponto de partida é a segmentação dos pixels.

Antes de iniciar a classificação da imagem PlanetScope, fez-se uma etapa de pré-processamento, chamada correção atmosférica, no *software* ENVI 5.3 com a ferramenta *Dark Subtract*. Esse procedimento é importante, pois a radiância medida pode diferir da radiância real do objeto em decorrência do efeito aditivo do espalhamento dos raios provocados pelos aerossóis, gases e moléculas de água da atmosfera (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Em seguida, a imagem foi levada para o *software eCognition Developer 9.0*, que disponibiliza um classificador orientado ao objeto, aplicando o princípio da segmentação para homogeneizar as informações (SILVA *et al.*, 2016). Fez-se primeiro a segmentação para posterior coleta das amostras e classificação.

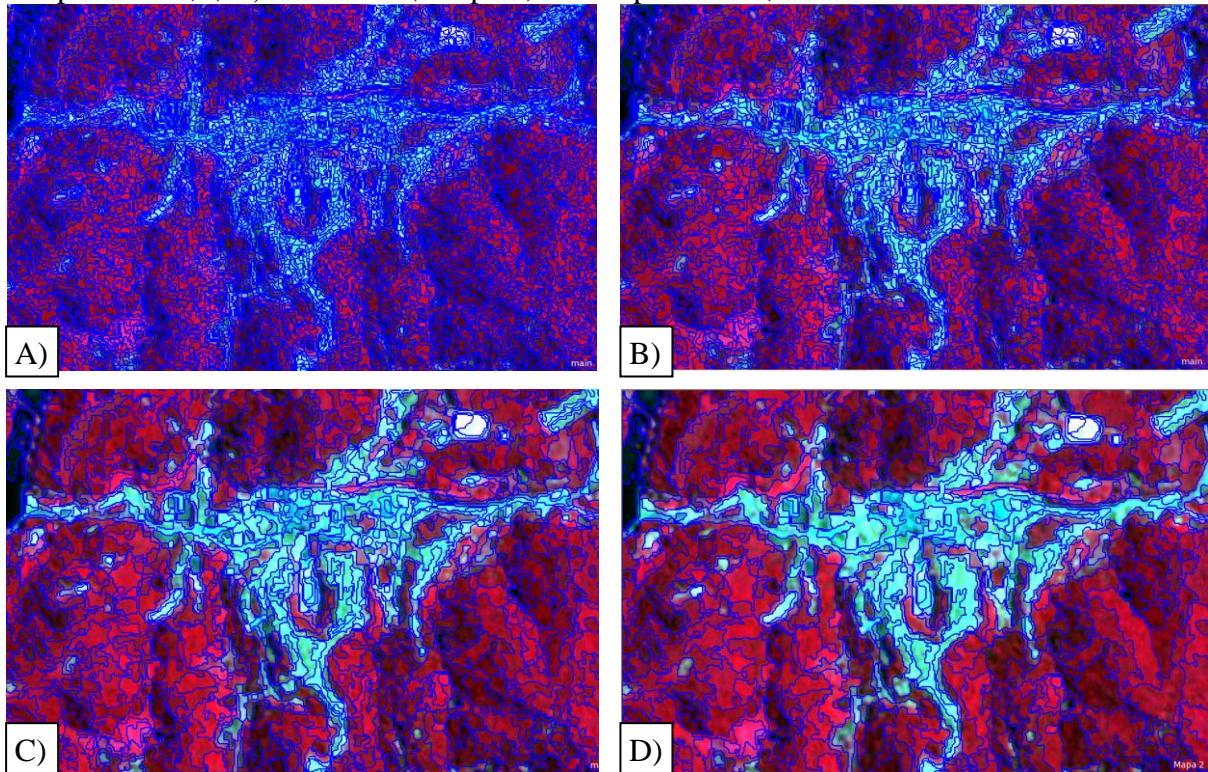
A segmentação permite agrupar os pixels de uma imagem, que tenham características semelhantes, em regiões. Assim, no momento da classificação, é levado em

consideração as características da região como um todo ao invés de os valores espectrais dos pixels isolados. Na segmentação, as condições texturais da imagem passam a ser consideradas, permitindo produzir índices de exatidão mais elevados. Além disso, geralmente dificultam o efeito “sal e pimenta” (polígonos pequenos dispersos na área) por permitir que as amostras de treinamento sejam segmentos ou unidades básicas, e não pixels individuais (MENESES; ALMEIDA, 2012). No *software* eCognition essa etapa resulta em segmentos ou objetos, inicialmente associados a uma classe abstrata, que podem ser manipulados e reagrupados em objetos maiores a depender dos parâmetros estipulados, como características espectrais, forma, textura, entre outros (RIBEIRO; KUX, 2009).

A segmentação foi feita de modo automático, com o algoritmo *Multiresolution Segmentation*, porém com a determinação de parâmetros (escala, *shape* e *compactness*) a partir de muitas tentativas até a obtenção de um bom resultado para diferenciação dos alvos. O parâmetro de escala condiz com o tamanho do segmento a ser gerado, o *shape* determina a maior ou menor influência da cor na segmentação (maior valor, menor influência da cor) e o *compactness* define a compactação dos objetos gerados (maior valor, mais compactos serão os objetos). Ainda, pode-se dar pesos diferentes às bandas da imagem utilizadas no processo. As bandas do visível tiveram peso 1, enquanto a banda do NIR teve peso 2, por existir grandes áreas florestais na área.

Após testes, como demonstrado nas Figuras 12A, 12B e 12C, escolheu-se o valor 150 para a escala, *shape* de 0,3 e *compactness* de 0,6 (Figura 12D). A escolha baseou-se na percepção visual dos alvos, como exemplo a região da sede municipal de Pacoti que, além de ser uma amostra considerável de área urbana, está rodeada por alvos de outras classes, como água, mata úmida e cultivos de olericultura.

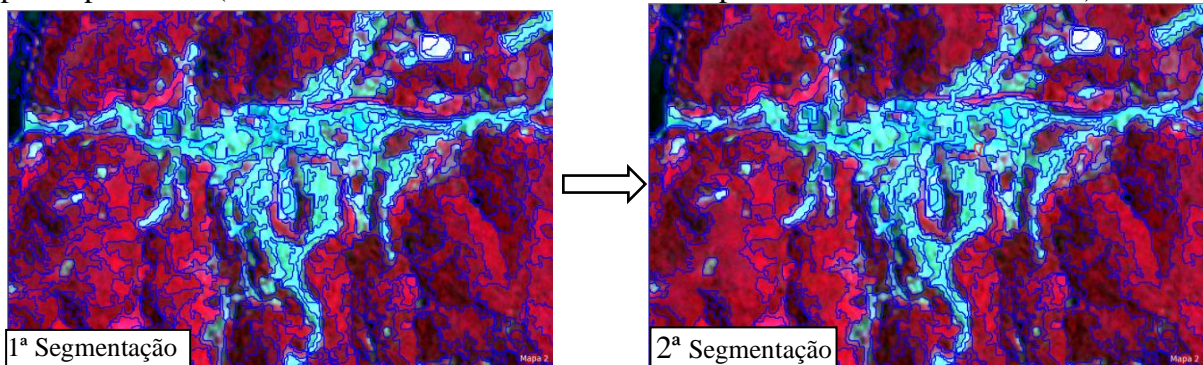
Figura 12 – Testes com valores diferentes de escala, shape e compactness para a segmentação (Detalhe da área urbana da sede municipal de Pacoti em RGB 4-3-2): A) Escala 30, shape 0,2 e compactness 0,7; B) Escala 50, shape 0,2 e compactness 0,7; C) Escala 100, shape 0,3 e compactness 0,6; D) Escala 150, shape 0,3 e compactness 0,6.



Fonte: dados da pesquisa.

Em seguida, aplicou-se uma segunda segmentação sobre a anterior com o intuito de unir segmentos vizinhos, de uma mesma classe, de acordo com a diferença espectral usando o algoritmo *Spectral Difference Segmentation*. Nesse momento, após observar diferentes valores e suas influências na união de segmentos semelhantes, optou-se pelo valor 250 de máxima diferença espectral (Figura 13). Os alvos de Mata Úmida e de corpos d'água foram os mais afetados por essa segmentação, gerando segmentos maiores dentro dessas duas classes. Lembra-se que todos esses parâmetros podem mudar a depender da imagem utilizada e/ou dos alvos a serem identificados, dificultando uma reprodução fiel de outros estudos.

Figura 13 – Segunda segmentação (*Spectral Difference Segmentation*) unindo segmentos com pixels parecidos (Detalhe da área urbana da sede municipal de Pacoti em RGB 4-3-2)



Fonte: dados da pesquisa.

Para determinação das classes a serem mapeadas, utilizou-se como base a classificação de Oliveira (2012) e as unidades do Mapa Fitoecológico do IPECE (2020), porém com ajustes para atender a atual pesquisa. Após análise, decidiu-se mapear as seguintes classes: Agropecuária, Áreas Urbanas/Solo Exposto, Corpos D'água, Cultivos (Olericultura), Mata Seca, Mata de Transição e Mata Úmida. Visto a necessidade e característica geomorfológica da escarpa oeste da serra, a classe Sombra foi adicionada para não confundir o *software* com a classe Água, porém, conhecendo as características ambientais da região, salienta-se que a sombra condiz com a classe Mata Seca. Ambas tiveram igual nota nas fases finais de confecção do mapa de susceptibilidade.

Em termos de descrição de cada classe, pode-se fazer algumas observações. A classe Água engloba corpos d'água, sejam eles lagoas, riachos, açudes, entre outros. Na classe Áreas Urbanas/Solo Exposto, preferiu-se unir áreas urbanizadas, como vilarejos, conjunto pequeno de casas e cidades, às regiões de solo exposto pois, além de terem bastante semelhança visual e espectral, representam áreas com alto grau de modificação do ambiente natural, seja por construções ou retirada total da vegetação, potencializando a ocorrência de fenômenos morfogenéticos, como os movimentos de massa. A classe Cultivos (Olericultura) foi separada da classe Agropecuária por exibir uma resposta visual bastante diferente, provavelmente por serem campos de irrigação e com maior estabilidade da área cultivada, sem modificações significativas durante o ano, além de predominarem em superfícies planas. Enquanto a classe Agropecuária abrange locais destinados à policultura ou pastagem, sejam eles temporários, em descanso ou áreas desmatadas, porém sem exposição extrema do solo.

As demais classes são relacionadas aos aspectos vegetacionais naturais da região. A classe Mata Seca, também nomeada Floresta subcaducifólia tropical plúvio-nebular pelo IPECE, corresponde à vegetação de transição entre a caatinga arbustiva densa da depressão

sertaneja circunvizinha e a mata úmida do maciço, expondo vegetação de menor porte, menor densidade e com tendência a ausência de folhas nos períodos secos. A classe Mata Úmida, nomeada pelo IPECE de Floresta subperenifólia tropical plúvio-nebular, se exhibe diferente, com maior densidade, estrato arbóreo e melhor conservação das folhas durante o ano. Analisando visualmente a vegetação, fez-se necessário ter a classe Mata de Transição, que retrata a gradação da Mata Seca para a Mata Úmida, pois ambas possuem, como já exposto, características distintas, além de existirem regiões de sucessão ecológica. Esta última corresponde a classe de Sucessão Ecológica definida por Oliveira (2012).

Em uma primeira fase, através do algoritmo *Assign Class*, optou-se por classificar os corpos d'água, pois eles têm uma resposta visual e espectral mais distinta que os outros alvos. Alternando os valores do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e observando o brilho dos segmentos, pôde-se chegar a um valor de tolerância máxima de 0,37 para o NDVI e 3.800 para o Brilho. O NDVI mais alto explica-se pela presença de corpos d'água com vegetação aquática exposta. Em seguida, fez-se o merge dos segmentos classificados.

Com o resultado da classificação da água, observou-se que alguns segmentos eram regiões de mata seca com menor brilho e áreas de sombra, predominantemente na escarpa oeste da serra. Para retirar os segmentos de mata seca, testou-se os valores da banda do infravermelho próximo. Segmentos da classe Água com valores da banda NIR maiores ou iguais a 3600 e Brilho maior que 3430 foram alocados para os segmentos não classificados, trabalhados na segunda etapa de classificação. A classe sombra foi distinguida da classe água levando em consideração o tamanho e localização do segmento, pois condiziam com a escarpa oeste do maciço. Com isso, segmentos com área maior que 1620 pixels e distantes até 550 pixels da borda esquerda da cena, no eixo X, foram alocados para a classe Sombra.

É importante salientar que o *software* utilizado permite a combinação de mais de um método de classificação e a construção de uma árvore de processo, onde o usuário escolhe os parâmetros e a hierarquia dos algoritmos a serem executados.

Em uma segunda fase, houve a coleta de amostras de treinamento para cada classe observando visualmente a composição RGB 4-3-2, analisando os pontos de controle coletados em campo e a classificação de Oliveira (2012). Ao final da amostragem, totalizaram-se 1568 amostras (Tabela 2). As classes Mata Seca e Mata Úmida tiveram os menores números de amostras por exibirem segmentos maiores na imagem, pois são áreas com características pouco heterogêneas, permitindo o *software* agrupar maior quantidade de pixels em um objeto.

Tabela 2 – Número de amostras por classe

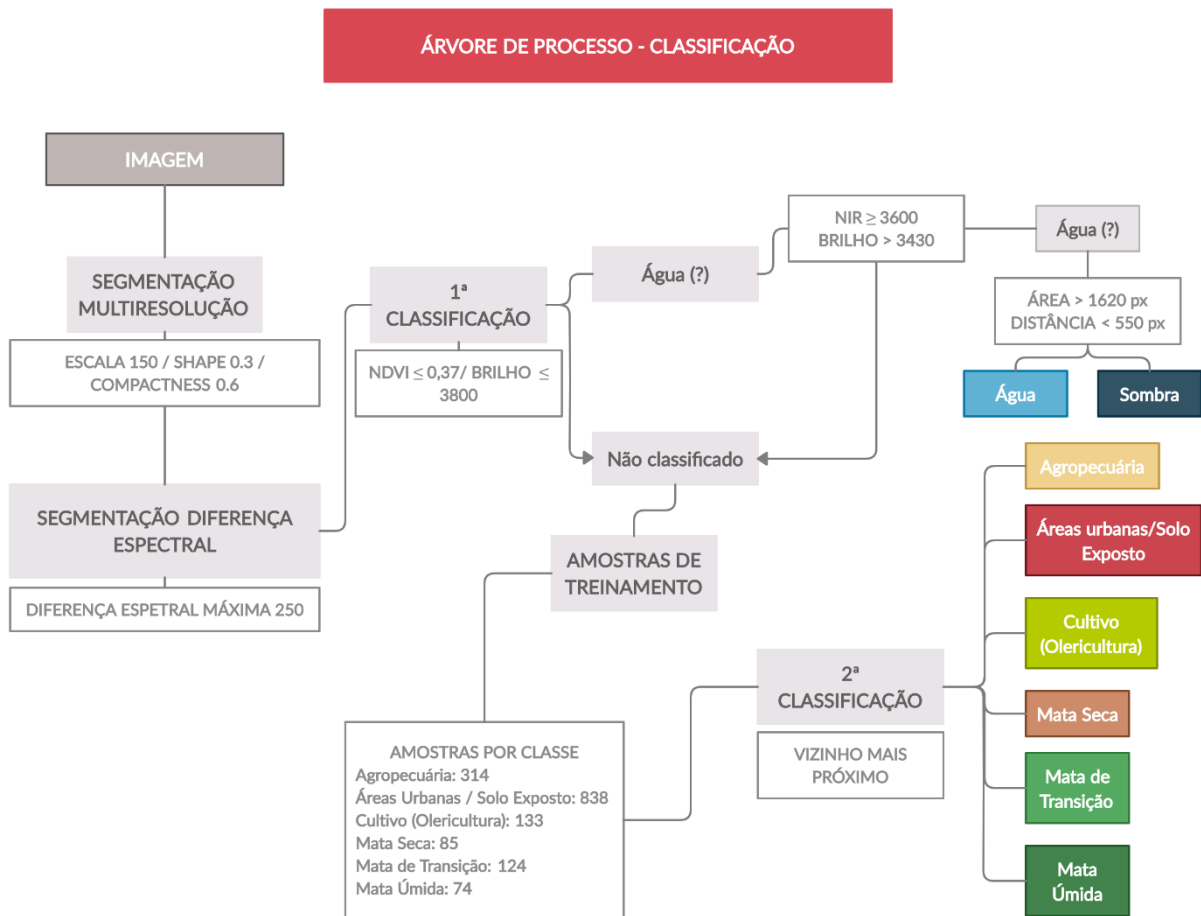
Classe	Nº de amostras
Agropecuária (Geral)	314
Áreas Urbanizadas / Solo Exposto	838
Cultivos (Olericultura)	133
Mata Seca	85
Mata de Transição	124
Mata Úmida	74
Total	1568

Fonte: elaborado pela autora.

Finalmente, pôde-se executar o algoritmo classificador *Standard nearest neighbor*. Com esse classificador, um objeto desconhecido é classificado de acordo com o centro de gravidade do objeto mais próximo, no espaço das feições. O centro de gravidade dos objetos de determinada classe é a média das feições das áreas de treinamento. Nesse processo, todos os objetos desconhecidos são classificados ao mesmo tempo (NUSSBAUM; MENZ, 2008). A árvore de processo da classificação supervisionada aqui descrita está esquematizada na Figura 14.

Houve a exportação dos dados vetoriais para manipulação em ambiente SIG e comparou-se visualmente o produto com a classificação de Oliveira (2012) na busca por erros grosseiros. Estando o resultado aparentemente aceitável, avançou-se para a fase de validação do produto.

Figura 14 – Esquemática do processo de classificação supervisionada



Fonte: elaborado pela autora.

4.4.2 Acurácia da Classificação Supervisionada

Com o intuito de validar o produto gerado na classificação supervisionada, optou-se pela matriz de confusão, que é a medida mais aceita para representar a acurácia temática de um mapa, possibilitando a geração de diversos parâmetros (CONGALTON; GREEN, 2009). Toda essa etapa foi realizada no *software* ArcGis® 10.8.1

A matriz de confusão (Figura 15), também conhecida como matriz de erro, expressa a relação entre as amostras assinadas como uma determinada classe em uma classificação e as amostras de uma classe específica de outra classificação. Geralmente nas colunas ficam os dados de referência, também conhecidos como verdade terrestre, enquanto nas linhas encontra-se a classificação gerada através dos dados de SR para tal comparação. A acurácia geral ou exatidão global é a soma da maior linha diagonal da matriz dividida pelo total de amostras. Além dessa medida, pode-se extrair parâmetros de acurácia individual para cada classe (acurácia do usuário e acurácia do produtor) e o índice Kappa (CONGALTON; GREEN, 2009).

A acurácia do usuário é a divisão entre o número de amostras classificadas corretamente em uma determinada classe e o total de amostras da mesma classe, indicando a porcentagem dos elementos classificados corretamente em relação a verdade terrestre (JANSSEN; WEL, 1994). Em consequência, extrai-se o erro de comissão, que diz se uma área está incluída em uma classe erroneamente (CONGALTON; GREEN, 2009).

A acurácia do produtor é a divisão entre o número de amostras classificadas corretamente em uma determinada classe e o total de amostras da referida classe de referência (verdade terrestre), sinalizando o percentual de amostras da classe de referência corretamente classificadas (JANSSEN; WEL, 1994). Atrelado a esse parâmetro está o erro de omissão, que diz se uma área foi excluída da categoria a que pertence (CONGALTON; GREEN, 2009).

Figura 15 – Exemplo de Matriz de Confusão com os índices de acurácia individual e a exatidão global

		Verdade Terrestre			Total da Linha	Classes
		V	A	U		
Classificação	V	43	10	6	59	V = Vegetação
	A	3	23	5	31	
	U	2	1	30	33	
	Total da Coluna	48	34	41	123	U = Urbano
Acurácia do produtor		Acurácia do Usuário			Exatidão Global	
V = 43/48 = 90%		V = 43/59 = 73%			96/123 = 78%	
A = 23/34 = 68%		A = 23/31 = 74%				
U = 30/41 = 73%		U = 30/33 = 91%				

Fonte: adaptado de Congalton (2001).

O índice Kappa, proposto por Cohen (1960), é uma medida que avalia o grau de concordância ou reprodutibilidade entre dois conjuntos de dados em escalas nominais. Congalton, Oderwald e Mead (1983) introduziu o uso desse índice como uma medida da acurácia em classificações baseadas em dados de SR. O seu cálculo envolve toda a matriz de confusão, abrangendo os erros de omissão e comissão (JANSSEN; WEL, 1994).

O desempenho do Kappa é a estatística KHAT, que é uma estimativa do índice, conforme a fórmula abaixo (CONGALTON, 1991).

$$\hat{k} = \frac{N \sum_{i=1}^l x_{ii} - \sum_{i=1}^l x_{i+} * x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^l x_{i+} * x_{+i}}$$

Onde l é o número de linhas da matriz, x_{ii} é o número de observações na linha i e coluna i , x_{i+} e x_{+i} são, respectivamente, o total marginal da linha i e coluna i e N é o total de observações.

A Tabela 3 demonstra a relação, proposta por Landis e Koch (1977), entre o valor do índice Kappa (0 a 1) e o desempenho dos dados analisados, significando melhor desempenho à medida que o valor se aproxima de 1.

Tabela 3 – Relação entre o índice Kappa e o desempenho da concordância

Índice Kappa	Desempenho
< 0,00	Péssimo
0,00 – 0,20	Ruim
0,21 – 0,40	Razoável
0,41 – 0,60	Bom
0,61 – 0,80	Muito Bom
0,81 – 1,00	Excelente

Fonte: adaptado de Landis e Koch (1977).

Quanto ao número de distribuição das amostras para a validação, Congalton (1991) afirma ser necessário no mínimo 50 amostras por classe, caso a área não ultrapasse 4047 km² ou o número de classes seja menor que 12. O autor ainda recomenda a distribuição desses pontos a depender do objetivo do usuário. Com isso, as amostras foram distribuídas randomicamente, porém respeitando a dimensão de cada classe, o que também é recomendado por Janssen e Wel (1994).

A ferramenta utilizada foi a *Create Accuracy Assessment Points* determinando a estratégia *Stratified Random* para distribuir os pontos de acordo com a área relativa das oito classes, resultando em 418 amostras. Ressalta-se que o dado de entrada deve estar em formato *raster*. Na tabela de atributos dos pontos, a ferramenta relaciona cada amostra a classe à qual pertence na classificação supervisionada, podendo o usuário definir as classes para a coluna de verdade terrestre e posteriormente gerar a matriz de confusão.

Observando cuidadosamente a imagem base PlanetScope e, eventualmente, com auxílio do aplicativo Google Earth, similar ao executado por Ganem *et al.* (2017), fez-se uma interpretação visual das amostras e preencheu-se a coluna de verdade terrestre da tabela.

Finalmente, executou-se a ferramenta *Compute Confusion Matrix* para gerar a matriz de confusão com os erros de omissão e comissão, derivando ainda o índice Kappa e a exatidão global.

4.5 Lineamentos Estruturais

Nesse processo, utilizou-se a imagem ALOS PALSAR como base. De início, aplicou-se filtros direcionais em diferentes azimutes para ressaltar lineamentos estruturais em diferentes direções, como feito por Batista, Veríssimo e Amaral (2014).

O *software Global Mapper* permitiu a aplicação dos filtros direcionais na imagem SAR. A escolha das direções ou azimutes requer uma observação prévia das direções principais dos lineamentos visíveis na imagem. A altitude vai ser determinada em razão do relevo da área, assim uma altitude de luz menor realçará estruturas em relevos mais planos, enquanto relevos mais íngremes aceitam altitudes maiores.

Após testes, determinou-se o valor 60 para altitude em razão do relevo acidentado do maciço. Os azimutes escolhidos foram 0° , 40° e 315° para realçar lineamentos de direção E-W, NW-SE e NE-SW, respectivamente.

No ArcGis® 10.8.1 fez-se a vetorização dos lineamentos negativos identificados visualmente, assim como no trabalho de Damasceno (2018). Segundo Andrades Filho e Fonseca (2009), esse método geralmente é mais eficiente do que o modo automatizado, visto que as feições do terreno podem ocorrer de forma complexa. Ao final da vetorização, uniu-se as linhas pertencentes ao mesmo lineamento. Para o cálculo da média das direções dos lineamentos, alguns lineamentos levemente curvados foram separados em segmentos estritamente retos. Mediu-se a direção e comprimento, em metros, de cada lineamento através da barra de ferramentas *COGO*. Para confeccionar o diagrama de roseta, utilizou-se o *software OpenStereo*.

A partir desses produtos, fez-se o mapa de densidade de lineamentos no ArcGis® por meio da ferramenta *Line Density*, determinando o tamanho da célula 12, resolução aproximada da imagem de radar, e um raio de busca de 1000 metros, pela análise da maior distância entre os pontos de movimentos de massa observados e os lineamentos traçados.

4.6 Distância em relação às estradas

Com o intuito de gerar classes de distância em relação às estradas, utilizou-se as estradas vetorizadas como base para execução da ferramenta *Euclidean Distance*, que dá a distância entre cada célula do *raster* e a feição ou fonte mais próxima.

4.7 Derivação Geomorfométrica

De acordo com Wilson (2012), a Geomorfometria Moderna extrai parâmetros de medida e feições espaciais da topografia digital, ou seja, ela analisa a superfície topográfica de forma quantitativa (VASCONCELOS *et al.*, 2012). A descrição numérica da superfície, amplamente utilizada na Geomorfologia Moderna, torna-se uma fonte de informação cada vez mais confiável para a estimativa de diversos fenômenos, como erosão e fluxo de água, e suas variáveis morfométricas têm grande relevância para o estudo das formas e evolução do relevo (VASCONCELOS *et al.*, 2012; CARMO, 2014).

Para derivação das variáveis geomorfométricas a partir do MDE gerado da imagem ALOS PALSAR, recorreu-se novamente ao ArcGis®. Antes de gerar as variáveis geomorfométricas, aplicou-se a ferramenta *Fill* com o intuito de corrigir pequenas imperfeições/vazios da imagem.

A declividade foi gerada através da ferramenta *slope* do *Spatial Analysis*. Os valores de declividade resultantes são contínuos, assim são apresentados em tons de cinza. Para melhor visualização das classes, se estabelece uma classificação da declividade em rampa de cores. A depender da natureza do estudo, pode-se escolher os limites e números de classes que representarão os valores, seja por meio empírico, seja por classificação já conhecida na literatura.

As curvaturas vertical e horizontal da superfície *raster*, que são a segunda derivada do terreno, são dadas pela ferramenta *curvature*. Na curvatura vertical, os valores negativos indicam que a superfície é convexa e os positivos são referentes às superfícies côncavas, enquanto o valor zero ou próximo deste sugere que a superfície é retilínea. Na curvatura horizontal, os valores positivos referem-se a um padrão divergente das linhas de fluxo e os negativos a um padrão convergente. Os valores nulos mostram que a superfície é planar.

Para a derivação da orientação das vertentes, a ferramenta *aspect* foi aplicada sobre o MDE. Os valores de saída, em cada célula, apontam a direção da bússola da dada superfície, medida em azimute de 0° a 360°. Em áreas planas, sem direção da declividade, o valor atribuído é -1. Por fim, os valores são divididos automaticamente nas seguintes classes: *Flat* (Plano), N, NE, E, SE, S, SW, W e NW.

4.8 Integração dos dados para geração da susceptibilidade

Com as camadas de dados devidamente criadas, fez-se a integração das mesmas em ambiente SIG, ainda no ArcGis®, para geração do mapa final de susceptibilidade. Como método de escolha dos pesos de influência a serem utilizados para cada fator, escolheu-se a técnica AHP. Toda essa etapa está detalhada nos tópicos a seguir.

4.8.1 Técnica AHP

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP), em português conhecido como processo de análise hierárquica, permite ao indivíduo tomar decisões com objetividade matemática, mesmo que estas sejam reflexo de suas preferências pessoais e subjetivas (SAATY, 2001). Esse método tem como objetivo mensurar pesos de forma relativa e não quantitativa, ou seja, diz o quanto uma alternativa é mais importante que outra em uma comparação par a par, a fim de tomar uma decisão (BRUNELLI, 2015). Desde que foi desenvolvido por T. L. Saaty, na década de 70, a simplicidade e capacidade do AHP em permitir decisões complexas possibilitou sua larga utilização em diversas áreas do conhecimento ao redor do mundo (BHUSHAN; RAI, 2004).

Para aplicação da AHP, é necessário seguir algumas etapas. Inicialmente, é recomendado hierarquizar os critérios a serem analisados de acordo com a finalidade ou fenômeno em análise, permitindo uma relação das alternativas pertencentes aos diferentes grupos de critério, resultando na comparação de todos em termos de importância (BHUSHAN; RAI, 2004). O analista tem poder de editar a hierarquia observando que os parâmetros de menor importância podem ser representados nos níveis mais altos e aqueles decisivos são desenvolvidos em níveis de maior profundidade e especificidade (SAATY; VARGAS, 2012). Na etapa seguinte, faz-se uma comparação par a par das alternativas, medida em uma escala de importância qualitativa, que depois é representada por uma escala quantitativa em relação a importância dentro do critério em análise (BHUSHAN; RAI, 2004).

As comparações par a par feitas anteriormente são colocadas em uma matriz em que os elementos da diagonal somam 1. Nessa matriz, a alternativa de uma linha a é predominante sobre a alternativa de uma coluna b se o valor for maior que 1, caso contrário, a alternativa da coluna b é mais relevante. Posteriormente, obtém-se os pesos relativos dos elementos comparados. É necessário calcular o índice de consistência da matriz para saber se a etapa de comparação pareada terá de ser refeita (BHUSHAN; RAI, 2004).

A escala utilizada para comparar os parâmetros de forma pareada, em termos de importância, está demonstrada na Tabela 4.

Tabela 4 – Escala com valores de intensidade utilizada na análise AHP

Intensidade / Importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	As duas alternativas contribuem igualmente ao objetivo
2	Importância fraca	
3	Importância moderada	Experiência e julgamento favorecem levemente uma sobre a outra
4	Importância moderada (+)	
5	Importância forte	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma sobre a outra
6	Importância forte (+)	
7	Importância muito forte ou demonstrada	Uma é favorecida muito fortemente sobre a outra; a dominância é demonstrada na prática
8	Importância muito, muito forte	
9	Importância extrema	A evidência que favorece uma sobre a outra é da mais alta ordem possível de afirmação

Fonte: Saaty e Vargas (2012).

Após comparar os parâmetros, mede-se a consistência da matriz gerada, pois é impossível não haver erros de julgamento na técnica AHP pelo teor subjetivo das preferências do usuário. Então, calcula-se a razão de consistência (*Consistency Ratio – CR*) com base nos valores do índice de consistência (*Consistency Index – CI*) da matriz e do índice de consistência de uma matriz aleatória (*Index of a random-like matrix – RI*) (MU; PEREYRA-ROJAS, 2017), como demonstrado na fórmula abaixo (SAATY; VARGAS, 2001):

$$CR = CI/RI$$

A comparação par a par e a razão de consistência podem ser obtidas por programas de computador ou aplicativos online, que também alertam qual critério requer nova análise. Porém é importante perceber se a sugestão do *software* condiz com a realidade. (SAATY; VARGAS, 2001) afirma que um CR menor que 0,1 ou 10% sinaliza que a matriz está consistente.

4.8.2 Geração dos Mapas de Susceptibilidade

Antes de determinar o peso de cada variável para confecção dos mapas finais através do método AHP, fez-se necessário atribuir notas para suas classes/atributos. Essas notas determinam a maior ou menor relação da classe com o fenômeno estudado e também padronizam as variáveis, pois estas podem se diferir entre quantitativas e qualitativas. Dentro da literatura há uma variedade de intervalo de valores para essa etapa, dependendo da escolha do autor.

Seguindo os trabalhos de Carmo *et al.* (2016) e Freires (2020), ambos com premissas semelhantes a atual pesquisa em maciços do Ceará, preferiu-se assumir o padrão de intervalo 0 a 10. Assim, valores próximos a 0 condizem com uma baixa probabilidade de ocorrência do fenômeno naquele nível de atributo, enquanto valores próximos a 10 ditam uma maior probabilidade de ocorrência. As notas foram escolhidas pelo conhecimento da área estudada, observando a relação das cicatrizes de movimentos de massa com as camadas de cada variável, e também por meio dos trabalhos de autores que trabalharam no Maciço de Baturité ou em outros maciços do Ceará.

As camadas tiveram seu tamanho de pixel padronizado para 12,5 m, que é o tamanho do pixel da imagem ALOS de onde vieram as variáveis geomorfométricas. A atribuição das notas no ArcGis[®] se deu pela ferramenta *Reclassify* que, basicamente, muda os valores de um *raster*.

O próximo passo foi utilizar o AHP para obter os pesos em porcentagem de cada variável já padronizada, sempre observando o CR. Finalmente, pôde-se iniciar a geração dos mapas finais através da soma do produto de cada camada multiplicada por seu peso, fórmula bastante utilizada em trabalhos dessa natureza, como os de Pourghasemi, Pradhan e Gokceoglu (2012) e Jazouli, Barakat e Khellouk (2019).

Aqui, optou-se por gerar dois mapas: um apenas com variáveis essencialmente naturais (Fórmula 1) e outro com todas as variáveis (Fórmula 2). Abaixo encontram-se as fórmulas adaptadas para cada mapa.

$$\text{MSNMM} = (\text{Declividade} * P_{\text{AHP}}) + (\text{Orientação das Vertentes} * P_{\text{AHP}}) + (\text{Curv. Vertical} * P_{\text{AHP}}) + (\text{Curv. Horizontal} * P_{\text{AHP}}) + (\text{Geologia} * P_{\text{AHP}}) + (\text{Densidade de Lineamentos} * P_{\text{AHP}}) \quad (1)$$

$$\text{MSMM} = (\text{Declividade} * P_{\text{AHP}}) + (\text{Orientação das Vertentes} * P_{\text{AHP}}) + (\text{Curv. Vertical} * P_{\text{AHP}}) + (\text{Curv. Horizontal} * P_{\text{AHP}}) + (\text{Geologia} * P_{\text{AHP}}) + (\text{Densidade de Lineamentos} * P_{\text{AHP}}) +$$

$$\frac{(\text{Distância em relação às Estradas} * P_{\text{AHP}}) + (\text{Cobertura e Uso da Terra} * P_{\text{AHP}})}{P_{\text{AHP}}} \quad (2)$$

Onde, MSNMM é o Mapa de Susceptibilidade Natural a Movimentos de Massa, MSMM é o Mapa de Susceptibilidade a Movimentos de Massa e o P_{AHP} é o peso em porcentagem dado pelo método AHP. Há diversas maneiras de se chegar ao produto final, aqui escolheu-se a ferramenta *Weighted Overlay* para sobreposição das variáveis.

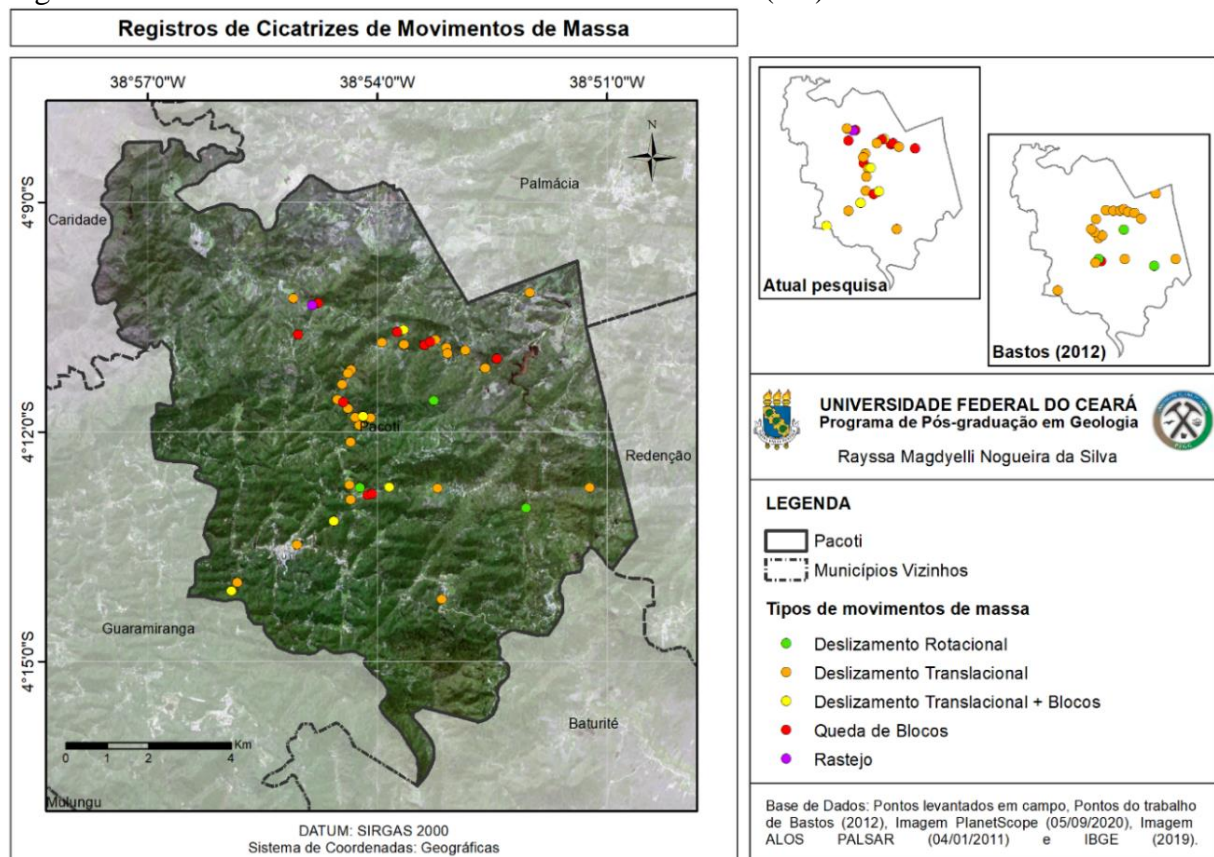
O *raster* final foi classificado em 5 classes de susceptibilidade: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Cicatrizes de Movimentos de Massa

No estudo desenvolvido foram identificadas 24 cicatrizes de movimentos de massa no município, sendo agrupadas em 4 classes, que são: Deslizamento Translacional, Deslizamento Translacional + Queda de Blocos, Queda de Blocos e Rastejo. A esses pontos, somou-se 21 registros do estudo de Bastos (2012), totalizando 45 pontos de cicatrizes de movimentos de massa, conforme pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 – Cicatrizes de movimentos de massa em Pacoti (CE)



Fonte: elaborado pela autora.

A quantidade de registros por tipo de movimento de massa está discriminada na Tabela 5. Os deslizamentos rotacionais não foram identificados em campo, porém Bastos (2012) levantou três pontos dessa tipologia em seu estudo. A maior cicatriz de movimento de massa do maciço encontrada pelo autor foi em Pacoti, com uma cicatriz circular de aproximadamente 100 metros de extensão e alguns hectares de área de deposição. Nesse ponto

observou-se intensa atividade agrícola com cultivos de milho e regiões desmatadas. Os movimentos rotacionais, mesmo sendo minoria na área, são capazes de carrear grande quantidade de material.

Tabela 5 – Número de registros por tipo de movimento de massa

Tipo de Movimento de Massa	Atual Pesquisa	Bastos (2012)
Deslizamento Rotacional	-	3
Deslizamento Translacional	10	17
Deslizamento Translacional + Queda de Blocos	5	-
Queda de Blocos	8	1
Rastejo	1	-
Total	24	21

Fonte: dados da pesquisa.

Dentre os registros encontrados em campo, a maioria estão na classe dos Deslizamentos Translacionais (Figura 17A e 17B), localizados predominantemente ao longo das rodovias principais. A classe Deslizamento Translacional + Queda de Blocos (Figura 17C e 17D) engloba os movimentos complexos com a predominância do primeiro sobre o segundo, carreando blocos, geralmente pequenos, de até 1 metro de comprimento. A classe Queda de Blocos (Figura 17E, 17F e 17G) abriga movimentos com blocos maiores com indícios de serem oriundos de eventos antigos, como também constatado por Bastos (2012) em um dos pontos de registro em comum, onde os blocos encontram-se em meio a um bananeiral. Também ocorrem blocos menores, porém sem associação com deslizamento. Em um ponto, observou-se a ocorrência de rastejo – um movimento lento, mas que pode anunciar um evento futuro mais violento – evidenciado por um poste de energia elétrica pendendo para o sentido de mergulho da vertente (Figura 17H).

Figura 17 – Exemplos de movimentos de massa encontrados em Pacoti: A) Deslizamento Translacional recente na rodovia CE-253 (Latitude -4.236368361° /Longitude -38.885824972°), B) Deslizamento Translacional antigo, já em fase de recuperação da vegetação, dentro do perímetro urbano da sede municipal, C) Deslizamento Translacional + Queda de Blocos em estrada secundária na zona rural, D) Deslizamento Translacional + Queda de Blocos na CE-065, próximo a sede municipal, E) Queda de Blocos na CE-065, provavelmente mais antigo, F) Queda de Blocos em estrada secundária da zona rural com blocos rochosos retangulares de ~ 2 m de comprimento, G) Bloco rochoso entre um bananeiral provavelmente participante de evento antigo de Queda ou Rolamento de Blocos e H) Poste de energia elétrica inclinado indicando movimento lento de Rastejo em zona rural





Lat -4. 173524693° / Long -38. 909868240°



Lat -4. 173923563° / Long -38. 911482944°

Fonte: dados da pesquisa.

A CE-065 foi onde localizou-se a maior parte dos registros, totalizando 14 pontos, estando a maioria classificada como deslizamento translacional (6 pontos) e queda de blocos (5 pontos). No estudo de Bastos (2012) encontrou-se o mesmo padrão, com 15 pontos dentro da CE-065. Batista (2014) caracterizou essa rodovia, no trecho Palmácia-Pacoti, como uma das áreas de maior susceptibilidade ao fenômeno no Maciço. As outras cicatrizes encontram-se na CE-253 e em estradas secundárias do município, estando uma dentro do limite da sede municipal.

Destaca-se a dificuldade de acesso a muitos locais do município, de acordo com os materiais disponíveis para a pesquisa, em decorrência de estradas em péssimas condições de tráfego e relevo acidentado. Como consequência, é possível que exista um número maior de cicatrizes de movimentos de massa do que as registradas em campo. A Figura 18 mostra uma possível cicatriz em um local inacessível, dadas as circunstâncias. Outra observação é a dificuldade de mapeá-las através de imagens de satélite gratuitas, em geral com resoluções espaciais moderadas, por terem pequena dimensão quando comparadas às cicatrizes de outros ambientes, como as da borda oriental da Bacia do Paraná, que mapeadas por Brito (2015) através de imagens Landsat 5-TM.

Além dos tipos de movimentos citados, encontrou-se áreas com ravinamento (3 pontos), caracterizado por ser um processo erosivo importante na desestabilização da vertente e relacionado, em muitos casos, ao fenômeno em foco (Figura 19). Esses pontos encontram-se em locais modificados, seja por abertura de estradas ou por ausência de saneamento básico adequado. Por não ser o foco desse estudo, é possível que existam áreas maiores com esse processo erosivo.

Figura 18 – Possível cicatriz de movimento de massa em local de difícil acesso

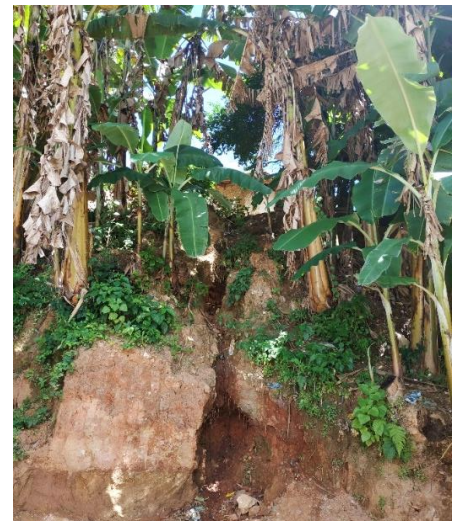


Fonte: dados da pesquisa.

Figura 19 – Ravinamento em vertentes modificadas por ações antrópicas, com exposição de solo residual jovem



Lat -4. 223385497761585° / Long -38. 91416974360954°



Lat -4.212649417° /
Long -38.882398556°

Fonte: dados da pesquisa.

Para discussão das variáveis e definição dos pesos, não se analisou exclusivamente a localização dos movimentos de massa, pois estes estão associados, em grande parte, aos taludes artificiais das estradas. Salienta-se que a abertura de estradas pode adiantar um evento em uma região que já exibe as condições naturais que predisõem o fenômeno. Com isso, além da localização dos registros, considerou-se as informações achadas na literatura, principalmente em áreas semelhantes do Ceará.

5.2 Variáveis de Entrada

Pinto, Passos e Caneparo (2013), a partir da análise de 36 pesquisas relacionadas ao estudo de movimentos de massa, observaram que os condicionantes mais utilizados são a declividade (92%), forma das vertentes (55%), a litologia (53%), a cobertura vegetal (53%), o uso da terra (47%) e a altitude (47%). No presente estudo, escolheu-se, como dados de entrada para o mapa final, variáveis geomorfométricas (declividade, orientação das vertentes, curvaturas vertical e horizontal), geologia, densidade de lineamentos, distância em relação às estradas e cobertura e uso da terra.

Em contrapartida, optou-se por não utilizar a variável de solo, mesmo sendo recorrente em trabalhos semelhantes. A decisão se embasa no fato de que as classes de solos PVAe6 (86,84% da área) e PVAe2 (13,16% da área) enquadram-se, em 1ª ordem, apenas como Argissolos. O mapeamento da FUNCEME (2018) esclarece que existem outros tipos de solo (Neossolo e Cambissolo) em menores proporções em Pacoti, porém não são delimitados no mapa e há escassez de dados mais concretos como ensaios e mapeamentos detalhados de outras fontes. Em adição, o mapeamento pedológico não está como objetivo da presente pesquisa, impedindo uma correlação destes com os movimentos de massa.

A seguir, serão apresentados os mapas resultantes de cada variável e as considerações acerca das mesmas, entre elas o número de Cicatrizes de Movimentos de Massa (CMM) por classe.

5.2.1 Variáveis Geomorfométricas

A declividade, orientação das vertentes e curvaturas vertical e horizontal foram extraídas da imagem de radar ALOS PALSAR em ambiente SIG, apresentado no Tópico 4.7.

Sabe-se que a declividade tem maior influência sobre os movimentos de massa do que sobre a erosão, pois o primeiro fenômeno se relaciona à força gravitacional enquanto no segundo predomina a componente hidráulica (BATISTA, 2014).

Biasi (1992) explana que o autor tem a liberdade de definir os limites das classes de declividade para representação do mapa, porém é interessante observar as leis em vigor que abrangem a declividade como parâmetro e/ou trabalhos acadêmicos já consagrados. A classificação padrão escolhida como base foi a da Embrapa (1979), porém optou-se por modificar certos limites das classes para adequação ao relevo da área e melhor visualização, respeitando a descrição do relevo já conhecida. Na Tabela 6, verifica-se que as maiores áreas condizem com as declividades no range de 8% a 45% ou de Ondulado a Forte Ondulado, estando o intervalo de 20 a 30% com o maior número de CMM. O mapa de declividade encontra-se na Figura 20.

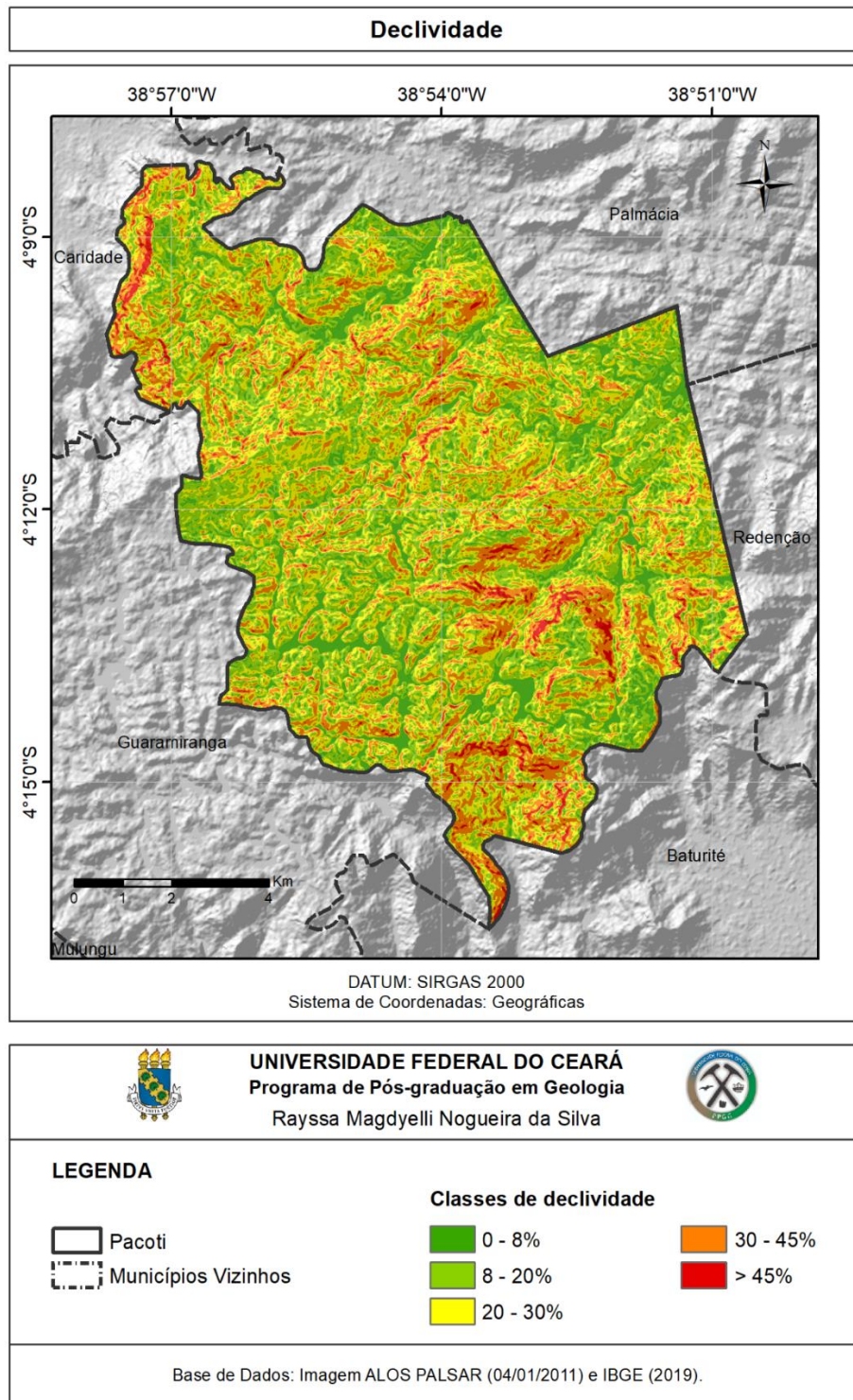
Tabela 6 – Classes de Declividade com suas respectivas áreas e CMMs

Declividade (%)	Descrição	Área (%)	CMM
0 - 8	Plano a Suave Ondulado	10,78	4
8 - 20	Ondulado	29,12	11
20 - 30	Forte Ondulado 1	30,99	23
30 - 45	Forte Ondulado 2	24,27	7
> 45	Montanhoso a Escarpado	4,84	-
Total		100	45

Fonte: adaptado de Embrapa (1979) e dados da pesquisa.

Como muitos dos pontos foram registrados nos limites das estradas, a declividade nesses locais não é condizente com a declividade real da vertente fonte do fenômeno, como, por exemplo, a existência de 4 pontos na classe de 0 a 8% de declividade. Porém, analisando ponto a ponto percebeu-se que as vertentes relacionadas às cicatrizes têm valor predominante na classe Forte Ondulado 1, Forte Ondulado 2 e Montanhoso a Escarpado. Por esse motivo, aplicou-se notas maiores nas declividades acima de 20%, que detêm alta probabilidade de desencadear os movimentos por gravidade.

Figura 20 – Mapa de Declividade



Fonte: elaborado pela autora.

Por outro lado, a orientação das vertentes permite verificar qual lado da vertente recebe maior aporte de chuvas, o que influencia no aumento da velocidade de saturação e, consequentemente, no movimento de massa. Porém a saturação depende de outros fatores, como a capacidade de infiltração do solo/rocha, porosidade, matéria orgânica, cobertura da terra

e da sazonalidade climática (POURGHASEMI; PRADHAN; GOKCEOGLU, 2012). O mapa dessa variável encontra-se na Figura 21.

Salienta-se que a direção do vento e da chuva também permitem o desenvolvimento da vegetação. Como afirmado por Batista (2014), o Maciço de Baturité recebe ventos que vem de leste para oeste, variando no quadrante NE, influenciando na maior densidade de vegetação nas vertentes NE e E, contrastando das vertentes SW, W e NW, com vegetação de menor porte.

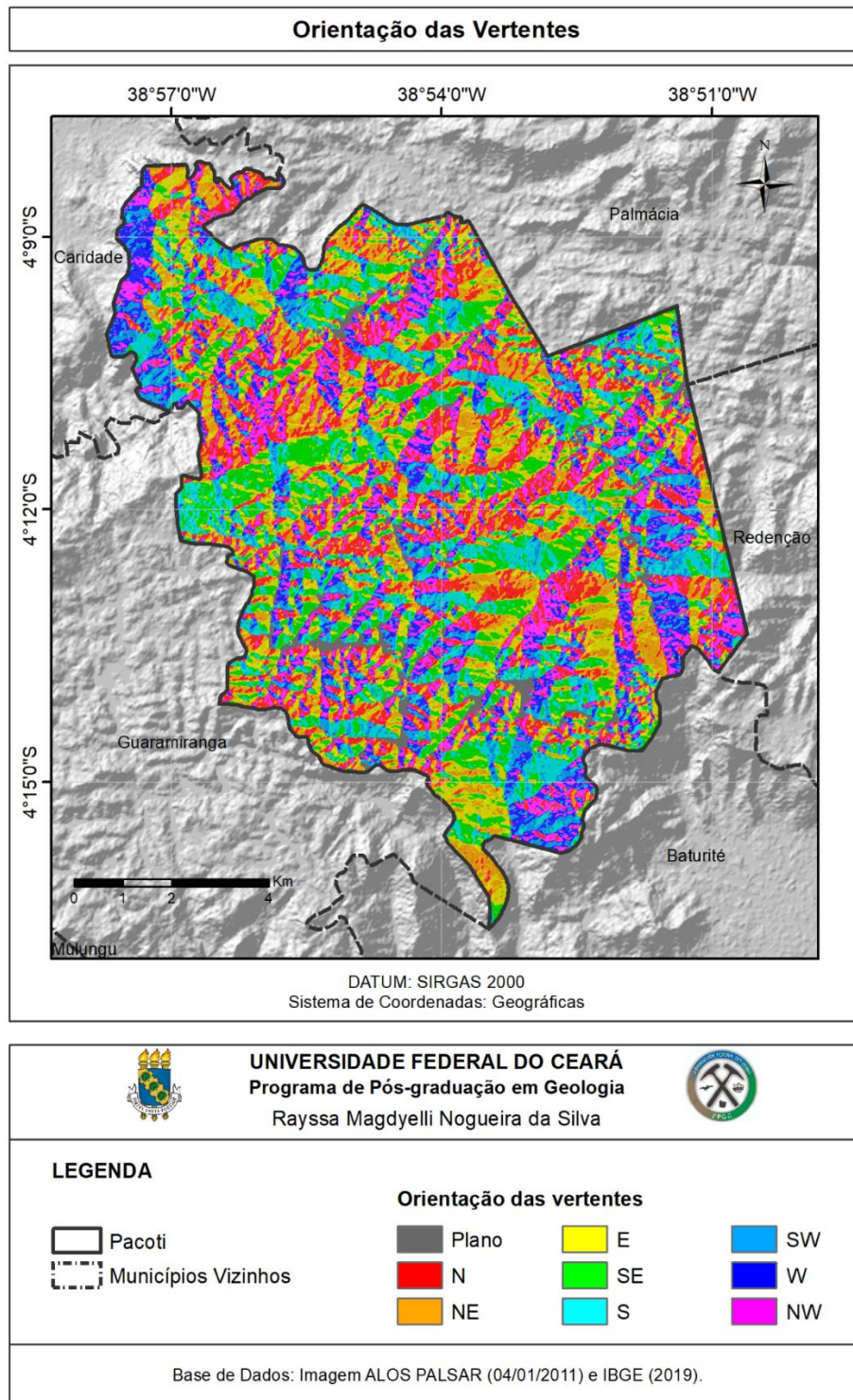
Em Pacoti, as orientações predominantes em área são a SE e N (Tabela 7). Em relação aos registros, estes se concentram nos quadrantes NE e SE, provavelmente pela direção de incidência da chuva no período chuvoso, onde há forte desenvolvimento desse fenômeno no município. Diante desse cenário, as notas maiores se relacionam às orientações dos quadrantes NE e SE, restando notas menores para os quadrantes SW e NW, que também exibiram cicatrizes de movimentos de massa, porém em menor quantidade.

Tabela 7 – Classes de Orientação das Vertentes com suas respectivas áreas e CMMs

Orientação das Vertentes	Área (%)	CMM
Plano	3,27	2
N	14,5	4
NE	13,97	4
E	13,11	7
SE	14,64	10
S	11,07	9
SW	8,4	6
W	9,13	-
NW	11,91	3
Total	100	45

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 21 – Mapa de Orientação das Vertentes

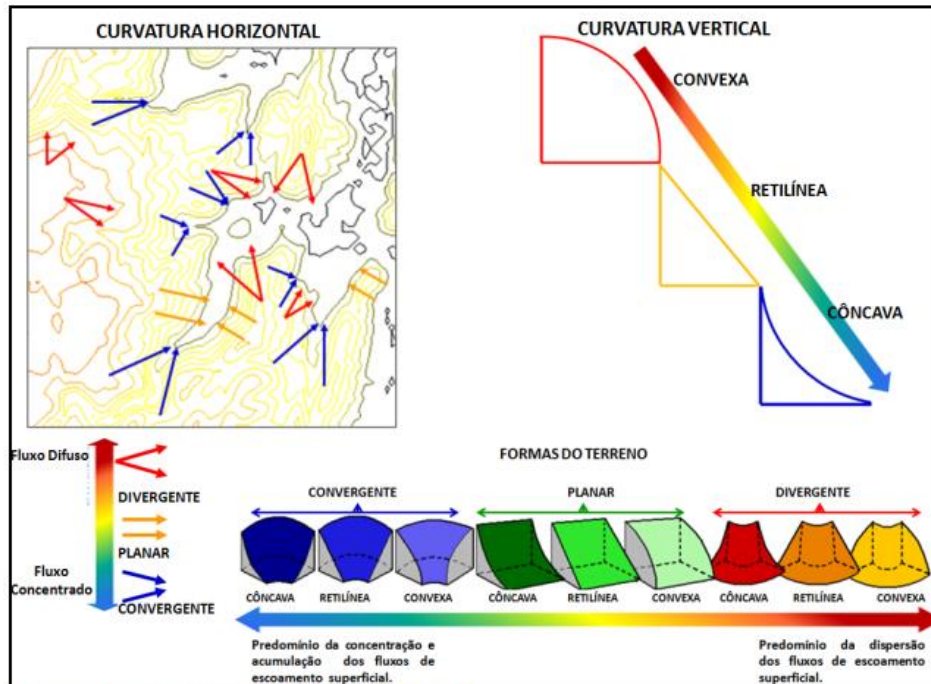


Fonte: elaborado pela autora.

Prosseguindo com as variáveis, em termos sucintos, a curvatura vertical exhibe o caráter côncavo, retilíneo ou convexo da vertente, enquanto a curvatura horizontal diz se tal superfície é convergente, planar ou divergente. Essas variáveis são importantes em processos de deslocamento e acúmulo de materiais, principalmente a água, pela gravidade, atuando no

equilíbrio entre a pedogênese e a morfogênese (VALERIANO, 2008). Na Figura 22, vê-se claramente a diferença entre essas variáveis e a sua relação com a concentração de fluxo e o escoamento superficial em uma encosta.

Figura 22 – Ilustração das curvaturas vertical e horizontal, bem como as formas do terreno



Fonte: Neto (2013), adaptado de Valeriano (2008).

Quando essas duas curvaturas são combinadas, chega-se à forma do terreno. Assim, vertentes de comprimento curvo e largura curva respondem por processos complexos de morfogênese, estando o caráter convergente-côncavo preferencialmente próximo a ocorrência de escoamento concentrado ou acumulação do fluxo superficial (CASSETI, 1995).

Analisando o mapa de curvaturas vertical e horizontal (Figura 23) é possível concluir que a curvatura vertical (Tabela 8) tem sua área distribuída principalmente nas classes Côncavo e Convexo, totalizando 89,24% da área, estando a primeira com 31 das 45 cicatrizes de movimento. Provavelmente esse padrão decorre da maior acumulação de fluxo em superfícies côncavas e, conseqüentemente, acréscimo da saturação do solo/rocha. Já a curvatura horizontal soma, em área, 85,3% de caráter Divergente e Convergente (Tabela 9). Essas duas classes são próximas em número de cicatrizes, com um leve acréscimo nas superfícies Convergentes, com 21 registros.

Tabela 8 – Classes de Curvatura Vertical com suas respectivas áreas e CMMs

Curvatura Vertical	Área (%)	CMM
Convexo	43,37	8
Retilíneo	10,76	6
Côncavo	45,87	31
Total	100	45

Fonte: dados da pesquisa.

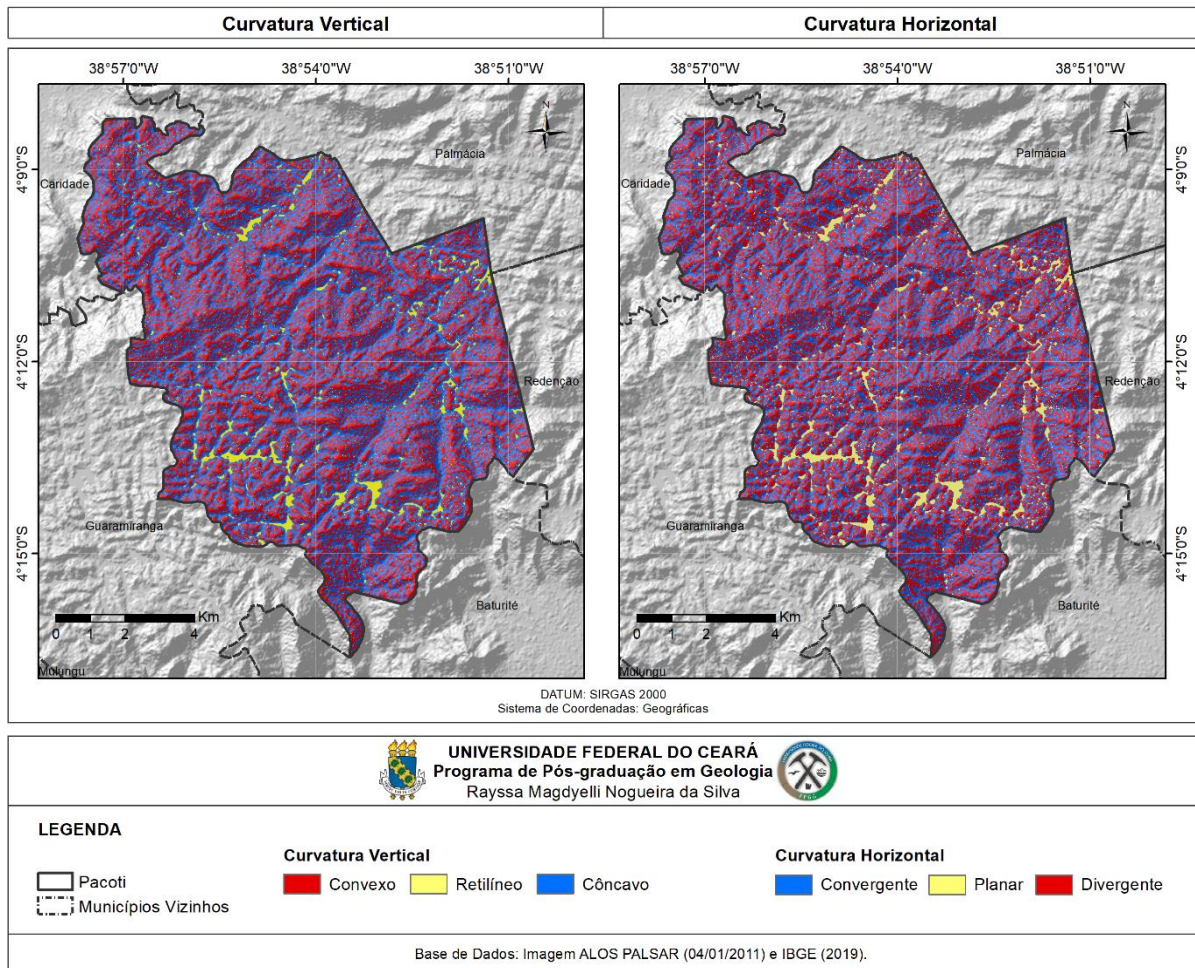
Tabela 9 – Classes de Curvatura Horizontal com suas respectivas áreas e CMMs

Curvatura Horizontal	Área (%)	CMM
Convergente	40,60	21
Planar	14,70	5
Divergente	44,70	19
Total	100	45

Fonte: dados da pesquisa.

Analisando as formas do terreno, conclui-se que a maioria dos registros, 18 pontos, estão em vertentes Convergentes-Convexas, as mesmas que Casseti (1995) exemplifica como atenuadoras dos processos morfogenéticos. Diante dessas informações, as maiores notas relacionam-se aos caracteres Côncavo e Convergente.

Figura 23 – Mapas de Curvatura Vertical e Horizontal



Fonte: elaborado pela autora.

5.2.2 Geologia

Resumidamente, a geologia de Pacoti é composta por rochas metamórficas e graníticas (Tabela 10). Há a predominância de paragnaisses, migmatizados em diferentes graus, da Unidade Independência (Complexo Ceará), de idade neoproterozoica (Toniano ao Criogeniano), que também abriga metacarbonatos calcínicos e/ou dolomíticos, micaxistos, quartzitos e corpos lenticulares de quartzitos micáceos. Em menor extensão na área, encontram-se os migmatitos e os sienogranitos e granodioritos (Granitoide Santa Quitéria) do Complexo Tamboril-Santa Quitéria, do Ediacarano. A geologia da área encontra-se mais detalhada no Tópico 2.1, assim como o mapa geológico.

Através da correlação das informações litológicas com as cicatrizes de movimentos, observou-se que a grande parcela destes, 27 pontos ou 60%, encontra-se onde predominam micaxistos e corpos menores de quartzitos da Unidade Independência (NP2ciqx). Os xistos são

rochas metamórficas com zonas de fraqueza e descontinuidades que facilitam o intemperismo por meio da infiltração e percolação de água, além de facilitarem a ocorrência de movimentos de massa se o sentido do mergulho de suas camadas for em direção à estrada (FERNANDES; AMARAL, 2000; BIGARELLA *et al.*, 2003).

A correlação entre as cicatrizes e a geologia mostrou ainda que 14 pontos se relacionam aos metatexitos e diatexitos do Complexo Tamboril-Santa Quitéria (NP3tsm) e que 4 pontos estão nos gnaisses, geralmente migmatizados, da Unidade Independência (NP2ci). Essas rochas, se comparadas aos xistos, são mais maciças, porém as fraturas existentes colaboram no intemperismo e, conseqüentemente, na desestabilização da vertente.

Batista (2014), analisando a susceptibilidade a movimentos de massa no maciço como um todo, afirma que os setores mais susceptíveis exibem a ocorrência de xistos, que são rochas com descontinuidades. O autor deu pesos maiores aos gnaisses e xistos do maciço.

Com base nessas observações, o maior peso foi dado à Unidade Independência (xisto e quartzito), seguida dos Migmatitos do CTSQ e os gnaisses da Unidade Independência. As demais unidades receberam peso em decorrência das características de coesão e homogeneidade da rocha.

Tabela 10 – Resumo da geologia de Pacoti

Complexo	Unidade	Símbolo	Litologia	Área (%)	CMM
CTSQ	Granitóide Santa Quitéria	NP3ytsq	Sienogranitos e granodioritos, predominando granitoides porfiríticos gnáissicos	0,72	-
CTSQ	Migmatitos	NP3tsm	Metatexitos e diatexitos	33,19	14
CC	Unidade Independência (paragnaisses migmatíticos)	NP2ci	Gnaisses, em sua maioria paraderivados, geralmente migmatizados	18,84	4
CC	Unidade Independência (metacarbonato)	NP2cica	Metacarbonatos calcíticos e/ou dolomíticos	0,66	-
CC	Unidade Independência (xisto e quartzito)	NP2ciqx	Predominância de micaxistos e quartzitos	44,51	27
CC	Unidade Independência (quartzito)	NP2ciq	Predominância de corpos lenticulares de quartzitos micáceos	2,08	-
Total				100	45

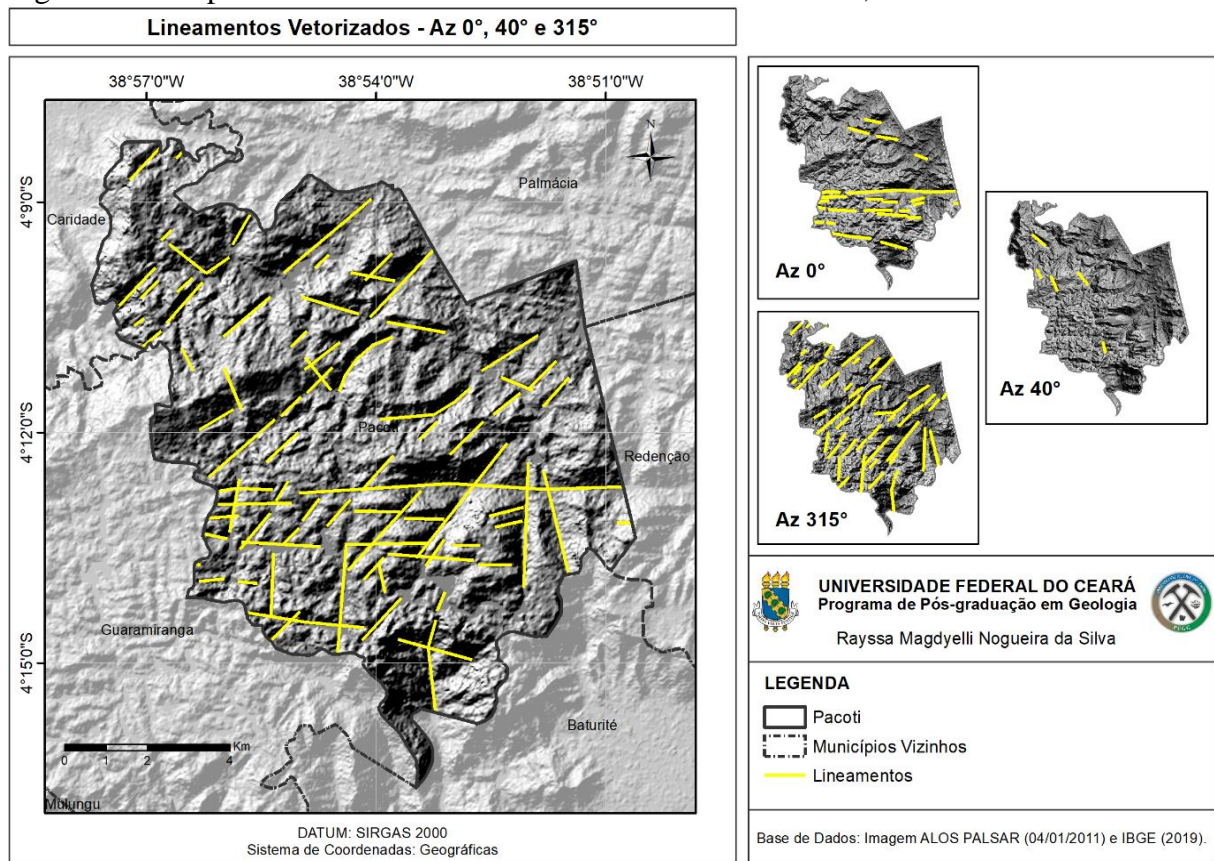
Fonte: adaptado de Pinéo (2017).

CTSQ: Complexo Tamboril-Santa Quitéria; CC: Complexo Ceará.

5.2.3 Densidade de Lineamentos

As feições estruturais do maciço influenciam no modelamento do relevo em processos de dissecação das vertentes e vales, além de influenciar na deflagração dos movimentos de massa, principalmente no setor nordeste da serra (BATISTA; VERÍSSIMO; AMARAL, 2014; MOTA *et al.*, 2017). Os lineamentos vetorizados seguindo as imagens com filtros direcionais – Az 0°, Az 45° e Az 315° – totalizaram 82 feições, que estão representadas na Figura 24.

Figura 24 – Mapa com os lineamentos vetorizados nos azimutes 0°, 40° e 315°



Fonte: elaborado pela autora.

Para discriminação básica das famílias dos lineamentos (Tabela 11), optou-se por permitir a variação em 10°, para mais ou para menos, nas direções N-S e E-W, definindo-se as seguintes classes: N-S (350° a 10° ou 170° a 190°), NE-SW (11° a 79° ou 191° a 259°), E-W (80° a 100° ou 260° a 280°) e NW-SE (101° a 169° ou 281° a 349°).

Tabela 11 – Discriminação básica dos lineamentos

Direção Principal	População	Comprimento médio (m)
N-S	5	2022,17
NE-SW	48	1043,80
E-W	17	1670,71
NW-SE	12	1092,11
Total	82	-

Fonte: dados da pesquisa.

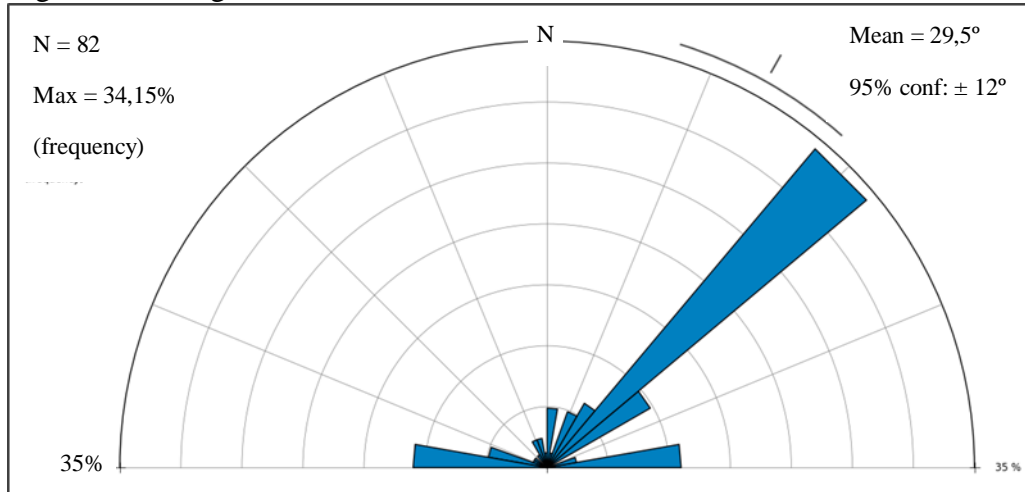
O comprimento médio de todas as feições é de 1240,50 metros, sendo a família N-S a de maior média, com 2022,17 metros, o que difere da sua população, que é a menor entre as analisadas (5 lineamentos). Embora a família E-W não tenha a maior média de comprimento, ela abriga o maior lineamento identificado, de 7847,46 metros. Essa feição coincide com uma zona de cisalhamento transcorrente mapeada na Folha SB 24-X-A-I Baturité (PINÉO E ZWIRTES, 2013) e que pode ser observada no mapa apresentado na Figura 8. Os lineamentos E-W próximos a essa feição podem estar associados também a zona de cisalhamento contracional de Pacoti. Essa estrutura marca o contato litológico entre o Complexo Tamboril Santa Quitéria e as rochas da Unidade Independência por meio de um cavalgamento, a oeste e sul, e cisalhamento compressional sinistral a leste (PINÉO, 2017).

Em adição, o lineamento E-W, que acompanha longitudinalmente a sede municipal, coincide com a calha do Rio Pacoti, o qual possui nascentes localizadas na vertente setentrional do Maciço de Baturité, nos municípios de Pacoti e Guaramiranga, percorrendo cerca de 112,5 Km até chegar ao município litorâneo de Aquiraz (QUEIROZ *et al.*, 2017). Nesse setor há uma maior susceptibilidade à inundação em períodos chuvosos, fenômeno este associado aos movimentos de massa, como ocorreu em 2009, ocasionando a destruição de residências, comércios, estruturas públicas e plantações (OLIVEIRA, 2018).

A família NE-SW abriga a maior população, com 48 lineamentos, cerca de 58,5% do total de feições. O diagrama de roseta (Figura 25) demonstra essa concentração, com média geral de 29,5°. Algumas das discontinuidades dessa família coincidem com falhas, interpretadas pela magnetometria, e com traços de foliação da Folha Baturité. Segundo Pinéo (2017), as foliações NE-SW foram geradas na primeira fase de deformação de tectônica tangencial compressional (Dn) que atuou na região. A deformação Dn teve esforços máximos de direção aproximada NW-SE, gerando foliações de baixo ângulo com direção NE-SW (Sn).

O autor ainda propõe uma segunda fase de deformação ($D_n + 1$), de direção NE-SW, que ocasionou a inflexão e verticalização de S_n , desenvolvendo foliação $S_n + 1$ e zonas de cisalhamento transcorrentes ($S_n + 2$). Esse regime resultou no cavalgamento e cisalhamento compressional sinistral do Complexo Tamboril-Santa Quitéria com as rochas da Unidade Independência.

Figura 25 – Diagrama de Roseta dos lineamentos

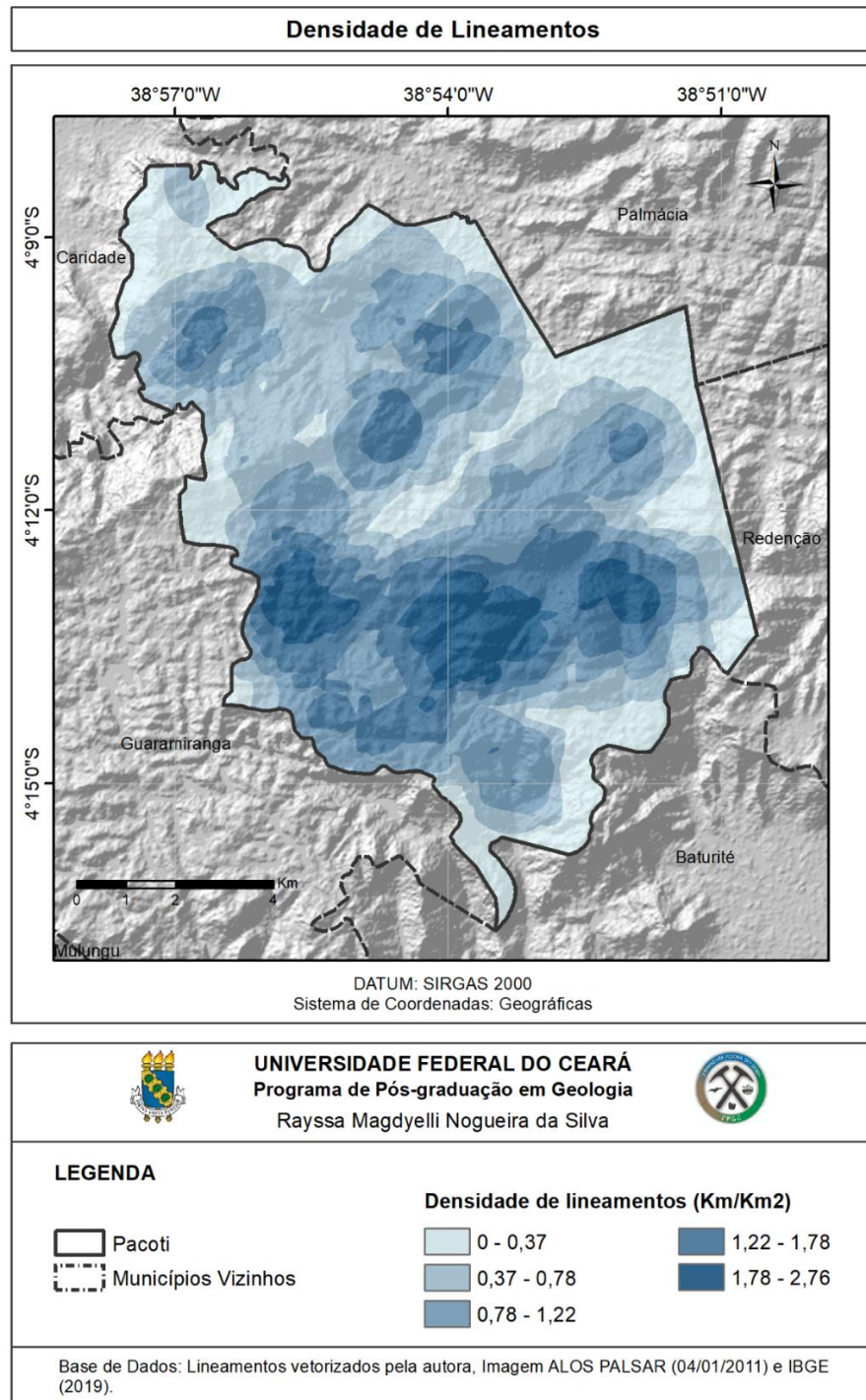


Fonte: elaborado pela autora.

A partir dos lineamentos vetorizados, fez-se o mapa de densidade de lineamentos (Figura 26), calculado em distância por unidade de área (km/km^2), que entra como uma das variáveis na geração do mapa de susceptibilidade. Escolheu-se o método *Natural Breaks* para separar as classes de densidade. Este algoritmo é responsável por maximizar as diferenças entre as classes, pois identifica as quebras de valores entre elas, agrupando valores mais similares.

A região de maior densidade localiza-se no centro-sul do município e relaciona-se à zona de cisalhamento transcorrente de direção E-W, já citada anteriormente, assim como aos lineamentos, majoritariamente de mesma direção, que a acompanham.

Figura 26 – Mapa de Densidade de Lineamentos



Fonte: elaborado pela autora.

Associando os registros a essa variável (Tabela 12), encontrou-se um padrão diferente do esperado, pois 16 deles encontram-se em uma classe de menor densidade de lineamentos. Porém, sabe-se que esses intervalos variam de acordo com o número de classes definido para visualização e, ainda, quando se vê apenas o mapa dos lineamentos vetorizados, grande parte dos registros encontram-se próximos a lineamentos, mesmo que isolados, o que

influencia fortemente na classe de densidade a qual pertencem. Além disso, as áreas correspondentes à maior classe de densidade encontram-se na porção centro-sul do município, onde há a predominância de mata úmida, um forte agente estabilizador das encostas.

Assim, decidiu-se continuar com pesos maiores para as classes de maior densidade de lineamentos, porém com pesos próximos entre elas, diferente de variáveis mais discrepantes, como a distância em relação às estradas.

Tabela 12 – Classes de Densidade de Lineamentos com suas respectivas áreas e CMMs

Densidade de Lineamentos (Km/Km ²)	Área (%)	CMM
0 – 0,37	21,53	8
0,37 – 0,78	27	16
0,78 – 1,22	27,25	9
1,22 – 1,78	16,67	8
1,78 – 2,76	7,55	4
Total	100	45

Fonte: dados da pesquisa.

5.2.4 Distância em relação às estradas

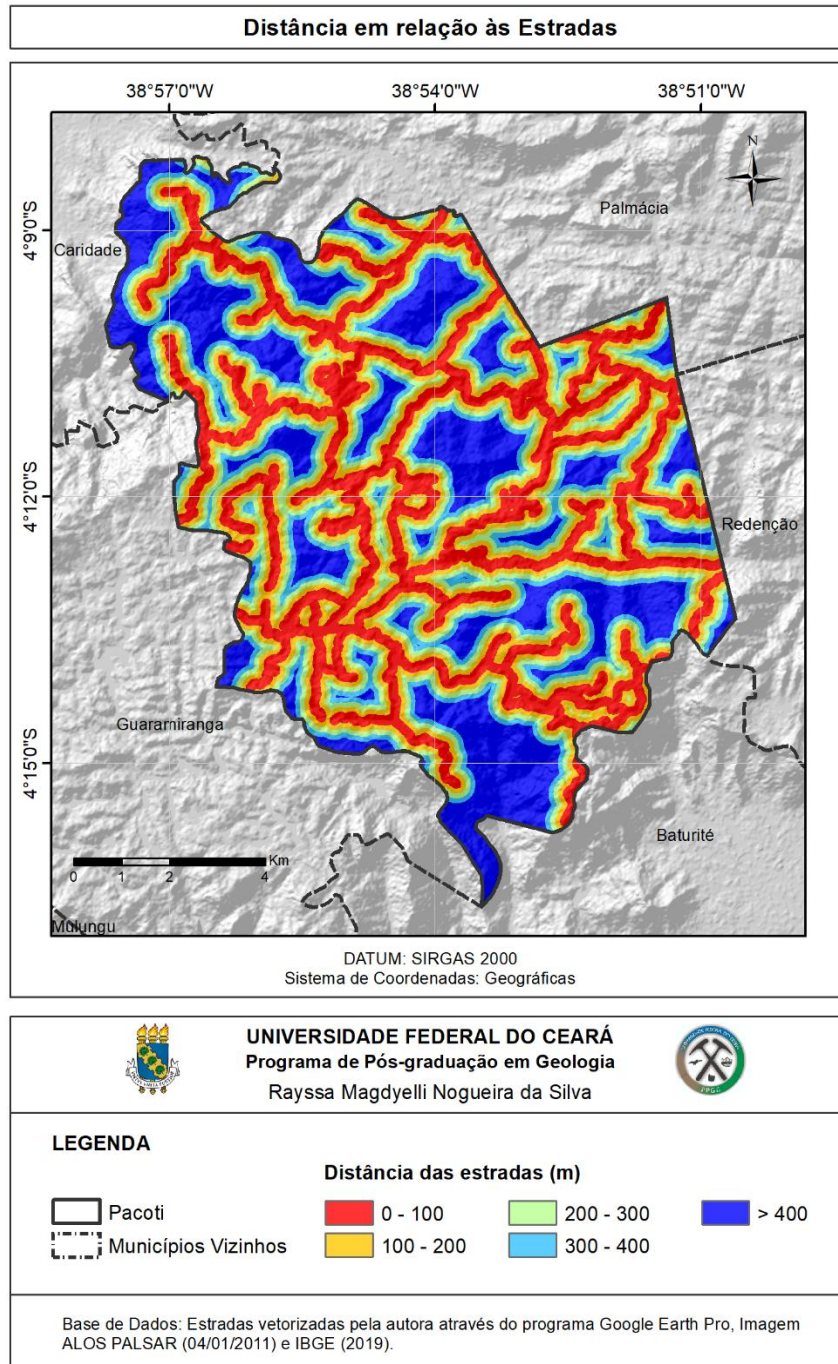
Riffel (2017) destaca que, além de observar fatores naturais na delimitação de áreas susceptíveis, é importante analisar também áreas de ocupação e de atividades humanas, entre elas as estradas de acesso, que muitas vezes desestabilizam encostas com características naturais que propiciam o fenômeno. Uma estrada pode afetar o estado de estabilidade e pressão de uma encosta por meio da mudança do grau de declividade, aumento da carga e/ou modificação da hidrologia e drenagem (POURGHASEMI; PRADHAN; GOKCEOGLU, 2012).

Em campo, percebeu-se que as cicatrizes de movimentos de massa situavam-se, em maioria, nos cortes de estrada, destacando-se as duas rodovias principais do município, CE-065 e CE-253, ambas asfaltadas. Porém, ressalta-se a presença de registros nas estradas secundárias, que, por conta da dificuldade de acesso, não foram 100% percorridas.

No mapa (Figura 27), as distâncias foram separadas de 100 em 100 metros até 400 metros, por uma escolha empírica, considerando que as localizações dos eventos estão

relacionadas as menores distâncias das estradas, exceto 1 ponto de movimento rotacional registrado por Bastos (2012), que se encontra a 614 metros da estrada mais próxima.

Figura 27 – Distância em relação às Estradas de Pacoti (CE)



Fonte: elaborado pela autora.

Bastos e Peulvast (2016) afirmam que, tanto na vertente seca quanto na vertente úmida do maciço de Baturité, as rodovias possuem estreita relação com os movimentos de

massa, pois são largamente utilizadas para acessar os setores de maior altitude da serra e, em muitos casos, não são alvos de manutenções regulares.

Em termos quantitativos, uma grande parcela dos registros, cerca de 42 pontos, encontra-se em uma distância de até 100 metros das estradas (Tabela 13). Em decorrência dessa estreita relação, aplicou-se a maior nota para essa classe, decrescendo em valor até a classe de maior distância.

Tabela 13 – Classes de Distância em relação às Estradas com suas respectivas áreas e CMMs

Distância em relação às Estradas (m)	Área (%)	CMM
0 – 100	26,7	42
100 - 200	20,66	1
200 - 300	16,72	-
300 - 400	13,07	1
> 400	22,85	1
Total	100	45

Fonte: dados da pesquisa.

5.2.5 Cobertura e Uso da Terra

O processo de classificação supervisionada orientada a objeto permitiu a confecção do mapa de Cobertura e Uso da Terra de Pacoti. Freires *et al.* (2019) realizaram o mesmo procedimento para o Maciço de Uruburetama, também caracterizado como um enclave úmido do Ceará, e destacam algumas características que dificultam a classificação. Algumas se assemelham ao ambiente da atual pesquisa, como a mudança da vegetação ao longo do ano em decorrência do clima semiárido, a presença de mais de um tipo vegetacional pela variação da altitude e relevo e o desenvolvimento contínuo de atividades antrópicas que descaracterizam o ambiente natural do maciço.

Bastos e Peulvast (2016) destacam que as áreas vegetadas, desmatadas, urbanas e as estradas são os principais grupos que possuem estreita relação com os movimentos de massa no Maciço de Baturité. Através dessa constatação e das classes mapeadas por Oliveira (2012), delimitou-se oito classes: Agropecuária, Áreas Urbanizadas/Solo Exposto, Corpos D'água, Cultivos (Olericultura), Mata Seca, Mata de Transição, Mata Úmida e Sombra.

A Tabela 14 exibe a matriz de confusão referente à validação da classificação, importante método de medição da acurácia do processo, com os índices de acurácia individual, exatidão global e índice Kappa.

Tabela 14 – Matriz de confusão da classificação supervisionada da imagem PlanetScope

Classes	Corpos D'água	Agropecuária	Cultivos (Olericultura)	Áreas Urbanizadas/Solo Exposto	Mata de Transição	Mata Seca	Mata Úmida	Sombra	Total	Acurácia do Usuário	Kappa
Corpos D'água	10	0	0	0	0	0	0	0	10	1	-
Agropecuária	0	37	1	4	1	3	0	0	46	0,8043	-
Cultivos (Olericultura)	0	0	9	0	3	0	0	0	12	0,7500	-
Áreas Urbanizadas/Solo Exposto	0	4	0	14	0	0	0	0	18	0,7778	-
Mata de Transição	0	0	2	0	95	4	18	0	119	0,7983	-
Mata Seca	0	2	0	0	7	35	0	0	44	0,7955	-
Mata Úmida	0	0	1	0	11	0	147	0	159	0,9245	-
Sombra (Mata Seca)	0	0	0	0	0	3	0	7	10	0,7000	-
Total	10	43	13	18	117	45	165	7	418	0	-
Acurácia do Produtor	1	0,860	0,692	0,778	0,812	0,778	0,891	1	0	0,847	-
Kappa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,794

Fonte: dados da pesquisa.

A exatidão global teve valor de 0,847 e o índice Kappa de 0,794, inferindo um desempenho Muito Bom de acordo com Landis e Koch (1977). No geral, os índices de acurácia individual foram bons, com os maiores valores de acurácia do usuário e do produtor relacionados aos corpos d'água e a Mata Úmida, provavelmente por exibirem resposta espectral e textural mais homogênea e característica e, conseqüentemente, maior facilidade de distinção pelo algoritmo classificador.

Por outro lado, os Cultivos (Olericultura) tiveram o menor índice de acurácia do produtor, em parte pela existência de pequenas áreas de cultivo que foram confundidas, em

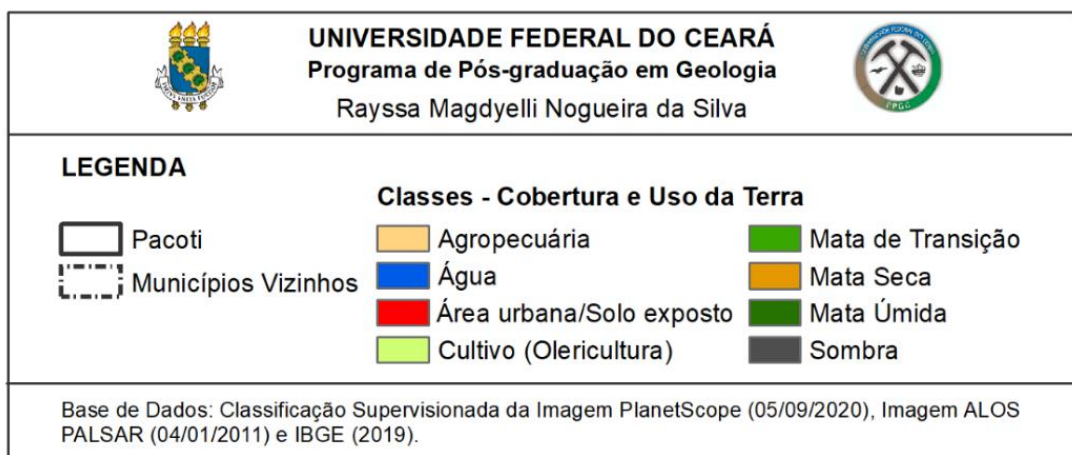
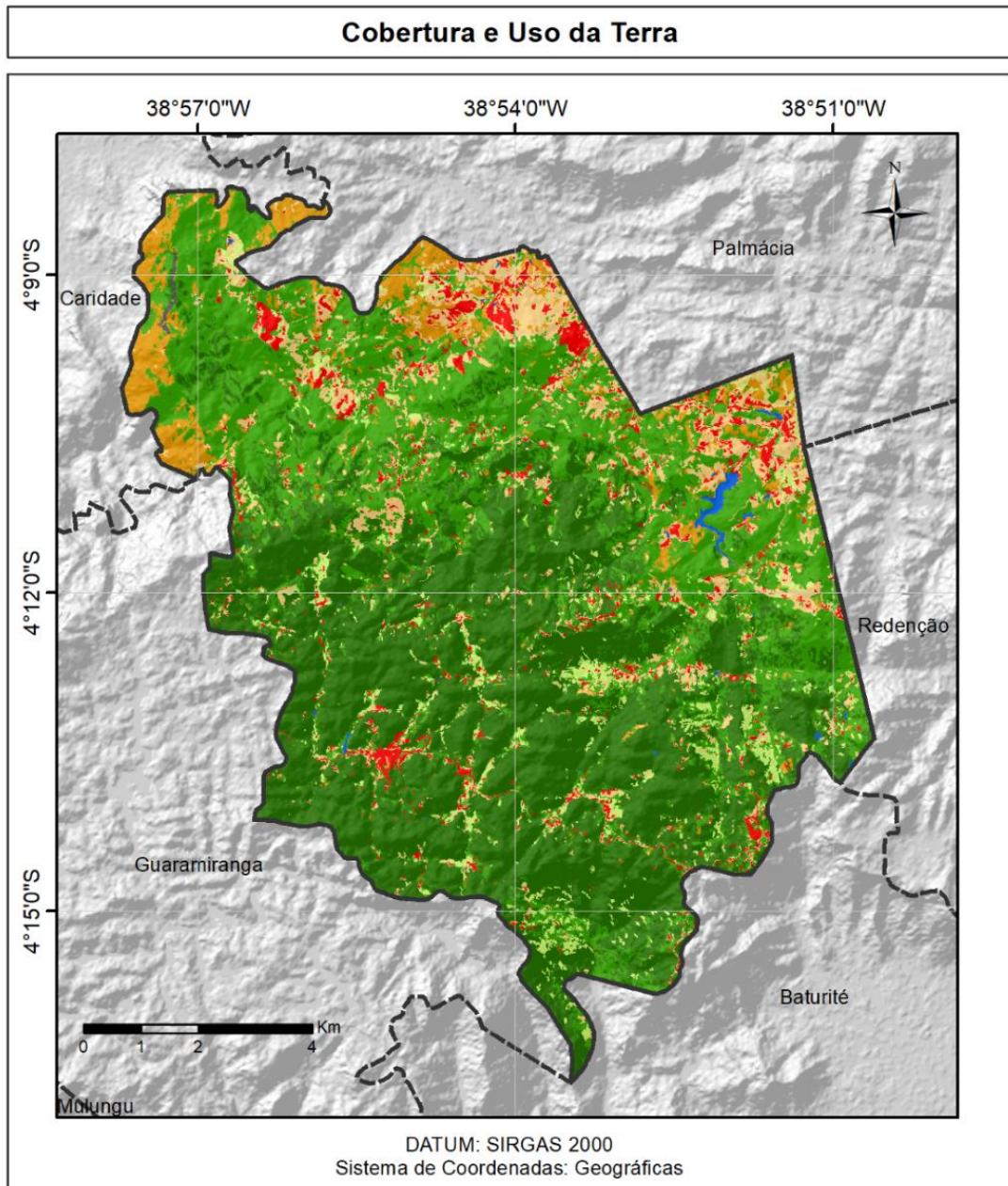
maioria, com a Mata de Transição, que é uma classe mais extensa e heterogênea. Outra observação é a confusão entre as classes Mata de Transição e Mata Úmida pelo classificador, principalmente nas cotas abaixo de 600 metros, onde a Mata Úmida deixa de ser predominante, mas não ausente.

A classe Sombra teve a menor acurácia do usuário por ser confundida com áreas de Mata Seca. Nesse caso, pode-se relevar, pois a maior área de sombra encontra-se na escarpa oeste do Maciço, uma fronteira natural que demarca o início da predominância dessa vegetação nas cotas mais baixas. Com essas considerações iniciais, pode-se apresentar o mapa final de Cobertura e Uso da Terra (Figura 28).

No total, foram classificados 112,33 Km² (Tabela 15), estando 45,05% da área reconhecida como Mata Úmida. Junto às classes de Mata de Transição (31,78%) e Mata Seca (5,82%), é possível inferir que 82,65% do município é recoberto por algum tipo vegetacional. Porém, é importante salientar que a Mata de Transição pode englobar áreas alteradas, em recuperação após remoção da vegetação original ou regiões de sucessão ecológica, pois essa classe não se assemelhou o suficiente para ser alocada nas classes de Mata Úmida ou Mata Seca. Em adição, a Mata Úmida, por seu aspecto frondoso e denso, pode esconder locais que poderiam estar englobados em outras classes, como pequenas casas, áreas de cultivo de agricultura familiar ou, ainda, estradas.

Os aspectos de cada classe serão abordados de acordo com a sequência apresentada na Tabela 15.

Figura 28 – Mapa de Cobertura e Uso da Terra em Pacoti (CE)



Fonte: elaborado pela autora.

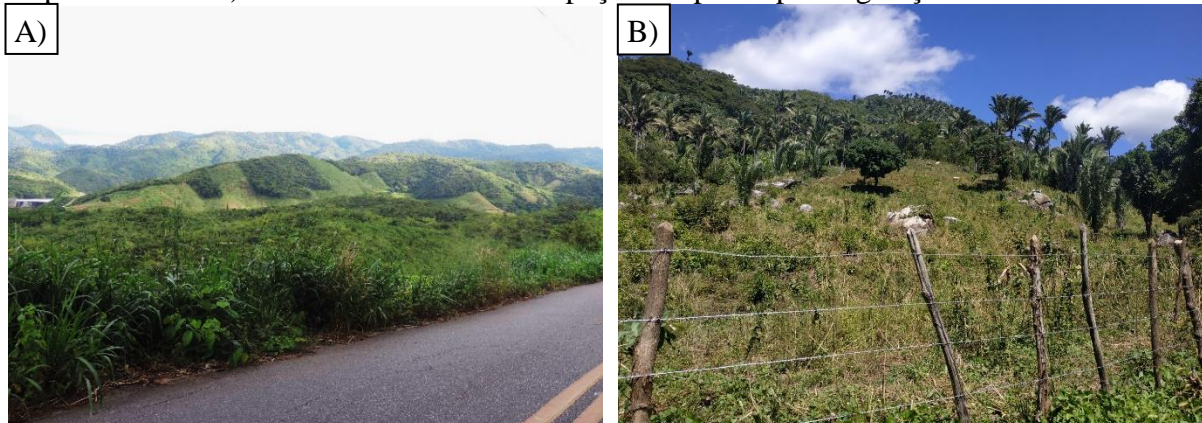
Tabela 15 – Classes de Cobertura e Uso da Terra com suas respectivas áreas e CMMs

Classe	Área (Km ²)	Área (%)	CMM
Agropecuária (Geral)	10,23	9,11	6
Áreas Urbanizadas / Solo Exposto	4,62	4,11	3
Corpos D'água	0,40	0,36	-
Cultivos (Olericultura)	4,24	3,77	1
Mata Seca	6,45	5,74	-
Mata de Transição	35,70	31,78	17
Mata Úmida	50,60	45,05	18
Sombra (Mata Seca)	0,09	0,08	-
Total	112,33	100%	45

Fonte: dados da pesquisa.

A classe Agropecuária, que se encontra preferencialmente em cotas altimétricas menores, engloba locais destinados a policultura, pastagem ou com desmatamento, porém sem a exposição extrema do solo, resultando em 9,11% da área (10,23 Km²). Na Figura 29, vê-se a diversidade dessa classe, podendo modificar fortemente as características ambientais naturais do terreno.

Figura 29 – Exemplos de áreas da classe Agropecuária em Pacoti: A) Grandes áreas de cultivo de policultura na zona rural, B) Vertente com vegetação secundária e presença de animais pastando, C) Vertente quase totalmente desmatada, provavelmente para alguma atividade de agropecuária, com vegetação secundária em desenvolvimento, D) Bananeiral em zona rural, comumente encontrado em todo o município, E) Morros e vales fortemente ocupados por áreas de policultura e F) Áreas de cultivo entre espaços ocupados por vegetação nativa





Fonte: dados da pesquisa.

Abaixo de 600 metros, que corresponde a cota da APA da Serra de Baturité, há processos significativos de descaracterização fitogeográfica, a exemplo dos focos de desmatamento e queimadas para expansão da policultura de subsistência e bananicultura, com utilização de técnicas rudimentares e/ou sem a devida observação das limitações naturais do ambiente (SILVA, 2015). O autor sugere uma redução da cota altimétrica da APA para 300 metros, incluindo as áreas de mata seca e caatinga do maciço nos planos de conservação por meio das mesmas leis de restrição das áreas com remanescentes de mata úmida. É importante salientar que há dificuldade, por parte da equipe técnica responsável pela APA, em fiscalizar os focos de desmatamentos e queimadas, seja pela escassez de recursos humanos e materiais, seja pelo tempo gasto em outros processos administrativos, como licenças ambientais.

Ainda, 6 cicatrizes de movimentos de massa encontram-se na classe Agropecuária, mostrando sua influência nas vertentes através do potencial de descaracterização da paisagem. Um dos registros condiz com um movimento do tipo rastejo, que muitas vezes é negligenciado pela sua menor velocidade de desenvolvimento.

As áreas urbanas – qualquer área construída – e solo exposto, seja pela retirada total da vegetação, estradas secundárias de terra ou exposição do substrato rochoso, foram agrupados em uma classe pelo maior potencial de acarretar fenômenos morfogenéticos, como os movimentos de massa, pois representam áreas altamente modificadas. Essa classe representa 4,11% da área.

Sabe-se que após o declínio da cultura cafeeira e canavieira, o turismo cresceu em importância no maciço, principalmente em Guaramiranga e Pacoti, justificando a tendência de crescimento do setor de serviços (SILVA, 2015). A expansão da sede municipal, em maior velocidade após a década de 90, potencializou a exposição da população aos movimentos de massa, principalmente pela ausência de planejamento da construção e do local apropriado, incluindo áreas com maior declividade, ausência de muros de contenção, vazamentos de tubulações e deficiência geral no saneamento básico (OLIVEIRA, 2018). A Figura 30 exemplifica residências construídas no sopé de cortes de vertentes, muitas vezes sem muro de contenção apropriados ou qualquer outro dispositivo de segurança.

Figura 30 – Casas muito próximas aos cortes de vertentes sem dispositivos de contenção. Identifica-se a presença de solos residuais jovens nas camadas claras.



Fonte: dados da pesquisa.

É comum visualizar plantações de bananeiras em todo o município. Porém, a depender do local, pode auxiliar na ocorrência do fenômeno, como ocorre na sede municipal, em que casas e bananeiras compartilham a mesma vertente (Figura 31). No total, essa classe tem relação com 3 registros de CMM, todos caracterizados como deslizamentos translacionais.

Figura 31 – Plantação de bananeiras e casas em uma mesma vertente dentro da sede municipal



Fonte: dados da pesquisa.

As áreas urbanas ainda incluem pequenos vilarejos e casas isoladas no interior do município, geralmente de difícil acesso para carros pequenos (Figura 32). Esses locais geralmente são rodeados por áreas destinadas a policultura.

Figura 32 – Exemplos de povoados rurais em Pacoti



Fonte: dados da pesquisa.

Os corpos d'água somam 0,36% da área ou 0,40 Km². Esse valor é cerca de 4 vezes maior do que o mapeado no trabalho de (OLIVEIRA, 2012). Isso pode ser explicado pela construção do açude Germinal, concluído em 2017, através do represamento de águas do rio Pacoti, na porção leste do município.

A classe que abrange cultivos de Olericultura representa em torno de 3,77% da área mapeada ou 4,24 Km². Elas se diferem da classe de Agropecuária pela diferença espectral,

geralmente por um NDVI maior, e encontram-se em locais mais estratégicos do relevo. Mota *et al.* (2017) informam que as plantações de chuchu e hortaliças se encontram preferencialmente em fundos de vales e em planícies alveolares, onde há maior acúmulo de umidade, o que foi visualizado em campo, como exemplifica a Figura 33. Em decorrência do relevo onde se encontram, há menor probabilidade da ocorrência do fenômeno. Em suma, 1 registro encontra-se nessa classe.

Figura 33 – Cultivos de Olericultura, especificamente de chuchu, em Pacoti



Fonte: dados da pesquisa.

Em relação às classes vegetacionais, a Mata Seca apresentou-se em menor área no município, em torno de 5,82% ou 6,54 Km². Essa vegetação concentra-se nas altitudes menores, principalmente no extremo norte e oeste de Pacoti, e grada para a caatinga na depressão sertaneja que circunda o maciço. Na Figura 34A e 34B, pode-se ver o contraste de relevo e densidade de vegetação entre o maciço e a depressão sertaneja circunvizinha, onde predomina a caatinga arbustiva densa. É importante lembrar que a Mata Seca muda ao longo do ano, com maior cobertura de folhas na estação chuvosa.

Figura 34 – Depressão Sertaneja que circunda o Maciço de Baturité, demonstrando a diferença dos ambientes, principalmente no relevo e vegetação (A e B)



Fonte: dados da pesquisa. Estrada que liga Canindé ao Maciço de Baturité.

A classe Mata de Transição, como já explicado, foi criada para englobar toda vegetação de gradação entre a Mata Seca e Mata Úmida que não foi reconhecida nessas duas classes. É possível que façam parte áreas previamente alteradas em recuperação da vegetação. Ao todo, ela representa 31,78% ou 35,70 Km² do município e circunda a Mata Úmida. Em adição, a mesma se relaciona a classe Sucessão Ecológica, mapeada por Oliveira (2012), com área de 20,25%. Esse valor menor demonstra a evolução rápida da descaracterização da vegetação original, principalmente da mata úmida, através de atividades como o desmatamento. É importante salientar que a classificação da autora foi realizada a partir de uma imagem do ano de 2004, ou seja, um intervalo de 16 anos. Em termos quantitativos, 17 CMM associam-se a essa classe, totalizando 11 deslizamentos translacionais, 4 quedas de blocos, 1 deslizamento translacional + queda de blocos e 1 deslizamento rotacional.

A Mata Úmida (Figura 35) localiza-se preferencialmente nas cotas mais elevadas, acima de 600 metros, e toma cerca de 45,05% do município ou 50,60 Km², segundo a classificação. Ao analisar os outros conjuntos vegetacionais, essa vegetação encontra-se mais

preservada, em maior parte pela existência da APA da Serra de Baturité, porém é imprescindível atenção e medidas restritivas com atividades humanas que descaracterizam a vegetação, tomando como exemplo locais que já foram fortemente alterados, como a serra de Uruburetama, também do Ceará (CAVALCANTE, 2005).

A Mata Úmida, por ter alta densidade arbórea, contribui na proteção do substrato contra a erosão causada pela chuva, diminuindo o escoamento superficial e freando a infiltração de água no solo (BASTOS; CORDEIRO; SILVA, 2017), sendo fator importante na estabilização da vertente. Porém, observa-se uma relação de 18 CMM com essa classe. Essa situação é explicada pela estreita relação dos registros com as estradas, sejam elas primárias ou não, que percorrem as áreas preservadas e não preservadas, confirmando a importância da inserção dessa variável antrópica na análise da susceptibilidade, pois as estradas atenuam a probabilidade de ocorrência do fenômeno.

Figura 35 – Presença de Mata Úmida em uma das entradas da sede municipal



Fonte: dados da pesquisa.

5.3 Susceptibilidade aos Movimentos de Massa

Diante das informações apresentadas acerca das variáveis, aplicou-se notas de 0 a 10 para cada classe delas, de acordo com a importância na deflagração do fenômeno, como realizado por Carmo *et al.* (2016) e Freires (2020). As notas encontram-se na Tabela 16.

Observando a natureza das variáveis de entrada, optou-se por gerar dois mapas de susceptibilidade. O primeiro, nomeado como Mapa de Susceptibilidade Natural aos Movimentos de Massa (MSNMM), traz como base apenas variáveis naturais (declividade, orientação das vertentes, curvatura vertical, curvatura horizontal, geologia e densidade de lineamentos). O segundo mapa, chamado de Mapa de Susceptibilidade aos Movimentos de

Massa (MSMM), é a integração das variáveis naturais citadas com as variáveis que apresentam informações de intervenção antrópica (distância em relação às estradas e cobertura e uso da terra).

Tabela 16 – Notas atribuídas às classes de cada variável

Variável	Classe	Nota
Declividade	0 – 8 %	2
	8 – 20 %	4
	20 – 30 %	6
	30 – 45 %	8
	> 45 %	9
Orientação das Vertentes	Plano	0
	N	6
	NE	8
	E	10
	SE	8
	S	6
	SW	3
	W	2
Curvatura Vertical	Convexo	4
	Retilíneo	6
	Côncavo	10
Curvatura Horizontal	Convergente	10
	Planar	6
	Divergente	4
Geologia	NP3γtsq (Granitóide Santa Quitéria)	2
	NP3tsm (Migmatitos)	8
	NP2ci (Unidade Independência - paragnaisses migmatíticos)	6
	NP2cica (Unidade Independência – metacarbonato)	3
	NP2ciqx (Unidade Independência – xisto e quartzito)	10
Densidade de Lineamentos	NP2ciq (Unidade Independência – quartzito)	4
	0 – 0,37 Km/Km ²	2
	0,37 – 0,78 Km/Km ²	4
	0,78 – 1,22 Km/Km ²	6
	1,22 – 1,78 Km/Km ²	7
Distância em relação às Estradas	1,78 – 2,76 Km/Km ²	8
	0 -100 m	10
	100 – 200 m	6
	200 – 300 m	4
	300 – 400 m	2
	> 400 m	1

Variável	Classe	Nota
Cobertura e Uso da Terra	Agropecuária (Geral)	8
	Áreas Urbanizadas / Solo Exposto	9
	Corpos D'água	0
	Cultivos (Olericultura)	2
	Mata Seca	4
	Mata de Transição	6
	Mata Úmida	2
	Sombra (Mata Seca)	4

Fonte: elaborado pela autora.

Para determinar a influência (%) dos planos de informação sobre cada mapa, escolheu-se o método AHP com o intuito de limitar a subjetividade dos valores finais. As comparações par a par encontram-se nas Tabelas 17 e 18. Os índices de consistência de 8,4% e 7,1% para os mapas 1 e 2, respectivamente, atestam positivamente a comparação.

Tabela 17 – Matriz de comparação par a par AHP e influências (%) obtidas das variáveis do MSNMM

CLASSES	Declividade	Orientação das Vertentes	Curvatura Vertical	Curvatura Horizontal	Geologia	Densidade de Lineamentos	Influência (%)
Declividade	1	6	4	5	3	4	40,7
Orientação das Vertentes	1/6	1	1/4	1/4	1/5	1/3	3,7
Curvatura Vertical	1/4	4	1	3	1/4	1/2	10,5
Curvatura Horizontal	1/5	4	1/3	1	1/4	1/2	7
Geologia	1/3	5	4	4	1	4	26,7
Densidade de Lineamentos	1/4	3	2	2	1/4	1	11,4
Índice de Consistência	8,4%						

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 18 – Matriz de comparação par a par AHP e influências (%) obtidas das variáveis do MSMM

CLASSES	Declividade	Orientação das Vertentes	Curvatura Vertical	Curvatura Horizontal	Geologia	Densidade de Lineamentos	Distância em relação às Estradas	Cobertura e Uso da Terra	Influência (%)
Declividade	1	6	4	5	3	4	3	3	30,7
Orientação das Vertentes	1/6	1	1/4	1/4	1/5	1/3	1/6	1/5	2,5
Curvatura Vertical	1/4	4	1	3	1/4	1/2	1/5	1/3	6
Curvatura Horizontal	1/5	4	1/3	1	1/4	1/2	1/5	1/4	4,3
Geologia	1/3	5	4	4	1	4	1/2	2	16,1
Densidade de Lineamentos	1/4	3	2	2	1/4	1	1/4	1/3	6,4
Distância em relação às Estradas	1/3	6	5	5	2	4	1	3	22,1
Cobertura e Uso da Terra	1/3	5	3	4	1/2	3	1/3	1	12
Índice de Consistência	7,1%								

Fonte: elaborado pela autora.

Em ambas as matrizes, a declividade é a variável de maior influência, pois sabe-se que ela se sobressai às outras variáveis como fator predisponente dos movimentos de massa, por serem essencialmente processos gravitacionais. Por outro lado, a orientação das vertentes aparece em último no *ranking* de pesos, tanto pela dificuldade em encontrar um padrão com as ocorrências dos movimentos quanto pela análise de autores que priorizam outras variáveis diante desta.

Na matriz do MSNMM (Tabela 17), a geologia vem em segundo lugar em influência, pois, em Pacoti, observa-se uma relação estreita dos registros de movimentos de massa com rochas metamórficas xistosas e migmatitos, confirmando o controle das discontinuidades estruturais da rocha sobre a desestabilização das vertentes.

Na matriz do MSMM (Tabela 18), a distância em relação às estradas toma o segundo lugar em influência pela dinâmica encontrada na região de Pacoti e seu entorno. Os movimentos de massa ocorrem, em grande parte, nos cortes de estradas, que modificam o ambiente natural e acentuam a susceptibilidade já existente, caracterizando-se como um agente efetivo preparatório. Em seguida, em valor de influência, tem-se a geologia, que continua a ser um fator natural predisponente considerável, e a cobertura e uso da terra, por representar os diferentes tipos de cobertura vegetal, que são importantes na proteção das encostas, e as

principais áreas de modificação antrópica por meio de processos de urbanização, agricultura e expansão, que afetam a dinâmica natural do relevo.

Com a integração das variáveis, obedecendo os pesos de influência dados pelo método AHP, os valores foram agrupados em cinco classes de susceptibilidade: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta. A divisão dos valores das categorias, para cada mapa final, assim como os percentuais de área acham-se na Tabela 19.

Tabela 19 – Intervalos de valores e percentuais de área das classes de susceptibilidade do MSNMM e MSMM

Classe de Susceptibilidade	MSNMM		MSMM	
	Intervalo de valores	Área (%)	Intervalo de valores	Área (%)
Muito Baixa	3 – 4	3,63	2 – 4	9,77
Baixa	4 – 5	13,41	4 – 5	26,08
Média	5 – 6	27,93	5 – 6	37,1
Alta	6 – 7	32,34	6 – 7	21,42
Muito Alta	7 – 9	22,69	7 - 9	5,63
Total		100%		100%

Fonte: elaborado pela autora.

O MSNMM encontra-se na Figura 36. De início, percebe-se graus de maior susceptibilidade principalmente nos setores central e norte do município, havendo uma abrangência da área em torno de 55% para as classes Alta e Muito Alta, que não seguem necessariamente apenas as altitudes elevadas. Esse padrão relaciona-se sobretudo a presença de micaxistos e migmatitos, que englobam cerca de 78% da área, e às declividades acentuadas, acima de 30%, que cobrem 29% da área, ambos fatores importantes na deflagração do fenômeno.

Em outros setores do município prevalecem as susceptibilidades médias e baixas, somando 41% da área, com pouca intervenção da classe de maior densidade de lineamentos, pois se encontra onde há o domínio de Mata Úmida. As curvaturas verticais e horizontais contribuíram na melhor delimitação de áreas planas/retilíneas, com declividades abaixo de 8%, incluídas na classe de susceptibilidade Muito Baixa que detém a menor área (3,63%).

Porém, pouco se confirma sobre a abrangência das altas susceptibilidades através dos pontos encontrados, pois muitos locais são de difícil acesso, dificultando a identificação dos movimentos nas vertentes naturais. Ainda, a vegetação se regenera rapidamente, o que pode mascarar eventos antigos, principalmente de deslizamentos translacionais rasos.

Sabe-se que há um forte controle da declividade e geologia nos processos morfogenéticos da área e, conseqüentemente, na compartimentação do relevo, como é visto nas cristas de quartzito ao norte do município, mas há a necessidade de detalhar esses locais a fim de achar evidências maiores de movimentos de massa consideráveis em vertentes essencialmente naturais.

O MSMM, gerado pela integração de todas as variáveis apresentadas, demonstra um padrão diferente, com a delimitação mais precisa dos setores de alta e muito alta susceptibilidade, totalizando 27% da área (Figura 37). Percebe-se a forte influência das estradas, porém, é interessante destacar que as estradas abaixo de 600 metros, que corresponde ao limite da APA da Serra de Baturité, e que se localizam em áreas de maior descaracterização da paisagem natural, são as estradas com maior abrangência das classes mais altas de susceptibilidade. Dentro desse grupo, está a CE-065, palco de eventos de deslizamentos durante o período chuvoso, principalmente no trecho Palmácia-Pacoti.

As áreas ao centro-sul, especialmente as próximas à sede municipal, exibem menores amplitudes de alta susceptibilidade nas estradas e entorno, tanto por estarem próximas ou dentro de vales aplainados, quanto pela predominância da mata úmida. Mas não se descarta a possibilidade de ocorrência dos movimentos de massa nesses locais, como foi registrado em campo.

Segundo Bastos e Peulvast (2016) deve-se considerar a influência da APA da Serra de Baturité na estabilidade morfodinâmica do platô do Maciço, pois ela dificulta a execução de atividades predatórias. Um exemplo prático é o desenvolvimento da cafeicultura junto às espécies arbóreas, diminuindo os desmatamentos.

Em suma, confirma-se a importância de incluir variáveis humanas a depender do contexto ambiental da área de estudo, permitindo produzir informações mais fidedignas à realidade e, com isso, o melhor direcionamento de ações preventivas. Ainda, pode-se adicionar camadas de maior detalhe, como a relação espacial entre os cortes de estradas e as estruturas da rocha, especialmente em deslizamentos translacionais, que são os mais comuns na região.

A Tabela 20 resume a relação entre as cicatrizes de massa e as classes de susceptibilidade. Tanto o MSNMM quanto o MSMM aparecem com quantidades próximas de CMM nas duas classes de maior susceptibilidade. No MSNMM, a classe com maior número de CMM é a de Alta susceptibilidade, com 23 registros, seguida pela classe Muito Alta com 14 registros. Já o MSMM detém 20 CMM na Alta susceptibilidade e 18 CMM se relacionam a Muito Alta susceptibilidade.

Porém, deve-se atentar à diferença de porcentagem de áreas das classes em ambos os mapas. No MSNMM, as áreas de Alta e Muito Alta susceptibilidade são cerca de duas vezes maiores que as áreas das mesmas classes no MSMM. Assim, pode-se afirmar que eles demonstram o quanto variáveis naturais e antrópicas podem delimitar áreas diferentes.

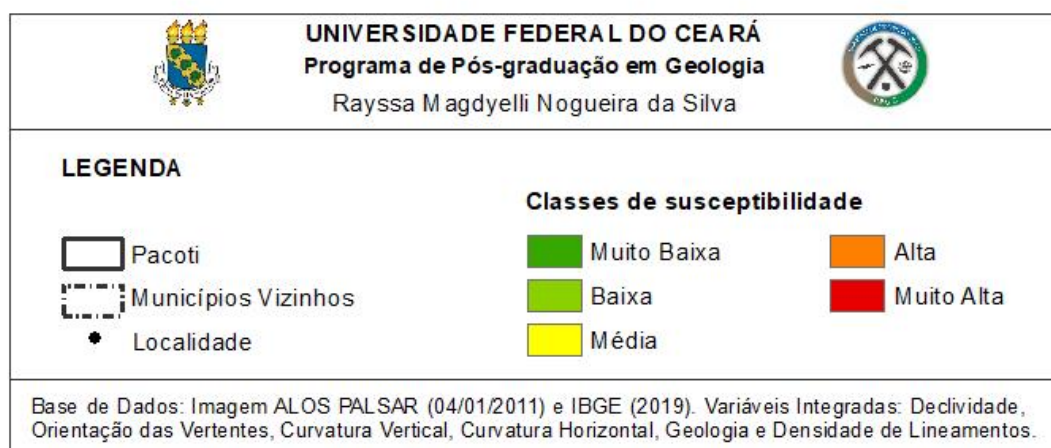
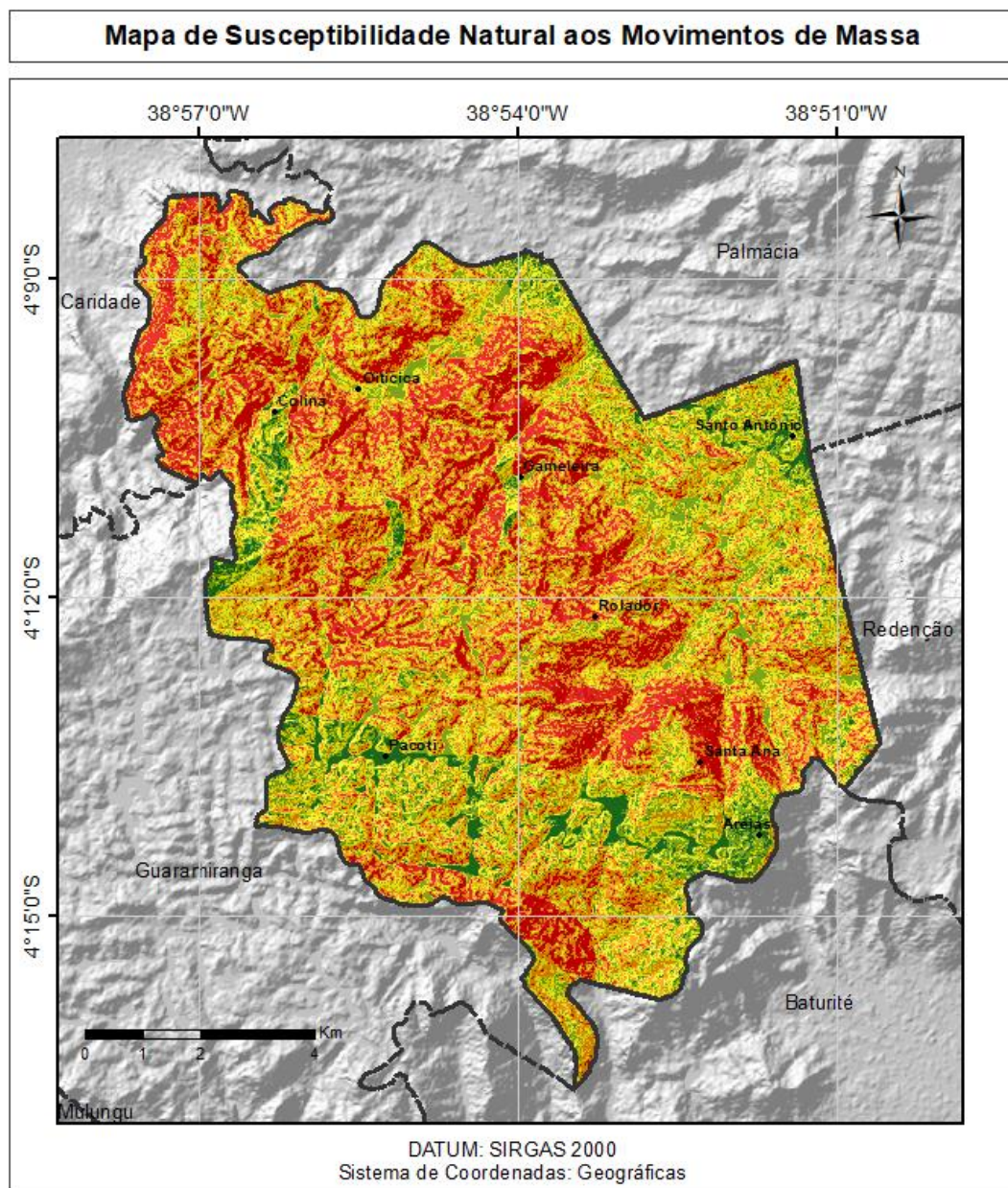
Com isso, fica claro o papel das atividades humanas como agentes efetivos, principalmente as que modificam as drenagens, retiram a vegetação e interferem na geometria da vertente sem o cuidado necessário. Dessa forma, acabam por desestabilizar vertentes naturalmente susceptíveis, causando desde movimentos lentos de rastejo até movimentos rápidos como os deslizamentos translacionais, que são comuns nas estradas no período chuvoso. Podendo ainda causar danos e prejuízos econômicos, sociais e ambientais.

Tabela 20 – CMM por classe de susceptibilidade dos mapas MSNMM e MSMM

Classe de Susceptibilidade	MSNMM	MSMM
	CMM	CMM
Muito Baixa	1	-
Baixa	1	4
Média	6	3
Alta	23	20
Muito Alta	14	18
Total	45	45

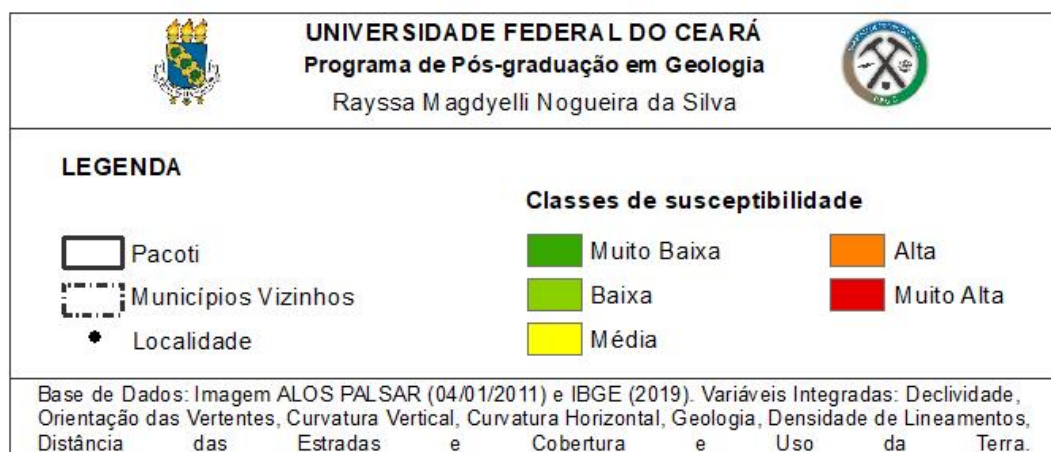
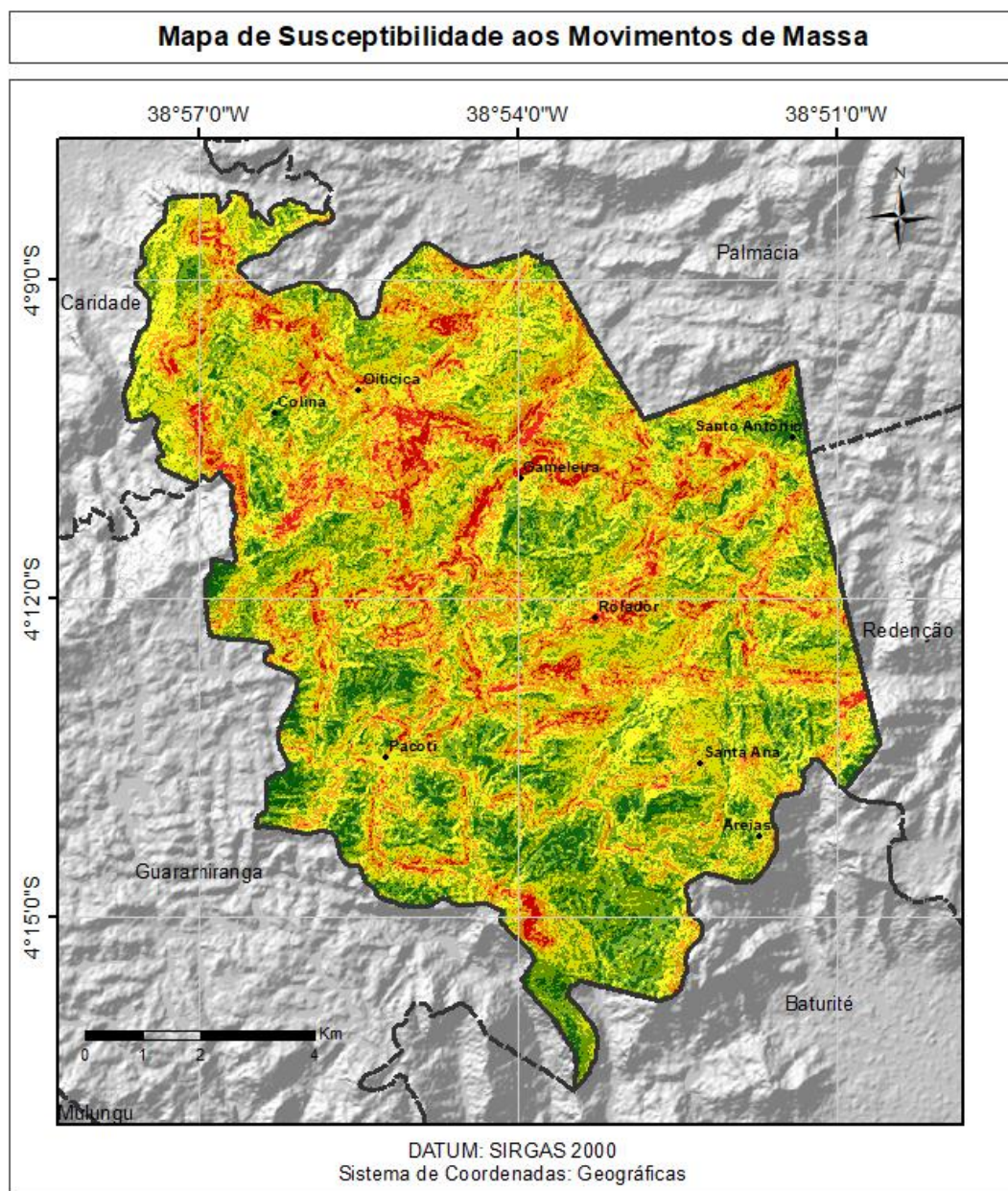
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 36 – Mapa de susceptibilidade aos movimentos de massa com variáveis naturais



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 37 – Mapa de susceptibilidade com variáveis naturais e ambientais



Fonte: elaborado pela autora.

6 CONCLUSÕES

A espacialização dos tipos de movimentos de massa em Pacoti afirmou a predominância de deslizamentos translacionais e quedas de blocos. A CE-065 concentrou a maioria dos registros e é conhecida por ser um dos principais focos de ocorrência dos movimentos de massa no Maciço de Baturité no período chuvoso, principalmente no trecho Palmácia-Pacoti. Ainda, reforça-se a dificuldade de acesso a muitos locais da área, inferindo a existência de maior número de Cicatrizes de Movimentos de Massa (CMM).

Quanto às variáveis escolhidas para o mapeamento da susceptibilidade, tornou-se nítida a contribuição das imagens orbitais adquiridas através do Sensoriamento Remoto. A imagem óptica PlanetScope (PS2.SD) serviu de base para a classificação supervisionada, dando origem ao mapa de Cobertura e Uso da Terra, com um valor de exatidão global de 0,847 e um índice Kappa de 0,794, mostrando um desempenho Muito Bom. A imagem de radar do sensor PALSAR, do satélite ALOS, permitiu a derivação das variáveis morfométricas e a vetorização dos lineamentos de relevo.

Quanto à relação de cada variável com as CMM, tirou-se algumas conclusões. As classes de declividade Forte Ondulado 1 e 2 abrigam cerca de 66% dos CMM. Esse número pode ser maior, inclusive na classe Montanhoso a Escarpado, pois muitos pontos foram registrados nos limites das estradas, onde a declividade não condiz com a declividade real da vertente fonte do fenômeno. Já a orientação das vertentes mostrou que os CMM se concentram nas vertentes NE e SE. Uma possível explicação é a incidência da chuva e vento no período chuvoso, que vem de leste para oeste. Por outro lado, as curvaturas vertical e horizontal mostraram que a forma do terreno convergente-convexa, que atenua os processos morfogenéticos, abriga a maioria dos registros (18 pontos).

As rochas metamórficas mostraram estreita relação com as ocorrências de movimentos de massa. 60% dos CMM localizam-se nos micaxistos e quartzitos (em menor abrangência) da Unidade Independência, confirmando a influência de rochas com zonas de fraqueza e descontinuidades na deflagração do fenômeno.

Em paralelo, os lineamentos do relevo afirmaram uma direção preferencial NE-SW, concordando com falhas, interpretadas pela magnetometria, e com traços de foliação da Folha SB 24-X-A-I Baturité. O maior lineamento E-W coincide com a zona de cisalhamento transcorrente mapeada na mesma folha e o lineamento E-W, que acompanha longitudinalmente a sede municipal, concorda com a calha do Rio Pacoti, marcando um setor de maior susceptibilidade à inundação em períodos chuvosos, como ocorreu em 2009. A densidade de

lineamentos apresentou um padrão diferente do esperado, com 16 CMM em uma classe de menor densidade, porém lembra-se que grande parte dos registros se encontram próximos a pelo menos 1 lineamento. Além disso, a classe de maior densidade localiza-se onde há domínio da Mata Úmida, um forte agente estabilizador das encostas.

Sobre as variáveis que refletem a intervenção humana na paisagem, a distância em relação às estradas confirmou a estreita relação das menores distâncias com os registros, por desestabilizarem encostas com características naturais que propiciam os movimentos de massa.

Quanto ao mapa de Cobertura e Uso da Terra, 82,65% do município é recoberto por algum tipo vegetacional, mesmo que em recuperação. Porém lembra-se que a Mata Úmida, por sua densidade e aspecto frondoso, pode esconder áreas de outras classes. Enquanto a Mata Seca, de menor área, está exposta nas altitudes menores, gradando para a caatinga. A Mata de Transição aponta locais de recuperação da vegetação e de transição entre a Mata Úmida e Seca, com expansão significativa nos últimos anos, se comparada com a classe de Sucessão Ecológica mapeada por Oliveira (2012) que utilizou uma imagem de 2004. Os CMM encontrados nessas classes expõem a influência das estradas que recortam esses ambientes e desestabilizam locais antes preservados.

A classe Agropecuária (6 CMM) refletiu os locais destinados a policultura, pastagens e com desmatamento, principalmente em cotas altimétricas inferiores, demonstrando a defasagem na fiscalização e gerenciamento dessas atividades abaixo de 600 m, que corresponde a cota da APA da Serra de Baturité. Já na classe Olericultura, caracterizada por se localizar em vales aplainados, encontrou-se apenas 1 registro.

As áreas urbanas e de solo exposto abrigam 3 CMM em uma área pequena de aproximadamente 4,11%. Ainda, é comum ver residências no sopé de cortes de vertentes sem dispositivos de segurança.

Para integrar as variáveis e gerar os mapas finais, o método AHP facilitou a determinação dos pesos de cada plano de informação, mesmo tendo teor subjetivo pela escolha empírica, considerando as informações coleadas ao longo do estudo.

O MSMM enfatiza a influência maior da declividade e dos micaxistos e migmatitos, determinando grandes regiões de Alta e Muito Alta susceptibilidade. Em contrapartida, esse caráter abrangente requer ainda mais pontos de observação, principalmente em regiões de difícil acesso.

O MSMM diminui as áreas de maiores susceptibilidades, em parte pelo controle das estradas primárias e secundárias e pelas classes de cobertura e uso da terra que demonstram atividades humanas predatórias nos setores mais ao norte e em cotas abaixo de 600 metros. Essa

combinação explica o maior número de CMM no trecho Palmácia-Pacoti da CE-065. Assim, atenta-se a necessidade de manter o constante monitoramento e manutenção das estradas, pois são corredores de acesso aos setores de maior altitude do Maciço de Baturité, podendo causar prejuízos econômicos e até fatais.

Áreas urbanizadas merecem atenção especial na gestão de riscos de desastres naturais, pois características dentro do uso do solo e cortes e aterros, sem respeitar a geometria das vertentes, elevam a susceptibilidade a deslizamentos.

Por último, visualizando todo o processo de desenvolvimento da pesquisa, concorda-se com Werner e Friedman (2010) sobre os Métodos de Sensoriamento Remoto (SR) e Geodésia, pois, aliados à estudos geológicos, geotécnicos e geofísicos, são fundamentais no entendimento dos movimentos de massa, permitindo uma maior abrangência dos diferentes tipos e contextos do fenômeno.

Como recomendação, atesta-se a importância de incluir o solo como variável, pois o mapa fornecido pela FUNCEME (2018) discrimina os solos da área, em 1ª ordem, apenas como Argissolos. O mesmo ainda aponta a existência de Neossolos e Cambissolos em menores proporções, mas sem uma delimitação espacial. Assim, são necessárias mais visitas ao local para observar as variações de solo e, especialmente, a espessura do regolito (perfil de intemperismo). Ainda, é interessante correlacionar as estruturas geológicas com a orientação das rodovias, bem como a análise da espessura da berma das rodovias, pois pode influenciar na concentração de água pluvial a jusante e na zona passiva basal dos taludes a montante.

REFERÊNCIAS

- ABDALLAH, C. *et al.* Detecting major terrain parameters relating to mass movements' occurrence using GIS, remote sensing and statistical correlations, case study Lebanon. **Remote Sensing Of Environment**, [S.l.], v. 99, n. 4, p. 448-461, dez. 2005. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2005.09.014>. Acesso em: 20 de março de 2020.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth-Science Reviews**, [S.l.], v. 17, n. 1-2, p. 1-29, 1981.
- ALVES, Ernesto Luiz; SUERTEGARAY, Dirce M. A.. ANÁLISE E DETERMINAÇÃO DE MOVIMENTOS DE MASSA ATRAVÉS DE SIG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 5., 2004, Santa Maria. **Anais [...]**. [S.l.]: Ufsm, 2004. p. 1-12.
- ANDRADES FILHO, Clódis de Oliveira; FONSECA, Leila Maria Garcia. Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. **Anais [...]**. Natal: Inpe, 2009. p. 3151-3158.
- ARAUJO, Carlos Eduardo Ganade de. **Evolução tectônica da margem ativa neoproterozoica do Orógeno Gondwana Oeste na Província Borborema (Ne-Brasil)**. 2014. 243 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- ARTHAUD, Michel Henri. **Evolução Neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): da sedimentação à colisão brasileira**. 2007. 170 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica, In: Conferência brasileira sobre estabilidade de encostas. **Anais...** Rio de Janeiro, v.2. p. 721-733, 1992.
- BASTOS, Frederico de Holanda. **Movimentos de massa no Maciço de Baturité e contribuições para estratégias de planejamento ambiental**. 2012. 257 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- BASTOS, Frederico de Holanda; CORDEIRO, Abner Monteiro Nunes; SILVA, Edson Vicente da. ASPECTOS GEOAMBIENTAIS E CONTRIBUIÇÕES PARA ESTRATÉGIAS DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA SERRA DE BATURITÉ/CE. **Revista da Anpege**, [S.l.], v. 13, n. 21, p. 163-198, 2017. ANPEGE - Revista.
- BASTOS, Frederico de Holanda; PEULVAST, Jean-Pierre. Suscetibilidade à Ocorrência de Movimentos de Massa no Maciço de Baturité-Ceará, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia: USP**, São Paulo, v. 32, p. 124-142, 2016.
- BATISTA, Clístenes Teixeira. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento geotécnico em escala regional – o caso da serra de Baturité, CE**. 2014. 218 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

BATISTA, Clístenes Teixeira; VERÍSSIMO, César Ulisses Vieira; AMARAL, Wagner da Silva. Levantamento de feições estruturais lineares a partir de sensoriamento remoto - uma contribuição para o mapeamento geotécnico na Serra de Baturité, Ceará. **Geologia Usp. Série Científica**, [S.l.], v. 14, n. 2, p. 76-82, 1 jun. 2014. Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5327/z1519-874x201400020004>. Acesso em: 15 de janeiro de 2020.

BÉTARD, François; PEULVAST, Jean-Pierre; SALES, Vanda Claudino. CARACTERIZAÇÃO MORFOPEDÓLOGICA DE UMA SERRA ÚMIDA NO SEMI-ÁRIDO DO NORDESTE BRASILEIRO: o caso do maciço de Baturité-CE. **Mercator**, Fortaleza, v. 6, n. 12, p. 107-126, 2007. Mercator - Revista de Geografia da UFC.

BHUSHAN, Navneet; RAI, Kanwal. **Strategic Decision Making**: applying the analytic hierarchy process. [S. l.]: Springer, 2004. 174 p.

BIASI, Mário de. A CARTA CLINOGRÁFICA: os métodos de representação e sua confecção. **Geography Department, University of São Paulo**, [S.l.], p. 46-60, 1992. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA).

BIGARELLA, J. J; BECKER, R. D.; PASSOS, E. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1996. 875 p.

BIGARELLA, João José *et al.* **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003. v. 3. p. 877-1436.

BITAR, Omar Yazbek (coord.). **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações 1:25.000**: nota técnica explicativa. São Paulo: IPT; Brasília: CPRM, 2014. 50 p. (IPT publicação 3016). Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes-3507.html>. Acesso em: 10 fev. 2020.

BRASIL. CEPED UFSC. . Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2iD. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/index.xhtml#topo>. Acesso em: 01 fev. 2020. BRASIL. Ministério das Cidades; IPT. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p.

BRITO, Mariana Madruga de. Identificação de Cicatrizes de Movimentos de Massa na Borda Oriental da Bacia do Paraná com base em Imagens Landsat 5-TM (Identification of Landslides Scars in the Eastern Edge of the Paraná Basin). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 56-70, mar. 2015.

BRUNELLI, Matteo. **Introduction to the Analytic Hierarchy Process**. [S. l.]: Springer, 2015. 88 p.

CABY, R.; ARTHAUD, M.. Major Precambrian nappes of the Brazilian belt, Ceara, northeast Brazil. **Geology**, [S.l.], v. 14, n. 10, p. 871-874, out. 1986.

CÂMARA, Gilberto *et al.* **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Unicamp, 1996. 205 p.

CARMO, A. M. **Utilização do geoprocessamento como subsídio para análise morfométrica e de risco geológico das serras da porção sul do Maciço Central do Ceará.** 2014. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

CARMO, Alcione Moreira do *et al.* **AVALIAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE À MOVIMENTOS DE MASSA, UTILIZANDO AS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS, PARA AS SERRAS DA PORÇÃO SUL DO MACIÇO CENTRAL DO CEARÁ.** *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, v. 68, n. 9, p. 1787-1804, out. 2016.

CASSETI, Valter. *Geomorfologia*. [S.l.]: [2005].

CASSETI, Valter. **Ambiente e Apropriação do Relevo**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 1995.

CASTRO, Neivaldo Araujo de. **Evolução geológica neoproterozoica da região entre Madalena e Taparuaba, Domínio Tectônico Ceará Central (Província Borborema).** 2004. 335 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CAVALCANTE, Arnóbio. **Jardins Suspensos no Sertão**. [S. l.]: Scientific American Brasil, 2005.

CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). **Revisão do plano de gerenciamento das águas das bacias metropolitanas: Fase 1: Estudos básicos e diagnóstico.** Fortaleza, 2010. 612 p.

CEARÁ. Secretaria do Meio Ambiente. **Área de Proteção Ambiental da Serra de Baturité.** Fortaleza, 2013. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/2013/05/31/area-de-protecao-ambiental-da-serra-de-baturite/> .Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/2013/05/31/area-de-protecao-ambiental-da-serra-de-baturite/> . Acesso em: 01 ago. 2018.

COHEN, Jacob. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. **Educational And Psychological Measurement**, [S.l.], v. 20, n. 1, p. 37-46, abr. 1960.

CONGALTON, Russell G.. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing Of Environment**, [S.l.], v. 37, n. 1, p. 35-46, jul. 1991.

CONGALTON, Russell G.. Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information. **International Journal Of Wildland Fire**, [S.l.], v. 10, n. 4, p. 321-328, 2001. CSIRO Publishing.

CONGALTON, Russell G.; GREEN, Kass. Thematic Accuracy. In: CONGALTON, Russell G.; GREEN, Kass. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: principles and practices**. [S. l.]: Crc Press, 2009. Cap. 2. p. 55-61.

CONGALTON, Russell G.; ODERWALD, Richard G.; MEAD, Roy A.. Assessing Landsat Classification Accuracy Using Discrete Multivariate Analysis Statistical Techniques. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, [S.l.], v. 49, n. 12, p. 1671-1678, dez. 1983.

CONSÓRCIO FAUSTO NILO / ESPAÇO PLANO. **Plano de Desenvolvimento Regional do Maciço de Baturité**: Caracterização do Maciço de Baturité – carências e potencialidades. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, 2002.

CORREA, Raphael T.; VIDOTTI, Roberta M.; OKSUM, Erdinc. Curie surface of Borborema Province, Brazil. **Tectonophysics**, [S.l.], v. 679, p. 73-87, jun. 2016. Elsevier BV.

CORREA-MUÑOZ, N. A.; MURILLO-FEO, C. A.; MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, L. J.. The potential of PALSAR RTC elevation data for landform semi-automatic detection and landslide susceptibility modeling. **European Journal of Remote Sensing**, [S.l.], v. 52, n. 1, p. 148-159, 11 dez. 2018. Informa UK Limited.

DAMASCENO, Edgard Pires. **FATORES ASSOCIADOS À DEFLAGRAÇÃO DE MOVIMENTOS DE MASSA NO MACIÇO DA PEDRA BRANCA**. 2018. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

DELGADO, Inácio de Medeiros *et al.* Geotectônica do Escudo Atlântico. In: BIZZI, Luiz A. *et al.* **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**: textos, mapas & sig. Brasília: Cprm, 2003. p. 227-234.

DIKAU, Richard. Mass Movement. In: GOUDIE, A.s. (ed.). **Encyclopedia of Geomorphology**. [S. l.]: Routledge Ltd., 2004. p. 644-653. Volume 2.

DOMÍNGUEZ-CUESTA, María José; BOBROWSKY, Peter T.. Proposed Landslide Susceptibility Map of Canada Based on GIS. **Landslide Science And Practice**, [S.l.], p. 375-382, 2013. Springer Berlin Heidelberg.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

EMBRAPA. **Satélites de Monitoramento**. 2018. Disponível em: https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_alos.html. Acesso em: 02 fev. 2019.

EVANS, Hanna *et al.* Mapping a Nation's Landslides: a novel multi-stage methodology. **Landslide Science And Practice**, [S.l.], p. 21-27, 2013. Springer Berlin Heidelberg.

FELL, Robin *et al.* Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. **Engineering Geology**, [S.l.], v. 102, n. 3-4, p. 85-98, jul. 2008. Elsevier BV.

FERNANDES, Nelson Ferreira; AMARAL, Cláudio Palmeiro do. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (org.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2000. p. 123-194.

FETTER, Allen H. *et al.* Evidence for Neoproterozoic Continental Arc Magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for

the assembly of west gondwana. **Gondwana Research**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 265-273, abr. 2003. Elsevier BV.

FICK, Stephen E.; HIJMANS, Robert J.. WorldClim 2: new 1 :km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal Of Climatology**, [S.l.], v. 37, n. 12, p. 4302-4315, out. 2017. Wiley.

FICK, Stephen E.; HIJMANS, Robert J.. WorldClim 2: new 1 :km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal Of Climatology**, [S.l.], v. 37, n. 12, p. 4302-4315, out. 2017. Wiley.

FIGUEIREDO, M. A. A cobertura vegetal do Ceará (Unidades Fitoecológicas). *In*: FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PLANEJAMENTO DO CEARÁ. **Atlas do Ceará**. Fortaleza, CE: IPLANCE, 1998.

FREIRE, E. S. M.. **Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática**. 8. ed. Rio de Janeiro: Construção, 1965. v. 8. p. 10-18.

FREIRES, Eduardo Viana *et al.* Comparison of OLI/ Landsat 8 and MSI/Sentinel-2 Images in Cover and Land Use Mapping in the Uruburetama Massif, Ceará. **Anuário do Instituto de Geociências - Ufrj**, [S.l.], v. 42, n. 4, p. 427-442, 12 dez. 2019. Instituto de Geociencias - UFRJ.

FREIRES, Eduardo Viana. **Análise da vulnerabilidade ambiental à degradação dos solos na vertente úmida do Maciço de Uruburetama/CE**. 2020. 277 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

FREITAS, Carlos Machado de *et al.* Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência: lições do terremoto no haiti e das chuvas fortes na região serrana, brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S.l.], v. 17, n. 6, p. 1577-1586, jun. 2012. FapUNIFESP (SciELO).

FUNCEME. **Postos pluviométricos**. Fortaleza, 2020. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=2694. Acesso em: 05 jan. 2020.

FUNCEME. **Projeto São José III/SDA**. Fortaleza, 2018. Escala: 1:100.000.

GANEM, Khalil Ali *et al.* COMPARAÇÃO ENTRE DADOS COM E SEM CORREÇÃO ATMOSFÉRICA NA CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA DA TERRA DE UMA ÁREA DA CAATINGA UTILIZANDO O GOOGLE EARTH ENGINE. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 69, n. 6, p. 1053-1074, jun. 2017.

GRAY, D.H.. Influence of vegetation on the stability of slopes. *In*: BARKER, D.H. *et al* (org.). **Vegetation and slopes: stabilisation, protection and ecology**. New York, Tokio And Victoria: Thomas Telford, 1995. p. 2-25. Proceedings of the international conference held at the University Museum, Oxford, 29-30 September 1994.

GREGORIO, Leandro Torres di; SAITO, Silvia Midori; SAUSEN, Tania Maria. Sensoriamento Remoto para a gestão (de risco) de desastres naturais. *In*: SAUSEN, Tania

Maria; LACRUZ, María Silvia Pardi (org.). **Sensoriamento remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 43-68.

GUIDICINE, Guido; NIEBLE, Carlos M.. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1984.

GUIDICINI, G.; IWASA, O. Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos no meio tropical úmido**. São Paulo: IPT, 1976. 48p. (IPT publicação nº 1080).

HIGHLAND, Lynn M.; BOBROWSKY, Peter. **The landslide handbook: a guide to understanding landslides**. Virginia: U.s. Geological Survey, 2008. 129 p.

HUNGR, Oldrich; LEROUEIL, Serge; PICARELLI, Luciano. The Varnes classification of landslide types, an update. **Landslides**, [S.l.], v. 11, n. 2, p. 167-194, 30 nov. 2013. Springer Science and Business Media LLC.

IBGE. **Cidades: Pacoti**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/pacoti/panorama>. Acesso em: 02 jan 2020.

IPECE. **Perfil Municipal 2017**: Pacoti. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, 2018. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Pacoti_2017.pdf. Acesso em: 20 nov. 2018.

IPECE. **Ceará em Mapas**: lista dos mapas. Lista dos Mapas. 2007. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/lista/index.htm>. Acesso em: 01 mar. 2020.

IPT. **Banco de Dados de Mortes por Escorregamentos**, 2021.

IPT. **Estudo preventivo e corretivo dos movimentos coletivos de solo e rochas na serra de Maranguape**. Relatório Técnico - Fase de Diagnóstico. São Paulo: IPT, 1975. (IPT publicação nº 8271)

IPT. **Ocupação de Encostas**. [S. l.]: IPT, 1991. 216 p. (IPT publicação nº 1831).

JANSSEN, Lucas L. F.; WEL, Frans J. M. van Der. Accuracy assessment of satellite derived land-cover data: A review. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, [S.l.], v. 60, n. 4, p. 419-426, abr. 1994.

JAXA. **About ALOS - PALSAR**. 2020. Disponível em: <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/palsar.htm>. Acesso em: 02 fev. 2019.

JAZOULI, Aafaf El; BARAKAT, Ahmed; KHELLOUK, Rida. GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco). **Geoenvironmental Disasters**, [S.l.], v. 6, n. 1, 24 abr. 2019. Springer Science and Business Media LLC.

KOBIYAMA, Masato *et al.* **Prevenção de desastres naturais**: conceitos básicos. Florianópolis: Organic Trading, 2006. 109 p. Disponível em: <http://logatti.edu.br/images/prevencaodesastres.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2020.

LANDIS, J. Richard; KOCH, Gary G.. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 159-174, mar. 1977.

MARCHESINI, Ivan *et al.* A GIS Method for Obtaining Geologic Bedding Attitude. **Landslide Science And Practice**, [S.l.], p. 243-247, 2013. Springer Berlin Heidelberg.

MARGOTTINI, Claudio; CANUTI, Paolo; SASSA, Kyoji (ed.). **Landslide Science and Practice: landslide inventory and susceptibility and hazard zoning**. [S. l.]: Springer, 2013. 587 p.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de (Org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: Unb, 2012. 266 p.

MORO, Marcelo Freire *et al.* Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, [S.l.], v. 66, n. 3, p. 717-743, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-78602015000300717&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 15 fev. 2020.

MOTA, Francisco Kleison Santiago *et al.* DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SUPERFICIAL DO MUNICÍPIO DE PACOTI NO ESTADO DO CEARÁ. EROSIVIDADE, ERODIBILIDADE E UNIDADES DE RELEVO PARA GEOTECNIA. In: CARDOZO, Eduardo de Lara (org.). **Geologia ambiental: tecnologias para o desenvolvimento sustentável**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2017. p. 138-159. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/wp-content/uploads/2017/09/E-book-Geologia-1.pdf>. Acesso em: 02 maio 2020.

MU, Enrique; PEREYRA-ROJAS, Milagros. Practical Decision Making. **Springerbriefs In Operations Research**, [S.l.], p. 1-120, 2017. Springer International Publishing. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-33861-3>.

NETO, João Cândido André da Silva. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno. **Geografia**, Londrina, v. 22, n. 1, p. 05-25, jan. 2013.

NEVES, Benjamim Bley de Brito. **Regionalização geotectônica do Precambriano nordestino**. 1975. 207 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

NUSSBAUM, Sven; MENZ, Gunter. ECognition Image Analysis Software. **Object-Based Image Analysis And Treaty Verification**, [S.l.], p. 29-39, 2008. Springer Netherlands.
OLIVEIRA, Francisca Leiliane Sousa de *et al.* Classificação dos diferentes tipos de uso do solo nos sistemas ambientais do município de Pacoti, Ceará. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, [S.l.], p. 5525-5533, 2017. Instituto De Geociências - UNICAMP.

OLIVEIRA, Francisca Leiliane Sousa de. **Avaliação e mapeamento dos impactos nos sistemas ambientais do Maciço de Baturité: o caso do município de Pacoti, CE.** 2012. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

OLIVEIRA, Francisca Leiliane Sousa de. **INDICADORES DE VULNERABILIDADE E RISCO LOCAL: O CASO DO MUNICÍPIO DE PACOTI, CE.** 2018. 227 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2018.

OLIVEIRA, Hermes Nóbrega Barros de. **SEGMENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT TM.** 1999. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

OLIVEIRA, L. R.; RODRIGUES, W. F.; BASTOS, F. H.. Caracterização geomorfológica do município de Pacoti – CE. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA – GEOMORFOLOGIA, AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE*, 10., 2014, Manaus. **Anais [...]**. Manaus: UGB, 2014. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2014/trabalhos/3/3-364-1342.html>. Acesso em: 10 nov. 2018.

OLIVEIRA, Roberto Gusmão de. **Arcabouço geofísico, isostasia e causas do magmatismo cenozoico da Província Borborema e de sua margem continental (Nordeste do Brasil).** 2008. 415 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

PACOTI, Prefeitura Municipal de. **Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB): município de pacoti.** Pacoti: Prefeitura de Pacoti, 2019.

PAES, K.A.D. Análise da Vulnerabilidade a Erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Pacoti-Ce (Serra de Baturité — Ce). Dissertação de Mestrado — UFC, Fortaleza, 2004.

PALOMBELLA, Mauro. Maps of Landslide Areas with Technical G.I.S.: the use of high resolution dtm. **Landslide Science And Practice**, [S.l.], p. 403-407, 2013. Springer Berlin Heidelberg.

PAULÍN, Gabriel Legorreta *et al.* Landslide Inventory and Susceptibility Mapping in a Mexican Stratovolcano. **Landslide Science And Practice**, [S.l.], p. 141-146, 2013. Springer Berlin Heidelberg.

PIKE, R. J.; EVANS, I. S.; HENGL, T. Chapter 1 Geomorphometry: A Brief Guide. **Developments in Soil Science**, [S.l.], v. 33, p. 3-30, jul. 2009. Elsevier BV.

PINÉO, Tercyo Rinaldo Gonçalves (org.). **GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DA FOLHA BATURITÉ SB.24-X-A-I:** escala 1:100.000. Fortaleza: CPRM, 2017. 93 p.
PINÉO, Tercyo Rinaldo Gonçalves; Zwirter, S. Programa Geologia do Brasil. **Baturité Folha SB.24-X-A-I.** Fortaleza: CPRM, 2013. 1 mapa colorido, 96 x 67,5 cm. Escala: 1:100.000.

PINTO, Roberto Carlos; PASSOS, Everton; CANEPARO, Sony Cortese. Considerações a respeito dos condicionantes utilizados em pesquisas envolvendo movimentos de massa. **Geingá**, Maringá, v. 5, n. 1, p. 102-124, 2013.

PLANET. Planet Imagery Product Specifications. [S. l.]: Planet, 2020. 100 p.

POURGHASEMI, Hamid Reza; PRADHAN, Biswajeet; GOKCEOGLU, Candan. Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. **Natural Hazards**, [S.l.], v. 63, n. 2, p. 965-996, 26 maio 2012. Springer Science and Business Media LLC.

QUEIROZ, Pedro Henrique Balduino de *et al.* PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS LINEARES E ZONAIS APLICADOS A UM SEGMENTO DO MÉDIO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PACOTI - CE. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (Rcgs)**, [S. L.], v. 19, n. 1, p. 140-153, jul. 2017.

RIBEIRO, Bárbara Maria Giacom; KUX, Hermann johann Heinrich. Classificação Orientada a Objeto para Mapeamento do Uso do Solo – Métodos de Análise de Expansão Urbana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais [...]**. Natal: Inpe, 2009. p. 7893-7900.

RIFFEL, Eduardo Samuel. **Metodologias para mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa**. 2017. 125 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

RIFFEL, Eduardo Samuel; GUASSELLI, Laurindo Antonio. Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Deslizamentos e Zoneamento de Risco no Município de Três Coroas-RS (Mapping of Areas Susceptible to Landslides and Risk Zoning in the City of Três Coroas-RS). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 9, n. 2, p. 456-469, 18 fev. 2016. *Revista Brasileira de Geografia Física*.

SAATY, Thomas L.. Fundamentals of the Analytic Hierarchy Process. In: SCHMOLDT, Daniel L. *et al* (ed.). **The Analytic Hierarchy Process in Natural Resource and Environmental Decision Making**. [S. l.]: Springer-Science+Business Media, B.V., 2001. p. 15-36.

SAATY, Thomas L.; VARGAS, Luis G.. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. **International Series In Operations Research & Management Science**, [S.l.], p. 1-334, 2001. Springer US.

SAATY, Thomas L.; VARGAS, Luis G.. **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process**. 2. ed. [S. L.]: Springer, 2012. 341 p.

SAHA, Ashis K. *et al.* An approach for GIS-based statistical landslide susceptibility zonation with a case study in the Himalayas. **Landslides**, [S.l.], v. 2, n. 1, p. 61-69, 2 fev. 2005. Springer Science and Business Media LLC.

SAITO, Silvia Midori; SORIANO, Érico; LONDE, Luciana de Resende. Desastres Naturais. In: SAUSEN, Tania Maria; LACRUZ, María Silvia Pardi (org.). **Sensoriamento remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 23-42.

SANTANA, Eudoro Walter de (coord.). **Caderno regional das Bacias Metropolitanas**. Fortaleza: INESP, 2009. 136 p. (Coleção Cadernos Regionais, v. 9). Disponível em:

Metropolitana.pdf. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/90/2018/07/Bacia-Metropolitana.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2018.

SANTOS, Francisco Leandro de Almeida; MEDEIROS, Ésulo Maia; SOUZA, Marcos José Nogueira de. Contexto hidroclimático do enclave úmido do maciço de Baturité – Ceará: potencialidades e limitações ao uso da terra. **Revista Geonorte**, [S. l.], v. 2, n. 5, p. 1056-1065, out. 2012. Disponível em: <http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/2562>. Acesso em: 02 ago. 2018.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p. Revista e ampliada.

SAUSEN, Tania Maria; LACRUZ, María Silvia Pardi (org.). **Sensoriamento remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

SCHOWENGERDT, Robert A.. **Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing: Models and Methods for Image Processing**. 3. ed. United States of America: Academic Press, 2006. 560 p.

SEMACE. **Área de Proteção Ambiental da Serra de Baturité**. Fortaleza, 2010. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/2010/12/08/apa-da-serra-de-baturite/>. Acesso em: 01 ago. 2018.

SHARPE, Charles Farquharson Stewart. **Landslides and Related Phenomena: a study of mass-movements of soil and rock**. [S. l.]: Columbia University Press, 1938. 137 p.

SILVA, Anderson Adailson da *et al.* **Uso do eCognition 8 para classificação de imagem de satélite com alta resolução**. Mossoró: Eduern, 2016. 107 p.

SILVA, Francisco Edmar de Sousa. **A conservação da biodiversidade da serra de Baturité na perspectiva das unidades de conservação**. 2015. 221 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2015.

SOUZA, Marcos José Nogueira de. Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do Estado do Ceará. **Rev. De Geologia**, [S. l.], v. 1, p. 73-91, jun. 1988. Disponível em: <https://www.doccity.com/pt/contribuicao-ao-estudo-das-unidades-morfo-estruturais-do-estado-do-ceara/2679118/>. Disponível em: <https://www.doccity.com/pt/contribuicao-ao-estudo-das-unidades-morfo-estruturais-do-estado-do-ceara/2679118/>. Acesso em: 10 ago. 2018.

SOUZA, Marcos José Nogueira de; OLIVEIRA, Vlória Pinto Vidal de. Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do nordeste brasileiro. **Mercator**, Fortaleza, v. 5, n. 9, p. 85-102, nov. 2006. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/91>. Acesso em: 02 nov. 2018.

SPIZZICHINO, Daniele *et al.* Landslide Impacts in Europe: weaknesses and strengths of databases available at european and national scale. **Landslide Science And Practice**, [S.l.], p. 73-80, 2013. Springer Berlin Heidelberg.

STEVENS, David. Increasing the Use of Geospatial Technologies for Emergency Response and Disaster Rehabilitation in Developing Countries. In: NAYAK, Shailesh; ZLATANOVA, Sisi (ed.). **Remote Sensing and GIS Technologies for Monitoring and Prediction of Disasters**. [S. l.]: Springer, 2008. Cap. 4. p. 57-72. (Environmental Science).

SURENDRANATH, Mopur *et al.* Landslide Hazard Zonation in Darjeeling Himalayas: a Case Study on Integration of IRS and SRTM Data. In: NAYAK, Shailesh; ZLATANOVA, Sisi (ed.). **Remote Sensing and GIS Technologies for Monitoring and Prediction of Disasters**. [S. l.]: Springer, 2008. Cap. 7. p. 121-136. (Environmental Science).

THOMAS, Deborah S.K.; ERTUGAY, Kivanç; KEMEÇ, Serkan. The Role of Geographic Information Systems/Remote Sensing in Disaster Management. In: RODRÍGUEZ, Havidán; QUARANTELLI, Enrico L.; DYNES, Russell (ed.). **Handbook of Disaster Research**. [S. l.]: Springer, 2007. Cap. 5. p. 83-96. (Handbooks of Sociology and Social Research).

TOMINAGA, Lídia Keiko. Desastres Naturais: por que ocorrem?. In: TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosangela do (org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009a. Cap. 1. p. 25-38.

TOMINAGA, Lídia Keiko. Escorregamentos. In: TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosangela do (org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009b. Cap. 2. p. 25-38.

TOMINAGA, Lídia Keiko. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba - SP**. 2007. 240 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

TRIGILA, Alessandro *et al.* Landslide Susceptibility Mapping at National Scale: the italian case study. **Landslide Science And Practice**, [S.l.], p. 287-295, 2013. Springer Berlin Heidelberg.

TROFYMCHUK, Oleksandr; KALYUKH, Yuriy; HLEBCHUK, Hanna. Mathematical and GIS-Modeling of Landslides in Kharkiv Region of Ukraine. **Landslide Science And Practice**, [S.l.], p. 347-352, 2013. Springer Berlin Heidelberg.

UNDRR. **Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction**. Geneva: United Nations, 2019. Disponível em: https://gar.undrr.org/sites/default/files/reports/2019-05/full_gar_report.pdf. Acesso em: 03 fev. 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC); CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (CEPED). **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991-2012**. Vol. Brasil. 2. ed. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013a. 126 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC); CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (CEPED). **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991-2012**. Vol. Ceará. 2. ed. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013b. 114 p.

USGS. **Landslide Types and Processes**. 2006. Compilado por Lynn Highland. Design gráfico e layout por Margo Johnson. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/>. Acesso em: 03 fev. 2019.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: Inpe, 2008. 75 p.

VAN SCHMUS, W.R. *et al.* And geochronologic studies of the eastern Borborema Province, Northeastern Brazil: initial conclusions. **Journal Of South American Earth Sciences**, [S.l.], v. 8, n. 3-4, p. 267-288, jul. 1995. Elsevier BV.

VARNES, David J.. Slope Movement Types and Processes. In: SCHUSTER, R. L.; KRIZEK, R. J. (ed.). **Landslides, Analysis and Control**. Washington: National Academy Of Sciences, 1978. p. 11-33. (Transportation Research Board, Special Report N. 176).

VASCONCELOS, V.; JÚNIOR, O. A. C.; MARTINS, E. S.; JUNIOR, A. F. C.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. Sistema de classificação geomorfométrica baseado em uma arquitetura sequencial em duas etapas: árvore de decisão e classificador espectral, no Parque Nacional Serra da Canastra. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 13, n. 2, p.171-186, 2012.

VIEIRA, Bianca C. *et al.* Análises geomorfológicas e a suscetibilidade a corridas de detritos: ferramentas de apoio aos planos de mitigação. In: YOSHIZAKI, Hugo Tsugunobu Yoshida; RODRIGUEZ, Carlos Augusto Morales; CICCOTTI, Larissa (org.). **Riscos e Desastres: caminhos para o desenvolvimento sustentável**. São Carlos: Rima Editora, 2019. p. 185-204.

WERNER, Ernest D.; FRIEDMAN, Hugh P. (ed.). **Landslides: causes, types and effects**. New York: Nova Science Publishers, 2010.

WILSON, J. P. Digital terrain modeling. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 137, p. 107-121. jan. 2012.

ZANELLA, Maria Eliza; SALES, Marta Celina Linhares. Considerações sobre o Clima e a Hidrografia do Maciço de Baturité. In: BASTOS, Frederico de Holanda (org.). **Serra de Baturité: uma visão integrada das questões ambientais**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2011. p. 61-75.

ZHAO, Chaoying; LU, Zhong. Remote Sensing of Landslides—A Review. **Remote Sensing**, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 279-284, 11 fev. 2018. MDPI AG.

ZINCK, J Alfred *et al.* Mapping and modelling mass movements and gullies in mountainous areas using remote sensing and GIS techniques. **International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation**, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 43-53, jan. 2001. Elsevier BV.