



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

THIAGO BORINI PIMENTEL

**A RELAÇÃO ENTRE OS PADRÕES DE LINEAMENTOS E OS MOVIMENTOS
DE MASSA NO MUNICÍPIO DE VITÓRIA (ESPÍRITO SANTO, SUDESTE DO
BRASIL)**

VITÓRIA

2022

THIAGO BORINI PIMENTEL

**A RELAÇÃO ENTRE OS PADRÕES DE LINEAMENTOS E OS MOVIMENTOS
DE MASSA NO MUNICÍPIO DE VITÓRIA (ESPÍRITO SANTO, SUDESTE DO
BRASIL)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia, na área de concentração Dinâmica dos Territórios e da Natureza. Orientadora: Prof.^a Dra. Luiza Leonardi Bricalli.

VITÓRIA

2022

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

P644r Pimentel, Thiago Borini, 1995-
A RELAÇÃO ENTRE OS PADRÕES DE LINEAMENTOS E
OS MOVIMENTOS DE MASSA NO MUNICÍPIO DE
VITÓRIA (ESPÍRITO SANTO, SUDESTE DO BRASIL) /
Thiago Borini Pimentel. - 2022.
124 f. : il.

Orientadora: Luiza Leonardi Bricalli.
Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal
do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais.

1. Geociências. I. Bricalli, Luiza Leonardi. II. Universidade
Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Humanas e
Naturais. III. Título.

CDU: 91

Thiago Borini Pimentel

“A relação entre os padrões de lineamentos e os movimentos de massa no município de Vitória (Espírito Santo, sudeste do Brasil)”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais, da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Geografia.

Aprovada em 20 de outubro de 2022.

Comissão Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Luiza Leonardi Bricalli (UFES)
Orientadora e Presidente da Sessão

Prof. Dr. Eberval Marchioro (UFES)
Examinador Interno



Prof. Dr. Clauzionor Lima da Silva (UFRRJ)
Examinador Externo



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
EBERVAL MARCHIORO - SIAPE 3221168
Departamento de Geografia - DG/CCHN
Em 25/10/2022 às 04:30

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/590502?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
RAFAEL DE CASTRO CATÃO - SIAPE 1416049
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geografia
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGG/CCHN
Em 26/10/2022 às 15:17

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/591920?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
LUIZA LEONARDI BRICALLI - SIAPE 3528787
Departamento de Geografia - DG/CCHN
Em 28/10/2022 às 13:38

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/593343?tipoArquivo=O>

AGRADECIMENTOS

A construção de uma dissertação é um grande desafio, que inclui diversos percalços e dificuldades, mas com apoio e dedicação foi possível concluir esta importante etapa. Por isso, é necessário agradecer às pessoas especiais que participaram, diretamente ou não, desta trajetória e da construção desta pesquisa.

Agradeço, primeiramente, à minha família. Meu pai Silvio, meu irmão Lucas e meus avôs Atílio(s), por todo apoio, compreensão e força, e às mulheres da minha vida, Magda, Anita, Helena e Camila, pelo exemplo de compromisso, amor, dedicação e luta, sem o qual eu provavelmente não teria chegado até aqui.

Aos meus amigos e amigas da graduação, do PPGG, da EEEFM Saturnino Rangel Mauro, da EEEFM Teotônio Brandão Vilela e da vida, pelos conselhos, companhia, conversas e apoio.

À minha orientadora, Prof. Dra. Luiza Leonardi Bricalli, por todo conhecimento compartilhado, desde os tempos de graduação. Agradeço a orientação dedicada e exemplar ao longo desta trajetória, que muito contribuiu para enriquecer, passo a passo, todas as etapas desta pesquisa.

Aos professores e professoras do Departamento de Geografia e do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo, pelos ensinamentos. Em especial ao Prof. Dr. Eberval Marchioro, pelas contribuições no exame de qualificação.

Aos companheiros e companheiras da Defesa Civil Municipal de Vitória, pelos anos de aprendizagem, amizade e pela contribuição para a construção deste trabalho.

À Gaia, que sempre esteve ao meu lado em todas as etapas desta pesquisa. Seu apoio e amor incondicional foram fundamentais para a conclusão desta dissertação.

Sou grato a todas e todos que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho fosse concluído da melhor maneira possível.

“O presente é a chave do passado”

James Hutton

RESUMO

Essa pesquisa tem como objetivo principal identificar e relacionar os padrões de lineamentos com a ocorrência de movimentos de massa no município de Vitória (Espírito Santo, Brasil). A metodologia foi organizada em análises de gabinete e de campo. Em gabinete, foram confeccionados Mapas de lineamentos a partir da técnica de extração manual, utilizando ferramentas do *ArcGIS 10.5*, sobre um Modelo Digital de Elevação (MDE) com diferentes iluminações artificiais (escala 1:110000) e Ortofotos Digitais (escala 1:25000) e geradas rosetas de orientação. Foi produzido também um Mapa de Suscetibilidade à Movimentos de Massa, a partir das variáveis densidade de estruturas geológicas, declividade, curvatura horizontal e cobertura superficial. Em campo, as estruturas geológicas e movimentos de massa foram identificados e analisados, a partir da utilização dos lineamentos identificados em gabinete e medições de estruturas geológicas e lineamentos (bússola *brunton*). Estes dados foram integrados e analisados a partir dos registros de movimentos de massa da Defesa Civil Municipal, referentes ao período entre 2006 e 2020. Foi possível verificar os padrões de orientação de estruturas geológicas dominantes na área (NNW-SSE e NW-SE, seguidos por NE-SW). Na escala regional, ocorreram mais movimentos de massa nas proximidades de lineamentos de orientações NNW-SSE, NW-SE e NE-SW, já na escala local esses processos ocorreram com mais frequência nas proximidades de lineamentos de orientações NNW-SSE, NNE-SSW e NE-SW. A análise da relação de dados estruturais, na escala local ou regional, com a ocorrência de movimentos de massa foi efetuada pelo estudo de dados de lineamentos, densidade de lineamentos e estruturas geológicas, Faixa Colatina, Orógeno Araçuaí e falhas neotectônicas regionais. No mapa de suscetibilidade produzido, 78,72% dos movimentos de massa registrados ocorreram em áreas de suscetibilidade Muito Alta, Alta ou Média. A variável densidade de estruturas geológicas se provou de grande valia para a elaboração de mapeamentos de suscetibilidade à movimentos de massa, uma vez que o aumento da densidade é diretamente proporcional ao de ocorrência destes processos, com exceção da densidade Muito Alta, que apresenta baixa representatividade espacial.w

Palavras-chave: lineamentos, neotectônica, estruturas geológicas, movimentos de massa.

ABSTRACT

The main objective of this research is to analyze and relate the patterns of lineaments with the occurrence of mass movements in the municipality of Vitória (Espírito Santo, Brazil). The methodology was organized in cabinet and field analyses. In a cabinet, Lineament maps were made using the manual extraction technique, using ArcGIS 10.5 tools, on a Digital Elevation Model (DEM) with different artificial lighting (scale 1:110000) and Digital Orthophotos (scale 1:25000) and generated orientation rosettes. A Mass Movement Susceptibility Map was also produced, based on the variables density of geological structures, slope, horizontal curvature and surface coverage. In the field, the geological structures and mass movements were identified and analyzed, using the lineaments identified in the office and measurements of geological structures and lineaments (brunton compass). These data were integrated and analyzed from the records of mass movements of the Municipal Civil Defense, referring to the period between 2006 and 2020. It was possible to verify the orientation patterns of dominant geological structures in the area (NNW-SSE and NW-SE, followed by NE-SW). On the regional scale, there were more mass movements in the vicinity of lineaments of NNW-SSE, NW-SE and NE-SW orientations, on the regional scale these processes occurred more frequently in the vicinity of lineaments of orientations NNW-SSE, NNE-SSW and NE-SW. The analysis of structural data, at the local or regional scale, with the occurrence of mass movements was carried out by studying their relationship with lineament data, lineament density and geological structures, *Faixa Colatina*, Araçuaí Orogen and neotectonic faults. In the mass movement susceptibility map produced, 78.72% of the recorded mass movements occurred in areas of Very High, High or Medium susceptibility. The variable density of geological structures proved to be of great value for the elaboration of mappings of susceptibility to mass movements, since the increase in density is directly proportional to the occurrence of these processes, with the exception of Very High density, which has low spatial representation.

Keywords: lineaments, neotectonics, geological structure, mass movements.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil esquemático do processo de rastejo.....	26
Figura 2 – Perfil esquemático do escorregamento rotacional ou circular.....	27
Figura 3 – Perfil esquemático dos escorregamentos translacionais.....	28
Figura 4 – Perfil esquemático do escorregamento em cunha.....	29
Figura 5 – Processo do tipo corrida.....	29
Figura 6 – Esboço de perfil esquemático do processo de queda de blocos rochosos.....	30
Figura 7 – Formas de ruptura dos taludes.....	31
Figura 8 – Formas de ruptura dos taludes.....	35
Figura 9 – Mapa de lineamentos (extração manual) do Espírito Santo, sob a compartimentação geológica básica do estado.....	36
Figura 10 – Esboço da compartimentação neotectônica da Plataforma Brasileira....	38
Figura 11 - Os planos de fraqueza gerados pelas descontinuidades promovem a maior fragmentação das rochas e o maior acesso de agentes intempéricos.....	41
Figura 12 - Localização da área de estudo.....	43
Figura 13 - Mapa geológico do estado do Espírito Santo.....	44
Figura 14 - Mapa evidenciando a Província Mantiqueira, na região sudeste do Brasil, sobre modelo digital de elevação. Dentro do retângulo vermelho estão as áreas da Faixa Ribeira e a Faixa Araçuaí.....	45
Figura 15 - Bacia do Espírito Santo.....	48
Figura 16 - Porção terrestre da bacia do Espírito Santo com as suas quatro regiões morfoestruturais e importantes formações.....	49
Figura 17 - Mapa de lineamentos estruturais na margem continental associada às bacias de Santos, Campos e Espírito Santo. A Faixa Colatina está destacada pelo retângulo vermelho.....	52
Figura 18 – Mapa Geológico do Espírito Santo.....	54
Figura 19 - Mapa geomorfológico do estado do Espírito Santo.....	56
Figura 20 – Unidades Geomorfológicas de Vitória-ES.....	59
Figura 21 - Temperatura e precipitação médias anuais do estado do Espírito Santo.....	60
Figura 22 – Classes de solo de Vitória-ES.....	61

Figura 23 – Fluxograma da pesquisa.....	62
Figura 24 - Aplicação das iluminações artificiais na área de estudo (A: 000°; B: 045°; C: 090°; D: 315°).....	65
Figura 25 – Variáveis dispostas na ferramenta <i>Raster Calculator</i>	74
Figura 26 – Lineamentos decalcados sobre Modelo Digital de Elevação (1:110000).....	79
Figura 27 – Lineamentos decalcados sobre Ortofotos Digitais (1:25000).....	80
Figura 28 – Densidade de lineamentos (1:110000) e <i>trends</i> estruturais.....	81
Figura 29 – Densidade de lineamentos (1:25000) e <i>trends</i> estruturais.....	82
Figura 30 – Mapa de Estruturas Geológicas.....	84
Figura 31 – Mapa de Densidade de Estruturas Geológicas.....	85
Figura 32 – Mapa de declividade.....	87
Figura 33 - Mapa de Curvatura Horizontal.....	88
Figura 34 – Mapa de pesos das variáveis de Cobertura Superficial.....	89
Figura 35 – Mapa de Suscetibilidade à Movimentos de Massa.....	92
Figura 36 – Localização dos pontos de campo.....	94
Figura 37 – Bloco rochoso em Joana D’arc (Ponto 3).....	95
Figura 38 – Afloramento rochoso em Caratoíra (Ponto 2) apresenta feldspatos dispostos em orientação NNW-SSE (linhas amarelas).....	95
Figura 39 – Blocos rochosos fraturados no bairro Centro, Ponto 1. Fraturas demarcadas pelas linhas amarelas.....	96
Figura 40 – A: Movimentos de massa em encosta no bairro Caratoíra (Ponto 2); B: Fratura expressiva de orientação ENE-WSW (linha amarela) e estruturas menores de orientação NNW-SSE (linhas vermelhas).....	97
Figura 41 – Encosta situada em Caratoíra (Ponto 2), com a presença de fratura expressiva de orientação ENE-WSW (linha amarela), estruturas menores de orientação NNW-SSE (linhas vermelhas) e blocos rolados (circulados em azul).....	97
Figura 42 – Bloco com fraturas de orientação NNW-SE (vermelho) e ENE-WSW (amarelo).....	98
Figura 43 – Encosta com rochas fraturadas e processos de movimentos de massa.....	99

Figura 44 – Encosta com rochas fraturadas e processos de movimentos de massa (fraturas demarcadas pelas linhas amarelas).....	99
Figura 45 – Encosta com rochas fraturadas e processos de movimentos de massa.....	100
Figura 46 – Encosta com fraturas (linhas amarelas) e processos de movimentos de massa.....	100
Figura 47 – Obra de contenção (circulada em azul) em encosta com fraturas expressivas (linhas amarelas) de orientação NE-SW.....	101
Figura 48 – Escorregamento na Rua Barão de Monjardim, bairro Centro (Ponto 1).....	102
Figura 49 – Movimento de massa em Joana D’arc (Ponto 3).....	102
Figura 50 – Lineamentos (1:110000), <i>trends</i> estruturais e movimentos de massa.....	105
Figura 51 – Lineamentos (1:25000), <i>trends</i> estruturais e movimentos de massa...	108
Figura 52 – Densidade de Estruturas Geológicas, <i>trends</i> estruturais e movimentos de massa.....	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de Z-Factor de acordo com a latitude.....	65
Tabela 2 - Pesos atribuídos às classes da variável densidade de lineamentos.....	71
Tabela 3 - Pesos atribuídos às classes da variável declividade.....	71
Tabela 4 - Pesos atribuídos às classes da variável Curvatura Horizontal.....	71
Tabela 5 - Pesos atribuídos às classes da Cobertura Superficial.....	72
Tabela 6 - Variáveis utilizadas para a elaboração do Mapa de Suscetibilidade e seus respectivos pesos.....	73
Tabela 7 - Relação entre a suscetibilidade à movimentos de massa e a ocorrência dos fenômenos.....	90
Tabela 8 – Pontos de campo.....	93
Tabela 9 - Relação entre densidade de lineamentos e movimentos de massa.....	109

LISTA DE SIGLAS

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

ES – Espírito Santo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

MDE – Modelo Digital de Elevação

RMGV – Região Metropolitana da Grande Vitória

SIG – Sistema de Informações Geográficas

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

USGS – *United States Geological Survey*

UTM – *Universal Transversa de Mercator*

WGS – *World Geodetic System*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	20
2. OBJETIVOS.....	23
2.1 Objetivos gerais.....	23
2.2 Objetivos específicos.....	23
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
3.1 Movimentos de massa.....	24
3.1.1 Classificação dos movimentos de massa.....	25
3.1.2 Fatores condicionantes.....	30
3.2 Lineamentos.....	33
3.3 Neotectônica.....	36
3.4 Estruturas geológicas e movimentos de massa.....	39
4. ÁREA DE ESTUDO.....	43
4.1 Localização geográfica.....	43
4.2 Geologia regional.....	43
4.2.1 Embasamento Pré-Cambriano.....	44
4.2.2 Bacia do Espírito Santo.....	47
4.2.3 Cobertura Detrítico-lateríticas.....	49
4.2.4 Depósitos Quaternários.....	50
4.2.5 Geologia estrutural, Lineamentos e Neotectônica.....	51
4.2.6 Geologia de Vitória.....	53
4.3 Geomorfologia regional.....	55
4.3.1 Domínios Morfoestruturais, Regiões e Unidades Geomorfológicas.....	55
4.3.2 Geomorfologia de Vitória.....	59
4.4 Clima.....	60
4.5 Solos.....	61
5. METODOLOGIA.....	62

5.1 Análises de gabinete.....	62
5.1.1 Revisão bibliográfica.....	62
5.1.1.2 Revisão bibliográfica de bases conceituais referentes ao tema e estudos de caso sobre caracterização geológica e geomorfológica.....	63
5.2 Mapeamentos.....	63
5.2.1 Mapa de Localização.....	63
5.2.2 Mapas Geológicos e Mapa Geomorfológico.....	63
5.3 Análise de lineamentos.....	64
5.3.1 Extração de lineamentos em Modelo Digital de Elevação (MDE)- Escala 1:110.000.....	64
5.3.2 Extração de lineamentos em Ortofotos digitais - Escala 1:25.000.....	66
5.3.3 Elaboração de rosetas de orientação.....	66
5.3.4 Densidade de Lineamentos e <i>trends</i> Estruturais.....	67
5.3.5 Mapa de Estruturas Geológicas.....	67
5.3.6 Mapa de Densidade de Estruturas Geológicas e <i>trends</i> Estruturais.....	67
5.4 Suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa.....	68
5.4.1 Mapa de Declividade.....	68
5.4.2 Mapa de Curvatura Horizontal.....	68
5.4.3 Mapa de Cobertura Superficial.....	69
5.4.4 Mapa de suscetibilidade à movimentos de massa.....	70
5.4.4.1 Atribuição de notas das classes das variáveis utilizadas para análise da suscetibilidade à movimentos de massa.....	70
5.4.5 Atribuição de valores de peso às variáveis analisadas.....	72
5.4.6 Integração das informações das variáveis analisadas (Análise Multicritério).....	73
5.5 Espacialização das ocorrências de movimentos de massa.....	74
5.6 Análises estruturais e ocorrência de movimentos de massa.....	75

5.7 Análises de campo.....	75
5.7.1 Reconhecimento de área.....	76
5.7.2 Análise, identificação e validação das variáveis litologia, estrutura geológica, relevo e processos geológicos e geomorfológicos.....	76
6. RESULTADOS.....	78
6.1 Análise de lineamentos.....	78
6.1.1 Lineamentos em Modelo Digital de Elevação (MDE)- Escala 1:110.000.....	78
6.1.2 Lineamentos em Ortofotos Digitais - Escala 1:25.000 densidade e trends.....	78
6.1.3 Densidade de Lineamentos e <i>trends</i> Estruturais.....	81
6.1.4 Mapa de Estruturas Geológicas.....	82
6.1.5 Densidade de Estruturas Geológicas e <i>trends</i> estruturais.....	83
6.2 Suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa.....	86
6.2.1 Mapa de Declividade.....	86
6.2.2 Mapa de Curvatura Horizontal.....	87
6.2.3 Mapa de Cobertura Superficial.....	88
6.2.4 Mapa de Suscetibilidade à Movimentos de Massa.....	89
6.3 Análises de campo.....	93
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	103
7.1 Análises estruturais e ocorrência de Movimentos de Massa.....	103
7.1.1 Lineamentos, <i>Trends</i> Estruturais (1:110000) e Movimentos de Massa.....	103
7.1.2 Lineamentos, <i>Trends</i> Estruturais (1:25000) e Movimentos de Massa.....	106
7.1.3 Densidade de Estruturas Geológicas, <i>Trends</i> Estruturais e Movimentos de Massa.....	109
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	113
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117

1. INTRODUÇÃO

A combinação de fatores fisiográficos, especialmente declividade, característica da rocha e do solo, precipitação, dentre outros, juntamente com o crescimento desordenado da ocupação urbana em determinadas áreas, sem o adequado planejamento do uso do solo, tem desencadeado acidentes associados a processos de movimentos de massa, muitas vezes causando desastres (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

Nesse sentido, as pesquisas sobre os movimentos de massa tem se intensificado, especialmente nas últimas décadas, uma vez que, esses processos são os principais problemas ambientais que ocorrem em áreas urbanas. Além disso, alguns autores afirmam que a combinação de fatores deflagradores naturais com aqueles oriundos de transformações das encostas pela sociedade, podem contribuir com a dinâmica evolutiva do relevo (EFFGEN; COUTO; MARCHIORO, 2018).

No Brasil, uma quantidade expressiva de estudos sobre movimentos de massa tem sido realizados no sudeste do país (GUIDICINE; NIEBLE, 1983; AUGUSTO FILHO, 1992; CARVALHO et al., 2007; TOMINAGA et al., 2009; FERNANDES; AMARAL, 2011), com destaque para as regiões abrangidas pela Serra do Mar e Serra da Mantiqueira, onde a problemática possui grande destaque devido às características do relevo, das rochas, do solo e do clima quente e úmido, que são agentes deflagradores de movimentos de massa.

O estado do Espírito Santo apresenta muitas áreas com ocorrência de processos de movimentos de massa, a despeito do que ocorre no sudeste do Brasil. Esses processos também ocorrem de forma marcante na região da Grande Vitória (SANTOS, 2016; EFFGEN; COUTO; MARCHIORO, 2018; EFFGEN; MARCHIORO, 2018; EFFGEN et al., 2020; SANTOS; MARCHIORO, 2020), por essa área apresentar características fisiográficas e climáticas que contribuem para a ocorrência dos processos de movimentos de massa.

Na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), existem diversos trabalhos sobre a ocorrência de movimentos de massa, no entanto numa perspectiva

direcionada aos aspectos hidrológicos e hidrogeomorfológicos (EFFGEN, 2018; EFFGEN; COUTO; MARCHIORO, 2018; PIMENTEL, 2019; EFFGEN et al., 2020).

Um aspecto importante relacionado à ocorrência de movimentos de massa pode estar relacionado à presença de estruturas geológicas (falhas e fraturas), que correspondem à linhas de fraqueza da crosta terrestre (BRICALLI, 2011), especialmente com relação as orientações dessas estruturas, locais de ocorrência e a relação com aspectos geológicos estruturais do estado. Uma primeira análise e registro dessas linhas de fraqueza são realizadas através da identificação de lineamentos sobre imagens orbitais e suborbitais. Neste sentido, a análise de domínios de lineamentos (setores do terreno identificáveis por conjuntos de lineamentos com padrões particulares) pode ser considerada como uma ferramenta útil para a identificação da ocorrência dos processos de movimentos de massa.

O estudo da relação dos padrões de lineamentos com a ocorrência de movimentos de massa é, praticamente, escassa, sendo assim considerado um estudo inédito para o local e para o Espírito Santo. No entanto, a relação dos lineamentos com a ocorrência de movimentos de massa tem sido investigada no Brasil e no mundo, mesmo que ainda de forma escassa, tendo como referência pesquisas no continente asiático (ANBALAGAN; SIGH, 1996; NAGARAJAN, et al., 1998, 2010; RAMLI, et al., 2010; SARKAR; KANUNGO, 2004; 2017), e europeu (ATKINSON; MASSARI, 1998; AMBROSI; CROSTA, 2006), apresentando também estudos no Brasil (GONTIJO, 1999; TOMINAGA, 2007).

Essa pesquisa foi realizada no município de Vitória, capital do Espírito Santo, e diferentemente do que tem sido desenvolvido no Brasil e no Espírito Santo, teve como objetivo principal identificar e relacionar os padrões de lineamentos com a ocorrência de movimentos de massa.

Diante do exposto, a escolha da área está relacionada ao fato de: i) o município apresentar morros com características peculiares do relevo, das rochas, do solo e do clima, os quais propiciam a ocorrência de movimentos de massa, sendo historicamente conhecido pela grande ocorrência desses processos; ii) o município de Vitória apresentar estruturas geológicas relevantes do ponto de vista de quantidade e importância regional; iii) presença de uma faixa móvel que abrange

uma grande parte do estado, denominada Faixa Colatina (NOVAIS *et al.*, 2004), com orientação NNW-SSE a NW-SE, que se inicia em Vitória, reativada durante o Neógeno/Quaternário e; iv) o estado do ES apresenta 3 (três) regimes neotectônicos (transcorrência dextral E-W, distensão NW-SE, transcorrência sinistral E-W) – Bricalli (2011), apresentando afloramentos com quantidades expressivas de falhas geológicas, tanto no compartimento do embasamento Pré-Cambriano, quanto no compartimento dos depósitos Cenozoicos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Identificar e relacionar os padrões de lineamentos com a ocorrência de movimentos de massa no município de Vitória, no estado do Espírito Santo.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar e analisar os padrões de lineamentos na área estudada;
- Investigar a relação (direta ou indireta) entre densidade e orientação de lineamentos com a ocorrência de movimentos de massa;
- Analisar, regionalmente, a relação das orientações do Orógeno Araçuaí, da Faixa Colatina, das falhas neotectônicas e dos litotipos com a ocorrência dos movimentos de massa.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Movimentos de massa

Para Drew (1986), os movimentos de massa variam em função da natureza do material, da topografia, do clima e da vegetação, mas podem ser tão lento que se tornam imperceptíveis (*creep* ou reptação) ou bruscos (desabamento).

Segundo Fernandes e Amaral (2000), entende-se por movimentos de massa o transporte de rochas, detritos e/ou volumes de solo pela ação gravitacional vertente abaixo. São processos naturais relativos à evolução das encostas e apenas se caracterizam como risco quando ocorrem próximo a áreas de ocupação ou atividades humanas

Para Bigarella (et al., 2003) as condições que favorecem os movimentos de massa dependem principalmente da estrutura geológica, da declividade da vertente, da 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.

Guerra e Marçal (2006) afirmam que os movimentos de massa de ordem gravitacional representam um importante agente externo modelador do relevo e são processos ligados ao quadro evolutivo das encostas, caracterizando-os como sendo “o transporte coletivo de material rochoso e/ou de solo, onde a ação da gravidade tem papel preponderante, podendo ser potencializado, ou não, pela ação da água”.

Segundo Grotzinger e Jordan (2013), o termo Movimento de Massa é a denominação coletiva dada à movimentação morro abaixo, de solo, rocha, lama ou outros materiais sob a força da gravidade. Essas massas não são inicialmente empurradas para regiões de cota inferior devido à ação de um agente de erosão, como o vento ou a chuva. Em vez disso os movimentos de massa ocorrem quando a força da gravidade excede a força de coesão dos materiais presentes na encosta, mobilizando-os a baixo, seja em movimentos de pequenas proporções ou em mobilizações súbitas, que podem ter repercussões catastróficas.

Os movimentos de massa podem deslocar pequenas quantidades de solo, quase imperceptíveis, a jusante de uma suave encosta, como também construir imensos escorregamentos que descarregam toneladas de terra e rocha no fundo dos vales próximos a encostas íngremes das montanhas (GROTZINGER; JORDAN, 2013).

Grotzinger e Jordan (2013) complementam que devido ao grande poder de destruição associado à culminância destes fenômenos, deveríamos ser capazes de predizê-los e evitar ocasioná-los com imprudentes interferências nos processos naturais e na dinâmica do relevo. No entanto, apesar da dificuldade de se antecipar às movimentações de massa, podemos efetuar investigações nas paisagens que propiciem identificar as áreas de risco e suscetibilidade a eventos destrutivos associados e efetuar ações de prevenção ou mitigação de desastres.

3.1.1 Classificação dos movimentos de massa

Conforme Silveira (2008), na bibliografia internacional, os movimentos de solo ou rocha são classificados e referenciados como *landslides* pelos autores estadunidenses, *landslips* pelos ingleses, *slope movements* pela maior parte dos engenheiros geotécnicos e *mass wasting* por grande parcela dos geomorfólogos.

De maneira geral, para Riffel (2012) pode-se definir *landslides* como um termo utilizado para se referir a diversos tipos distintos de movimentos de massa, como escorregamentos e mobilização de blocos rochosos.

Em análise aos diferentes termos propostos para conceituar os movimentos em encostas e vertentes na literatura internacional, Nummer (2013) conclui que o termo *landslides* pode ser utilizado como sinônimo de movimento de massa (*mass movements*), uma vez que se refere, em termos mais amplos, a todo e qualquer movimento de material terroso ou rochoso, não importando sua forma, sua velocidade e nem o processo que o gerou.

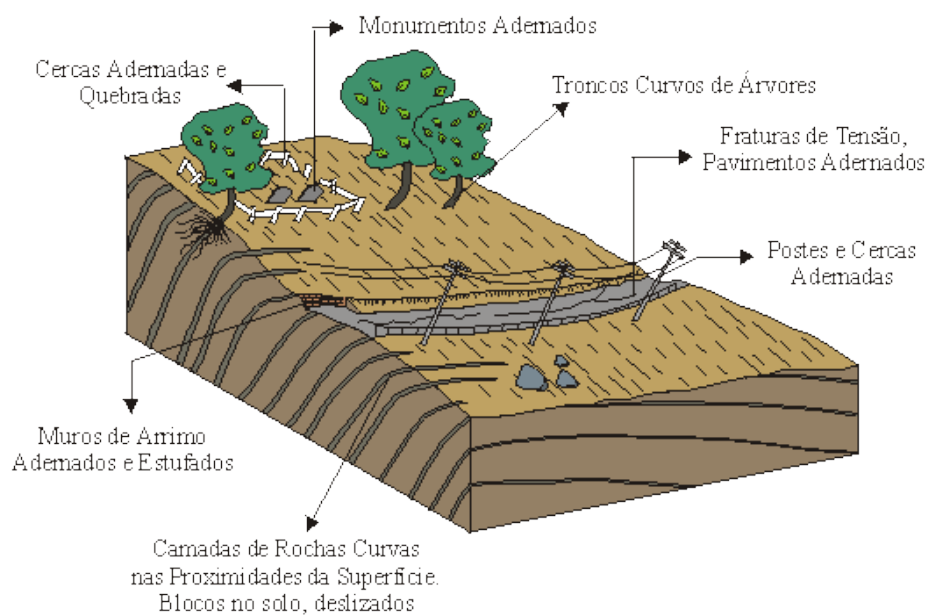
Entre os autores que propuseram classificações de movimentos de massas, podem-se citar Terzaghi (1950), Varnes (1958, 1978), Skempton e Hutchinson (1969), Guidicini e Nieble (1976), Hutchinson (1988), Augusto Filho (1992) entre outros.

Na literatura nacional, em uma das classificações mais aceitas e utilizadas acerca da temática, segundo autores como Fernandes (2000), Carvalho et al. (2007) e Assis

(2017), Augusto Filho (1992) agrupa os movimentos de massa em quatro grandes classes de processos: Rastejos (“*creep*”), Escorregamentos (“*slides*”), Quedas (“*falls*”) e Corridas (“*flows*”).

Rastejos (Figura 1) podem ser definidos, com base nos estudos de Carvalho (et al., 2007), como movimentos lentos, que envolvem grandes massas de materiais e possuem deslocamento mínimo ao longo do tempo (mm a cm/ano). Esse processo não apresenta uma superfície de ruptura definida (plano de movimentação), e é evidenciado por trincas observadas em toda a extensão do terreno natural, que evoluem vagarosamente, podendo inclinar árvores ou qualquer outro marco fixo presentes na superfície.

Figura 1 – Perfil esquemático do processo de rastejo.



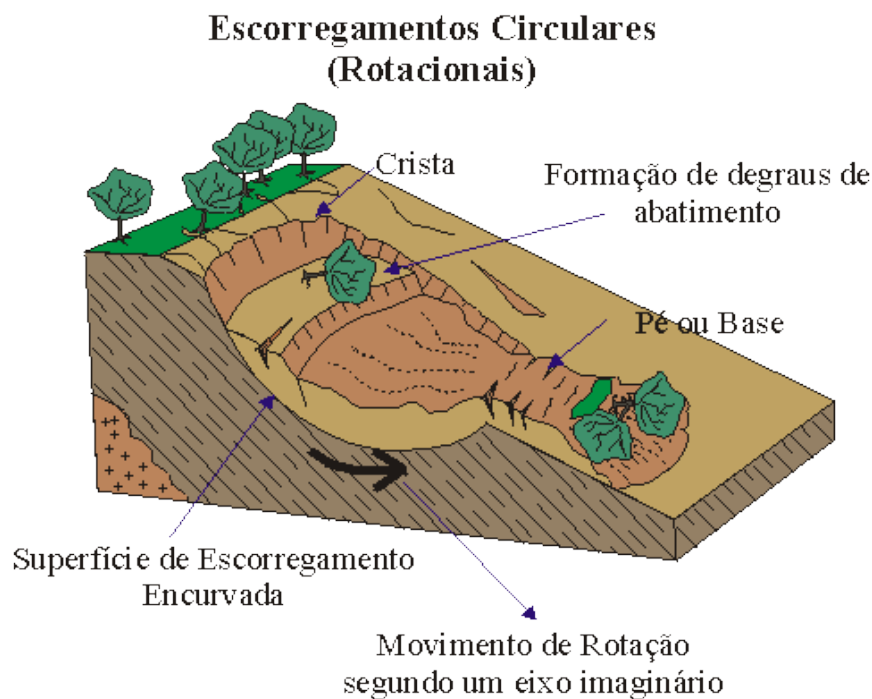
Fonte: Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998). Modificado por Reis (2001).

Escorregamentos são processos marcantes na evolução das encostas (Figuras 2, 3, 4 e 5), caracterizando-se por movimentos rápidos (m/h a m/s), com limites laterais e profundidade bem definida, ou seja, sua superfície de ruptura e, normalmente, ocorrem em encostas de declividade média a alta. Para que ocorram, as tensões de cisalhamento devem superar a resistência ao mesmo. São subdivididos em função do mecanismo de ruptura, geometria e material mobilizado (CARVALHO et al., 2007; GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

Entre os tipos de escorregamento, podemos destacar os planares ou translacionais, os circulares ou rotacionais, em cunha e os induzidos. A geometria destes movimentos varia conforme a existência ou não de estruturas ou planos de fraqueza nos materiais movimentados, que condicionem a formação das superfícies de ruptura (CARVALHO et al., 2007; GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

Escorregamentos rotacionais possuem superfície de ruptura curva (Figura 2), côncava para cima, com o corpo de movimento rotacional para fora do talude e menor alcance que os escorregamentos translacionais. Ocorrem com freqüência em encostas que tiveram a base alterada por ações antrópicas, erosão fluvial ou ação de ondas (FERNANDES; AMARAL, 2011; GUIDICINI; NIEBLE, 1983; CARVALHO et al., 2007).

Figura 2 – Perfil esquemático do escorregamento rotacional ou circular.

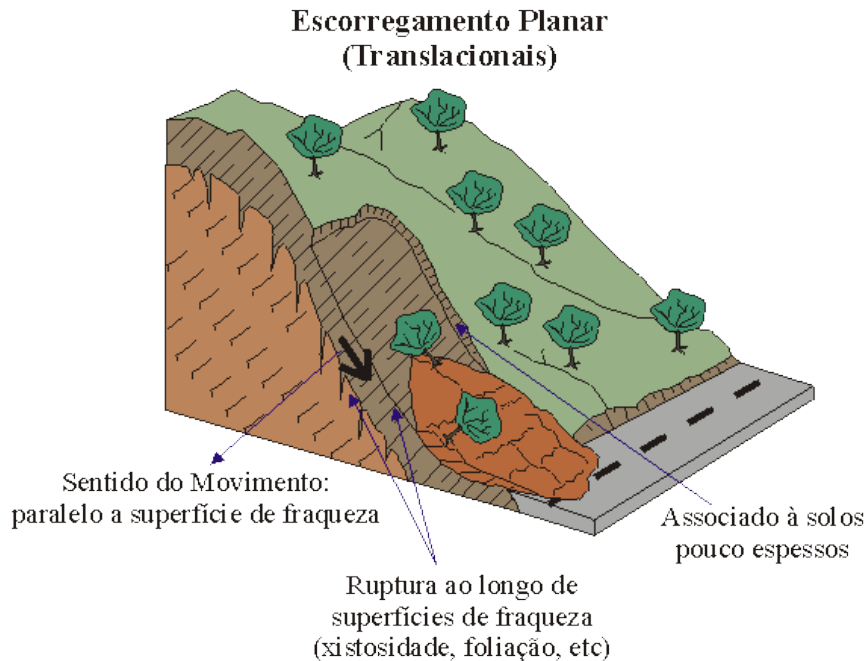


Fonte: Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998). Modificado por Reis (2001).

Escorregamentos translacionais (Figura 3) são os movimentos de massa mais comuns. Possui a forma planar da superfície de ruptura, que costuma ser condicionada por eventuais condições físicas diferentes no interior do maciço, que formam planos de descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas. Costumam estar associados a eventos de precipitações intensas e prolongadas, quando o interior dos

solos se encontra em estado de saturação (FERNANDES; AMARAL, 2011; GUIDICINI; NIEBLE, 1983; CARVALHO et al., 2007; TOMINAGA et al., 2009).

Figura 3 – Perfil esquemático dos escorregamentos translacionais.

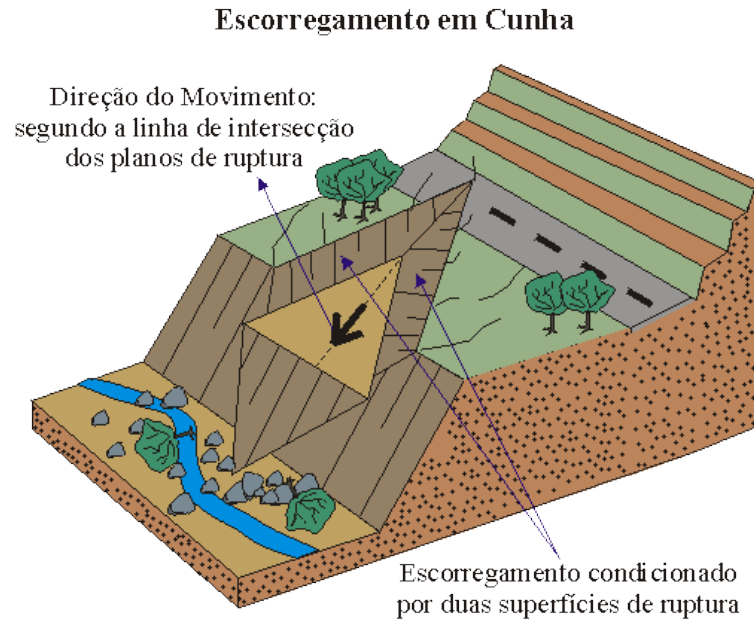


Fonte: Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998). Modificado por Reis (2001).

Escorregamentos em cunha (Figura 4) estão associados a saprolitos e maciços rochosos, onde a existência de dois planos de fraqueza desfavoráveis à estabilidade condicionam o deslocamento ao longo do eixo de intersecção destes planos. Estes processos são mais comuns em taludes de corte ou encostas que sofreram algum processo natural de desconfinamento, como erosão ou escorregamentos pretéritos (CARVALHO et al., 2007).

Quedas são movimentos extremamente rápidos (da ordem de m/s) e envolvem blocos e/ou lascas de rocha em movimento de queda livre, instabilizando um volume de rocha relativamente pequeno (Figura 6). A deflagração deste processo, geralmente, está condicionada à presença de afloramentos rochosos em encostas de alta declividade, abruptas, ou taludes de escavação, podendo ser potencializados pelas amplitudes térmicas, por meio da dilatação e contração das rochas (CARVALHO et al., 2007).

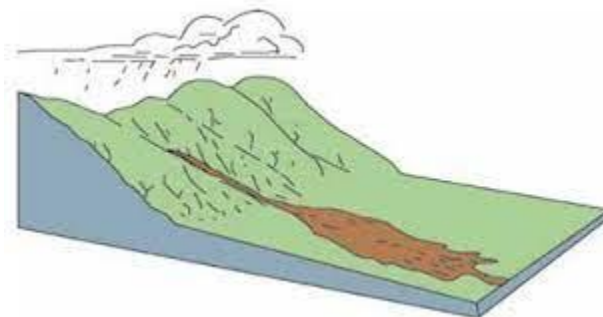
Figura 4 – Perfil esquemático do escorregamento em cunha.



Fonte: Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998). Modificado por Reis (2001).

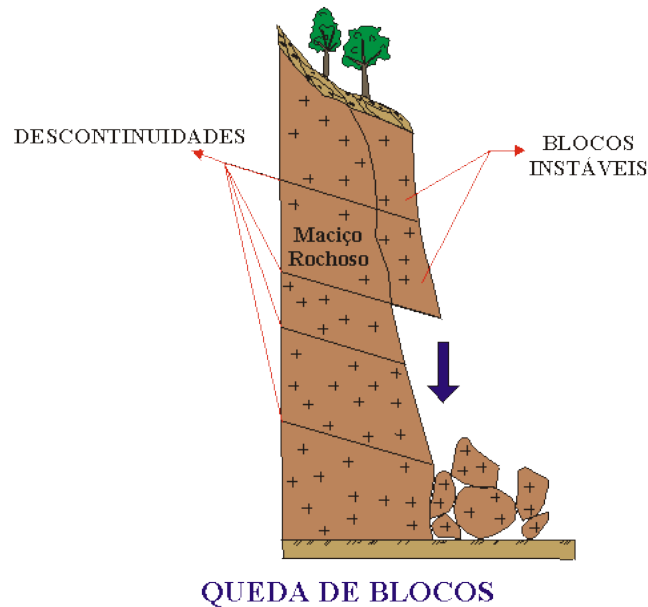
Corridas de massa são movimentos gravitacionais extremamente complexos (Figura 5), associados a eventos pluviométricos excepcionais. Ocorrem partindo de escorregamentos em encostas e mobilizam grandes volumes de material, sendo o seu escoamento ao longo de um ou mais canais de drenagem, com comportamento líquido viscoso e elevado potencial de transporte. São fenômenos mais raros que os demais, porém podem provocar desastres de magnitudes superiores, devido ao seu grande poder destrutivo e extenso raio de alcance (CARVALHO et al., 2007).

Figura 5 – Processo do tipo corrida.



Fonte: RIFFEL et al. (2016).

Figura 6 – Esboço de perfil esquemático do processo de queda de blocos rochosos.



Fonte: Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998). Modificado por Reis (2001).

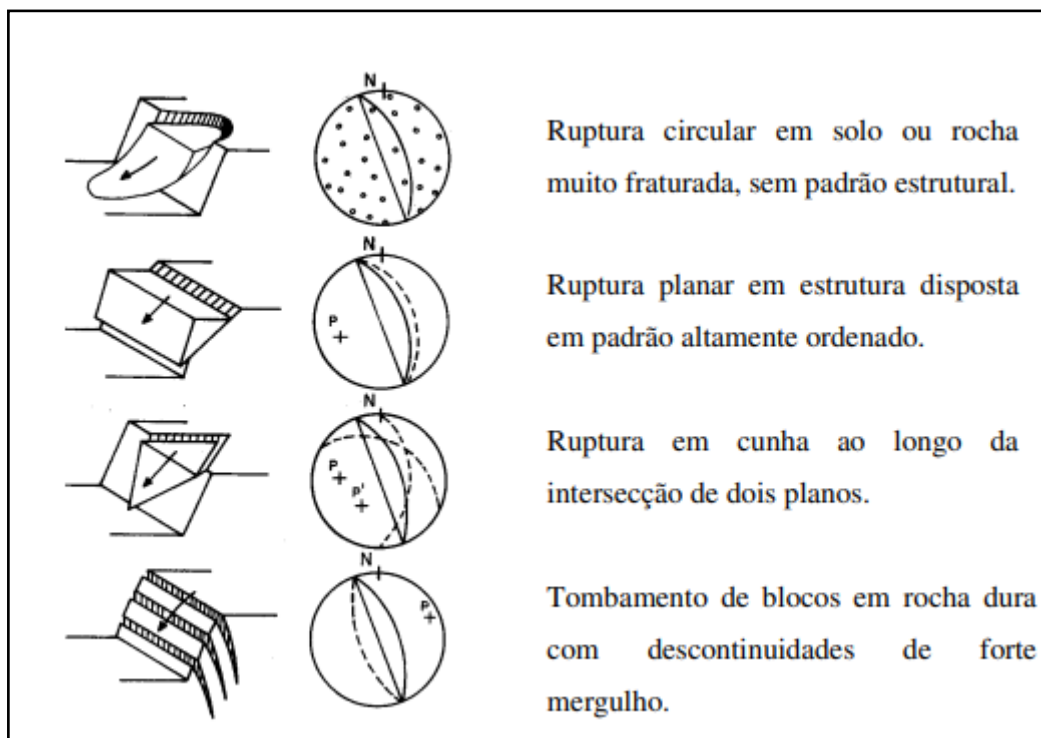
3.1.2 Fatores condicionantes

As variáveis que atuam para o desencadeamento dos movimentos de massa atuam de forma conjunta e, assim, não devem ser avaliadas individualmente (SESTINI, 2000). Diversos fatores podem contribuir para a deflagração de movimentos de massa, apresentando diversas variações espaciais e temporais. Estes fatores naturais estão associados à Geologia, Geomorfologia, Pedologia e elementos climáticos das paisagens, podendo ser potencializados pelas ações humanas (BIGARELLA et al., 2003; TOMINAGA et al., 2009; FERNANDES; AMARAL, 2011).

Varnes (1984), afirma que as causas básicas dos movimentos de massa são estudadas há muitos anos, sendo inerentes às características geológico-geotécnicas dos tipos de rochas e solos quanto a sua composição e estrutura, inclinação das encostas naturais, níveis de água subterrânea, atividades sísmicas, entre outros. Este autor salienta que a maioria dessas condições podem ser avaliadas pelos fatores envolvidos, mapeadas a partir de inventários, comparando-as a eventos anteriores permitindo assim, a predição de tal susceptibilidade de forma pontual ou local para áreas mais extensas.

Guidicini e Nieble (1983) afirmam que os movimentos de massa apresentam agentes e causas de sua culminância. A causa é o modo de atuação de determinado agente, sendo que o agente pode se expressar por meio de uma ou mais causas. Segundo os autores, a ruptura de um talude em rocha pode ocorrer de muitas formas (Figura 7) e, na maioria dos casos é dominada pela presença de discontinuidades preexistentes.

Figura 7 – Formas de ruptura dos taludes.



Fonte: GUIDICINI; NIEBLE (1983).

Esses agentes podem ser divididos em predisponentes e efetivos. Os classificados como predisponentes são as características topográficas (formas de relevo, declividade, orientação e comprimento das encostas), ambientais (vegetação, gravidade, clima, hidrografia) e geológicas (falhas, fraturas, tipos de rocha, etc.) da localidade, sendo assim, aspectos naturais do meio, sem interferência antrópica (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

Já os agentes efetivos seriam os elementos responsáveis de forma direta pela ocorrência dos movimentos de massa, podendo ser subdivididos em preparatórios (chuvas, erosão hídrica ou eólica, variação térmica, desmatamento, oscilação do nível do lençol freático, degelo/congelamento) ou imediatos (terremotos, chuvas

intensas, ação humana, erosão), que variam de acordo com os locais e os eventos estudados (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

De acordo com Guerra (2008), os movimentos de massa podem ser desencadeados pela combinação de diversos fatores, como o aumento da ação da gravidade, em virtude da maior declividade do terreno, ou ainda, por incremento na precipitação.

Para Fernandes et al. (2001), os movimentos de massa são condicionados por um conjunto de relações complexas entre si, ligadas a fatores geológicos, geomorfológicos, climáticos, antrópicos, entre outros. No mesmo sentido, Guidicini e Nieble (1984) afirmam que o tipo de rocha, a estrutura do solo, a cobertura vegetal, a precipitação, além da ocupação antrópica, atuam na movimentação coletiva de massa, tornando complexa a análise desses eventos.

Segundo Fernandes e Amaral (2000), a topografia atua tanto de forma direta, pela diminuição do fator de segurança com o aumento do ângulo de inclinação das encostas, quanto indiretamente pela formação das zonas de concentração de fluxos definidas pela forma das encostas. Desta forma, a declividade do terreno é uma variável básica na investigação dos movimentos de massa, devido à estreita associação com processos de transporte gravitacional (VALERIANO, 2008). No entanto, a análise isolada do papel desempenhado por essa variável é uma tarefa difícil, pois, como afirma Fernandes et al. (2001), é notória a existência de relações entre a declividade e outros parâmetros.

Para Augusto Filho e Virgili (2004) é evidente a correlação entre pluviosidade e movimentos de massa. Eventos chuvosos de grande intensidade e de volumes elevados causam saturação do solo reduzindo a resistência ao cisalhamento, ocasionando perda de estabilidade, sendo considerado o principal agente natural deflagrador deste processo.

De acordo com Bierman e Montgomery (2013) os movimentos de massa envolvem a translação do solo e/ou rocha parcialmente ou totalmente saturados ao longo de uma superfície de ruptura bem definida, ou plano de cisalhamento.

Nesse sentido, Bigarella et al. (2003) afirmam que após chuvas prolongadas o excesso de água no subsolo prejudica a integração dos materiais coloidais, diminui a

coesão. Entretanto, os mesmos autores ressaltam que esses processos não acontecem somente diante ao excepcionalismo pluviométrico, mas também é importante considerar o tempo de ocorrência, condutividade hidráulica e a variação do grau de saturação dos solos.

Autores como Terzaghi (1950) e Guidicini e Nieble (1983) afirmam que as causas dos movimentos de massa podem se diferenciar de acordo com sua posição em relação à encosta ou talude, podendo ser externas, internas ou intermediárias. As causas externas são aquelas que aumentam a tensão de confinamento sem que haja diminuição da resistência do material (como alterações da geometria do talude por processos naturais ou antrópicos, abalos sísmicos, entre outros), enquanto as internas diminuem a resistência do material sem alterar a geometria do talude (diminuição de coesão e ângulo de atrito interno, aumento da pressão hidrostática, etc.). Já as causas intermediárias são resultantes internos do talude de efeitos de agentes externos (como a erosão retrogressiva ou a liquefação espontânea).

Araújo (2004) afirma que as ações humanas também influenciam no desencadeamento dos movimentos de massa, relacionando o processo com a ocorrência de desmatamentos, disposição de lixos em taludes, falta e/ou ausência de direcionamento de drenagem pluvial, calhas naturais, cortes e aterros realizados sem parâmetros de altura e inclinação, obras de engenharia, escavações e bota foras.

3.2 Lineamentos

O termo “lineamento” foi utilizado inicialmente por Hobbs (1904) para descrever feições retilíneas na superfície da Terra, correspondendo principalmente a alinhamentos de cristas, linhas de drenagens e contatos geológicos (Figura 8).

De acordo com O’Leary et al. (1976), lineamentos são feições mapeáveis da superfície da Terra, simples ou compostas, cujas partes encontram-se alinhadas de modo retilíneo ou suavemente curvo, refletindo um fenômeno de subsuperfície.

Segundo Liu (1984), os lineamentos representam feições topográficas alinhadas ou lineares, tais como linhas de segmento de escarpas, alinhamento de cristas, vales,

trechos de rios e lagos, depressões alongadas, e também feições lineares que separam terrenos por meio da diferença de texturas e feições tonais lineares.

Wise et al. (1985), utiliza o termo lineamento referindo-se a alinhamento de vales, cristas, linhas de costa ou a combinação destas feições, desde que sejam maiores que 10 km de comprimento. Conforme este autor, os lineamentos não são claramente identificados como falhas, mas parecem ser zonas de desenvolvimento de juntas ou fraturas.

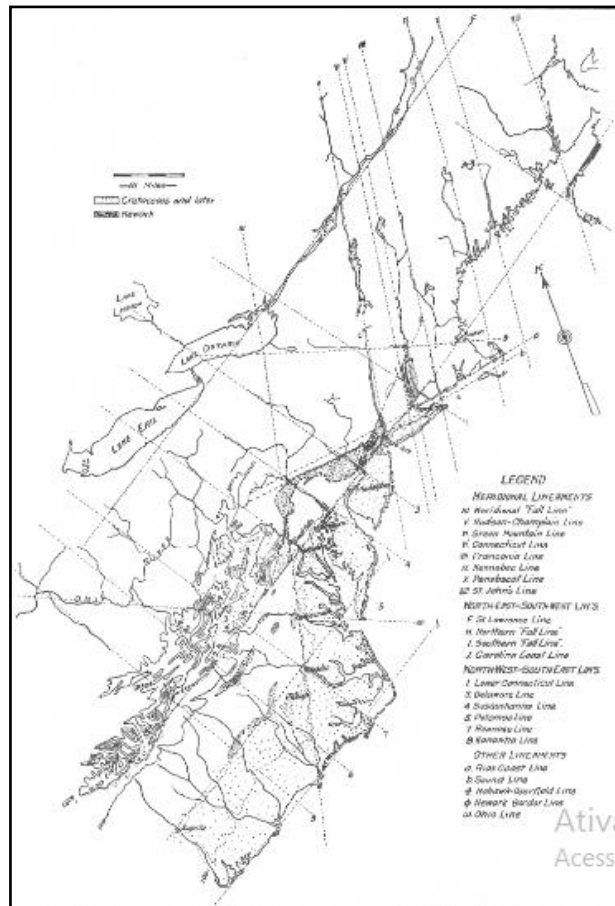
De acordo com Hasui (1990) e Saadi (1993), os lineamentos podem indicar áreas de reativação de linhas de fraqueza Pré-Cambrianas. Um conjunto de lineamentos com padrões particulares dão origem a domínios de lineamentos e o estudo de tais domínios levanta indícios de movimentos recentes da crosta (BRICALLI, 2011).

Para Jordan e Schott (2005), esses elementos lineares se relacionam a fenômenos geológicos e/ou geomorfológicos, que são representados na superfície por variação na elevação dos terrenos, como vales ou linhas de cumeeiras, segmentos de escarpas, trechos de drenagem e vales, que por refletirem as principais linhas de fraqueza da região podem indicar locais de ocorrência de estruturas geológicas importantes para averiguar a influência estrutural e/ou tectônica no desenvolvimento e evolução do relevo.

Bricalli (2011; 2016) e Bricalli e Mello (2013) afirmam que os lineamentos são feições lineares passíveis de identificação no terreno, em imagens de sensoriamento remoto e trabalhos de campo, que podem estar associados a estruturas subsuperficiais, em especial às linhas de fraqueza das rochas do embasamento pré-cambriano (Figura 9).

A terminologia sobre lineamentos varia entre os autores que estudam o tema, apresentando denominações como: linear, lineação e lineamento. Nessa pesquisa foi adotado o termo “lineamento”, significando “feições geomorfológicas lineares da superfície terrestre relacionados a cursos d’água retilíneos, segmentos alinhados de vales, segmentos de escarpas, alinhamento de cristas, trechos de rios e lagos” (BRICALLI, 2011).

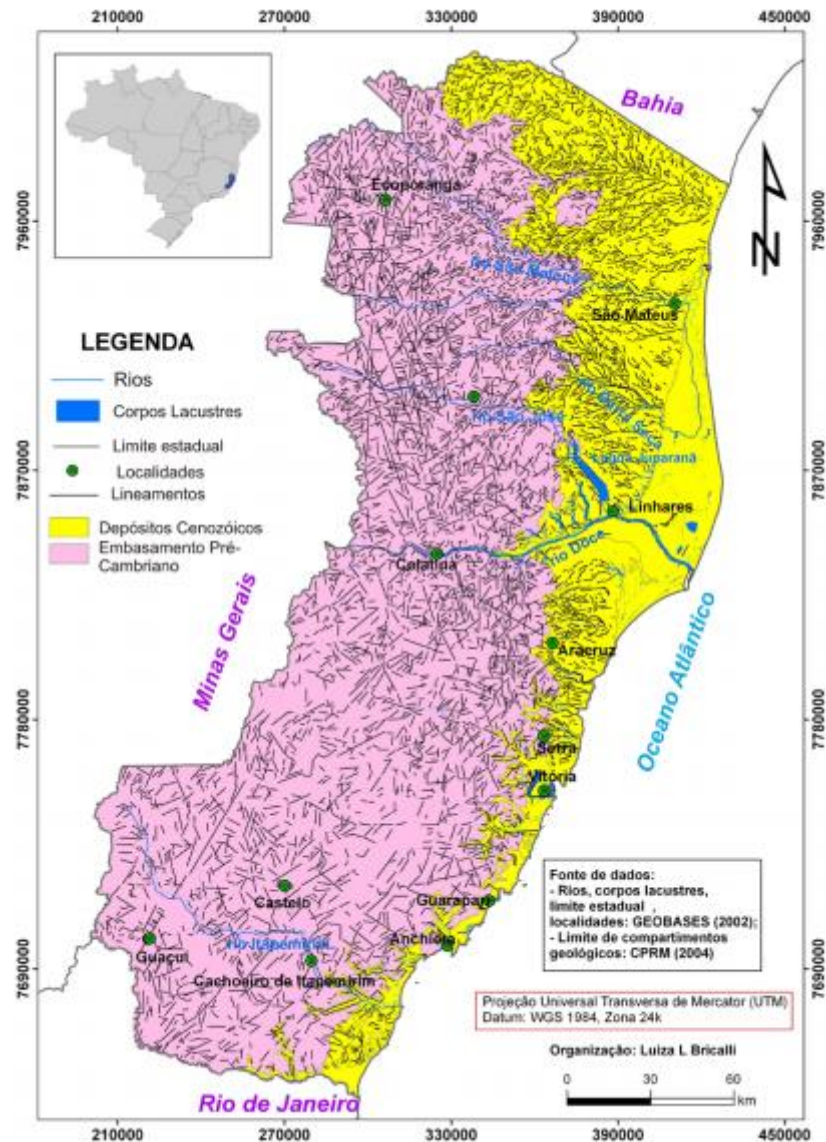
Figura 8 – Formas de ruptura dos taludes.



Fonte: HOBBS (1904).

Wise et al. (1985), Cianfarra e Salvini (2008) e Bricalli (2011) enfatizam a importância do uso de imagens de Sensoriamento Remoto e ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para a análise estrutural, uma vez que podem demonstrar a existência de lineamentos em escala regional sobre a superfície terrestre, sendo apontadas como ferramentas extremamente úteis para investigações neotectônicas das regiões caracterizadas por atividades sísmicas.

Figura 9 – Mapa de lineamentos do Espírito Santo, sob a compartimentação geológica básica do estado.



Fonte: BRICALLI (2011).

3.3 Neotectônica

Obruchev (1948) introduziu o termo Neotectônica para designar os movimentos da crosta terrestre ocorridos durante o “Terciário” tardio (Neógeno) e Quaternário, e que desempenharam um papel decisivo na formação da topografia contemporânea.

No Brasil, os estudos de neotectônica foram iniciados por Sternberg (1950), em seus estudos sobre os vales tectônicos na planície amazônica, Freitas (1951), que abordou a temática ao dissertar sobre o ensaio acerca da tectônica moderna do

Brasil, e Sternberg (1953), discorrendo sobre a sismicidade e a morfologia da Amazônia brasileira.

Segundo Summerfield (1986), a definição do termo “neotectônica” tem relação com movimentos da crosta terrestre ocorridos em escalas de tempo que variam de poucas décadas da atualidade até o Neógeno inteiro, não podendo ser mais antigo que isso e tendo, ainda, uma relação direta com a evolução da paisagem da área.

Trifonov (1989) considera neotectônica como movimentos de superfície que podem ser estudados e mensurados, considerando-os uma atividade do Neógeno. Este autor afirma ainda que a neotectônica fornece a base para testar conceitos tectônicos.

De acordo com Hasui (1990), os eventos neotectônicos estão diretamente relacionados à tectônica ressurgente, definida como uma manifestação tectônica intermitente de falhas em episódios separados por intervalos de quiescência. O autor afirma ainda que durante a atuação de um regime de esforços, dependendo da orientação da falha preexistente em relação aos esforços e a intensidade destes, é mais fácil reativar uma falha preexistente do que nuclear uma nova falha.

Saadi (1993) afirma que a dificuldade em se estabelecer um período neotectônico universal está intimamente relacionada à evolução tectônica de cada região, que pode variar de acordo com as tensões locais e o posicionamento em relação ao arranjo das placas litosféricas. Este autor propôs uma compartimentação neotectônica da plataforma brasileira (Figura 10), um estudo de grande relevância para a neotectônica. Saadi (1993) afirma que a Plataforma Brasileira foi afetada por deformações tectônicas cenozóicas em toda a sua extensão e que estas deformações se aproveitaram preferencialmente de antigas linhas de fraqueza da crosta, herdadas de deformações pretéritas, podendo, no entanto, terem sido nucleadas novas estruturas. Seus estudos indicam que as principais descontinuidades crustais reativadas limitam uma compartimentação do território brasileiro de acordo com as atividades neotectônicas.

Os estudos de Saadi (1993) afirmam ainda que os limites identificados como descontinuidades crustais resultam da reativação de lineamentos pré-cambrianos expressivos, geralmente sob regime transcorrente, afirmando também que os

Sudeste do Brasil (RICCOMINI, 1989; HASUI, 1990; SAADI, 1993; SALVADOR, 1994; SALVADOR E RICCOMINI, 1995; MELLO, 1997; GONTIJO, 1999; FERRARI, 2001; HIRUMA et al., 2001; SARGES, 2002; SILVA, 2006; MIRANDA, 2009; RIBEIRO, 2010; BRICALLI, 2011; ROCHA, 2019; BUSATO, 2020; entre outros).

Os primeiros estudos sobre a Neotectônica no estado do Espírito Santo foram realizados por Gallardo et al. (1987) que interpretaram esforços com componente compressiva de direção ENW-WSW e componente distensiva de direção NNW-SSE, controlando especialmente a rede de drenagem na região de Nova Venécia.

Posteriormente, autores como Hatushika (2005), Mello et al. (2005), Rodrigues (2005), Miranda (2007), Miranda (2009), Ribeiro (2010) e Bricalli (2011) investigaram as movimentações neotectônicas no estado do Espírito Santo.

Estes estudos documentaram a ocorrência de 3 (três) eventos neotectônicos: i) transcorrência sinistral E-W, de idade supostamente neogênica; ii) transcorrência dextral E-W, atribuída a uma idade pleistocênica a holocênica; iii) distensão NW-SE, atribuída a uma idade holocênica. Dos eventos identificados, em termos de número de dados obtidos e abrangência, destacam-se, nesta ordem: o regime de transcorrência dextral E-W; o regime de distensão NW-SE; e o regime de transcorrência sinistral E-W, este bem menos representativo.

Na presente pesquisa, o conceito de Neotectônica utilizado relaciona-se a “movimentos da crosta relacionados a um intervalo de tempo geológico envolvendo o Neógeno e o Quaternário” (BRICALLI, 2011).

3.4 Estruturas geológicas e movimentos de massa

Quando abordamos os fatores geológicos, os aspectos que contribuem de forma significativa para a deflagração dos movimentos de massa são a litologia, os padrões de fraturas, falhas e diáclases, manto de intemperismo, foliação e descontinuidades do solo (BIGARELLA et al., 2003; FERNANDES;AMARAL, 2011).

Os tipos de rocha, juntamente com as suas características estruturais, irão determinar a estabilidade de uma área. Fraturas, falhas, diáclases e bandamentos podem direcionar a penetração de água em um maciço, por exemplo, contribuindo para a intensificação do intemperismo químico e aumento do nível de água do

mesmo, podendo também originar descontinuidades hidrológico-mecânicas, propiciando sua instabilidade (BIGARELLA, et al., 2003; FERNANDES;AMARAL, 2011).

Segundo Sarkar e Kanungo (2017), os tipos de rocha desempenham um papel importante na estabilidade de taludes. Segundo os autores, a constituição litológica, sua textura e grau de intemperismo são os elementos básicos que determinam a influencia dos tipos de rocha e a instabilidade das vertentes em uma região.

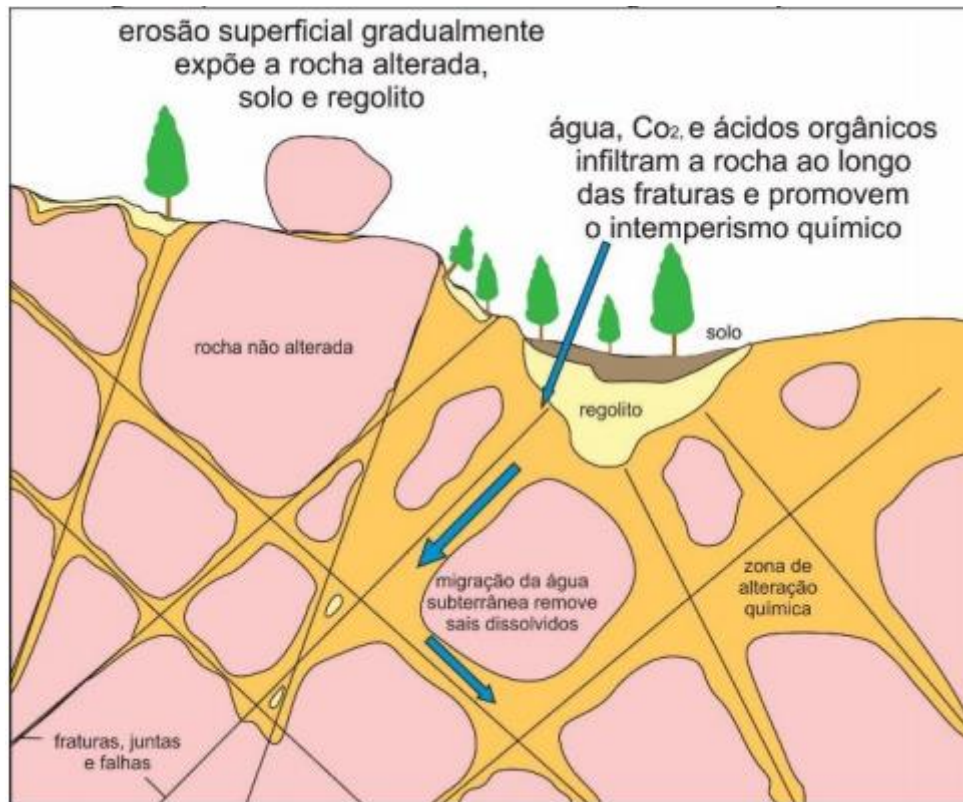
A estrutura geológica da área tem uma influência significativa na ocorrência dos movimentos de massa, tais como os escorregamentos. Uma das maneiras de analisar a relação das estruturas geológicas e a ocorrência de movimentos de massa é através da elaboração de mapas de lineamentos (ANBALAGAN; SIGH, 1996; ATKINSON; MASSARI, 1998; NAGARAJAN, et al., 1998, 2000; RAMLI, ET AL., 2010).

Para Sorriso-Valvo (et al., 1999) estruturas, como falhas e fraturas, podem determinar a resposta de um declive à força da gravidade e a eficácia do processo de erosão. Por meio da interpretação de fotos aéreas e trabalhos de campo, é possível identificar as descontinuidades estruturais que afetam as áreas em estudo.

Essas estruturas representam superfícies de fraqueza no material e têm papel fundamental na suscetibilidade a movimentos de massa (Figura 11). A presença de falhas, fraturas e superfícies de acamamento proporcionam maior acesso aos agentes intempéricos, o que aumenta o grau de alteração das rochas. O aumento da área superficial onde o intemperismo atua, gerado pelas descontinuidades estruturais, promove a formação de minerais secundários e a fragmentação das rochas (NOVELETTO, 2017).

A movimentação tectônica pode alterar a orientação de superfícies como o acamamento sedimentar, a foliação metamórfica ou o bandamento composicional. Se a orientação for paralela à face do talude, a força da gravidade torna-se mais efetiva e o movimento do material é facilitado. Estas características geológicas, não se restringem ao material rochoso, uma vez que são herdadas em solos residuais. Assim, o conhecimento geológico de um local é fundamental em uma análise de movimentos de massa (CHRISTOFOLETTI, 1980)

Figura 11 - Os planos de fraqueza gerados pelas discontinuidades promovem a maior fragmentação das rochas e o maior acesso de agentes intempéricos.



Fonte: Noveletto (2017).

De acordo com Nummer (2003), é possível afirmar que a estabilidade dos corpos rochosos é determinada, em grande parte, pelas discontinuidades geológicas que podem condicionar diretamente o mecanismo e a geometria da ruptura. Essas estruturas também podem estar relacionadas à percolação das águas e zonas preferenciais de alteração, que atuam na deflagração dos processos de instabilidade.

Descontinuidades estruturais, como falhas e fraturas indicam zonas de fraqueza preexistentes no corpo das rochas. Essas zonas de fraqueza representam, normalmente, áreas onde a umidade se acumula e a vegetação se desenvolve. Elas afetam a estrutura do material da superfície e tem uma influência significativa na permeabilidade do local e na instabilidade da encosta (NAGARAJAN, et al., 1998, 2010; GOMEZ; KAVZOLGLU, 2005). Essas linhas de fraqueza podem ser esculpidas pela erosão, podendo vir a formar pequenos vales (ALI; PIRASTEH, 2004).

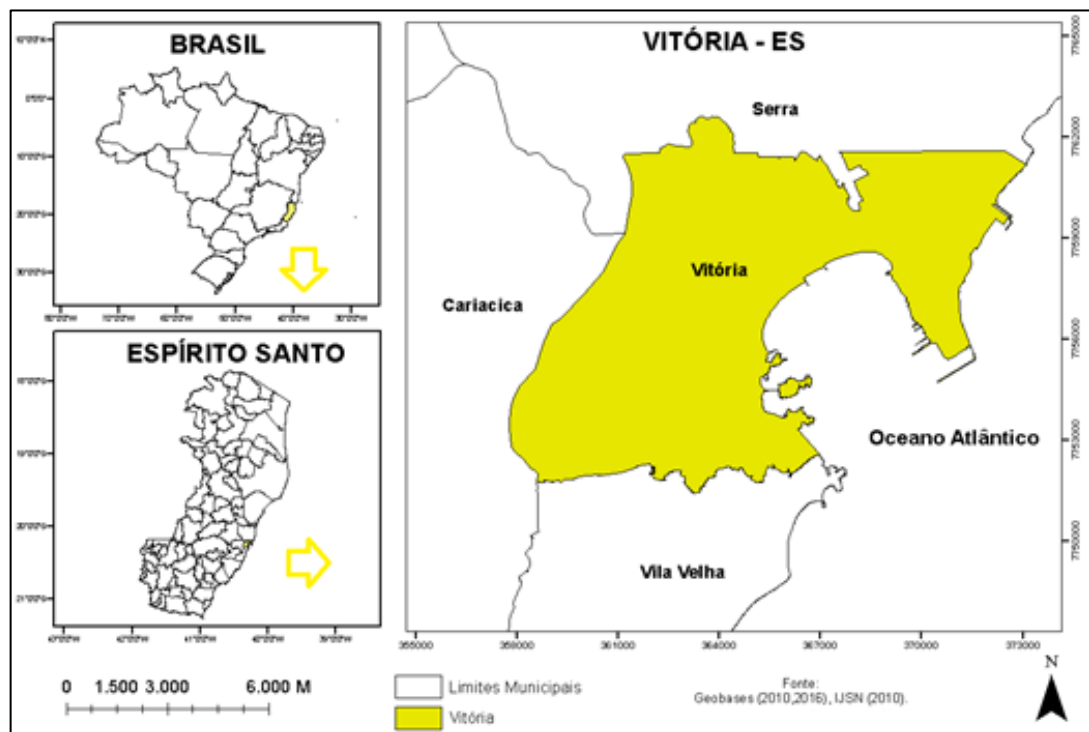
Apesar dos estudos sobre padrões de lineamentos demonstrarem uma importante correlação com a ocorrência dos movimentos de massa (ANBALAGAN, 1992; ATKINSON; MASSARI, 1998; RAMLI, ET AL., 2010; NAGARAJAN, et al., 2010) não está claro se lineamentos presumivelmente de origem geológica desempenham um papel ativo ou passivo na movimentação dos taludes, se eles coincidem com uma zona de concentração de tensão, ou são simplesmente uma zona de fraqueza nas rochas (AMBROSI; CROSTA, 2006).

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização geográfica

O município de Vitória (Figura 12), capital do estado do Espírito Santo, situado na região Sudeste do Brasil, compreende uma área de aproximadamente 93,38 km². A cidade se localiza entre as coordenadas 20°14' e 20°20'S; 40°22' e 40°12'30"W, e se caracteriza como concentradora das principais atividades econômicas e administrativas da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV).

Figura 12 - Localização da área de estudo.



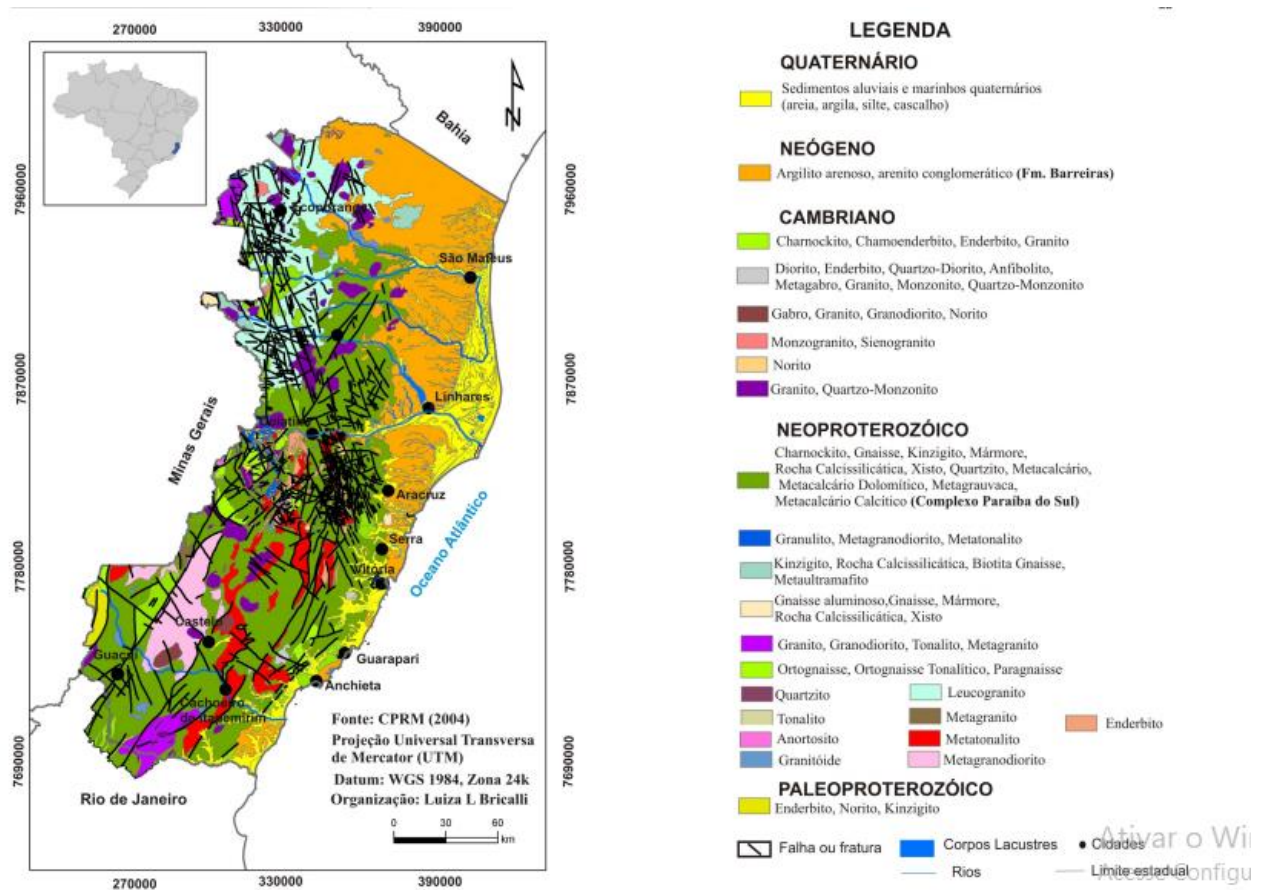
4.2 Geologia regional

A geologia do estado do Espírito Santo (Figura 13) pode ser dividida em dois compartimentos principais: i) Embasamento pré-Cambriano constituído basicamente de rochas ígneas e metamórficas; e ii) Depósitos sedimentares cenozoicos, constituídos pela Formação Barreiras e por depósitos quaternários da bacia do Espírito Santo (BRICALLI, 2011).

4.2.1 Embasamento Pré-Cambriano

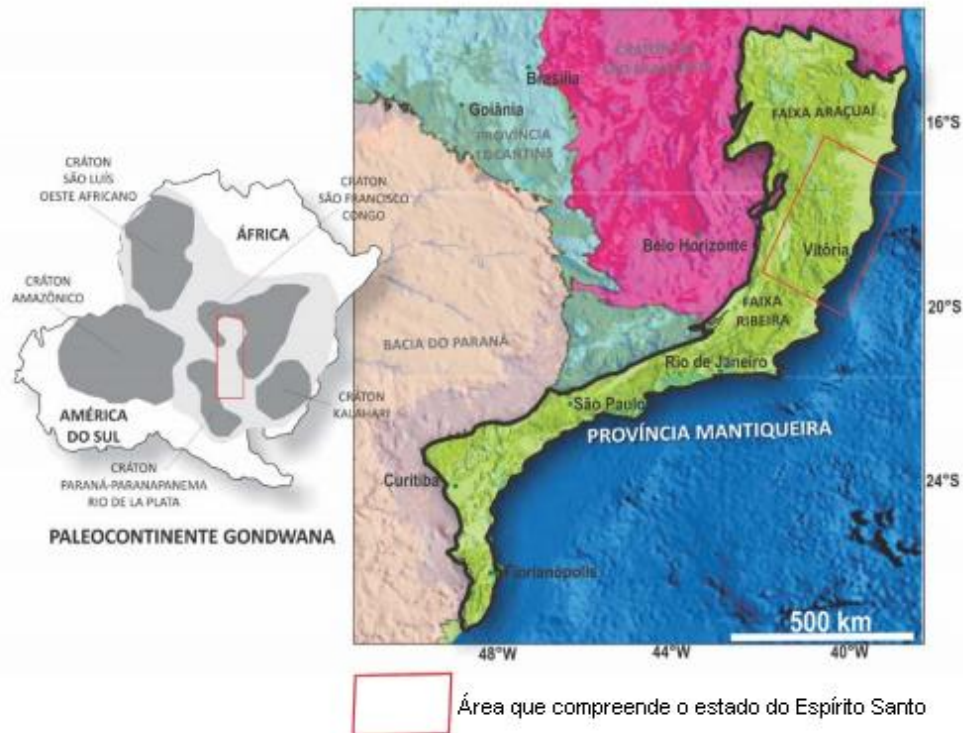
De acordo com Heilbron et al. (2004) as rochas que correspondem ao embasamento pré-Cambriano da área de estudo foram geradas durante o Ciclo Brasileiro e estão ligadas a uma complexa associação de rochas ígneas e metamórficas da Província Mantiqueira (Figura 14). O sistema Orogênico Mantiqueira se estende da Bahia ao Uruguai em uma área de aproximadamente 700000 km² e é constituído pelos orógenos Araçuaí, Ribeira, Dom Feliciano, São Gabriel e pelas zonas de interferência entre os orógenos Brasília e Ribeira.

Figura 13 - Mapa geológico do estado do Espírito Santo.



Fonte: CPRM (2004). Organizado por Bricalli (2011).

Figura 14 - Mapa evidenciando a Província Mantiqueira, na região sudeste do Brasil, sobre modelo digital de elevação. Dentro do retângulo vermelho estão as áreas da Faixa Ribeira e a Faixa Araçuai.



Fonte: modificado de Bizzi et al. (2003).

No estado do Espírito Santo predominam os orógenos Araçuai e Ribeira (TUPINAMBÁ et al., 2013). O Orógeno Araçuai se estende do Cráton São Francisco até o litoral atlântico e está localizado entre os paralelos 15° e 21°, sendo que, no paralelo 21° se observa uma transição do Orógeno Araçuai para o Orógeno Ribeira. Essa mesma transição tem como característica a mudança da estruturação de direção NNE, a norte, para NE, a sul (PEDROSA SOARES; WIEDEMAN-LEONARDOS, 2000; HEILBRON, et al., 2004). Este orógeno se subdivide em três domínios principais:

i) Domínio externo: que faz fronteira com o Cráton do São Francisco e tem como principal característica uma faixa de dobramentos e empurrões. Possui transporte tectônico contra o Cráton do São Francisco e no limite oriental faz fronteira com o Grupo Macaúbas. A oeste se localizam os níveis crustais mais profundos originados na Orogênese Brasileira;

ii) Domínio interno: núcleo metamórfico-anatético do orógeno e com ocorrência de grande quantidade de rochas originadas em diferentes estágios da Orogênese brasileira. A sul do paralelo 19° existe uma região com rochas de alto grau metamórfico, a norte desse mesmo paralelo existe uma zona de anatexia sin e pós-colisional, rica em granitos do tipo S, na parte ocidental do domínio predomina o transporte tectônico para sudoeste;

iii) Inflexão setentrional: caracterizada por feições tectônicas com estruturas brasileiras para leste. Apresenta característica dos dois domínios quanto a seu metamorfismo, o mesmo cresce em grau de norte a sul, começando na fácies xisto verde dentro do limite cratônico, indo até a fácies anfíbolito no território do núcleo metamórfico-anatético.

O orógeno Araçuaí passou por diversos estágios de formação até chegar à configuração atual (HEILBRON, et al., 2004), que são: i) Pré-colisional (630-580 Ma); ii) Sin-colisional (580-560 Ma); iii) Tardi-colisional (560-530 Ma) e; iv) Pós-colisional (530-490 Ma). Os estágios são estabelecidos por assinaturas 24 geoquímicas e isotópicas, relações estruturais e idades U-Pb das rochas (PEDROSA-SOARES et al., 2013).

Devido à ausência de estruturas marcantes, que delimitem diferentes evoluções tectônicas, o limite entre as faixas Ribeira e Araçuaí ainda é arbitrário (TUPINAMBA et al., 2013).

De acordo com Heilbron (et al., 2004), o Orógeno Ribeira apresenta *trend* estrutural NE-SW e resulta da interação entre o Cráton do São Francisco e outras placas e/ou microplacas e/ou arco de ilhas situados a sudeste deste cráton, como também a porção sudoeste do Cráton do Congo. É possível ainda subdividir este orógeno em cinco terrenos tectono-estratigráficos separados por falhas de empurrões com mergulhos íngremes ou por zonas de cinsalhamento oblíquas.

Tupinambá (et al., 2013) traz a divisão do Orógeno Ribeira em quatro terrenos tectono-estratigráficos separados por falhas de empurrões com mergulhos íngremes ou por zonas de cinsalhamento oblíquas transpressivas: i) Ocidental (margem franciscana retrabalhada); ii) Terreno Paraíba do Sul; iii) Terreno Oriental; e iv) Terreno Cabo Frio.

4.2.2 Bacia do Espírito Santo

A Bacia do Espírito Santo (Figuras 15 e 16) possui uma faixa alongada a sul, delimitada pelo Alto Estrutural de Vitória, a oeste, delimitada pelo embasamento cristalino pré-Cambriano da Faixa Ribeira e a norte apresentando um limite arbitrário (MORAIS, 2007).

A evolução da Bacia do Espírito Santo pode ser dividida em três fases: rifte, transição e marinha. (TUPINAMBA et al., 2013).

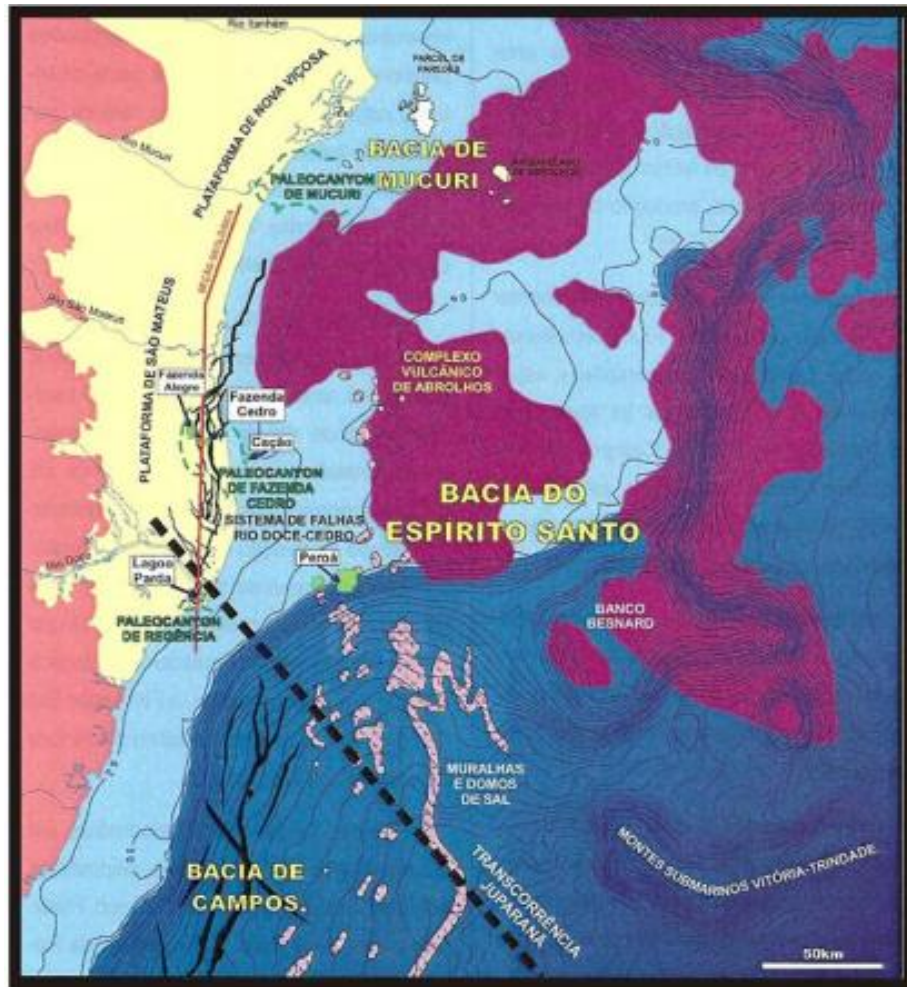
A fase *Rifte* (continental) corresponde ao início da formação da bacia do Espírito Santo, iniciando com a separação do supercontinente Gondwana no Jurássico. Essa fase se caracteriza pelo predomínio de esforços distensivos, onde a crosta é estirada e se afina, gerando falhas normais de direção N-S, N20-30E e NNW-SSE (FRANÇA; TOKUTAKE, 2004; BRICALLI, 2011). Com o movimento das falhas, feições morfoestruturais foram formadas, como os horsts e grábens que condicionaram a sedimentação fluvio-lacustre e de leques aluviais (BRICALLI, 2011).

A megasequência continental se separa da transicional pela discordância pré-Alagoas, onde estruturalmente há uma mudança de estágio distensional para compressional.

A fase transicional, datada do Aptiano tardio ao Albiano, é caracterizada, em um primeiro momento, por sedimentos continentais, sucedidos por sedimentos evaporíticos em ambiente marítimo restrito e clima árido (FRANÇA; TOKUTAKE, 2004).

A fase marinha (Albiano ao Recente) possui os registros mais expressivos, onde nelas se incluem carbonatos e siliciclastos, destaque a sedimentação pelítica. Os registros na Bacia do Espírito Santo se subdividem nos arenitos da Formação São Mateus e os carbonatos da Formação Regência, as duas pertencentes ao Grupo Barra Nova. As formações Rio Doce de arenitos e folhelhos, Caravelas de calcarenitos e calcilutitos e Urucutuca de folhelhos também são pertencentes a fase marinha, essas formações pertencem ao Grupo Espírito Santo (FRANÇA e TOKUTAKE, 2004).

Figura 15 - Bacia do Espírito Santo.



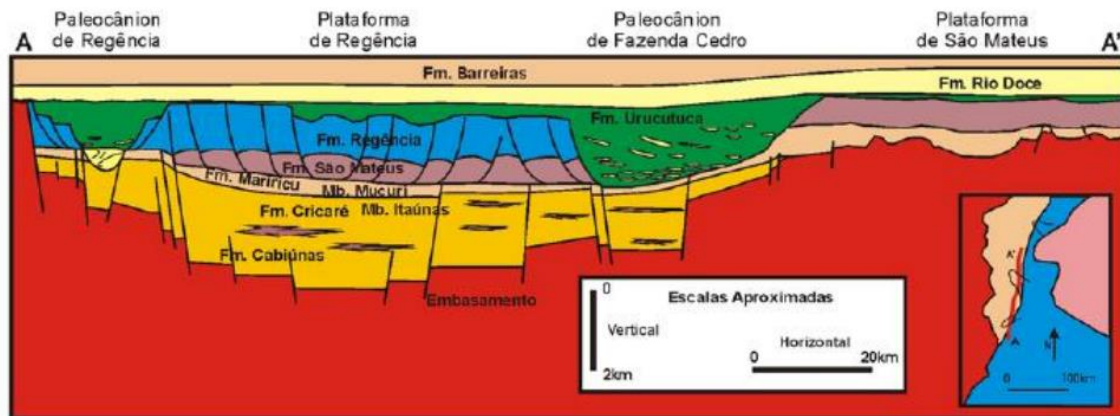
Fonte: França e Tokutake (2004).

A partir do Mesoeoceno se inicia uma fase de progradação, que indica mudanças na relação entre suprimento/subsidência e nível do mar. Nessa fase também ocorre maior atividade vulcânica na região norte e leste da bacia, que promoveu o soerguimento a leste da bacia propiciando a instalação de uma nova plataforma carbonática. No final do Mesoeoceno houve um rebaixamento do nível do mar, erodindo sedimentos antigos e peneplanizando todo o relevo da porção terrestre. No Neoeoceno ocorre o afogamento dos paleocânions de Regência e Cedro. No Mioceno houve um predomínio absoluto de sedimentos plataformais de água rasa (FRANÇA; TOKUTAKE, 2004).

A porção terrestre da bacia do Espírito Santo (Figura 16), recoberta por sedimentos continentais cenozóicos, está dividida em quatro regiões morfoestruturais: Plataforma de São Mateus, Paleocânion de Fazenda Cedro, Plataforma de Regência

e Paleocânion de Regência. Nela afloram sedimentos paleogênicos e neogênicos relacionados às formações Rio Doce (Eogeno-Mioceno) e Barreiras (Mioceno-Plioceno), como discute Moraes (2007).

Figura 16 - Porção terrestre da bacia do Espírito Santo com as suas quatro regiões morfoestruturais e importantes formações.



Fonte: França e Tokutake (2004).

4.2.3 Cobertura Detrítico-lateríticas

As coberturas detrítico-lateríticas se caracterizam por sedimentos areno-argilosos e conglomeráticos, mal selecionados, de cor branca a branco-amarelada, percolados por ferro, sendo datados do Terciário tardio ao Quaternário. Se correlacionam à deposição de sedimentos em áreas peneplanizadas, datadas do Terciário ao Quaternário, e em cotas que variam entre 200 e 800 metros de altitude (MACHADO FILHO et al., 1983).

Localizadas na porção oeste da margem sul do Rio Doce, as coberturas detrítico-lateríticas são datadas do Cenozoico. Sua constituição litológica é caracterizada por sedimentos detríticos arenoargilosos friáveis, de cor avermelhada a marrom-avermelhada escura, com cascalhos rolados de espessura variando de centimétrica a métrica e solos lateríticos ferruginosos. Os depósitos se encontram subnivelados entre as cotas 31 900 a 700 metros e nivelados entre as cotas 400 a 250 metros, as cotas mais baixas possuem relevo escarpado nas bordas, drenagem detrítica e vegetação arbustiva. Nas cotas mais elevadas existe escassez de drenagens e vegetação de mata densa (CPRM, 2015).

4.2.4 Depósitos Quaternários

Os depósitos sedimentares quaternários são representados, especialmente, nas desembocaduras dos rios Doce e São Mateus, onde a sedimentação é mais expressiva. Essa sedimentação é constituída, segundo Martin (et al., 1997), por: i) Terrenos arenosos pleistocênicos; ii) Terraços arenosos holocênicos; iii) Pântanos e Mangues holocênicos; iv) Depósitos fluvio-lagunares holocênicos; e v) Depósitos aluvionares holocênicos.

i) Terrenos arenosos pleistocênicos – composto por areias bem selecionadas e de coloração escura devida a presença de matéria orgânica, são relacionados a parte final da transgressão marinha e regressão que a sucede (MARTIN et al., 1997).

ii) Terraços arenosos holocênicos – sedimentos arenosos e bem selecionados, podem formar alinhamentos de cordões litorâneos. Localizam-se na parte mais externa da planície costeira em cotas menos elevadas do que os terraços pleistocênicos (MARTIN et al., 1997).

iii) Pântanos e mangues holocênicos – sedimentos de lagos e pântanos, quase que com frequência de argilas com matéria orgânica. Também se encontram areias quartzosas finas e grossas, mal e moderadamente selecionadas, assim como, siltes argilosos, areias sílticas e arenosas e turfas. Localizados quase que em sua totalidade na região de Linhares (MARTIN et al., 1997).

iv) Depósitos fluvio-lagunares holocênicos – caracterizados como areias e siltes argilosos com matéria orgânica. Se localizam principalmente nas calhas dos rios Itaúnas, São Mateus e Doce em depósitos fluvio-lagunares (MARTIN et al., 1997).

v) Depósitos aluvionares holocênicos - caracterizados como arenosos, uma pequena parcela se apresenta com presença de silte, argila e cascalho. Foram mapeados principalmente nos rios Doce e São Mateus (MARTIN et al., 1997).

O quaternário aluvionar se caracteriza por ser por apresentar depósitos fluviais, fluviomarinhos, fluviolacustres e de estuários. A composição desses depósitos é dada por cascalhos, areias e siltes inconsolidados, com estratificações cruzadas e

gradativas sendo finalizadas em sedimentos pelíticos (MACHADO FILHO, et al., 1983).

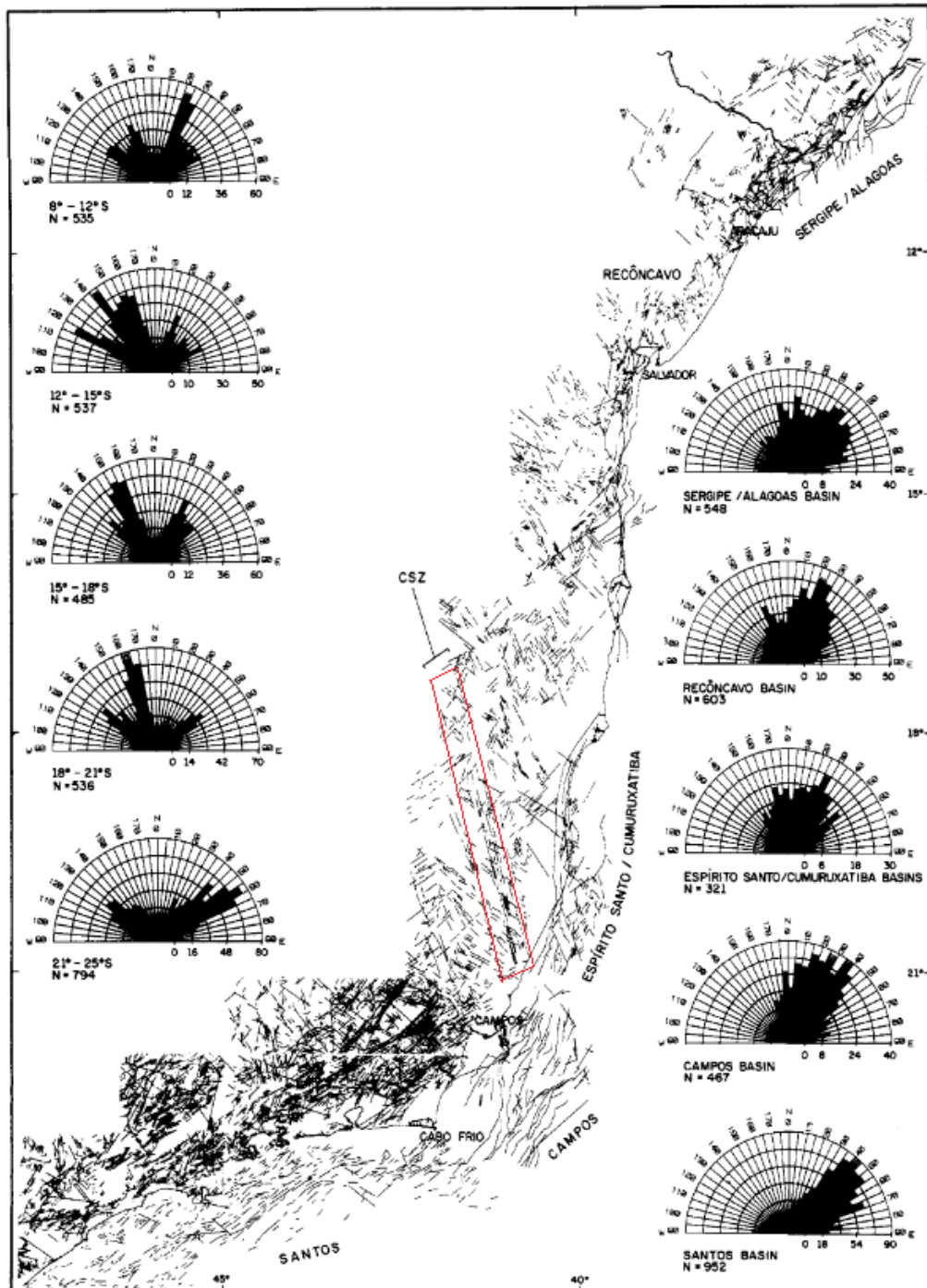
4.2.5 Geologia estrutural, Lineamentos e Neotectônica

A feição estrutural mais importante do estado do Espírito Santo corresponde a um conjunto de lineamentos de direção NNW e NW que tem início a sul de Vitória, passa pela cidade de Colatina e termina a noroeste, no limite com o estado de Minas Gerais (BRICALLI, 2011). Este conjunto é denominado Alinhamento Vitória-Ecoporanga (MACHADO FILHO, et al., 1983), Zona de Cinsalhamento Colatina (CHANG, et al., 1992) ou Faixa Colatina (NOVAIS., et al., 2004) – Figura 17.

O Alinhamento Vitória-Ecoporanga representa uma faixa com orientação NW-SE, associada a processos de deformação dúctil nas rochas do embasamento proterozoico, com origem no Neoproterozoico e reativado durante o Eopaleozoico e caracterizando-a como uma zona de cisalhamento. Esta feição se correlaciona a intrusão dos plútons das suítes Aimorés e Guaratinga, controlados pelos lineamentos no Eopaleozoico. No Jurássico teria havido uma nova reativação com a intrusão de diques básicos da Suíte Intrusiva Fundão, obedecendo a direção NNW-SSE (SILVA et al., 1987).

A porção norte do estado é marcada pela maior presença de lineamentos NW-SE, os mesmos são alternados com setores de predomínio de lineamentos NE-SW. Essa porção concentra a maior densidade de lineamentos, associados a Faixa Colatina, com trend estrutural NNW-SSE. Dividindo-se o terreno em Depósitos Cenozoicos e em Compartimento Pré-Cambriano observa-se 2 (dois) compartimentos distintos: i) o primeiro apresenta direções N70-90E e N40-60W, com distribuições também significativas nas direções N0-20W e N70-80W e; ii) o segundo compartimento apresenta direções N50-70E, N0-20W e N20-40E, com uma pequena parcela de lineamentos na direção N60-80W (BRICALLI, 2011). Na porção sul do estado há um predomínio de lineamentos na direção NESW, com a presença de feixes de lineamentos na direção NW-SE, tendo relação com a estruturação da Faixa Ribeira esse domínio apresenta falhas, fraturas e foliações de direção NE-SW cortadas por estruturas de orientação NE-SW quase que perpendicularmente (BRICALLI, 2011).

Figura 17 - Mapa de lineamentos estruturais na margem continental associada às bacias de Santos, Campos e Espírito Santo. A Faixa Colatina está destacada pelo retângulo vermelho.



Fonte: modificado de Chang et al. (1992).

Foram identificados 3 (três) eventos neotectônicos no estado do Espírito Santo, que afetam especialmente a rede de drenagem e o relevo da área: i) Transcorrência sinistral E-W, de idade neogênica e associada a geração de falhas normais NE-SW, falhas dexas NNE-SSW e falhas sinistrais E-W a ENE-WSW afetando o

embasamento cristalino; ii) Transcorrência dextral E-W, de idade pleistocênica – holocênica, associada a geração de falhas normais NW-SE, falhas dextrais NW-SE a E-W e falhas sinistrais NNE-SSW a NNW-SSE ; e iii) Distensão NW-SE, holocênico, associado a falhas normais NE-SW a ENE-WNW (BRICALLI, 2011; MIRANDA, 2007; MIRANDA, 2009; RIBEIRO, 2010).

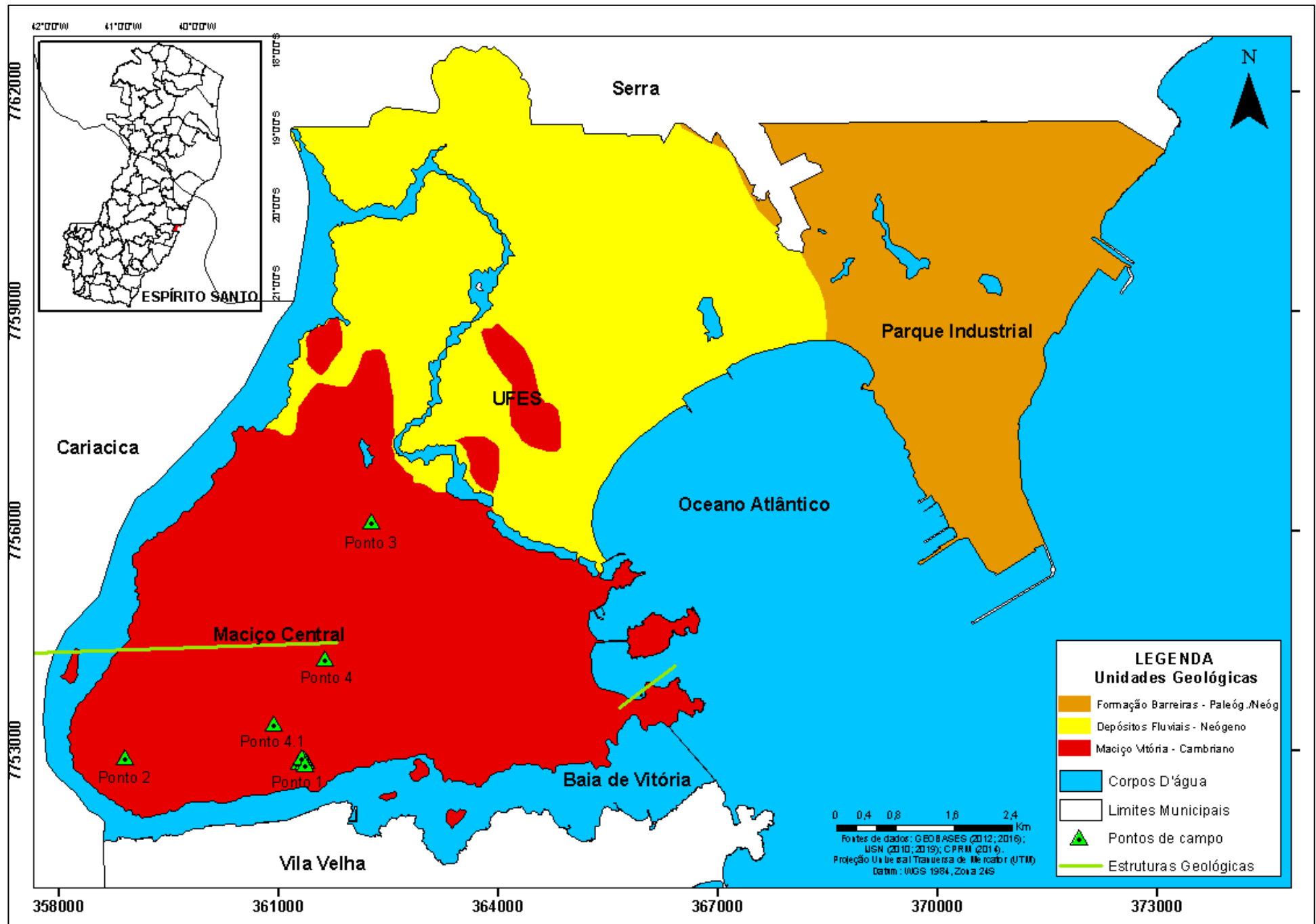
4.2.6 Geologia de Vitória

O município de Vitória, capital do estado do Espírito Santo, apresenta três unidades geológicas (Figura 18): o Maciço Vitória, os Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes e a Formação Barreiras (CPRM, 2014).

Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes (Q2a): São descritos em duas fases: i) a fase aluvionar, que é constituída por areias quartzosas grossas, com grãos mal selecionados, conglomeráticos, micáceos e com intercalações argilo-silticas e argilosas; ii) a sua fase de areia branca, descrita como quartzosas, de granulação média a grossa, mal selecionadas e em depósitos que podem se estender como centenas de metros (CPRM, 2015).

Maciço Vitória (5lesvit): a litologia predominante encontrada é representada por um granito porfirítico. A rocha é descrita como de granulação média e cor cinza, apresenta megacristais e localmente exhibe foliação de fluxo magmático cortada por diques de basalto. A mineralogia básica do granito é representada por quartzo, biotita e megacristais de plagioclásio, localmente pode se encontrar hiperstênio, formando assim um biotita-hiperstênio granito. Em escala de afloramento se observa autólitos de rocha máfica (microdiorito), além de migmatitos e leucogranitos do tipo S encontrados em ilhas e costões rochosos (CPRM, 2015).

Formação Barreiras (ENb): repousa sobre unidades mais antigas do Pré-Cambriano até o Paleogeno e é recoberto discordantemente pelos sedimentos de idade quaternária - pleistocênica e holocênica (CPRM, 2015).



4.3 Geomorfologia regional

O estado do Espírito Santo está dividido em quatro compartimentos geomorfológicos principais: i) Serras e Morros; ii) Colinas e Maciços Costeiros; iii) Tabuleiros Costeiros; e iv) Planície Costeira (MENDES et al., 1987).

As Serras e Morros correspondem à unidade geológica *Patamares Escalonados do Sul Capixaba*, desenvolvida sobre rochas do embasamento pré-cambriano e que se diferencia das demais áreas devido a seus patamares escalonados (MENDES et al., 1987). A unidade é delimitada por frentes escarpadas adaptadas a falhas de direção NW-SE e suas altitudes variam entre 300 e 1500 metros.

O compartimento geomorfológico denominado Colinas e Maciços Costeiros se encontra entre altitudes que variam de 20 a 300 metros, ocupando os limites entre os domínios do embasamento pré-cambriano e dos sedimentos cenozoicos. Tendo maior concentração na região sul do estado, Colinas e Maciços Costeiros apresentam composição litológica predominante de rochas gnáissicas sobre maciços graníticos e colinas baixas (MENDES, et al., 1987).

Os Tabuleiros Costeiros se desenvolvem sobre os sedimentos da Formação Barreiras, apresentando relevo plano, que suavemente mergulha em direção ao oceano. Ocupa altitudes em torno de 50 a 100 metros, se concentrando, de oeste para leste, entre o sopé das elevações de rochas cristalinas e as planícies quaternárias. O contato com as planícies quaternárias se dá por paleofalésias (MENDES et al., 1987). Assim, as vertentes são geralmente abruptas e, no litoral, terminam sob a forma de extensos tabuleiros ou falésias de grandes proporções.

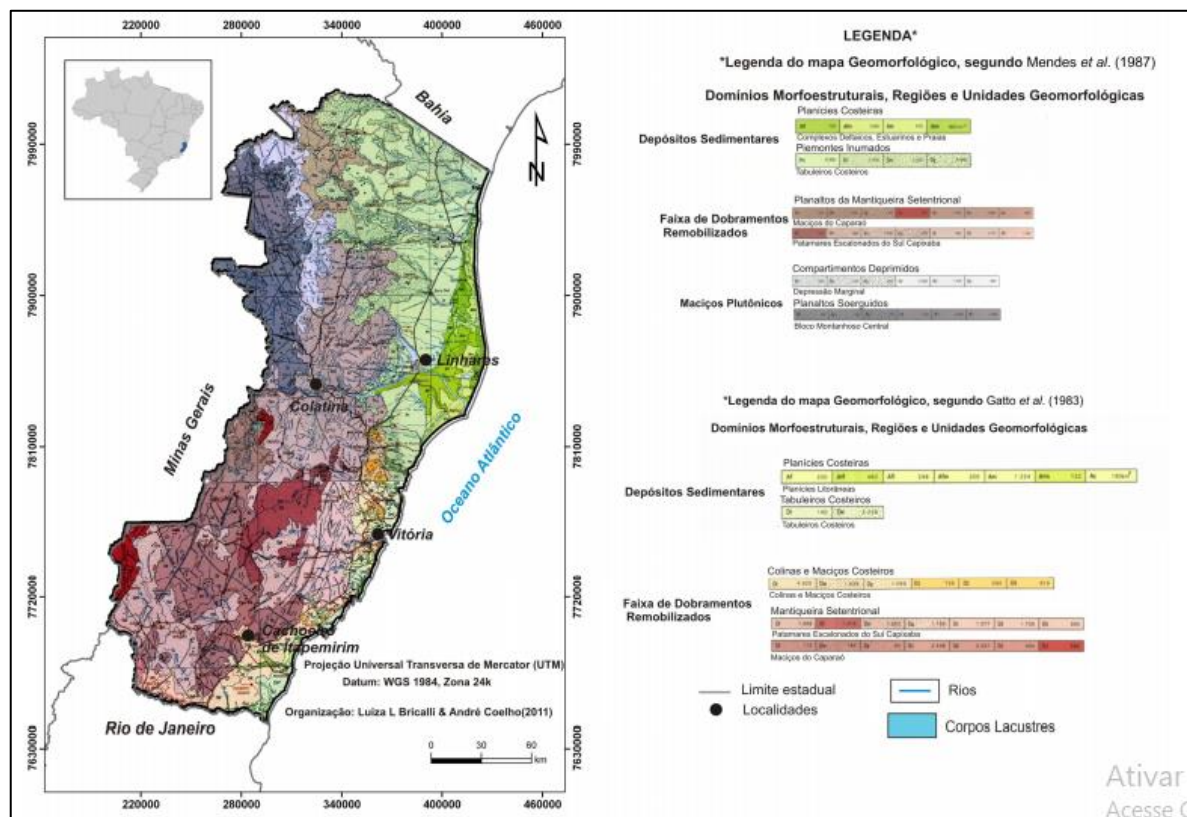
As Planícies Costeiras ocupam a faixa entre 0 (zero) e 20 (vinte) metros de elevação e se caracterizam como depósitos sedimentares quaternários com morfologia plana e extensa. Se concentram na região norte do estado, principalmente na foz do Rio Doce (MENDES et al., 1987).

4.3.1 Domínios Morfoestruturais, Regiões e Unidades Geomorfológicas

O estado do Espírito Santo abrange geomorfológicamente os seguintes domínios morfoestruturais (Figura 19): i) Maciços Plutônicos; ii) Faixas de Dobramentos Remobilizados; e iii) Depósitos Sedimentares (MENDES, et al., 1987).

i) Domínio Morfoestrutural Maciços Plutônicos: estruturas marcadas pela ocorrência de grandes massas intrusivas, corresponde à suítes magmáticas que intrudiram rochas proterozóicas e outras litoestruturas. Esse domínio se localiza na porção noroeste do estado e compreende as unidades geomorfológicas *Região Compartimentos Deprimidos*, que engloba a unidade geomorfológica *Depressão Marginal*; e *Região dos Planaltos Soerguidos* que engloba a unidade geomorfológica *Bloco Montanhoso Central* (MENDES et al., 1987).

Figura 19 - Mapa geomorfológico do estado do Espírito Santo.



Fonte: BRICALLI (2011).

A Região Geomorfológica *Compartimentos Deprimidos* caracteriza-se por uma faixa semicircular deprimida, que reflete diversos estágios de evolução do relevo, comandadas pela dinâmica fluvial adaptadas a características litológicas e estruturais e também às condicionantes climáticas. A Unidade Geomorfológica *Depressão marginal*, que está inserida nesta Região, se caracteriza por sua configuração irregular e marcada por reentrâncias devido a evolução geomorfológica de dissecação fluvial (MENDES et al., 1987).

A Região Geomorfológica *Planaltos Soerguidos* apresenta feições afetadas por agentes erosivos, relacionados à oscilação climáticas e variações do nível de base, podendo também refletir ações de movimentos tectônicos. São maciços elevados, que apresentam pontões rochosos e restos de topos parcialmente conservados (GATTO et al., 1983; MENDES et al., 1987).

A unidade Geomorfológica *Bloco Montanhoso Central* possui aspecto montanhoso devido ao realce de vários núcleos plutônicos a partir de retomadas erosivas desenvolvidas pelo abaixamento dos níveis de base da drenagem. Esta unidade também se caracteriza pela configuração alongada e irregular de direção N-S e pelo padrão de drenagem subdendrítico, que evidencia o controle estrutural, apresentando padrão radial em áreas específicas e com segmentos de canais retilíneos marcados por angulosidades em sulcos profundos, escarpas, cristas e pontões de orientação NW-SE e NE-SW (MENDES et al., 1987).

ii) Domínio Morfoestrutural Faixa de Dobramentos Remobilizados: domínio que se caracteriza pelo controle estrutural sobre a morfologia. Apresenta fortes evidências de movimentos crustais marcados por deslocamentos de blocos, marcas de falhas e falhamentos transversos. A região possui vales profundos e escarpas controladas por falhas de direção NNE e ESSE, e compreende as unidades da Região da *Mantiqueira Setentrional*, que engloba as unidades *Maciços do Caparaó* e *Patamares Escalonados do Sul Capixaba*; e a Região *Colinas e Maciços Costeiros*, que engloba a unidade *Colinas e Maciços Costeiros* (GATTO et al., 1983; MENDES et al., 1987).

A Região Geomorfológica *Mantiqueira Setentrional* apresenta grande variedade altimétrica, se caracterizando pela correlação entre a fase de dissecação e um sistema fluvial encaixado que obedece a um controle estrutural. As drenagens possuem padrão subdendrítico marcado por diversas angulosidades, encachoeiramentos e inflexões (GATTO et al., 1983; MENDES et al., 1987).

A Unidade Geomorfológica *Maciços do Caparaó* se caracteriza por apresentar relevo fortemente dissecado, com altitudes médias e grandes elevações maciças, que podem chegar a 2000 metros de altura. A influência do clima em rochas marcadas

por eventos tectônicos resulta em falhas intercruzadas, escarpas adaptadas e falhas com elevações residuais (GATTO et al., 1983).

A Unidade Geomorfológica *Patamares Escalonados do Sul Capixaba* apresenta blocos basculados para leste com morfologia disposta em aspectos homogêneos, se caracteriza pelos níveis dissecados escalonados, que formam patamares. Esses níveis são delimitados por frentes escarpadas e falhas direcionadas para noroeste com caimento para sudeste (GATTO et al., 1983).

A Região Geomorfológica *Colinas e Maciços Costeiros* apresenta topografia deprimida, disposta em baixas altitudes, fraturada e dobrada. Possui colinas côncavo-convexas, em um conjunto morfológico mais elevado. A Unidade Geomorfológica *Colinas e Maciços Costeiros* é caracterizada pelas colinas côncavo-convexas, com diferentes níveis de dissecção e integrada por serras e maciços litorâneos (GATTO et al., 1983).

iii) Domínio Morfoestrutural Depósitos Sedimentares: compostos de sedimentos arenosos e argilo-arenosos com níveis cascalhosos, argilas inconsolidadas e sedimentos marinhos e fluviomarinhos, se dispõe em dunas, restingas, planícies e terraços marinhos, cordões litorâneos, que atestam as ações de processos morfogenéticos e variações do nível do mar. Compreende a Região *Planícies Costeiras*, que engloba a unidade *Complexos Deltaicos, Estuarinos e Praias*; e Região dos *Piemontes Inumados*, que engloba a unidade *Tabuleiros Costeiros* (GATTO et al., 1983; MENDES et al., 1987).

A Região Geomorfológica *Planícies Costeiras* apresenta feições planas nas proximidades da costa, possui grande diversidade de ambientes e processos formadores. A Unidade Geomorfológica *Complexos Deltaicos, Estuarinos e Praias* ou *Planícies Litorâneas* se distribui de forma descontínua, dividida por maciços, colinas e tabuleiros. É constituída por uma grande variedade de areias, siltes, cascalhos e argilas, e se situa entre 7 e 8 metros acima do nível médio do mar, em terraços holocênicos (GATTO et al., 1983; MENDES et al., 1987).

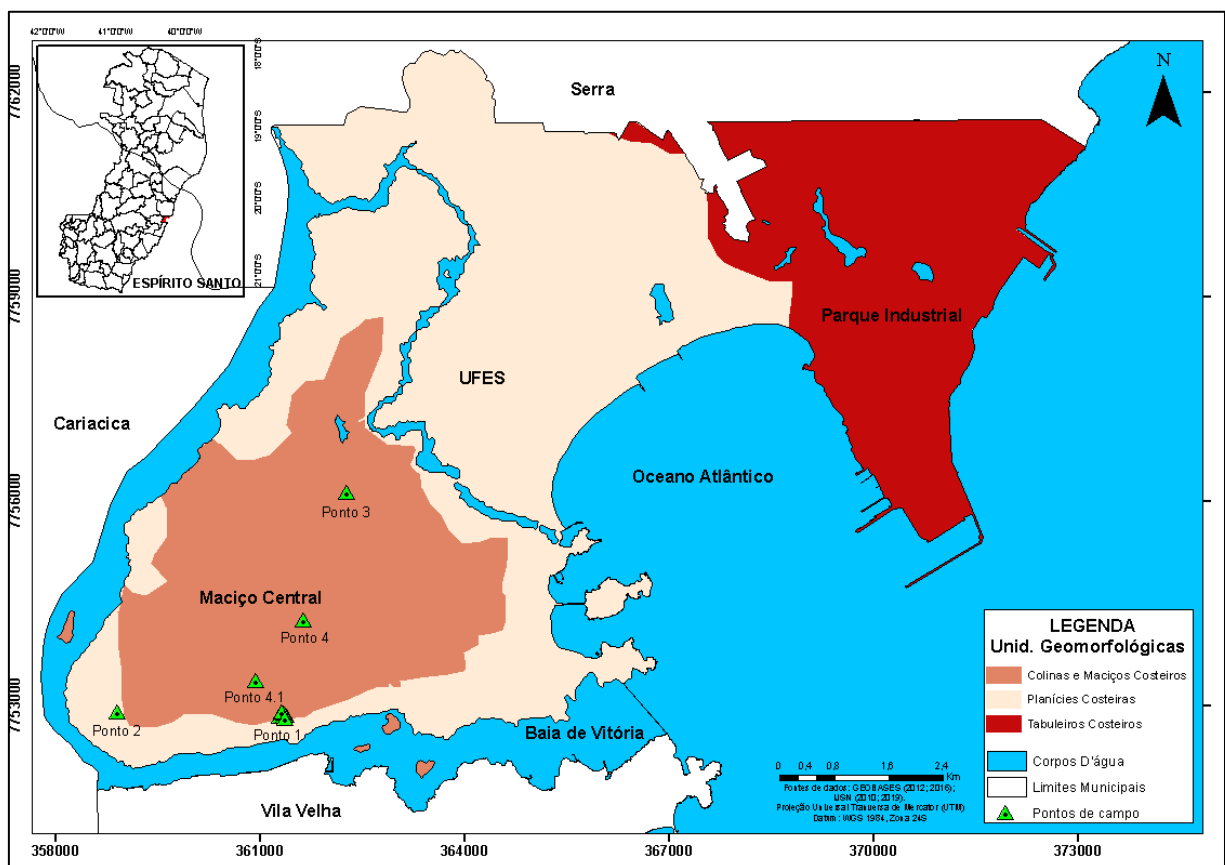
A Região Geomorfológica *Piemontes Inumados* apresenta sedimentos cenozóicos do Grupo Barreiras e embasamento alterado, refletindo forte controle neotectônico. É constituída por sedimentos de várias espessuras, dispostos em orientação sub-

horizontal, mergulhando para leste. A Unidade Geomorfológica *Tabuleiros Costeiros* é constituída por depósitos argilo-arenosos da Formação Barreiras, seu relevo é dissecado e de topos aplainados a convexizados com níveis altimétricos que variam de 15 a 40 metros (GATTO et al., 1983; MENDES et al., 1987).

4.3.2 Geomorfologia de Vitória

O município de Vitória é abrangido pelos os Domínios Morfoestruturais de *Depósitos Sedimentares* e *Faixas de Dobramentos Remobilizados*, as Regiões de *Planícies Costeiras*, *Piemontes Inumados* e *Piemontes Orientais* e as Unidades Geomorfológicas *Tabuleiros Costeiros*, *Colinas e Maciços Costeiros* e *Planícies Costeiras* (GATTO et al., 1983), como demonstra a Figura 20.

Figura 20 – Unidades Geomorfológicas de Vitória-ES.



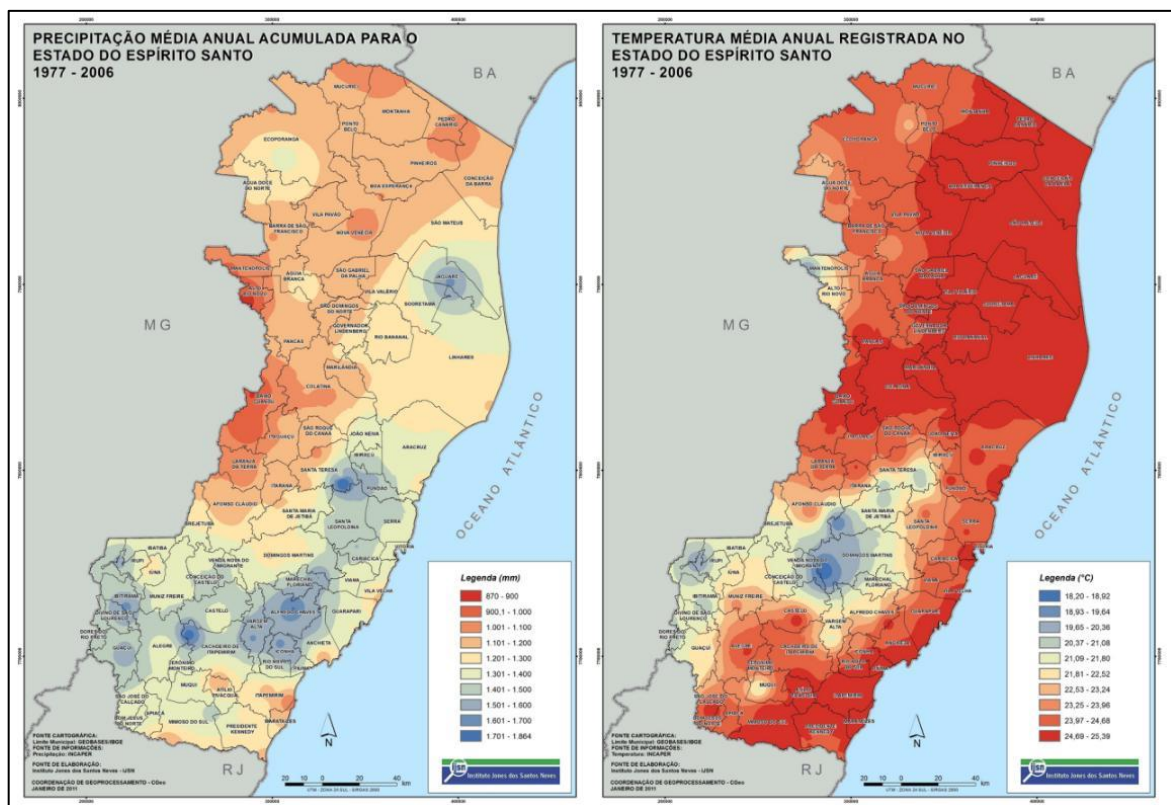
Fonte: Organizado pelo autor (2022).

4.4 Clima

A região sudeste do Brasil, onde se encontra o estado do Espírito Santo, se situa entre os paralelos 14° e 25° sul do globo terrestre, tendo sua área totalmente abrangida pela zona tropical (IBGE, 1977). A posição latitudinal, limitada pelo Oceano Atlântico, e os grandes contrastes morfológicos da região são fatores que influenciam bastante em suas características climáticas, caracterizando a área como clima tropical úmido.

Em relação aos aspectos climáticos mais gerais, Vitória apresenta totais pluviométricos anuais médios de 1.320mm, e os meses mais chuvosos são: novembro, dezembro e janeiro. Esses meses se caracterizam por serem quentes e úmidos, cujas temperaturas médias variam de 24,5°C a 27,7°C (Figura 21) e a umidade relativa do ar em torno de 75%. A estação menos chuvosa ocorre entre os meses de maio a setembro com temperaturas médias amenas, que alternam entre 22°C e 23°C, e baixos totais pluviométricos, que variam em de 54 a 77mm (CORREA, 2011).

Figura 21 - Temperatura e precipitação médias anuais do estado do Espírito Santo.

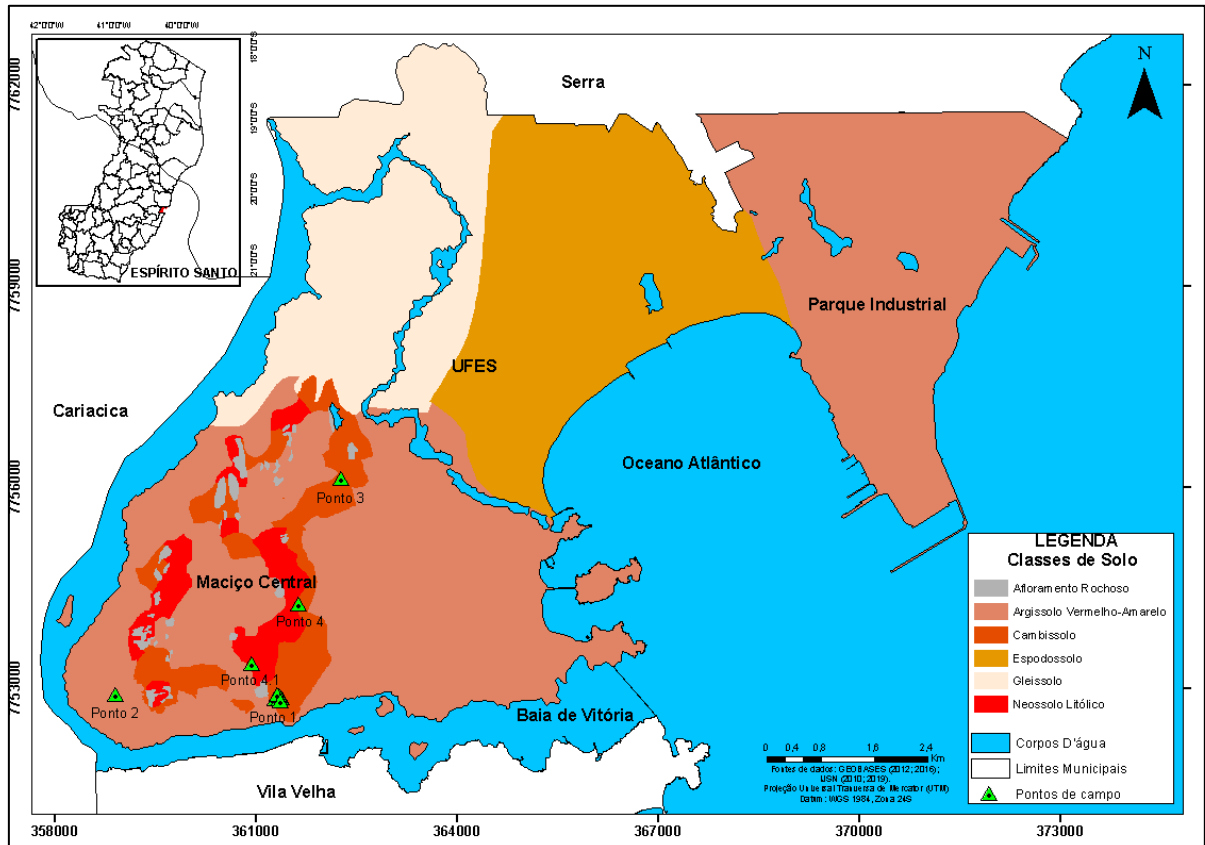


Fonte: IJSN (2011).

4.5 Solos

No município de Vitória (Figura 22), seguindo a classificação de Santos (2013), os solos predominantes são: *Espodossolo*, *Argissolo Vermelho-Amarelo*, *Cambissolo*, *Gleissolo* e *Neossolo Litólico* (PIMENTEL, 2019).

Figura 22 – Classes de solo, Vitória-ES.

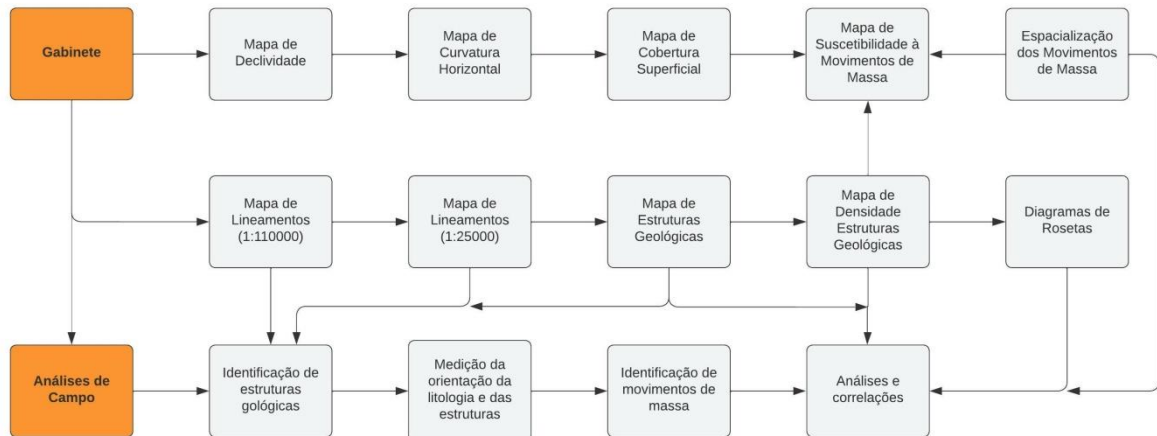


Fonte: Organizado pelo autor (2022).

5. METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos para elaboração dessa pesquisa foram essencialmente compostos por análises de gabinete e análise de campo, esquematizados pela Figura 23.

Figura 23 – Fluxograma da pesquisa.



Fonte: Organizado pelo autor (2022).

5.1 Análises de gabinete

As análises de gabinete desta pesquisa foram divididas em 2 (duas) etapas: i) Revisão bibliográfica (bases teórico-conceituais), estudos anteriores na área e levantamento de dados cartográficos da área de estudo; ii) Mapeamentos.

5.1.1 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica foi dividida em 2 (duas) etapas: i) Pesquisa de dados cartográficos da área; ii) revisão bibliográfica de bases conceituais referentes ao tema e estudos de caso sobre caracterização geológica e geomorfológica.

5.1.1.1 Pesquisa de dados cartográficos da área

As Entidades Geográficas (*Shapefile*) foram extraídos do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES, 2020).

As ortofotos digitais foram adquiridas do IJSN (2019) e acessados no Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias (LCGGEO) e em *home office* devido a

pandemia do novo *corona vírus*. Também foram utilizados os dados geomorfológicos disponíveis em Mendes (et al., 1987) na escala 1:1.000.000 e geológicos da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM, 2014; CPRM, 2015), escala 1:400.000 e 1:100.000, respectivamente.

5.1.1.2 Revisão bibliográfica de bases conceituais referentes ao tema e estudos de caso sobre caracterização geológica e geomorfológica

Nesta etapa foram consultados livros, artigos, monografias, dissertações e teses, referentes às variáveis litologia, estruturas geológicas, tectônica, rugosidade do relevo, altitude do relevo, e a relação dessas variáveis com a temática da pesquisa. A partir desse levantamento foi possível criar uma base teórica-conceitual pertinente ao tema proposto no presente estudo.

5.2 Mapeamentos

Os mapas foram organizados e elaborados com uso do *software* ArcGIS 10.5™ (ESRI, 2016), a partir do Sistema de Informações Geográficas (SIG), disponibilizado pelo Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias – LCGGEO (UFES). As bases cartográficas foram configuradas no sistema de projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM) e Datum de referência SIRGAS 2000, zona 24S. Essas configurações são de suma importância, pois, garantem ao mapeamento integridade e padronização cartográfica (FITZ, 2008).

5.2.1 Mapa de Localização

A área foi delimitada a partir da criação de Planos de Informações Geográficas (*Shapefile*) de estrutura vetorial polígono para representar e delimitar a área de estudo.

5.2.2 Mapas Geológicos e Mapa Geomorfológico

Os mapas geológicos da área foram elaborados a partir do uso dos mapas geológicos (CPRM, 2014; 2015) nas escalas 1:400.000 (para o estado do Espírito Santo) e 1:100.000 (para a área de estudo).

O mapa geomorfológico da área foi delimitado segundo Mendes et al. (1987),

Projeto RADAMBRASIL, na escala 1:1.000.000.

5.3 Análise de lineamentos

5.3.1 Extração de lineamentos em Modelo Digital de Elevação (MDE)- Escala 1:110.000

O mapa de lineamentos foi elaborado a partir da técnica de extração manual (BRICALLI, 2011), por meio do *software ArcGIS™ 10.5* (ESRI, 2016), disponível no Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias – LCGGEO do Departamento de Geografia da UFES, sobre um Modelo Digital de Elevação (MDE) com a aplicação de diferentes iluminações artificiais.

O MDE foi adquirido do Serviço Geológico Norte-Americano (USGS), referente ao levantamento realizado pela Shuttle Radar Topography Mission (SRTM-NASA), com resolução espacial de 30m (CPRM) - Valeriano (2002) (<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>). Estes dados são disponibilizados em formato executável em ArcGIS e georreferenciados em sistema de projeção geográfica com *datum* WGS-1984.

Em seguida a imagem foi processada e tratada. Inicialmente foram aplicadas 4 (quatro) iluminações artificiais (000°, 045°, 090° e 315°) – Bricalli (2011), buscando destacar a maior quantidade possível de lineamentos (Figura 24). Essas iluminações foram obtidas através do cálculo de sombreamento do relevo, utilizando a ferramenta “*Hillshade*” do *ArcGIS™ 10.5*, disponível no *ArcToolbox*. A elevação solar escolhida foi de 45°, ângulo intermediário, com o intuito de facilitar a análise em regiões heterogêneas, que apresentam áreas planas e elevadas.

Com o uso das ferramentas de edição do *ArcGIS™ 10.5*, foi criada uma *shapefile* de linhas (tipo vetor), onde foram traçados os lineamentos em cada uma das iluminações referenciadas, na escala de 1:110.000, seguindo a metodologia de Liu (1984) para a identificação de lineamentos: linhas de segmento de escarpas, alinhamento de cristas, vales, trechos de rios e lagos, e depressões alongadas.

Posteriormente, foi estabelecido o *Z-Factor* (valor variável de acordo com a latitude em que a área em análise encontra-se no planeta) a ser utilizado, calculado a partir da latitude em que se encontra o município de Vitória - ES, estabelecido pelo

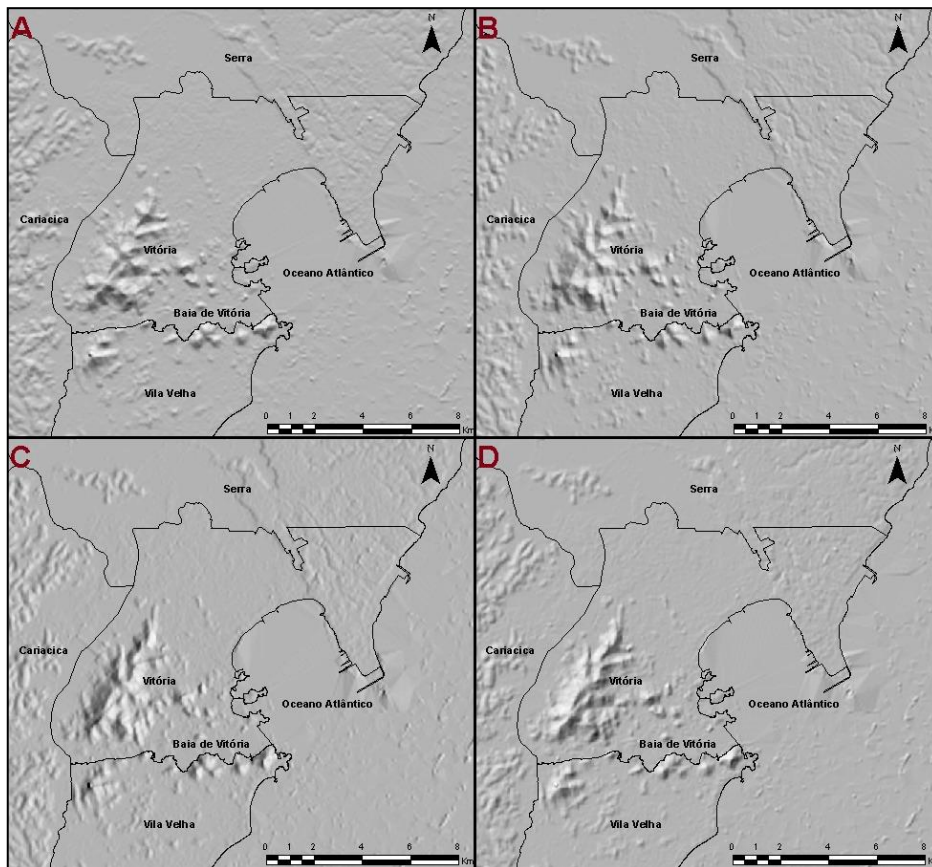
programa *ArcGIS™ 10.5*, sendo utilizado o valor de 0.00000956 (Tabela 1) – Bricalli (2011). O estabelecimento do *Z-Factor* é necessário devido à diferença entre as unidades da superfície horizontal (em graus) e a unidade de elevação (z, em metros).

Tabela 1 - Valores de Z-Factor de acordo com a latitude.

LATITUDE	FATOR - Z
0	0.00000898
10	0.00000912
20	0.00000956
30	0.00001036

Fonte: Modificado de BRICALLI (2011).

Figura 24 - Aplicação das iluminações artificiais na área de estudo (A: 000°; B: 045°; C: 090°; D: 315°).



Fonte: Organizado pelo autor (2022).

5.3.2 Extração de lineamentos em Ortofotos digitais - Escala 1:25.000

Para uma análise local, foram utilizados ortofotomosaicos adquiridos do IJSN (2019) no site <https://geobases.es.gov.br/imagens-kpst-2019-2020>. Sobre as imagens foram decalcados os lineamentos com a utilização do *ArcGIS™ 10.5*, seguindo novamente a metodologia de Bricalli (2011), seguindo a proposta por Liu (1984), na escala de 1:25.000.

5.3.3 Elaboração de rosetas de orientação

Para o cálculo da orientação dos lineamentos foi criado no *ArcGIS™ 10.5* um campo (coluna) na tabela de atributos. Posteriormente, com a utilização do aplicativo Azimuth Finder (disponível em <http://www.neotectonica.ufpr.br/2013/index.php/aplicativos>) que foi adicionado ao *ArcToolbox* do *software* mencionado acima, os valores de orientação foram calculados.

Para a determinação do comprimento dos lineamentos identificados, foi utilizada a extensão *X-Tools pro* (disponível em <https://xtools.pro/en/download/>). Destaca-se que o sistema de coordenadas utilizado foi UTM (metros) para que o resultado final dos valores dos comprimentos dos lineamentos resultasse na unidade de medida em metros.

Os valores de orientação dos azimutes e comprimento de lineamentos foram exportados do *ArcGIS™ 10.5* para uma tabela do Excel 2010[®] e, posteriormente, plotados em tabelas presentes no programa Oriana (versão 3.21, *license demo*), da Kovach Computing Services, disponível no site <https://www.kovcomp.co.uk/oriana/> e foram representados em diagramas de rosetas.

5.3.4 Densidade de Lineamentos e *trends* Estruturais

A densidade de lineamentos foi produzida a partir dos lineamentos identificados com a metodologia de extração manual sobre a área de estudo, nas escalas de 1:110.000 e 1: 25.000, detalhados anteriormente, que foram vetorizadas a partir do *software ArcGIS™ 10.5*.

Os lineamentos mapeados sobre Modelo Digital de Elevação (MDE), escala 1:110000, e os demarcados sobre Ortofotos Digitais, em escala 1:25000, foram organizados em um único *shapefile*, junto aos dados estruturais (CPRM, 2014), por meio da ferramenta *Merge*.

A densidade foi calculada por meio da utilização do *software ArcGIS™ 10.5*, ferramenta *Line Density*, presente no *Arc Toolbox*, com tamanho de célula 45 e unidade da área em km/km².

A ferramenta *Line Density* calcula a densidade de recursos lineares na vizinhança de cada célula de varredura de saída e calcula em unidades de comprimento por unidade de área. Os resultados foram agrupados em classes de densidade: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto. Os *trends* estruturais foram traçados sobre as classes de densidade Alta e Muito Alta.

5.3.5 Mapa de Estruturas Geológicas

O Mapa de Estruturas Geológicas foi elaborado a partir dos lineamentos decalcados sobre o Modelo Digital de Elevação (MDE), em escala 1:110000, dos demarcados sobre Ortofotos Digitais, escala 1:25000, e das Estruturas Geológicas (CPRM, 2014), disponível em https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/18379/1/mapa_geologico_vitoria.pdf, que foram agrupados em um único *shapefile* (organizado em vetor) por meio da ferramenta *merge*, disponível no *ArcGIS™ 10.5*.

Algumas estruturas demarcadas sobre Ortofotos Digitais (escala 1:25000) foram excluídas deste produto, pois também foram identificadas no mapa de lineamentos demarcado sobre o Modelo Digital de Elevação (escala 1:110000).

5.3.6 Mapa de Densidade de Estruturas Geológicas e *trends* Estruturais

O Mapa de Densidade de Estruturas Geológicas foi elaborado a partir do Mapa de Estruturas Geológicas. A densidade foi calculada por meio da utilização do *software ArcGIS™ 10.5*, ferramenta *Line Density*, presente no *Arc Toolbox*, com tamanho de célula 45 e unidade da área em km/km².

A ferramenta Line Density calcula a densidade de recursos lineares na vizinhança de cada célula de varredura de saída e calcula em unidades de comprimento por unidade de área. Os resultados foram agrupados em classes de densidade: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto. Os *trends* estruturais foram traçados sobre as classes de densidade Alta e Muito Alta.

5.4 Suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa

As bases cartográficas utilizadas foram processadas no *software ArcGIS™ 10.5* (ESRI, 2016), disponível no Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias – LCGGEO do Departamento de Geografia da UFES. Todos os mapas foram criados ou convertidos para a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum Geodésico Horizontal WGS 1984, Fuso 24S.

5.4.1 Mapa de Declividade

A partir dos valores das Curvas de Nível (GEOBASES, 2012) que abrangia o limite da área estudada, foi elaborado o Mapa de Declividade, utilizando a ferramenta *slope*. A declividade foi classificada em 5 (cinco) graus: 0-11°, 11-17°, 17-27°, 27-45° e acima de 45°, segundo as pesquisas de Fernandes et al. (2001; 2004), Bigarella (2003), Vanacôr (2006), Tominaga (2007) e Effgen e Marchioro (2017).

Em relação às declividades, os maiores pesos foram atribuídos às faixas de declividade de 17-27°, 11-17° e 27-45° (5, 4 e 3, respectivamente), que são as que mais registram movimentos de massa (FERNANDES et al., 2001; 2004; BIGARELLA, 2003; VANACÔR, 2006; TOMINAGA, 2007; EFFGEN; MARCHIORO, 2017). De acordo com os autores supracitados, as faixas com declividade 0-11° e maiores que 45° receberam os menores pesos (1 e 2 respectivamente), por terem menos registros de movimentos em nível mundial.

5.4.2 Mapa de Curvatura Horizontal

A partir dos valores das Curvas de Nível (GEOBASES, 2012) que abrangia o limite da área estudada, foi elaborado o Mapa de Curvatura Horizontal, utilizando a ferramenta *slope* e *curvature* do ArcMap.

As curvaturas horizontais foram classificadas como divergentes, convergentes e retilíneas, segundo os valores de curvatura (FERNANDES et al., 2001; 2004;

VANACÔR, 2006; TOMINAGA, 2007; CARDOZO; HERRMANN, 2011). Os valores de curvatura negativos são de formas convergentes, enquanto os positivos são divergentes e os valores próximos a zero, são de formas retilíneas (VALERIANO, 2008).

5.4.3 Mapa de Cobertura Superficial

Foi elaborado um mapa sobre as Ortofotos Digitais na escala de 1:25000 para representar as rochas sãs e os solos na área, uma vez que se sobrepomos o mapa litológico (CPRM, 2014) e mapa de solos (IJSN, 2014) haverá sobreposição dessas duas características.

As áreas de urbanização consolidada também foram demarcadas. Como as variáveis serão utilizadas na elaboração de um mapa de suscetibilidade, onde se priorizam as características naturais do sistema, essas áreas obtiveram um peso médio (3).

Em relação à variável solo, os dados foram adquiridos a partir do Geobases (2012), apresentando as classes de solo presentes na área de estudos, que em momento posterior foram otimizadas, contando com contribuições importantes das pesquisas de Amorim (2017), Santos et al. (2013) e Pimentel (2019). Assim, os dados foram recortados no limite municipal (comando Clip), dissolvidos nas tipologias de solos (comando Dissolve). Os pesos das classes de solos foram definidos com base em suas texturas, tendo como base os estudos de Tominaga (2007).

A variável Litologia foi mapeada a partir da utilização de ortofotomosaicos, adquiridos do IJSN (2019), presentes no endereço eletrônico <https://geobases.es.gov.br/imagens-kpst-2019-2020>, em escala de 1:25000. Sobre as imagens foram demarcadas as áreas de rochas expostas, por meio da criação de *shapefile* (polígono). As rochas demarcadas foram classificadas litologicamente de acordo com o mapa geológico de Vitória (escala de 1:110000), adquiridos junto ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2014), disponível no endereço eletrônico https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/18379/1/mapa_geologico_vitoria.pdf.

Os dados de Litologia, Solos e áreas urbanas foram organizados em um único mapa, com a utilização da ferramenta *merge*, sendo posteriormente criado um

campo numérico “Peso” na tabela de atributos (*Create Field*), onde foram atribuídos coeficientes para as variáveis. Por fim, foi efetuada a transformação para *Raster* (*Polygon to Raster*).

5.4.4 Mapa de suscetibilidade à movimentos de massa

O Mapa de Suscetibilidade à Movimentos de Massa foi elaborado com o auxílio do Sistema de Informação Geográfica (SIG), baseado no método multicritério (LONGLEY, et al., 2013) por ponderação das classes de suscetibilidade das seguintes variáveis: Densidade de Estruturas Geológicas, Declividade, Curvatura Horizontal e Cobertura Superficial.

Cada variável recebeu pesos definidos empiricamente, de acordo com o seu grau de importância. Foram definidos pesos, que variam de 0 - 100% (0-1) para cada variável, de acordo com seu grau de importância e correlação com o fenômeno em questão (susceptibilidade à movimentos de massa), e notas de 1 a 5 para cada componente de legenda, de maneira que quanto maior a nota, maior a susceptibilidade. Tais processos são denominados de tomada de decisão multicritério, fazendo uso de modelos multicritérios, onde são aplicadas variáveis que influenciam o impacto no fenômeno estudado (LONGLEY et al., 2013).

5.4.4.1 Atribuição de notas das classes das variáveis utilizadas para análise da suscetibilidade à movimentos de massa

A metodologia utilizada para a geração do Mapa de Suscetibilidade à Movimentos de Massa foi de Silva (2003), que sistematizou uma hierarquia que expressa o grau de suscetibilidade do meio, representada pelas categorias: muito baixa (1), baixa (2), média (3), alta (4) e muito alta (5). A metodologia foi adaptada para a análise da suscetibilidade à movimentos de massa.

Dessa forma, foram estabelecidos os pesos para cada uma das classes atribuídas às variáveis mencionadas, apresentadas nas tabelas abaixo (Tabelas 2, 3, 4 e 5).

Tabela 2 - Pesos atribuídos às classes da variável densidade de lineamentos.

Densidade de Estruturas Geológicas	Peso
Muito Baixa	1
Baixa	2
Média	3
Alta	4
Muito Alta	5

Fonte: Sarkar e Kanungo (2004; 2017). Organizado pelo autor (2022).

Tabela 3 - Pesos atribuídos às classes da variável declividade.

Classes de Declividade (%)	Peso
0-11	1
11-17	4
17-27	5
27-45	3
45>	2

Fonte: Bigarella (2003); Tominaga (2007); Effgen e Marchioro (2017). Organizado pelo autor (2022).

Tabela 4 - Pesos atribuídos às classes da variável Curvatura Horizontal.

Curvatura Horizontal	Peso
Convergente	5
Retilínea	3
Divergente	1

Fonte: Tominaga (2007). Organizado pelo autor (2022).

Tabela 5 - Pesos atribuídos às classes da Cobertura Superficial.

Cobertura Superficial	Peso
Solo Arenoso	2
Cobertura Argiloso-arenosa ou Argilo-siltosa; Áreas de urbanização consolidada	3
Cobertura Areno-argilosa ou Silto-argilosa	4
Cobertura Arenosa, Areno-siltosa, Silto-arenosa ou Siltosa;	5
Superfície rochosa - Granito alcalino de granulação fina à média (Maciço Vitória)	5

Fonte: Tominaga (2007); CPRM (2014). Organizado pelo autor (2022).

5.4.5 Atribuição de valores de peso às variáveis analisadas

Foram atribuídos valores de peso a cada variável (Tabela 6) com base na importância definida para cada uma delas no desencadeamento de processos de movimentos de massa, as quais são descritas abaixo:

Densidade de Estruturas Geológicas: Tem sido observado que as falhas e fraturas influenciam a ocorrência dos movimentos de massa. Para incorporar essa influência, deve-se adicionar à equação o mapa de densidade. Os lineamentos representam as fraturas e descontinuidades que podem ser interpretadas a partir de imagens de satélite. Após a preparação do mapa de lineamento, a densidade de lineamentos é gerada e classificada nas classes desejadas (SARKAR; KANUNGO, 2004; 2017). Peso: 0,30.

Declividade: A declividade do terreno é uma variável básica na investigação dos movimentos de massa, devido à estreita associação com processos de transporte gravitacional (VALERIANO, 2008). No entanto, a análise isolada do papel desempenhado por essa variável é uma tarefa difícil, pois é evidente a existência de relações entre a declividade e outros parâmetros que também exercem influência na instabilidade das encostas (FERNANDES et al., 2001). Peso: 0,30.

Curvatura Horizontal: A curvatura horizontal influencia na direção dos fluxos nas encostas, exercendo, assim, um papel importante na ocorrência dos movimentos de massa. Nas encostas com curvatura horizontal convergente, há tendência na concentração dos fluxos e presença de canais de escoamento superficial, enquanto as divergentes correspondem a zonas de dispersão de água (GONÇALVES; FRANCISCO, 2016). Peso: 0,20.

Cobertura Superficial: É composta por elementos fundamentais para avaliação das áreas suscetíveis a movimentos de massa. De acordo com suas características, podem-se apresentar uma maior ou menos predisposição à ocorrência destes processos. Peso de 0,20.

Tabela 6 - Variáveis utilizadas para a elaboração do Mapa de Suscetibilidade e seus respectivos pesos.

Variável	Peso
Densidade de Estruturas Geológicas	0,30
Declividade	0,30
Curvatura Horizontal	0,20
Cobertura Superficial	0,20

Fonte: Organizado do autor (2022).

5.4.6 Integração das informações das variáveis analisadas (Análise Multicritério)

Depois de estabelecidas as notas para cada classe variável (Densidade de Estruturas Geológicas, Declividade, Curvatura Horizontal e Cobertura Superficial) iniciou-se a integração das informações, a partir do *software ArcGIS™* 10.5 (ESRI, 2016).

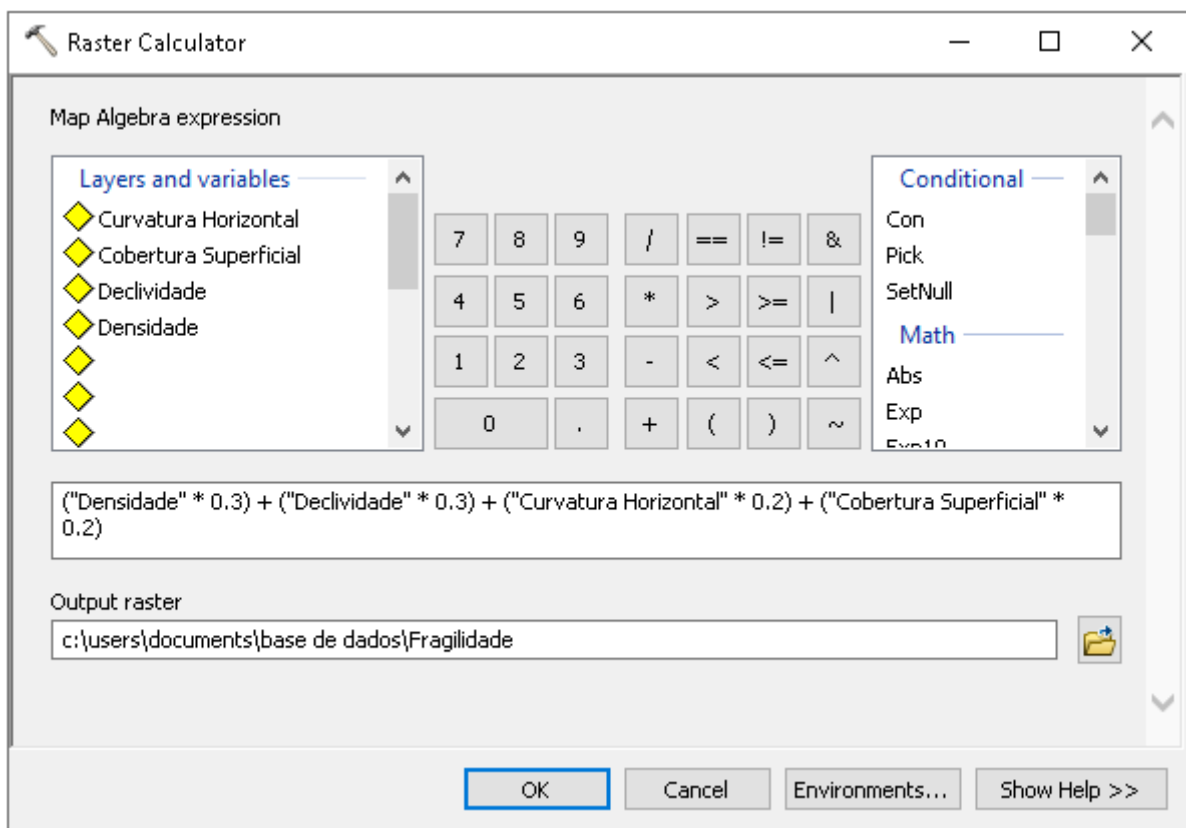
A primeira etapa se constituiu em converter as entidades geográficas que estavam em formato vetorial, para o formato *raster*, uma vez que a modelagem aqui proposta só pode ser executada com arquivos neste formato. As entidades geográficas Declividade, Densidade de Estruturas Geológicas e Curvatura Horizontal foram criadas inicialmente em formato *raster*.

A variável que estava em formato vetorial (Cobertura Superficial), foi convertida para o formato *raster* por meio do comando *features to raster*.

A segunda etapa foi reclassificar cada classe presente de acordo com suas notas estabelecidas nas Tabelas 2, 3, 4 e 5. A reclassificação foi feita pela ferramenta *Reclassify*.

A terceira etapa constituiu em correlacionar as 4 (quatro) entidades geográficas e gerar o Mapa de Suscetibilidade à Movimentos de Massa. Para isso foi utilizada a função *Raster Calculator* (Figura 25). Esta função executa o cruzamento dos dados por meio de operações aritméticas automáticas, com base nos pesos atribuídos às classes das variáveis e às notas estabelecidas para cada variável.

Figura 25 – Variáveis dispostas na ferramenta *Raster Calculator*.



Fonte: Organizado pelo autor (2022).

5.5 Espacialização das ocorrências de movimentos de massa

As ocorrências dos movimentos de massa foram especializadas sobre bases digitais (IJSN, 2014; 2019) através do *software ArcGIS™ 10.5* (ESRI, 2016), disponível no

Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias – LCGGEO do Departamento de Geografia da UFES.

Os dados de movimentos de massa, acima mencionados, foram adquiridos em dois períodos temporais distintos.

No mapa interativo presente no endereço eletrônico do PROJETO MAPENCO (https://mapas.mapenco.com.br/mapa_int/index.php) foram adquiridos os dados de movimentos de massa registrados pela Defesa Civil Municipal de Vitória, ocorridos no período de 2006 à 2011.

Já os dados registrados de movimentos de massa ocorridos entre os anos de 2012 à 2020 foram adquiridos na Defesa Civil Municipal, através do acesso aos relatórios de vistorias da instituição.

Com o auxílio do mapa de localização, presente em cada relatório de vistoria, e o aplicativo GeoWeb (<https://geoweb.vitoria.es.gov.br/>), foram traçadas as coordenadas geográficas de cada ponto de ocorrência movimentos de massa. Esses dados foram utilizados para espacializar cada um dos eventos com ferramentas de edição disponíveis no *ArcGIS™ 10.5*, por meio da criação de uma *shapefile* (organizada em pontos).

5.6 Análises estruturais e ocorrência de movimentos de massa

Foi analisada a relação de dados estruturais presentes na área (local) e próximo dela (regional) com a ocorrência de movimentos de massa.

Para isso, relacionaram-se os dados de lineamentos, densidade de lineamentos, estruturas geológicas (CPRM, 2014), Faixa Colatina, Orógeno Araçuaí e falhas neotectônicas (BRICALLI, 2011).

5.7 Análises de campo

Nas análises de campo foram selecionados 4 (quatro) pontos de análise na área, onde ocorreram movimentos de massa de grande repercussão na área e onde ocorria uma quantidade expressiva desses processos ao longo de lineamento

decalcado em gabinete.

5.7.1 Reconhecimento de área

Inicialmente foi realizado um reconhecimento geral das unidades geológicas da área de estudo. Para isso foi utilizado uma base cartográfica (Ortofotos Digitais) do GEOBASES (2020) e mapas geológicos (CPRM, 2014).

Essa etapa consistiu na identificação de aspectos gerais da geomorfologia e geologia da área e essa identificação foi realizada percorrendo-se a área estudada e registrando os principais aspectos da geomorfologia e da geologia que estariam relacionadas com as variáveis estabelecidas para atingir o objetivo dessa pesquisa.

5.7.2 Análise, identificação e validação das variáveis litologia, estrutura geológica, relevo e processos geológicos e geomorfológicos

Esta etapa consistiu na análise, identificação e validação dos seguintes aspectos geológicos e geomorfológicos: litologia, estruturas geológicas, ocorrência de movimentos de massa e a relação entre todas essas variáveis.

A identificação dessas variáveis foi realizada sobre Ortofotos Digitais do GEOBASES (2020) na escala 1:25.000, resolução de 30m, utilizando as informações presentes no Mapa Geológico (CPRM, 2014), mapeamento geomorfológico de Mendes et al. (1987) na escala 1:1.000.000 e com análises em pontos selecionados na área. As análises das variáveis selecionadas foram realizadas com auxílio de Martelo Geológico *Estwing* com cabo revestido de náilon, Bússola modelo *Brunton* e pá. A identificação e registro foram realizadas com a utilização de máquina fotográfica digital (resolução 26 *megapixels*) e Aplicativo GPS (*Global Position System*) *Essentials* gratuito, anotações e desenhos na caderneta de campo e coletamos amostras que em seguida foram encaminhadas para análise em laboratório.

Para cada ponto estudado foi coletado a coordenada referente ao ponto com uso do GPS (*Global Position System*) presente no Aplicativo GPS *Essentials*. Em cada um deles foi analisado litotipos, estruturas e feições geomorfológicas presentes (morfologia do relevo: topo, vertente, fundo de vale, áreas de planícies, platôs, etc.)

e foi realizada uma comparação com os mapeamentos geológicos e geomorfológicos pré-existentes (CPRM, 2014; MENDES *et al.*, 1987) e análises *in loco* em campo, a fim de realizar um maior detalhamento dessas características, verificação dos limites das unidades e uma possível discussão paleoambiental das áreas identificadas.

6. RESULTADOS

6.1 Análise de lineamentos

6.1.1 Lineamentos em Modelo Digital de Elevação (MDE)- Escala 1:110.000

No mapa de lineamentos elaborado por meio da técnica de extração manual sobre Modelo Digital de Elevação (MDE) para o município de Vitória (Figura 26), na escala de 1:110000, foram identificados 273 lineamentos, em uma área de 93,38 km².

Na área de estudos é possível observar uma maior concentração de lineamentos de orientação NW-SE, seguidos pelas direções NE-SW, NNW-SSE, NNE-SSW, ENE-WSW e WNW-ESE, respectivamente, possuindo também lineamentos E-W, em menor quantidade (Figura 26). As orientações mais recorrentes são as que apresentam feições de maior comprimento.

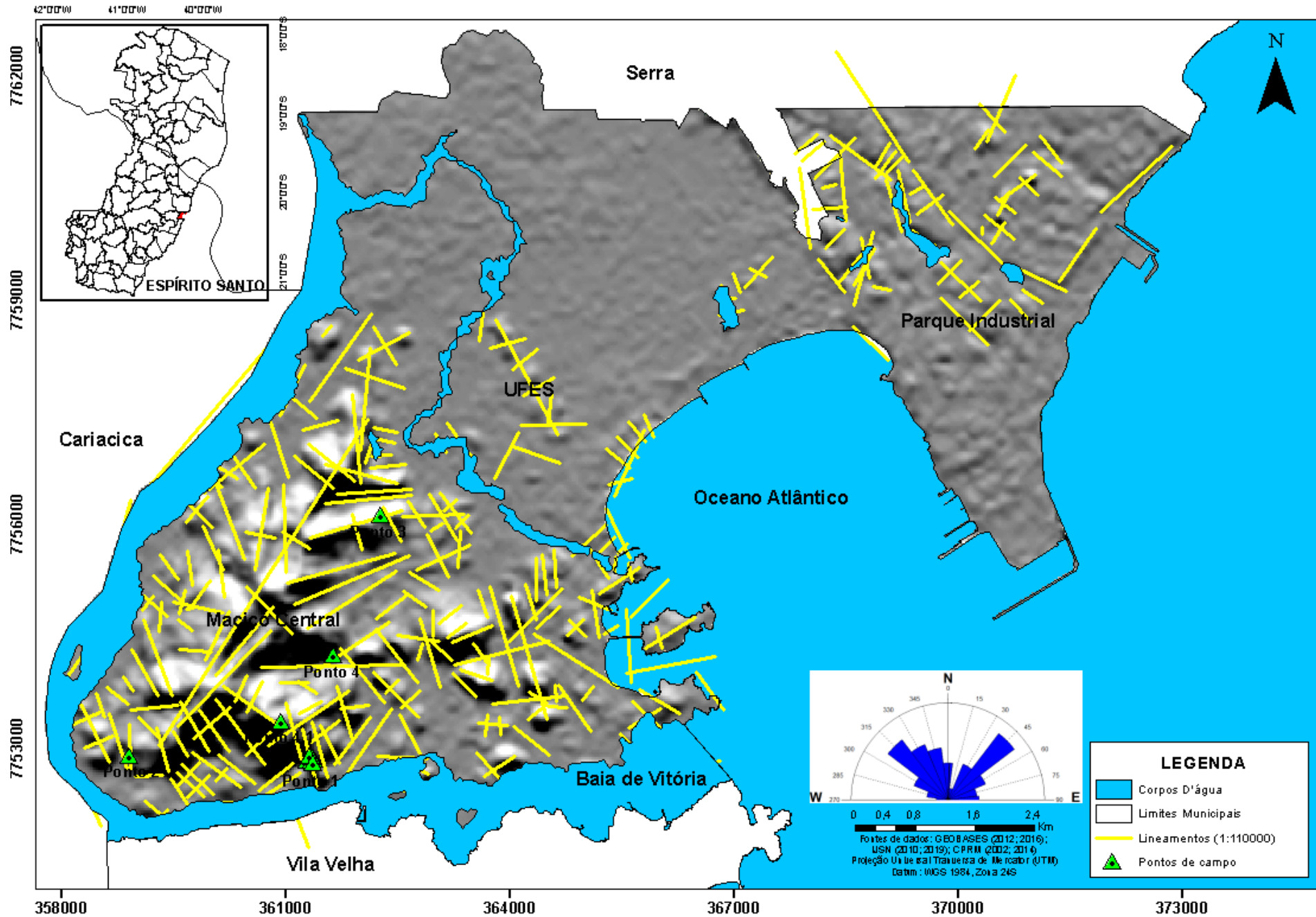
A Unidade Geológica do Maciço Vitória apresenta a maior quantidade dos lineamentos mapeados, seguida pela Formação Barreiras. Os lineamentos são menos expressivos na Unidade Geológica de Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes.

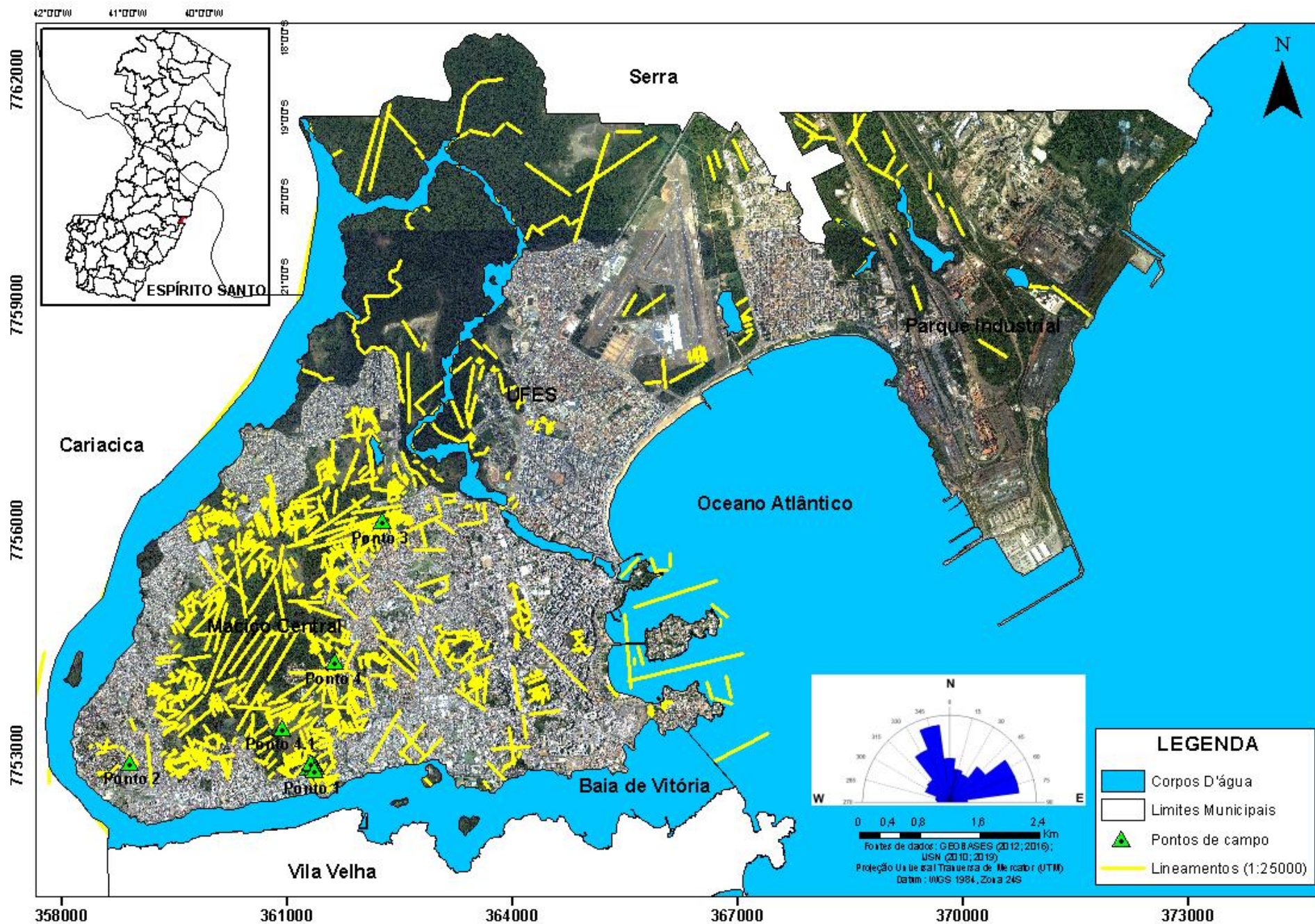
6.1.2 Lineamentos em Ortofotos Digitais - Escala 1:25.000 densidade e trends

No mapa de lineamentos elaborado por meio da técnica de extração manual sobre Ortofotos Digitais para o município de Vitória (Figura 27), na escala de 1:25000, foram identificados 1211 lineamentos, em uma área de 93,38 km².

A área de estudos apresenta maior recorrência de lineamentos de orientação NNW-SSE, ENE-WSW, seguidos por lineamentos NE-SW. Demonstrando padrão de lineamentos similar ao mapa produzido sobre Modelo Digital de Elevação (MDE), mas com frequências distintas.

A maior proporção de lineamentos mapeados se encontra na Unidade Geológica do Maciço Vitória, seguida pela Formação Barreiras. Os lineamentos se dispõem em menor quantidade na Unidade Geológica de Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes.



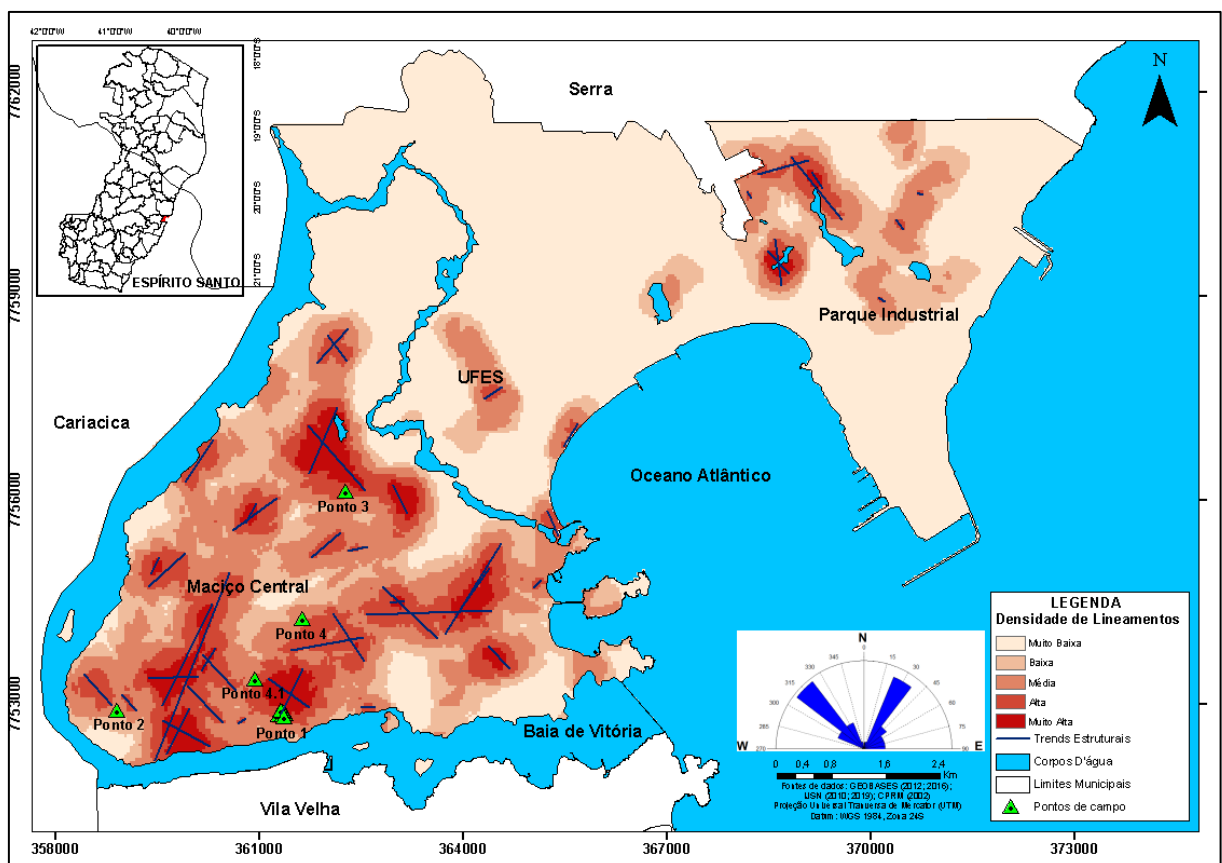


6.1.3 Densidade de Lineamentos e *trends* Estruturais

A densidade dos lineamentos decalcados sobre o Modelo Digital de Elevação (MDE), em escala de 1:110000 (Figura 28), demonstra uma maior concentração destas estruturas na Unidade Geológica Maciço Vitória, apresentando também áreas de densidade Alta e Muito Alta em localidades da Formação Barreiras, mesmo que em menor proporção.

Nesta escala, os *trends* estruturais apontam uma maior quantidade de orientações NW-SE e NNE-SSW, apresentando também *trends* NE-SW, ENE-WSW, NNW-SSE e WNW-SSE, em menor proporção.

Figura 28 – Densidade de lineamentos (1:110000) e *trends* estruturais.



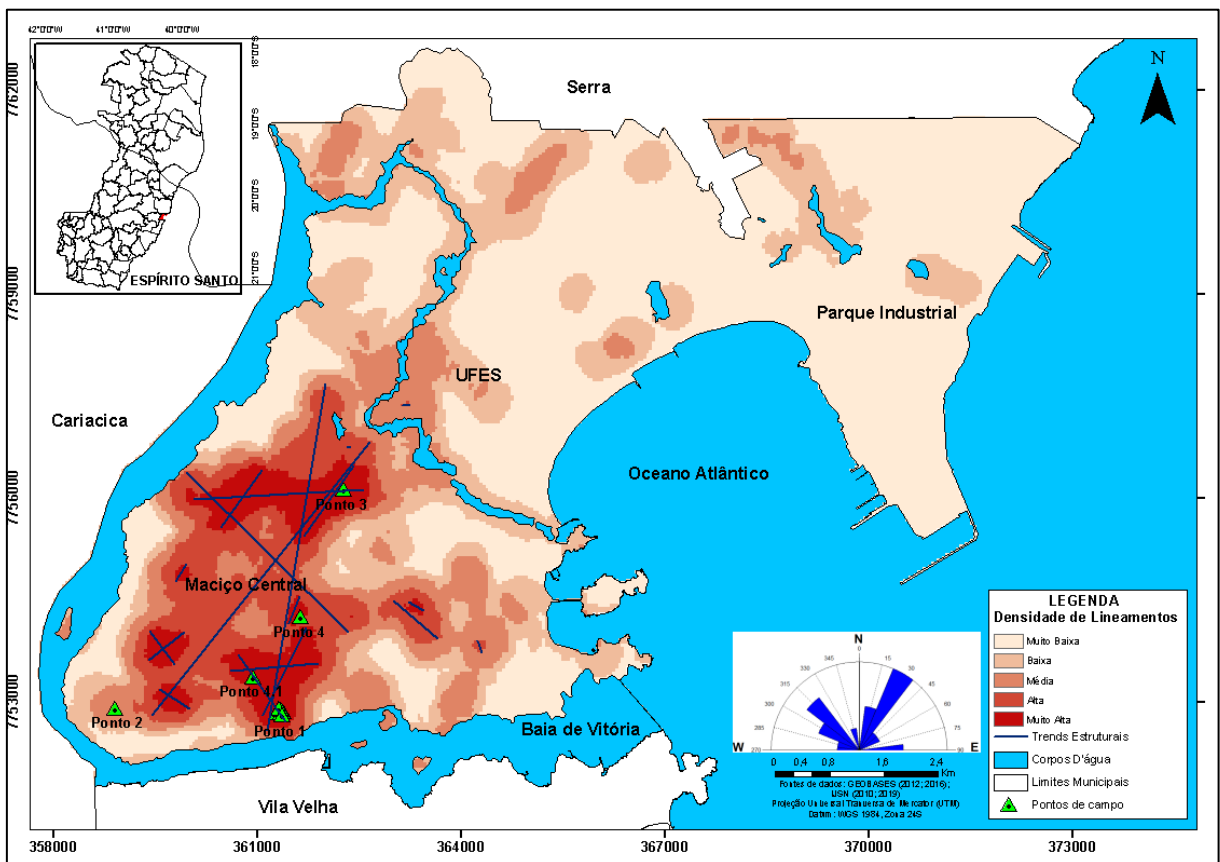
Fonte: Organizado pelo autor.

Os lineamentos mapeados sobre Ortofotos Digitais, em escala de 1:25000 (Figura 29), se concentram na Unidade Geológica do Maciço Vitória, se apresentando de

forma mais dispersa e em menor número na Formação Barreiras e nos Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes.

Os *trends* estruturais identificados nesta escala demonstram padrões estruturais de orientação predominantemente NE-SW, seguido pelas orientações NW-SE, NNE-SSW, NNW-SSE, WNW-ESE, ENE-WSW e E-W, nesta ordem.

Figura 29 – Densidade de lineamentos (1:25000) e *trends* estruturais.



Fonte: Organizado pelo autor.

6.1.4 Mapa de Estruturas Geológicas

O Mapa de Estruturas Geológicas gerado a partir da junção dos lineamentos decalcados sobre Modelo Digital de Elevação, dos lineamentos demarcados sobre Ortofotos Digitais e das Estruturas Geológicas regionais (CPRM, 2014), aponta para o predomínio de estruturas de orientação NNW-SSE, NE-SW e NW-SE, nesta ordem (Figura 30).

A maior proporção de estruturas mapeadas se encontra na Unidade Geológica do Maciço Vitória, seguida pela Formação Barreiras. As estruturas se dispõem em menor quantidade na Unidade Geológica de Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes.

6.1.5 Densidade de Estruturas Geológicas e *trends* estruturais

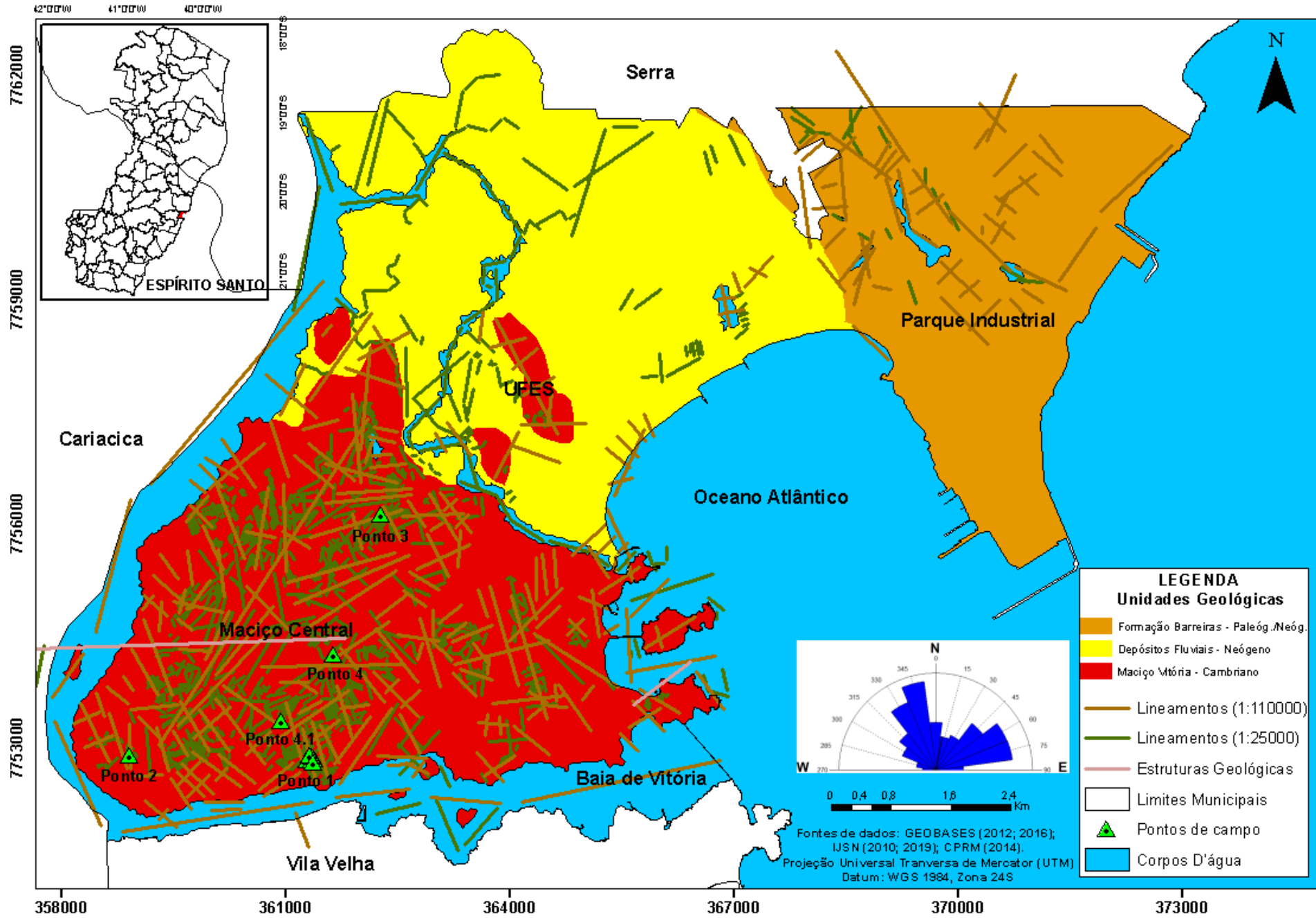
A densidade de estruturas geológicas foi elaborada em 5 (cinco) classes: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta (Figura 31), conforme demonstra a figura 29. Para a elaboração do mapa de suscetibilidade à movimentos de massa, essas classes correspondem, aos pesos 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

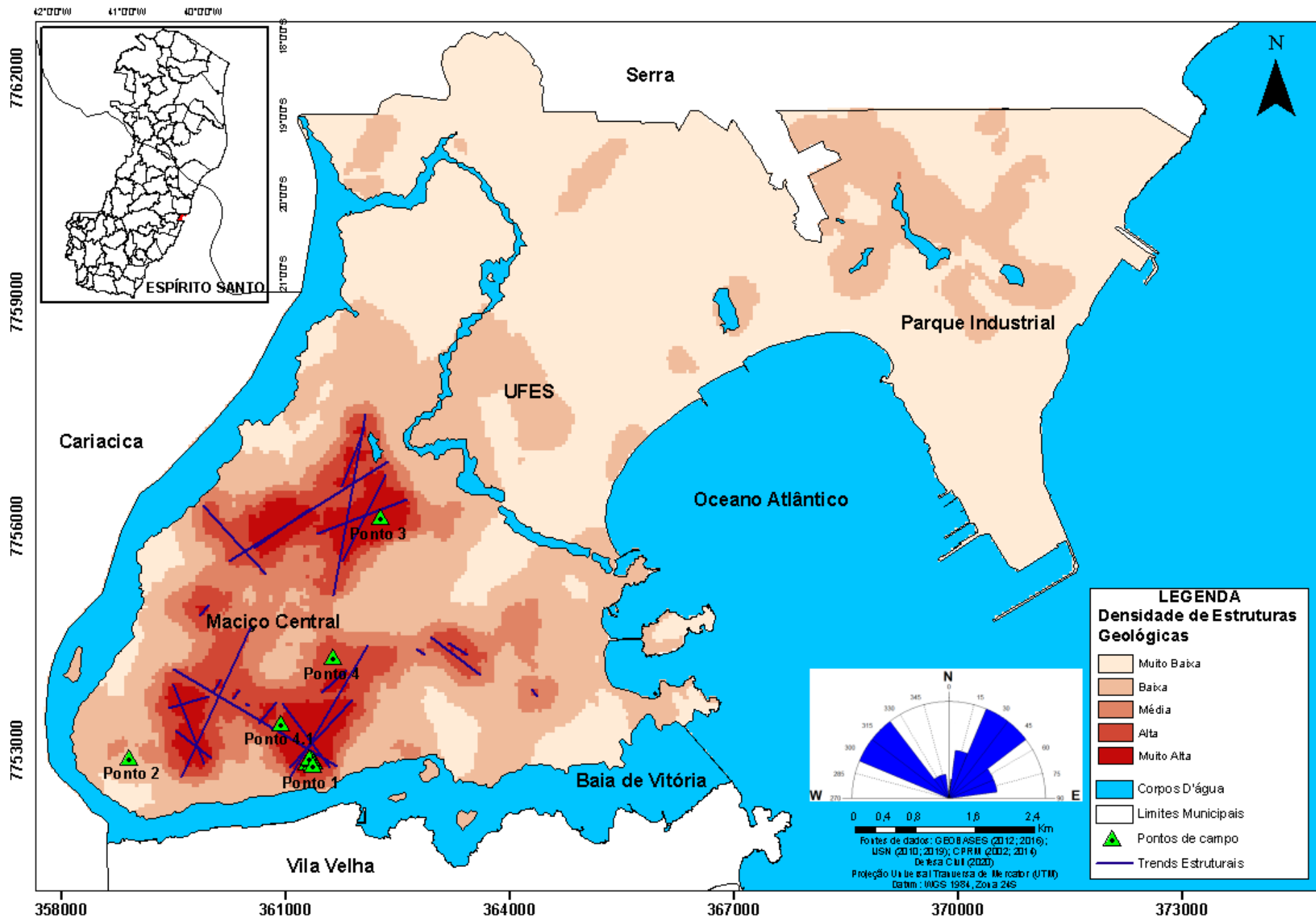
As densidades média (peso 3), alta (peso 4) e muito alta (peso 5) se apresentam na região do maciço central de Vitória, compreendida pela Unidade Geológica Maciço Vitória (CPRM, 2014). Estas classes correspondem respectivamente a 6,5%, 5,3% e 3,1% da extensão territorial do município e não se repetem de forma significativa nas demais unidades geológicas.

As áreas de densidade baixa, Peso 2, se dispõem em 34,2% da extensão territorial do município. Esta classe se apresenta de forma segmentada, abrangendo localidades das três unidades geológicas presentes na área de estudos.

As áreas de densidade Muito Baixa, representadas pelo Peso 1, ocupam 50,9% do território de Vitória, predominando nas regiões das Unidades Geológicas Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes, nas proximidades da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), e Formação Barreiras, no entorno do Parque Industrial.

Os *trends* estruturais demarcados apontam uma maior quantidade de orientações NNE-SSW e NW-SE, apresentando também *trends* NE-SW, NNW-SSE e ENE-WSW.





Fonte: Organizado pelo autor (2022).

6.2 Suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa

6.2.1 Mapa de Declividade

O mapa de declividade foi subdividido em 5 (cinco) classes: 0-11°, 11-17°, 17-27°, 27-45° e 45° ou mais, como representado pela figura 32. Para a elaboração do mapa de suscetibilidade à movimentos de massa, essas classes correspondem, aos pesos 1, 4, 5, 3 e 2, respectivamente.

As declividades menos acentuadas (0-11°), correspondentes ao Peso 1, representam 85,8% da extensão territorial, sendo a variável de maior presença em todas as Unidades Geológicas presentes no município de Vitória, com exceção do Maciço Vitória, que possui predomínio de maiores declividades.

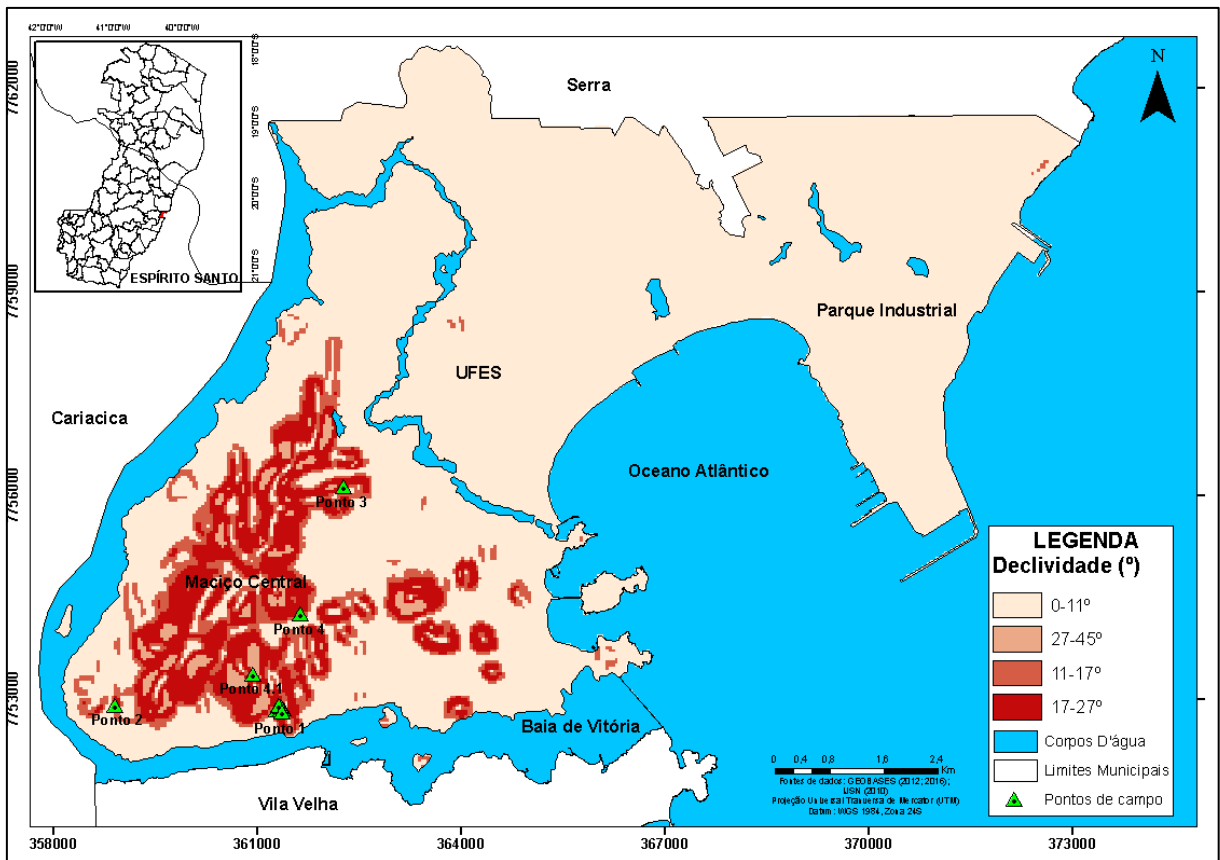
O Peso 4, que representa as declividades 11-17°, não é predominante em nenhuma Unidade Geológica, se apresentando exclusivamente em áreas do Maciço Vitória. Essa variável corresponde a 4,88% da extensão territorial.

As localidades de declividade moderada (17-27° - Peso 5), que corresponde a 7,38% da área total, e de declividade acentuada, 27-45° (Peso 3), que representa 1,05% do município, são predominantes em áreas do Maciço Vitória, se dispendo de forma intensa nas proximidades do maciço central de Vitória.

A classe de declividade superior à 45° (Peso 2) não se dispõe em quantidade significativa.

Os pontos de análise de campo abrangem áreas de Declividade que variam de moderada à muito alta.

Figura 32 – Mapa de declividade.



6.2.2 Mapa de Curvatura Horizontal

A Curvatura Horizontal (Figura 33) na área foi compartimentada em 3 (três) classes, de acordo com Fernandes et al. (2001; 2004), Vanacôr (2006), Tominaga (2007) e Cardozo & Herrmann (2011): divergentes (Peso 1), retilíneas (Peso 3) e convergentes (Peso 5).

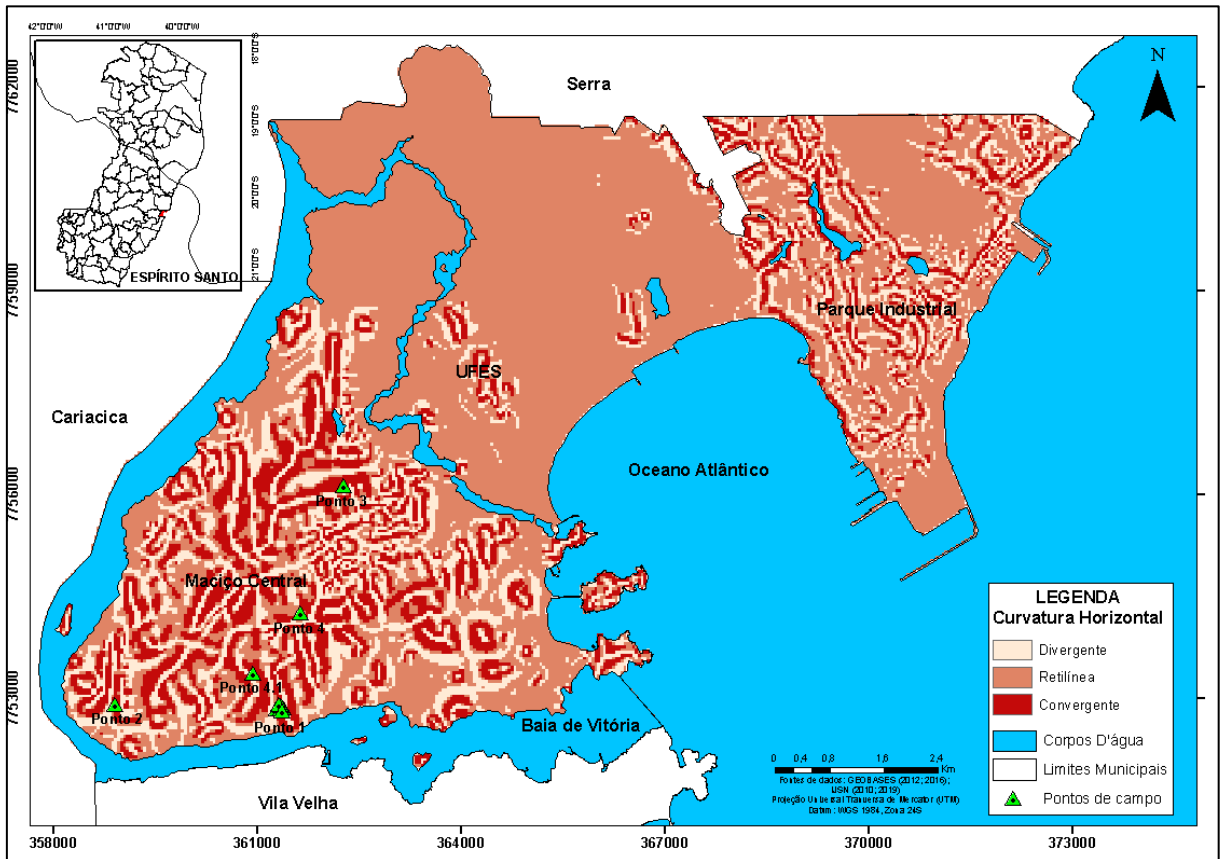
As localidades de curvatura divergente (Peso 1), correspondem a 17,94% da extensão territorial do município de Vitória, abrangendo áreas das Unidades Geológicas Formação Barreiras e Maciço Vitória.

Os polígonos de curvatura retilínea (Peso 3), se estendem pela maior parte do município (67,34%) e são predominantes nas áreas situadas sobre a unidade geológica de Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes (Q2a).

As áreas identificadas por apresentarem curvatura convergente (Peso 5), representam 14,71% do território municipal, se concentrando na região abrangida

pelo Maciço Vitória. Nas localidades analisadas em campo, há um predomínio de encostas de curvatura convergente.

Figura 33 - Mapa de Curvatura Horizontal.



Fonte: Organização do autor.

6.2.3 Mapa de Cobertura Superficial

Às variáveis dispostas no mapa de cobertura horizontal foram atribuídas pesos, de acordo com a influência de cada uma delas na suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa, conforme ilustrado nas figuras 34.

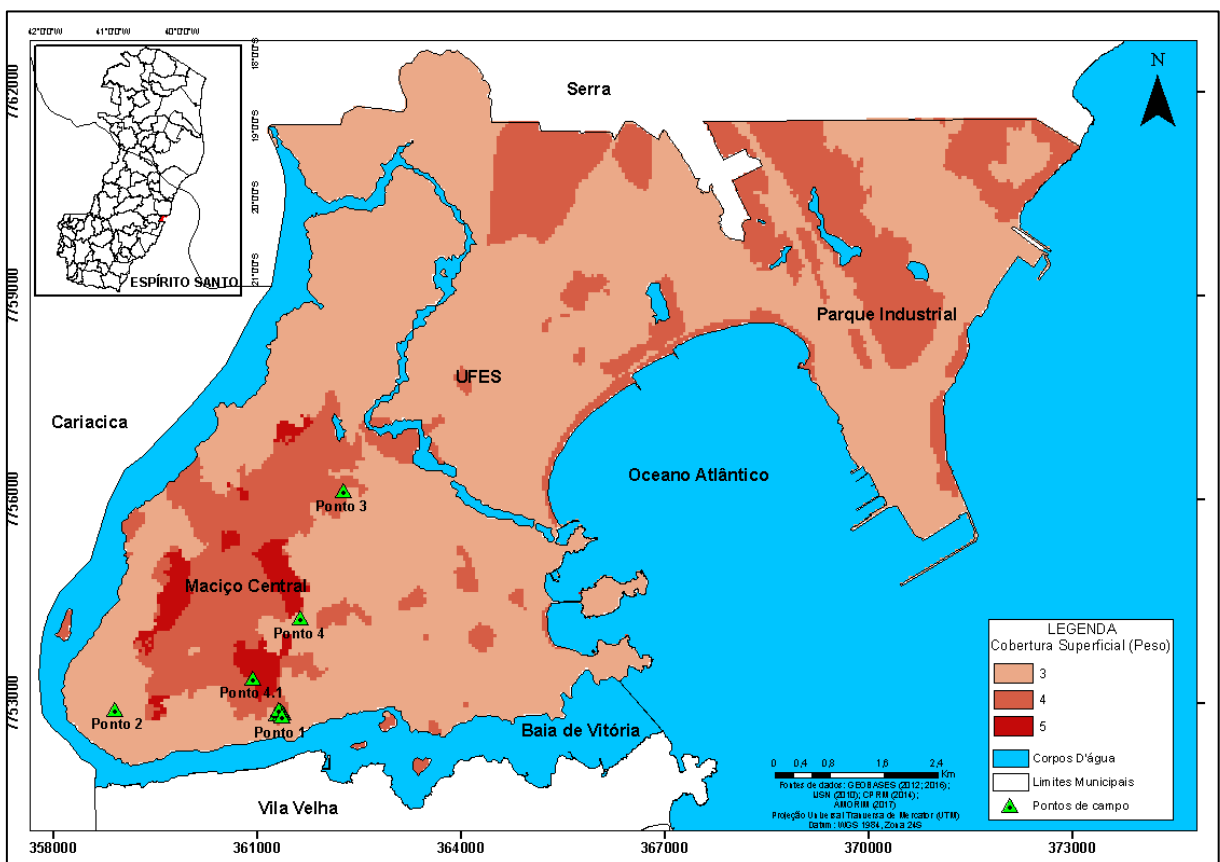
As localidades em que predominam as coberturas Argiloso-arenosas ou Argilo-siltosas e as áreas de urbanização consolidada (Peso 3), ocupam 63,14% do território do município, sendo predominante em todas as compartimentações geológicas presentes na área de estudo.

As coberturas Areno-argilosas ou Silto-argilosas, correspondem às demarcações de Peso 4, representando 24,69% do território. Estas variáveis se dispõem em

localidades das Unidade Geológicas Maciço Vitória, Formação Barreiras e Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes.

As coberturas Arenosas, Areno-siltosas, Silto-arenosas ou Siltosas e os Granitos Alcalinos de granulação fina à média (variáveis que correspondem ao Peso 5) são 2,09% do território em estudo. Essas variáveis se encontram em sua totalidade nos limites do Maciço Vitória, se dispondo nas regiões do entorno do maciço central de Vitória.

Figura 34 – Mapa de pesos das variáveis de Cobertura Superficial.



Fonte: Organização do autor.

6.2.4 Mapa de Suscetibilidade à Movimentos de Massa

Após a realização dos cálculos envolvendo os pesos de cada variável supracitada, foi elaborado o Mapa de Suscetibilidade à Movimentos de Massa (Figura 35), que foi organizado em 5 (cinco) classes: 1 – Muito Baixa, 2 – Baixa, 3 – Média, 4 – Muito Alta e 5 – Alta.

Os polígonos que demarcam as áreas de maior suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa no município de Vitória, 4 (Alta) e 5 (Muito Alta), correspondem respectivamente a 9,2% e 5% deste, e se concentram na região do maciço central (Maciço Vitória), afetando bairros do entorno. Dos 202 (duzentos e dois) movimentos de massa espacializados, 98 (noventa e oito) ocorreram em áreas de Suscetibilidade Alta, correspondendo à 48,51% do total. Já nas localidades de Suscetibilidade Muito Alta, foram registrados 26 (vinte e seis) destes processos, 12,87% dos incidentes contabilizados, conforme demonstra a tabela 7.

A classe 3 (suscetibilidade média), está presente em 22,2% da extensão territorial, se apresentando de forma mais significativa em regiões do Maciço Vitória, margeando o maciço central. Nesses polígonos foram identificadas as ocorrências de 35 (trinta e cinco) movimentos de massa, que correspondem à 17,32% dos registros no período analisado (Tabela 7).

A suscetibilidade baixa é muito recorrente no município de Vitória, ocupando 63,4% de sua área. Esta variável tem predominância nas regiões correspondentes às unidades geológicas Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes e Formação Barreiras. Nesta classe de suscetibilidade ocorreram 43 (quarenta e três) movimentos de massa, 21,28% dos fenômenos espacializados.

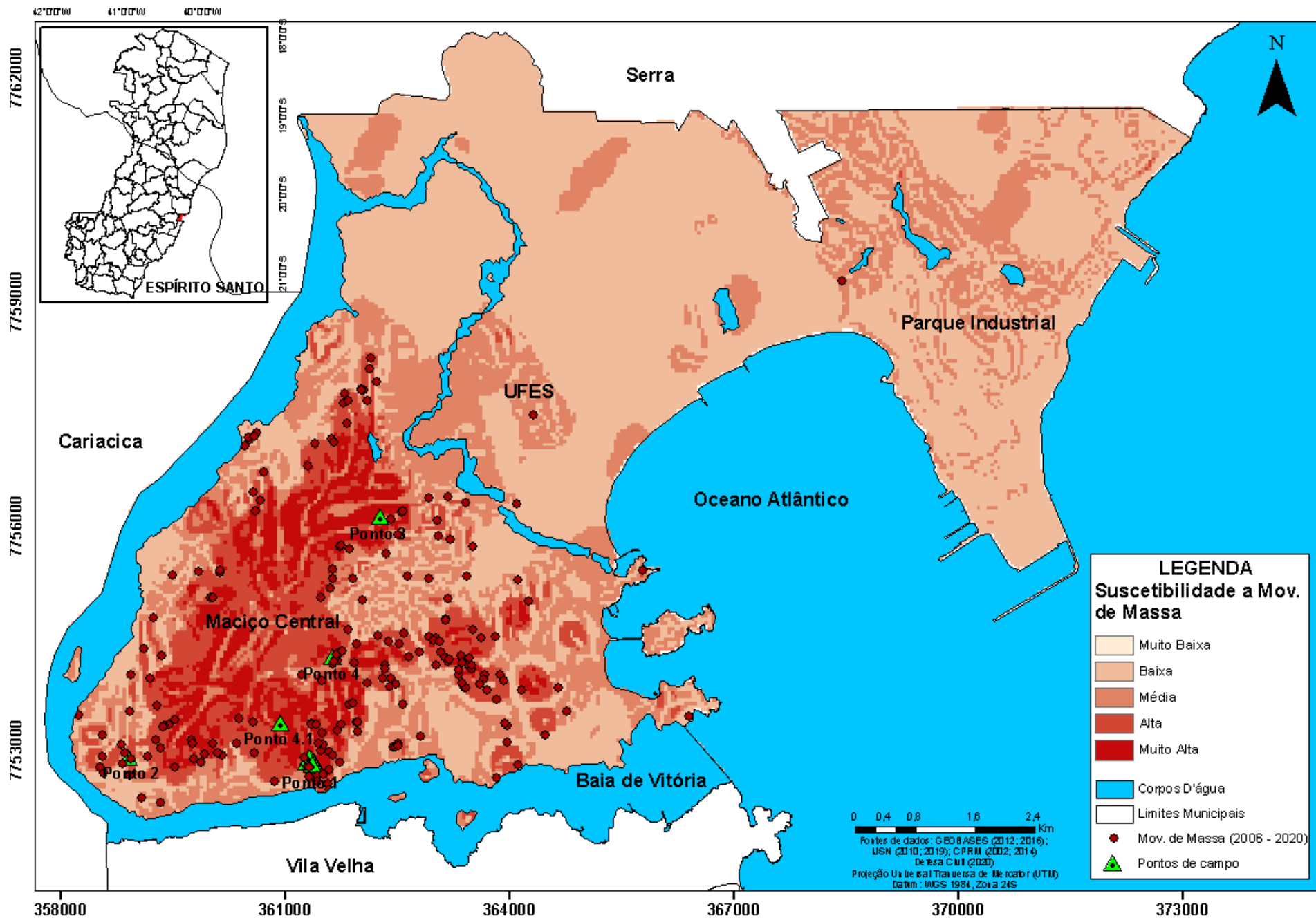
A suscetibilidade muito baixa não foi identificada de forma expressiva, correspondendo a apenas 0,01% da área total do município. Nesta classe não foram identificadas ocorrências de movimentos de massa.

Tabela 7 - Relação entre a suscetibilidade à movimentos de massa e a ocorrência dos fenômenos.

Suscetibilidade à Movimentos de Massa	Área do município de Vitória (%)	Registros de Movimentos de massa Massa (%)
Muito Baixa	0,02%	Nenhum registro
Baixa	63,4%	43 (21,28%)
Média	17,32%	35 (17,32%)
Alta	9,2%	98 (48,51%)
Muito Alta	5%	26 (12,87%)

Fonte: Organização do autor.

Os movimentos de massa ocorridos nas classes de Suscetibilidade Média, Alta e Muito Alta correspondem a 78,72% do total. Se considerados apenas as deflagrações em polígonos demarcados com Suscetibilidade Alta e Muito Alta, estes representam 61,38% das ocorrências do período, mesmo compreendendo uma extensão territorial de apenas 14,2% da área de estudos.



6.3 Análises de campo

Foram percorridos 4 pontos, situados nos bairros Centro (Ponto 1), Caratoíra (Ponto 2), Joana D'arc (Ponto 3) e Fradinhos (Ponto 4), conforme ilustra a figura 36 e a tabela 8. Os pontos de campo estão presentes na Unidade Geologica Maciço Vitória (CPRM, 2014) – Figura 18, que corresponde à região de maior densidade de lineamentos, estruturas geológicas e incidência de movimentos de massa entre os anos de 2006 à 2020, e nas Unidades Geomorfológicas Colinas e Maciços Costeiros (GATTO et al., 1983) – Figura 20.

Há predominância de rochas graníticas de granulação média à fina na área (Figuras 37 e 38), onde foi possível destacar minerais ordenados em orientações NW-SE e NNW-SSE, nos pontos 2 e 3 (Figuras 37 e 38), que correspondem à orientação mais recorrente nas estruturas geológicas identificadas em gabinete e nas campanhas de campo (Figura 38, 40, 41, 44 e 46) e nas falhas neotectônicas do estado do Espírito Santo (BRICALLI, 2011), correspondendo também à orientação da Faixa Colatina, principal feição estrutural do estado.

Tabela 8 – Pontos de campo.

Pontos de Campo	Bairro	Unidade Geológica	Unidade Geomorfológica	Descrição
1	Centro	Maciço Vitória	Colinas e Maciços Costeiros	Movimento de massa de grande repercussão em área com diversos lineamentos demarcados em gabinete
2	Caratoíra	Maciço Vitória	Colinas e Maciços Costeiros	Movimento de massa de grande repercussão em área com diversos lineamentos demarcados em gabinete
3	Joana D'arc	Maciço Vitória	Colinas e Maciços Costeiros	Movimento de massa de grande repercussão em área com diversos lineamentos demarcados em gabinete
4	Fradinhos	Maciço Vitória	Colinas e Maciços Costeiros	Muitos movimentos de massa sobre lineamentos demarcados em gabinete

Fonte: Organizado pelo autor, 2022.

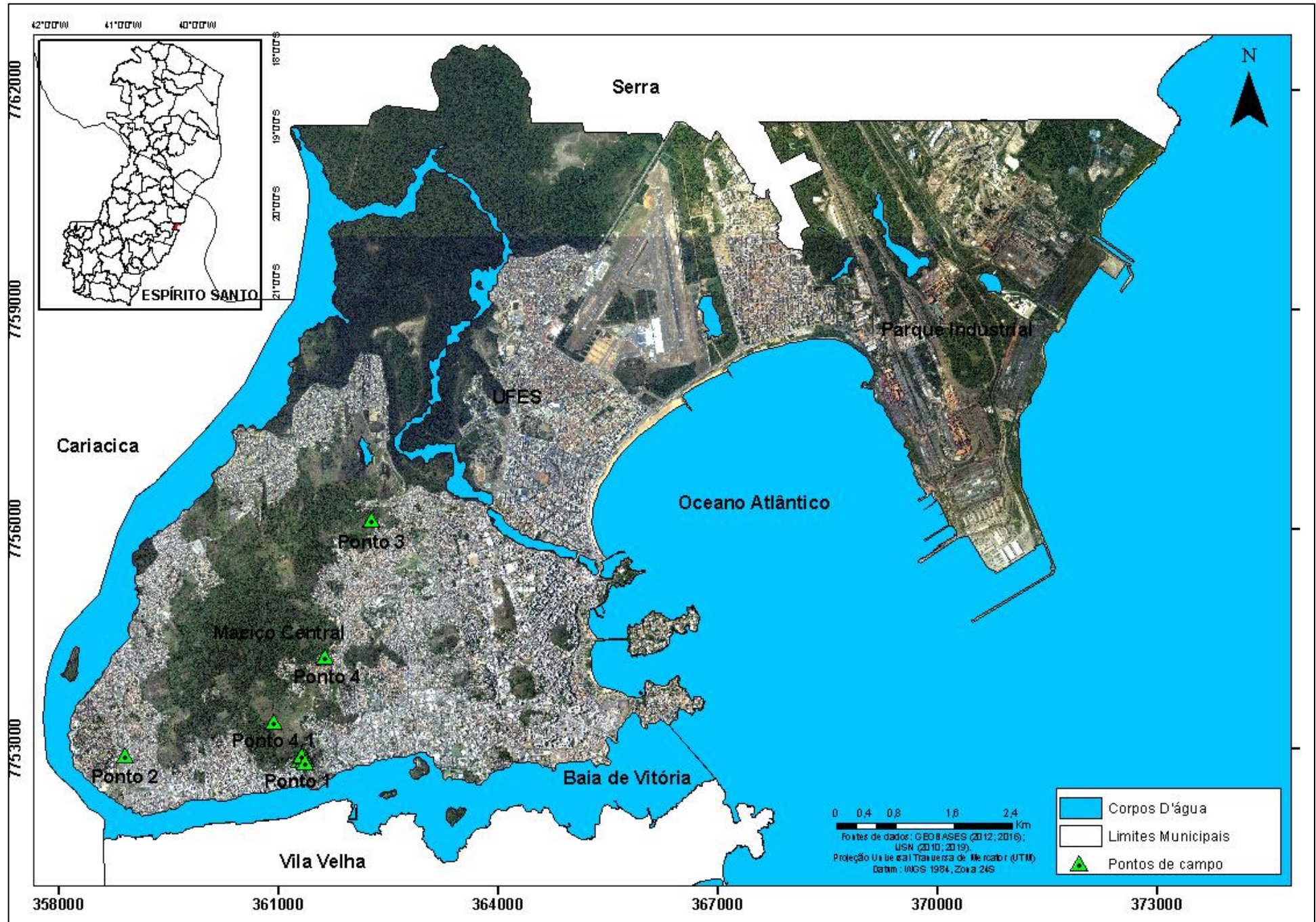


Figura 37 – Bloco rochoso em Joana D'arc (Ponto 3).



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

Figura 38 – Afloramento rochoso em Caratoíra (Ponto 2) apresenta feldspatos dispostos em orientação NNW-SSE (linhas amarelas).



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

Figura 39 – Blocos rochosos fraturados no bairro Centro, Ponto 1. Fraturas demarcadas pelas linhas amarelas.



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

A relação e/ou coexistência de estruturas geológicas (fraturas) e processos de movimentos de massa (cicatrices de escorregamentos e blocos rolados) foi constatada em todos os pontos de campo. No entanto, essa relação é muito clara nos Pontos 2, 3 e 4, onde foram identificadas encostas com diversos indícios de processos de movimentos de massa (cicatrices de escorregamentos e blocos rolados) associados a fraturas identificadas em campo e/ou lineamentos demarcados em gabinete.

No Ponto 2, bairro Caratoíra, é possível identificar encosta rochosa com a presença de fraturas de grandes dimensões, que formam lineamento de orientação ENE-WSW (Figuras 40 e 41), e diversas estruturas menores de orientação NNW-SSE. O local já foi palco de eventos destrutivos associados à movimentos de massa, como registrado pela Defesa Civil Municipal de Vitória em novembro de 2014 (Figura 40).

Figura 40 – A: Movimentos de massa em encosta no bairro Caratoíra (Ponto 2); B: Fratura expressiva de orientação ENE-WSW (linha amarela) e estruturas menores de orientação NNW-SSE (linhas vermelhas).



Fonte: modificada de Defesa Civil, 2014.

Figura 41 – Encosta situada em Caratoíra (Ponto 2), com a presença de fratura expressiva de orientação ENE-WSW (linha amarela), estruturas menores de orientação NNW-SSE (linhas vermelhas) e blocos rolados (circulados em azul).



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

Por todo o local (Ponto 2), ainda é possível identificar blocos rolados e rochas fraturadas (Figura 42). As estruturas identificadas apresentam duas orientações principais: NNW-SSE e ENE-WSW (Figuras 40, 41 e 42).

Figura 42 – Bloco com fraturas de orientação NNW-SE (vermelho) e ENE-WSW (amarelo).



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

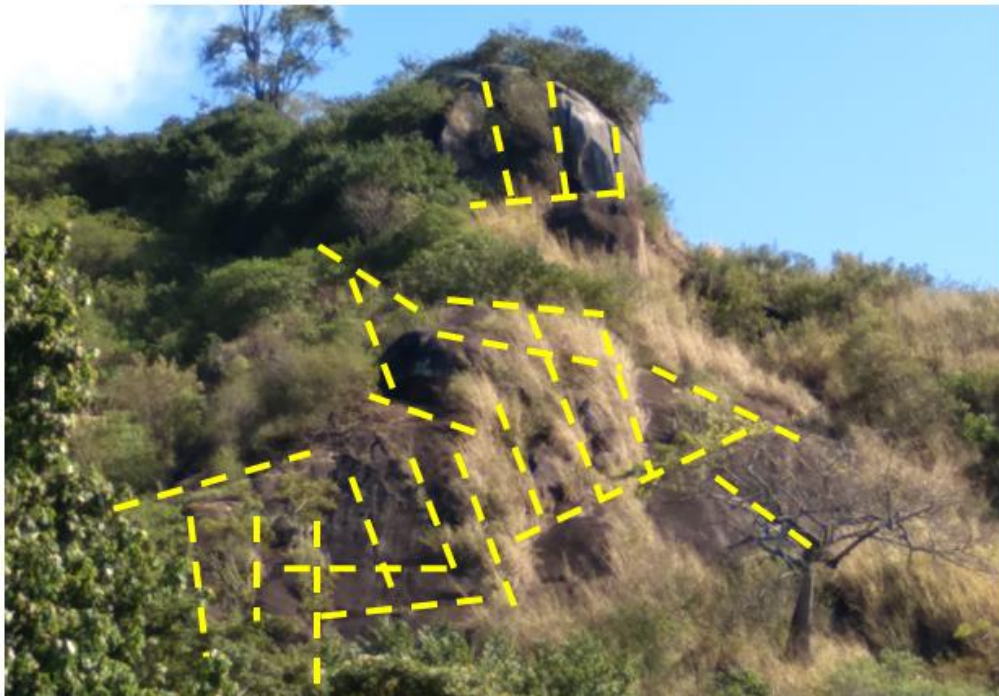
Nos Pontos 3 e 4.1 foram identificadas encostas com quantidades expressivas de fraturas, blocos rolados e cicatrizes de escorregamentos (Figuras 43 e 45). As fraturas identificadas no Ponto 3 (Figura 43 e 44) apresentam predominantemente orientações NW-SE e NNW-SSE. Já a encosta situada no ponto 4.1 (Figura 45 e 45), apresenta uma maior quantidade de estruturas com orientações NE-SW e NW-SE.

Figura 43 – Encosta com rochas fraturadas e processos de movimentos de massa.



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

Figura 44 – Encosta com rochas fraturadas e processos de movimentos de massa (fraturas demarcadas pelas linhas amarelas).



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

Figura 45 – Encosta com rochas fraturadas e processos de movimentos de massa.



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

Figura 46 – Encosta com fraturas (linhas amarelas) e processos de movimentos de massa.



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

Nos Pontos 1 e 4, foram observadas obras de contenção em encostas com presença de fraturas ou próximas a lineamentos demarcados em gabinete (Figura 47), o que evidencia o histórico de ocorrência de movimentos de massa nessas localidades.

Figura 47 – Obra de contenção (circulada em azul) em encosta com fraturas expressivas (linhas amarelas) de orientação NE-SW.



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

Vale ressaltar que os pontos de campo 1, 2 e 3 se situam em áreas onde ocorreram eventos destrutivos recentes, de grande repercussão local, associados à ocorrência de movimentos de massa (Figuras 40, 48 e 49).

Figura 48 – Escorregamento na Rua Barão de Monjardim, bairro Centro (Ponto 1).



Fonte: Defesa Civil, 2013.

Figura 49 – Movimento de massa em Joana D'arc (Ponto 3).



Fonte: Defesa Civil, 2013.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Análises estruturais e ocorrência de Movimentos de Massa

7.1.1 Lineamentos, *Trends* Estruturais (1:110000) e Movimentos de Massa

Os lineamentos decalcados no MDE, tanto com relação à orientação, quanto com relação à quantidade de lineamentos, possuem uma forte relação espacial e de orientação com os movimentos de massa ocorridos na área (Figura 50).

Dos 202 (duzentos e dois) registros de movimentos de massa, 63 (sessenta e três) ocorreram nas proximidades de lineamentos de orientação NNW-SSE, sendo a orientação mais recorrente, seguida por NW-SE (35 ocorrências de movimento de massa). As orientações NE-SW correspondem a 27 registros de movimentos de massa e as orientações ENE-WSW, WNW-ESSE e E-W correspondem, respectivamente, a 20, 15 e 14 ocorrências. Apenas 13 (treze) movimentos de massa registrados não ocorreram nas proximidades de lineamentos demarcados na escala supracitada (Figura 50).

O mapa de densidade de lineamentos (Figura 28) mostra que nas áreas de densidades Alta e Muito Alta ocorre o predomínio da ocorrência dos movimentos de massa. Além disso, o gráfico de rosetas dos *trends* estruturais mostra uma dominância na orientação NW-SE, seguido pelas orientações NNE-SSW e NE-SW.

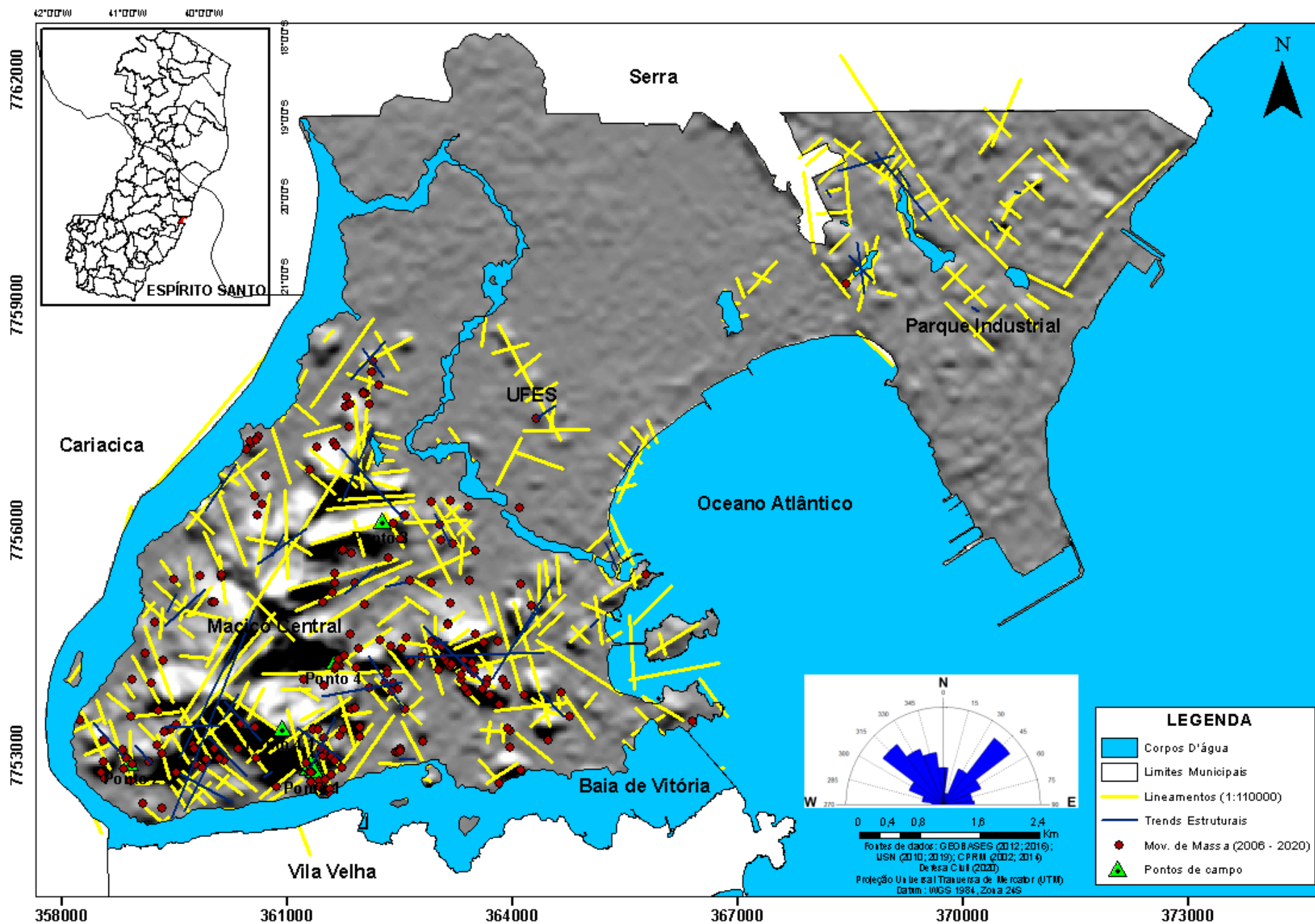
Dessa forma, observa-se a predominância das orientações dos lineamentos NNW-SSE e NW-SE e a ocorrência predominante de movimentos de massa nessas orientações. Essas orientações também predominam no mapa de lineamentos realizado para o estado do Espírito Santo (BRICALLI, 2011), e coincide com a orientação da Faixa Colatina, demonstrando assim a importante relação da orientação dos lineamentos da área com lineamentos regionais e a estrutura geotectônica mais importante do estado do Espírito Santo (Faixa Colatina). Somado a isso, os *trends* estruturais também reproduzem a mesma relação, orientação e predominância de movimentos de massa (orientação NW-SE). Dessa maneira, observa-se que os movimentos de massa que ocorreram na área, no período analisado, possuem uma forte e importante relação com as estruturas regionais.

Além da importante relação da ocorrência dos movimentos de massa com a litoestrutura, observa-se uma associação dessas orientações predominantes mencionadas e da ocorrência dos movimentos de massa com as orientações das falhas neotectônicas do estado do Espírito Santo, correspondentes às orientações NW-SE das falhas geológicas do regime de Transcorrência Dextral E-W (BRICALLI, 2011).

A orientação dos lineamentos NE-SW, que correspondem à segunda orientação mais predominante na área, é também a segunda orientação em que mais foram identificadas ocorrências de movimentos de massa no período analisado. Essa orientação corresponde à orientação predominante do Orógeno Araçuaí (TUPINAMBÁ et al., 2013).

Além da importante relação da ocorrência dos movimentos de massa com a litoestrutura, observa-se, assim como na orientação NW-SE, uma importante associação das orientações NE-SW com a ocorrência dos movimentos de massa e com as orientações das falhas neotectônicas do estado do Espírito Santo, correspondentes às orientações NE-SW das falhas geológicas dos regimes Distensão NW-SE e Transcorrência Sinistral E-W (BRICALLI, 2011).

Nesse sentido, considerando os eventos neotectônicos presentes no estado do Espírito Santo (BRICALLI, 2011), a maior parte dos movimentos de massa registrados (55,4 % do total) ocorreu nas proximidades de lineamentos cuja orientação está relacionada ao evento neotectônico de Transcorrência Dextral E-W, de idade pleistocênica a holocênica, como mencionado acima. Uma fração significativa dos processos registrados no período (23,26%) ocorreu também nas imediações de lineamentos cujas orientações estão associadas ao regime neotectônico de Distensão NW-SE, de idade holocênica, ou ao regime de Transcorrência Sinistral E-W, de idade neogênica.



7.1.2 Lineamentos, *Trends* Estruturais (1:25000) e Movimentos de Massa

Os lineamentos decalcados nas Ortofotos Digitais, tanto com relação à orientação quanto com relação à densidade possuem uma forte relação espacial e de orientação com os movimentos de massa ocorridos na área (Figura 51).

Dos 202 (duzentos e dois) processos espacializados, 59 (cinquenta e nove) ocorreram nas proximidades de lineamentos de orientação NNW-SSE, padrão que apresentou a maior quantidade de registros, seguido por NNE-SSW (39 registros), NE-SW (23 ocorrências), ENE-WSW (22 movimentos de massa) e NW-SE (19 ocorrências). Também foram registrados movimentos de massa próximos a lineamentos de orientação WNW-ESSE e E-W, em menor quantidade (Figura 51).

Dos processos estudados, 36 (trinta e seis) não ocorreram em localidades próximas aos lineamentos demarcados na escala em análise. Apenas 6 (seis) movimentos de massa não ocorreram nas proximidades de lineamentos nas escalas de 1:110000 ou 1:25000.

O mapa de densidade de lineamentos (Figura 29) mostra que nas áreas de densidades Alta e Muito Alta ocorrem o predomínio da ocorrência dos movimentos de massa. Além disso, o gráfico de rosetas dos *trends* estruturais mostra uma dominância na orientação NW-SE, seguido pela orientação NE-SW.

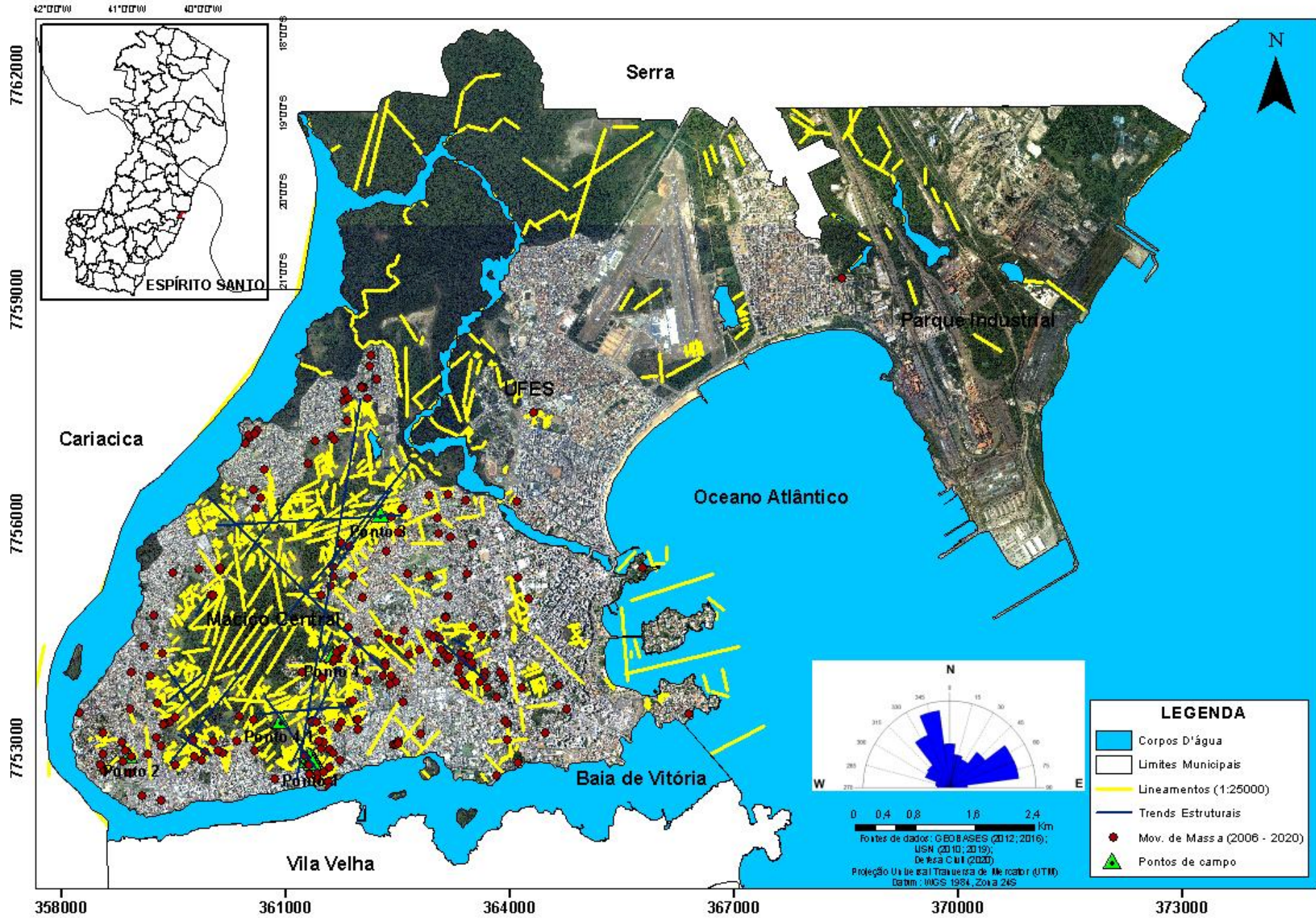
Dessa forma, observa-se a predominância de lineamentos da orientação NNW-SSE e a ocorrência predominante de movimentos de massa nessas orientações. Essa orientação, junto à orientação NW-SE, que também apresenta importante relação com as ocorrências de movimentos de massa, predomina no mapa de lineamentos realizado para o estado do Espírito Santo (BRICALLI, 2011), e coincide com a orientação da Faixa Colatina, demonstrando assim a importante relação da orientação dos lineamentos da área com lineamentos regionais e a estrutura mais importante do estado do Espírito Santo (Faixa Colatina). Observa-se, desta maneira, que os movimentos de massa que ocorreram na área no período analisado, possuem uma relação com as estruturas regionais.

Além da associação da ocorrência dos movimentos de massa com a litoestrutura, observa-se uma importante relação das orientações supracitadas e da ocorrência dos movimentos de massa com as orientações das falhas neotectônicas do estado do Espírito Santo, sendo correspondentes também às estruturas de orientação NW-SE das falhas geológicas do regime de Transcorrência Dextral E-W (BRICALLI, 2011).

As orientações dos lineamentos NNE-SSW e NE-SW, que correspondem à orientações de grande recorrência na área, são também orientações em que foram identificadas quantidades significativas de ocorrências de movimentos de massa no período analisado. Essas orientações correspondem às orientações predominantes do Orógeno Araçuaí (TUPINAMBÁ et al., 2013).

Além da importante relação da ocorrência dos movimentos de massa com a litoestrutura, observa-se, assim como na orientação NW-SE, uma importante associação das orientações NNE-SSW e NE-SW com a ocorrência dos movimentos de massa e com as orientações das falhas neotectônicas do estado do Espírito Santo, correspondentes às orientações NNE-SSW e NE-SW das falhas geológicas dos regimes Distensão NW-SE e Transcorrência Sinistral E-W (BRICALLI, 2011).

Nesse sentido, considerando os eventos neotectônicos associados ao estado do Espírito Santo (BRICALLI, 2011), uma quantidade significativa dos movimentos de massa (39,6%), ocorreram nas proximidades de lineamentos influenciados pelo regime neotectônico de Transcorrência Dextral E-W. Dentre os processos espacializados, a maior proporção (41,5%) dos movimentos de massa culminou nas proximidades de lineamentos de orientações associadas aos regimes neotectônicos de Distensão NW-SE ou Transcorrência Sinistral E-W.



Fonte: Organizado pelo autor (2022).

7.1.3 Densidade de Estruturas Geológicas, *Trends* Estruturais e Movimentos de Massa

Dos 202 (duzentos e dois) movimentos de massa registrados, 62 (sessenta e dois), que correspondem a 30,7% da totalidade, ocorreram em áreas de densidade alta, que representam apenas 5,3% da extensão territorial de Vitória. Nas localidades de densidade muito alta, que representam 3,1% da área, foram registrados 18 (dezoito) movimentações de massa, 9% do total de fenômenos, conforme demonstram a Figura 52 e Tabela 9.

Em polígonos de densidade média (6,5%), 49 (quarenta e nove) movimentos de massa foram registrados, uma proporção de 24,3% destes processos para o período analisado.

Nas áreas de densidade muito baixa, que representam mais da metade do município (50,9%), foram registrados 26 (vinte e seis) movimentos de massa, 12,8% das ocorrências totais. Em locais de densidade baixa, que correspondem à 34,2% do território, ocorreram 47 (quarenta e sete) mobilizações de massa, 23,2% do total.

Tabela 9 - Relação entre densidade de lineamentos e movimentos de massa.

Densidade de estruturas geológicas	Área do município de Vitória (%)	Mov. de massa (%)
1 – Muito Baixa	50,9%	26 (12,8%)
2 – Baixa	34,2%	47 (23,2%)
3 – Média	6,5%	49 (24,3%)
4 – Alta	5,3%	62 (30,7%)
5 – Muito Alta	3,1%	18 (9%)

Fonte: Organização do autor.

A análise dos dados acima demonstra que a maior ocorrência de movimentos de massa, está relacionada com as densidades Média (24,3%) e Alta (30,7%) – tabela 9 e figura 52. Observa-se também, que a medida que aumenta a densidade de lineamentos, aumenta a ocorrência de movimentos de massa (Tabela 9 e Figura 52),

com exceção da densidade Muito Alta, que apresenta um menor número de ocorrência de movimentos de massa. Esse dado pode ser explicado pelo fato que a classe de densidade Muito Alta apresenta-se em áreas de pequena extensão territorial, em pequenos núcleos distribuídos na área. Além disso, essas áreas representam locais de alta declividade e altitude elevada, representando assim locais pouco habitados e de pequena e/ou nula atuação da Defesa Civil, que é o órgão responsável pela coleta de dados das ocorrências de movimentos de massa na área.

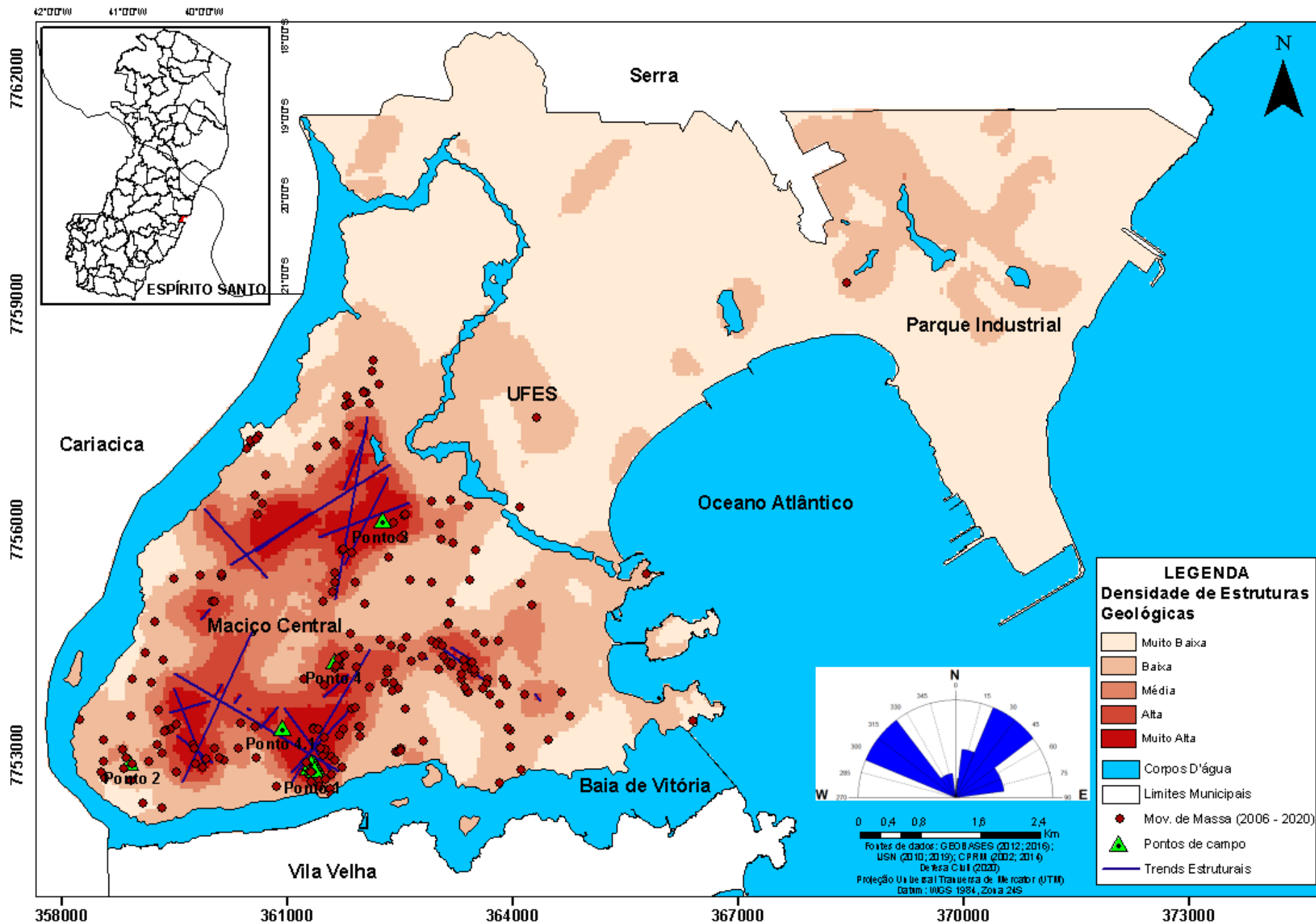
O gráfico de rosetas dos *trends* estruturais aponta uma dominância na orientação NW-SE, seguido pelas orientações NE-SW, NNE-SSW, NNW-SSE e ENE-WSW.

Observa-se a predominância de lineamentos das orientações NW-SE e a grande quantidade de ocorrências de movimentos de massa nas proximidades destes. Essa orientação, que também apresentam importante relação com as ocorrências de movimentos de massa, é predominante no mapa de lineamentos realizado para o estado do Espírito Santo (BRICALLI, 2011), e coincide com a orientação da Faixa Colatina, demonstrando assim a importante relação da orientação dos lineamentos da área com lineamentos regionais e a estrutura mais importante do estado do Espírito Santo (Faixa Colatina). Observa-se, desta maneira, que os movimentos de massa que ocorreram na área no período analisado, possuem uma relação com as estruturas regionais.

Além da importante relação da ocorrência dos movimentos de massa com a litoestrutura, observa-se uma associação dessas orientações predominantes mencionadas e da ocorrência dos movimentos de massa com as orientações das falhas neotectônicas do estado do Espírito Santo, correspondentes às orientações NW-SE e NNW-SSE das falhas geológicas do regime de Transcorrência Dextral E-W (BRICALLI, 2011).

As orientações dos lineamentos NNE-SSW e NE-SW, que correspondem à orientações de grande recorrência na área, são também orientações em que foram identificadas quantidades significativas de ocorrências de movimentos de massa no período analisado. Essas orientações correspondem às orientações predominantes do Orógeno Araçuaí (TUPINAMBÁ et al., 2013).

Além da importante relação da ocorrência dos movimentos de massa com a litoestrutura, observa-se uma importante associação das orientações NNE-SSW e NE-SW com a ocorrência dos movimentos de massa e com as orientações das falhas neotectônicas do estado do Espírito Santo, correspondentes às orientações NNE-SSW e NE-SW das falhas geológicas dos regimes Distensão NW-SE e Transcorrência Sinistral E-W (BRICALLI, 2011).



8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises dos lineamentos e demais produtos cartográficos elaborados, assim como a identificação em campo e gabinete dos processos de movimentos de massa, demonstram que há uma forte relação entre controle litoestrutural (local e regional) e neotectônico regional com a ocorrência e/ou localização dos processos de movimentos de massa.

A partir da elaboração de mapas de lineamentos, foi possível constatar as orientações predominantes dos lineamentos, dos *trends* de lineamentos e das estruturas geológicas (falhas e fraturas), além da densidade de lineamentos em escalas regional e local. Com base nisso, foi possível verificar um padrão de orientação de estruturas geológicas dominantes na área (NNW-SSE e NW-SE, seguidos por NE-SW), a despeito do que foi identificado no estudo de lineamentos e neotectônica em todo estado do Espírito Santo (BRICALLI, 2011) e da Faixa Colatina, considerando, assim, uma importância num contexto mais regional das estruturas geológicas. Em uma análise mais local, essas orientações também são coincidentes com orientações de lineamentos e da rede de drenagem de bacias hidrográficas e de recortes espaciais presentes na Grande Vitória (ROCHA, 2019; SILVA, 2019; BUSATO, 2020) e áreas próximas à Grande Vitória (SANTOS, 2019; POSSES, 2020; BUSATO, 2020).

Já as orientações NE-SW, secundariamente dominantes na área estudada, relacionam-se com a orientação do orógeno Araçuaí (TUPINAMBÁ et al., 2013), como demonstrado na pesquisa, tão bem como sua importância secundária nas pesquisas realizadas próximos à área e mencionadas acima (SANTOS, 2019; SILVA, 2019; ROCHA, 2019; BUSATO, 2020; POSSES, 2020). Atrelado a isso, foi possível verificar que, no período analisado, os movimentos de massa ocorreram com mais frequência nas proximidades de lineamentos de orientações NNW-SSE, NW-SE e NE-SW, na escala regional e orientações NNW-SSE, NNE-SSW e NE-SW, na escala local, demonstrando a importante relação entre o controle litoestrutural e a culminância e localização em zonas de fraqueza da crosta destes processos.

Além da associação aos controles litoestruturais mencionados, as orientações dominantes dos lineamentos, dos *trends* de lineamentos e das estruturas geológicas

(falhas e fraturas), refletem as mesmas orientações das falhas neotectônicas identificadas por Bricalli (2011), presentes nos regimes neotectônicos de transcorrência dextral E-W (falhas NW-SE a E-W e falhas sinistrais NNE-SSW a NNW-SSE; distensão NW-SE (estruturas NE-SW a ENE-WSW); transcorrência sinistral E-W (estruturas NE-SW, NNE-SSW e E-W a ENE-WSW).

Nesse sentido, na escala regional (1:110000), a maior parte dos movimentos de massa registrados (55,4 % do total) ocorreu nas proximidades de lineamentos cuja orientação está relacionada ao evento neotectônico de Transcorrência Dextral E-W (evento predominante no estado do Espírito Santo), de idade pleistocênica a holocênica, e uma fração significativa dos processos registrados no período (23,26%) ocorreu nas imediações de lineamentos cujas orientações estão associadas ao regime neotectônico de Distensão NW-SE, de idade holocênica, ou ao regime de Transcorrência Sinistral E-W, de idade neogênica.

Já na escala local (1:25000) uma quantidade significativa dos movimentos de massa (39,6%) ocorreu nas proximidades de lineamentos influenciados pela Transcorrência Dextral E-W (evento predominante no estado do Espírito Santo, com falhas dominantes na orientação NW-SE), no entanto, a maior quantidade dos processos de movimentos de massa (41,5%) culminou nas proximidades de lineamentos de orientação NE-SW, cuja orientação está associada ao regime Neotectônico de Distensão NW-SE ou à Transcorrência Sinistral E-W. Apesar da dominância de lineamentos de orientação NNW-SSE, Na escala local, há um número expressivo de lineamentos nas orientações NE-SW (NE-SW, NNE-SSE, ENE-WSW), que só foi possível de serem mapeadas nessa escala, ou seja, apresentam-se como estruturas geológicas menores. Esse fato, explica a predominância da ocorrência e/ou existência de movimento de massa nas orientações NE-SW, nessa escala, associadas ao regime Neotectônico de Distensão NW-SE ou à Transcorrência Sinistral E-W, quando comparados aos representados na escala regional.

Dessa forma, essa pesquisa assinalou a importância do decalque de lineamentos em diferentes escalas, uma vez que podem destacar lineamentos de tamanhos e orientações distintos, na mesma área, quando analisadas em escalas diferentes.

Quando analisados a relação entre a densidade de estruturas geológicas e a ocorrência dos movimentos de massa, observa-se que a maior ocorrência destes processos está relacionada com as densidades Alta (30,7%) e Média (24,3%). Além disso, a medida que observa-se um aumento da densidade de estruturas geológicas, ocorre um aumento na ocorrência de movimentos de massa, com exceção da densidade Muito Alta, que apresenta um menor número de ocorrência de movimentos de massa. Esse fato pode ser explicado pela classe de densidade Muito Alta apresentar-se em áreas de pequena extensão territorial, em pequenas porções nucleadas e distribuídas na área. Destaca-se também, que essas áreas de densidades Muito Alta representam locais de declividades altas e altitudes elevadas, representando assim locais pouco habitados e de pequena e/ou nula atuação da Defesa Civil, que é o órgão responsável pela coleta de dados das ocorrências de movimentos de massa na área, fazendo assim com que a quantificação e identificação de movimentos de massa não reflita a realidade destas localidades.

O mapa de suscetibilidade à movimentos de massa, elaborado a partir das variáveis densidade de estruturas geológicas, declividade, curvatura horizontal e cobertura superficial, apresentou um elevado índice de acertos, ou seja, os movimentos de massa ocorridos nas classes de Suscetibilidade Média, Alta e Muito Alta correspondem a 78,72% do total. Se considerados apenas as deflagrações em polígonos demarcados com Suscetibilidade Alta e Muito Alta, estes representam 61,38% das ocorrências do período, mesmo compreendendo a uma extensão territorial de apenas 14,2% da área do município de Vitória. Destaca-se aqui que as estruturas geológicas, correspondem, nesse mapa, a 30% do peso total, juntamente com a declividade.

Os mapas e demais produtos gerados para elaboração dessa pesquisa, demonstraram-se ferramentas eficazes na identificação dos principais lineamentos presente na área, assim como possibilitou a análise das correlações das principais orientações dos lineamentos e os processos existentes na área.

O trabalho de campo foi importante para identificação e validação dos movimentos de massa registrados pela Defesa Civil, além de ter permitido identificar a ocorrência dos mesmos em lineamentos importantes e visíveis em campo.

A maioria das pesquisas sobre movimentos de massa não considera ou atribui pouca relevância às influências litoestruturais implícitas nesses processos. Assim, esta pesquisa trouxe uma abordagem diferenciada sobre o tema e apresentou resultados que permitem novas discussões, demonstrando existir uma importante relação litoestrutural regional e local e neotectônica (direta ou indireta) com a localização dos movimentos de massa e sua possível ocorrência devido a isso.

Para admitir um condicionamento direto das estruturas geológicas na ocorrência dos movimentos de massa, é preciso uma análise mais detalhada das estruturas geológicas locais e regionais, assim como uma análise mais detalhada das litologias e dos solos e, junto a isso, uma análise integrada de fatores físicos utilizados nessa pesquisa, juntamente com a análise estrutural.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, Aziz Nacib. **Bases Conceituais e Papel do Conhecimento na Previsão de Impactos**. In: MÜLLER-PLANTENBERG, C.; AB'SÁBER, A. N. (Org.). Previsão de impactos: o estudo de impacto ambiental no leste, oeste e sul: experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha, São Paulo: Edusp, p. 27-49, 1994.

ALI, S. A.; PIRASTEH, S. **Geological Applications of Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM) Data and Geographic Information System (GIS): Mapping and Structural Interpretation in South-West Iran, Zagros Structural Belt**. International Journal of Remote Sensing, Vol. 25, No. 21, 2004.

AMBROSI, C.; CROSTA, G. **Large sackung along major tectonic features in the Central Italian Alps, Large Landslides: dating, triggering, modelling, and hazard assessment**. Eng Geol 83(1): 183–200, 2006.

AMORIM, L. L. **Análise da Fragilidade Ambiental da APA do Maciço Central – Vitória/ES**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

ANBALAGAN, R. **Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain**. Eng Geol 32:269–277, 1992.

ANBALAGAN, R.; SINGH, B. **Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains—a case study from kumaun himalaya, india**. Eng Geol 43(4):237–246, 1996.

ARAÚJO, P. C. de. **Análise da suscetibilidade, a escorregamentos: uma abordagem probabilística**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP (IGCE/UNESP), Rio Claro, São Paulo, 2004.

ASSIS, L. E. **Avaliação geológico-geotécnica em áreas de susceptibilidade à movimentos de massa em Rio Piracicaba (MG)**. Dissertação (Mestrado Em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2017.

ATKINSON, P. M.; MASSARI, R. **Mapping Susceptibility to Landsliding in the Central Apennines, Italy**. Computers and Geosciences, 24, 373-385, 1998.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, 1992, Rio de Janeiro.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. **Estabilidade de Taludes**. In: OLIVEIRA, A. M. D. S. e BRITO, S. N. A. D. (Ed.). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, p.243-269, 2004.

BIERMAN, P.R; MONTGOMERY, D. R. **Key Concepts in Geomorphology**. W.H.Freeman & Co Ltd. 14ª edição, 2013.

BIGARELLA, J. J. et al. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais**. Vol. 3, Florianópolis: Ed. UFSC, 2003.

BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (eds.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Texto, Mapas e SIG**. Brasília: CPRM, 2003.

BRICALLI, L. L. **Padrões de Lineamentos e Fraturamento Neotectônico no Estado do Espírito Santo (Sudeste do Brasil)**. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BRICALLI L. L. **Procedimentos Metodológicos e Técnicas em Geomorfologia Tectônica**. Vitória – ES, 2016.

BUSATO, C. **Condicionamento neotectônico na rede de drenagem e no relevo do baixo curso do Rio Doce (Espírito Santo, Sudeste do Brasil)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2020.

CARDOZO, F. S.; HERRMANN, M. L. P. Uso da técnica AHP no mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais**. Curitiba: INPE, 2011. p. 4134 - 4141.

CARVALHO, Celso Santos; MACEDO, Eduardo Soares de; OGURA, Agostinho Tadashi. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rio**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2007.

CHANG, H. K., KOWSMANM, R. O.; FIGUEIREDO, A. M. F.; BENDER, A. A.; Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift system. **Tectonophysics**, v. 213, p. 97-138, 1992.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. 2.ed. rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 188p.

CIANFARRA, P.; SALVINI, F. **Ice cap surface lineaments in the Vostok-dome C area, east Antarctica. What are they telling us on the east Antarctica craton tectonics?** Terra Antarctica Reports, 14, p. 203-208. 2008.

COBLENTZ, D. D.; RICHARDSON, R. M. Analysis of the South American intraplate stress field. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, p. 8643-8657, 1996.

CORREA, Wesley de Souza Campos. **Comportamento dos elementos climáticos, temperatura e precipitação, no município de Vitória (ES) no período de 1978 a 2007**. Vitória, 2011.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Mapa geológico do estado do Espírito Santo: Folha Vitória**. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de geologia, mineração e transformação mineral, 2014.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Mapa geológico do estado do Espírito Santo. Ministério de Minas e Energia.** Secretaria de geologia, mineração e transformação mineral, 2015.

DREW. D. **Processos Interativos Homem-Meio Ambiente.** São Paulo, Difel, 1986.

EFFGEN, J. F.; MARCHIORO, E. **Mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa no município de vila velha-es, com o uso de análise de processos hierarquizados (ahp).** São Paulo, UNESP, Geociências, v. 36, n. 4, p. 731 - 742, 2017.

EFFGEN, J. F. **Suscetibilidade A Escorregamentos Translacionais Na Bacia De Drenagem De Fradinhos, Vitória/ES.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

EFFGEN, J. F.; COUTO, J. O. N.; MARCHIORO, E. **Análise de áreas suscetíveis a escorregamentos na bacia de drenagem de Fradinhos, Vitória/ES, frente ao Plano Diretor Urbano e uso e cobertura da terra.** Belo Horizonte – MG, Vol. 16, nº 1, 2018.

EFFGEN, J. F.; ROCHA, P. A; PIRES, P. J. M.; MARCHIORO, E. **Parametrização geotécnica para modelagem de suscetibilidade a escorregamentos translacionais em Fradinhos, Vitória-ES.** Soc. Nat., Uberlândia, MG, v.32, p.711-727, 2020.

Esri Inc. **ArcMap (versão 10.5.1).** Redlands, Estados Unidos, 2016.

FERNANDES, G. **Caracterização geológico - geotécnica e propostas de estabilização da encosta do morro do curral – centro de artes e convenções de ouro preto.** Dissertação (Mestrado Em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2000.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. **Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis.** Revista Brasileira de Geomorfologia, s. l., v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. **Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling.** Catena, v. 55, n. 2, p. 163-181, 2004.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. **Movimentos de Massa: uma abordagem geológico-geomorfológica.** In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.) Geomorfologia e Meio Ambiente. 10. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. Cap. 3. p. 123-194.

FERRARI, A. L. **Evolução Tectônica do Graben da Guanabara**. 2001. 412p. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade São Paulo, São Paulo, 2001.

FRANÇA, R. L.; TOKUTAKE, L. R. **Bacias sedimentares brasileiras: Bacia do Espírito Santo**. Phoenix, v. 69, p. 1-6, 2004.

FREITAS, Rui Ozorio. **Ensaio sobre a tectônica moderna do Brasil**. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1951.

GATTO, L. C. S.; RAMOS, V. L. S.; NUNES, B. T. A.; MAMEDE, L.; GÓES, M. H.; MAURO, C. A.; ALVARENGA, S. M.; FRANCO, E. M. S.; QUIRICO, A. F.; NEVES, L. B. Geomorfologia. **Projeto Radam Brasil**. Folhas 23/24 Rio de Janeiro/Vitória. V. 32. Rio de Janeiro, 1983.

GERENTE, J.; PLETSCH, M. A. J. S; SOTHE, C.; F. C. N. Classificação semiautomática de cicatrizes de movimentos de massa por meio de técnicas de detecção de mudanças. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 18, nº 4, 2017.

GOMEZ, H.; KAVZOGLU, T. **Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela**. Eng Geol 78:11–27, 2005.

GONÇALVES, U. S.; FRANCISCO, C. N. **Análise espacial das variáveis geomorfométricas e movimentos de massa na região serrana fluminense**. Revista Brasileira de Cartografia (2016), Nº 68/9, Edição Especial Movimentos de Massa e Processos Erosivos: 1839-1851 Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto.

GONTIJO, A.H.F. 1999. **Morfotectônica do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul: Região da Serra da Bocaina, Estados de São Paulo e Rio de Janeiro**. Rio Claro (SP). 259 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP).

GRIGORIEV, A. A. **The Theoretical Fundaments of Modern Physical Geography**. In: The Interaction of Sciences in the Earth, Moscou, 1968.

GROTZINGER, J. & JORDAN, T. **Para Entender a Terra**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Blucher, 1983.

HASUI, Y. 1990. **Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil**. In: SBG/MG, WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO, 1, Belo Horizonte, Boletim SBG/MG, 11:11-31.

HEILBRON, M. et al. Província Mantiqueira. **Geologia do continente sulamericano**: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, p. 203-235, 2004.

HIRUMA, S.T; RICCOMINI,C; MODENESI-GAUTTIERI, M.C. 2001. **Neotectônica no Planalto de Campos do Jordão,SP**. Revista Brasileira de Geociências. 31 (3): 375-384.

HOBBS, W.H. 1904. **Lineaments of the Atlantic Border Region**. Geological Society of America Bulletin, 15: 483-506.

HUTCHINSON, J. N. **Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hidrogeology**. General report. Proceedings of 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, v.1, p3-35, 1988.

INFANTI JUNIOR, N. & FORNASARI FILHO, N. **Processos de Dinâmica Superficial**. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. cap. 9, p.131-152.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ocupação de encostas: manual**. Publicação n. 1831. São Paulo, 1991.

JORDAN, G.; SCHOTT, B. 2005. **Application of wavelet analysis to the study of spatial pattern of morphotectonic lineaments in digital terrain models. A case of study**. *Remote Sensing of Environment*, 94. p. 31-38.

LIU, C. C. **Análise Estrutural de Lineamentos em Imagens de Sensoriamento Remoto: aplicação no estado do Rio de Janeiro**. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

LONGLEY, P. A; GOODCHILD, M. F. RHIND, D.W.; MAGUIRE, D. J. Modelagem de dados geográficos; Coleta de dados para SIG. In: **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. Porto Alegre: ABDR, 2013.

MACHADO FILHO, L. M.; RIBEIRO, M. W.; GONZALEZ, S. R.;SCHIENINI, C. A.; NETO, A. S.; PALMEIRA, R. C. B.; PIRES, J. L.; TEIXEIRA, W.; CASTRO, H. E. F. Geologia. **Projeto Radam Brasil**. Folhas 23/24 Rio de Janeiro/Vitória. V. 32. Rio de Janeiro, 1983.

MARTIN, L. SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J. M.; FLEXOR, J. **Geologia do Quaternário costeiro do litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo**. CPRM, Belo Horizonte, v. 2, 1997.

MELLO, C. L. **Sedimentação e tectônica cenozóica no Médio Vale do Rio Doce (MG, Sudeste do Brasil) e suas aplicações na evolução de um sistema de lagos**. 1997. 275p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997.

MELLO, C. L.; RODRIGUES, H. B.; HATUSHIKA, R. S. **Reativações tectônicas cenozóicas na Faixa de Lineamentos Colatina (ES)**. In: SIMPÓSIO NACIONAL

DE ESTUDOS TECTÔNICOS/IV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONICS OF THE BRAZILIAN GEOLOGICAL SOCIETY, 10., Curitiba. Anais... Curitiba: SBG, p. 186-188, 2005.

MENDES, L. A; DANTAS, M; BEZERRA, L.M.M. Geomorfologia. **Projeto Radam Brasil**. Folha SE.24 Rio Doce .V 34. Rio de Janeiro, 1987.

MIRANDA, D. J. **Análise de estruturas rúpteis associadas a deformações neotectônicas na região centro-norte do estado do Espírito Santo**. 2007. 58 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MIRANDA, D. J. **Tensões e fraturamento neotectônico na área emersa da bacia do Espírito Santo**. 2009.125p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MORAIS, R. M. O. **Sistemas fluviais terciários na área emersa da bacia do Espírito Santo (Formações Rio Doce e Barreiras)**. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geologia, IGEO/UFRJ. 139p, 2007.

NAGARAJAN, R.; MUKHERJEE, A.; ROY, A.; KHIRE, M. V. **Temporal remote sensing data and GIS application in landslide hazard zonation of part of Western Ghat, India**. International Journal of Remote Sensing, 19, 573–585, 1998.

NAGARAJAN, R.; ROY, A.; KUMAR, R. V.; MUKHERJEE, A.; KHIRE, M. V. **Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions**. Bull Eng Geol Environ 58:275–287, 2000.

NOVAIS, L.C.C.; TEIXEIRA, L.B.; NEVES, M.T.; RODARTE, J.B.M.; ALMEIDA, J.C.H.; VALERIANO, C.M. **Novas ocorrências de diques de diabásio na faixa Colatina – ES: estruturas rúpteis associadas e implicações tectônicas para as bacias de Campos e do Espírito Santo**. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro, v 12, n.1, p.191-194, 2004.

OBRUCHEV, V.A. **Osnovnye cherty kinetiki i plastiki neotektoniki**. Akad. Nauk. SSSR. Izv. Serv. Geol., 5:13-24, 1948.

O'LEARY, D.W., FRIEDMAN, J.D., POHN, H.A. **Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms**. Geological Society of America Bull., 87:1463-1469. 1976.

PEDROSA-SOARES, A.C.; WIEDEMAN-LEONARDOS, C. **Evolution of the Araçuaí belt and the connection to the Ribeira belt, eastern Brazil**. In: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho & D.A. Campos (eds.) Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro, Brazil, pp.: 265-285, 2000.

PEDROSA-SOARES, A. C.; NOCE, C. M.; ALKMIM, F. F.; SILVA, L. C.; BABINSKI, M.; CORDANI, U.; CASTAÑEDA, C. **Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977**. Revista Geonomos, v. 15, n. 1, 2013.

PIMENTEL, T. B. **Fragilidade potencial e emergente do relevo de Vitória–ES: subsídios para gestão de riscos e desastres em ambiente urbano.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019.

POSSES, S. P. das. **Condicionamento Neotectônico Na Rede De Drenagem Da Bacia Hidrográfica Do Rio Bananal (Espírito Santo, Sudeste Do Brasil).** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2020.

PRESS, F.; GROTZINGER, J.; SIEVER, R.; JORDAN, T. H. **Para Entender a Terra.** Tradução: MENEGAT, R. (coord.). 4a edição. Porto Alegre: Bookman, 2006.

RAMLI, M. F.; JUAHIR, H.; SHAFRI, H.; YUSOF, N.; YUSOF, M. K. **Lineament mapping and its application in landslide hazard assessment: a review.** Bull Eng Geol Environ (2010) 69:215–233.

REIS, F. A. G. V. Curso de Geologia Ambiental. **Geodinâmica Externa.** Movimentos de massa. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09.html>.

RIBEIRO, C.S. **Influência da tectônica pós-deposicional na distribuição da Formação Barreiras entre o rio Paraíba do Sul (RJ) e o rio Doce (ES).** 2010. 164 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

RICCOMINI, C. **O Rift continental do sudeste do Brasil.** 1989. 256 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade São Paulo, São Paulo, 1989.

RIFFEL, E.S., 2012. **Análise e mapeamento das ocorrências de movimentos de massa na bacia hidrográfica do Rio Paranhana (RS).** Dissertação (Mestrado em Geografia). Porto Alegre – RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RIFFEL, E.S.; GUASSELLI, L. A.; BRESSANI, L.A. **Desastres Associados a Movimentos de Massa: Uma Revisão de Literatura.** ISSN: 1984-8501 Bol. Goia. Geogr. (Online). Goiânia, v. 36, n. 2, p. 285-101, mai./jul. 2016

ROCHA, D. S. da. **Utilização da técnica de GPR (Ground Penetrating Radar) para a caracterização de unidades geológicas na cidade de Vitória (Espírito Santo, Sudeste do Brasil).** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019.

ROSS, J. L. S. **O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo.** Revista do Departamento de Geografia. V.6, 1992.

ROSS, Jurandy Luciano Sanches. **Geomorfologia: ambiente e planejamento.** São Paulo: Contexto, 1997.

ROSS, J. L. S. **Paisagem, Configuração Territorial e Espaço Total: interação da sociedade com a natureza**. In: Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo. Ed. Oficina de Textos, 2009. p. 47 – 61.

SAADI, A. 1993. **Neotectônica da plataforma brasileira: esboço e interpretação preliminares**. Geonomos, 1(1):1-15.

SALVADOR, E.D. **Análise neotectônica da região do vale do rio Paraíba do Sul compreendida entre Cruzeiro (SP) e Itatiaia (RJ)**. 1994. 129 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade São Paulo, São Paulo, 1994.

SALVADOR, E.D.; RICCOMINI, C. 1995. **Neotectônica da região do alto estrutural de Queluz (SP-RJ, Brasil)**. R. bras. Geoc. 25(3):151-164.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SANTOS, Jader de Oliveira. **Relação entre Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade Social na Suscetibilidade aos Riscos**. Mercator. V.14, n.2, p. 75-90, 2015.

SANTOS, J. R. U. **ANÁLISE INTEGRADA DA VULNERABILIDADE EROSIVA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DUAS BOCAS (ES)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

SANTOS, T. G.; **Técnicas De Geoprocessamento E Dados Neotectônicos Para Identificação De Áreas Favoráveis À Captação De Água Subterrânea (Porção Centro/Norte Do Estado Do Espírito Santo, Sudeste Do Brasil)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2019.

SANTOS, R. U. S.; MARCHIORO, E. **Análise empírica da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo, Brasil**. Revista do Departamento de Geografia, v. 39, São Paulo, 2020.

SARGES, R. R. 2002. **Morfologia de Lagos da Região do Médio Vale do Rio Doce, Minas Gerais, e a sua Relação com a Tectônica Quaternária**. Rio de Janeiro. 81p. (Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia - Instituto de Geociências – UFRJ).

SARKAR, S.; KANUNGO, D. P. **An integrated approach for landslide susceptibility mapping using remote sensing and GIS**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol. 70, Nº 5, pp. 617-625, 2004.

SARKAR, S.; KANUNGO, D. P. **GIS application in landslide susceptibility mapping of Indian Himalayas**. GIS Landslide, Springer Japan, 2017.

SESTINI, M. F. **Variáveis geomorfológicas no estudo de deslizamentos em Caraguatatuba-SP utilizando imagens TM- LANDSAT E SIG.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) 2000. 140p. INPE. São José dos Campos, São Paulo, 2000.

SILVA, R. M. J.; LIMA, C. M. I.; VERONESE, V. F.; JUNIOR, R. N. R.; ROCHA, M. R.; JUNIOR, S. O. Geologia. **Projeto Radam Brasil.** Folha SE-24 Rio Doce. Rio de Janeiro, v. 34, p. 23-174, 1987.

SILVA, A. M.; Schulz, H. E.; Camargo, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas.** São Carlos: RIMA, 2003.

SILVA, T. P. **Neotectônica na região da Zona de Cisalhamento do rio Paraíba do Sul e áreas adjacentes.** 2006. 125p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Insituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, A. C.; PIMENTA, A. A. G; NETO, F. B. da S. **Fatos Históricos: conhecendo o passado para planejar o futuro.** Vitória, 2009.

SILVA, G. H. T. da. **Controle Estrutural No Maciço Mestre Álvaro (Serra, Espírito Santo, Sudeste Do Brasil.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2019.

SKEMPTON, A.; HUTCHINSON, J. **Stability of natural slope and embankment foundations.** Proc. 7th Intern. Congress os Soil Mechanics and Foundation Engineering, p.291- 340, 1969.

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do Rio Jaguari Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata.** São Paulo, 1v. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2001.

STERNBERG, H.O.R. **Vales tectônicos na planície amazônica.** Revista Brasileira de Geografia, Vol.12, n.4, p.3-26. 1950.

SUMMERFIELD, M.A. 1986. **Tectonic Geomorphology: macroscale perspectives.** Prog. In Phys. Geog., 10(2):227-238.

TERZAGHI, K. **Mechanism of landslides.** Havard University. Publicação 488, p.88-123, 1950.

TOMINAGA, L. K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: Aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP.** 2007. 240p. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir.** Instituto Geológico. São Paulo, 2009.

TRIFONOV, V.G. **An oveview of neotectonics studies.** International Geology Review, v. 31, p.111-160, feb. 1989.

TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; DUARTE, B. P.; NOGUEIRA, J. R.; VALLADARES, C.; ALMEIDA, J.; SILVA, L. G. E.; MADEIROS, S. R.; ALMEIDA, C. G.; MIRANDA, A.; RAGATKY, C. D.; MENDES, J.; LUDKA, I. **Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: estado da arte e conexões com a Faixa Araçuaí**. Revista Geonomos, v. 15, n. 1, 2013.

VALERIANO, M. M. **Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-9364-RPQ/736), 2002.

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos, INPE: 2008. 75p.

VANACÔR, R. N. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2006. 132p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VARNES, D. J. Landslides Types and Processes. **In Landslides and Engineering Practice**. E. B. Eckel (ed). Special Report n° 29, Highway Research Board, p.20-47, 1978.

VARNES, D. J. **Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice**. Comission on Landslides of IAEG, UNESCO, Natural Hazards n° 3. 61p, 1984.

WISE D.U., FUNICIELLO R., PAROTTO M. & SALVINI F., 1985. **Topographic lineament swarms: Clues to their origin from domain analysis of Italy**. Geological Society of America Bull., 96, 952-967.