

# A Relação entre os Padrões de Lineamentos e os Movimentos de Massa no Município de Vitória (Espírito Santo, Sudeste do Brasil)

The Relationship between Lineament Patterns and Mass Movements in the Municipality of Vitória (Espírito Santo, Southeast Brazil)

Thiago Borini Pimentel<sup>1</sup> 

Luiza Leonardi Bricalli<sup>2</sup> 

## Palavras-chave:

Lineamentos  
Eventos neotectônicos  
Movimentos de massa

## Resumo

Essa pesquisa tem como objetivo principal analisar e relacionar os padrões de lineamentos com a ocorrência de movimentos de massa no município de Vitória (Espírito Santo, Brasil). A metodologia utilizada se constitui 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. Em campo, as estruturas geológicas foram identificadas e analisadas a partir dos lineamentos identificados em gabinete e suas orientações foram medidas (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), contemplando todas as fraturas medidas. Na escala regional, ocorreram mais movimentos de massa nas proximidades de lineamentos de orientações NNW-SSE, NW-SE e NE-SW. Na escala local esses processos ocorreram com mais frequência nas proximidades de lineamentos de orientações NNW-SSE, NNE-SSW e NE-SW. A análise dos dados demonstra a importante relação entre os lineamentos e as ocorrências de movimentos de massa com as estruturas geológicas regionais e os eventos neotectônicos do estado do Espírito Santo, nas rochas alteradas do embasamento pré-cambriano e nos depósitos cenozoicos. Os dados revelaram a associação entre a densidade de estruturas geológicas e a ocorrência dos movimentos de massa, uma vez que o aumento da densidade é diretamente proporcional ao de ocorrência destes processos, com exceção da classe de densidade Muito Alta, que apresentou pouca representação espacial.

## Keywords

Lineaments  
Neotectonic events  
Mass movements

## Abstract

The main objective of this research is to analyze and relate lineament patterns to the occurrence of mass movements in the municipality of Vitória (Espírito Santo, Brazil). The methodology used consists of cabinet and field analyses. In a cabinet, Lineament Maps were made from 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 orientation rosettes generated. In the field, the geological structures were identified and analyzed from the lineaments identified in the cabinet, and their orientations were measured (Brunton compass). These data were integrated and analyzed from the Municipal Civil Defense mass movements records, 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), including all measured fractures. At the regional scale, more mass movements occurred near NNW-SSE, NW-SE, and NE-SW orientation lineaments. At the local scale, these processes occurred more frequently in the vicinity of NNW-SSE, NNE-SSW, and NE-SW orientation lineaments. Data analysis demonstrates the important relationship between lineaments and occurrences of mass movements with regional geological structures and neotectonic events of the Espírito Santo in altered rocks of the Precambrian basement and Cenozoic deposits. The data revealed an association between the density of geological structures and the occurrence of mass movements since the increase in density is directly proportional to these processes, except for the Very High -density class, which presented little area representation.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Vitória - ES, Brasil. [thiagoborinip@hotmail.com](mailto:thiagoborinip@hotmail.com)

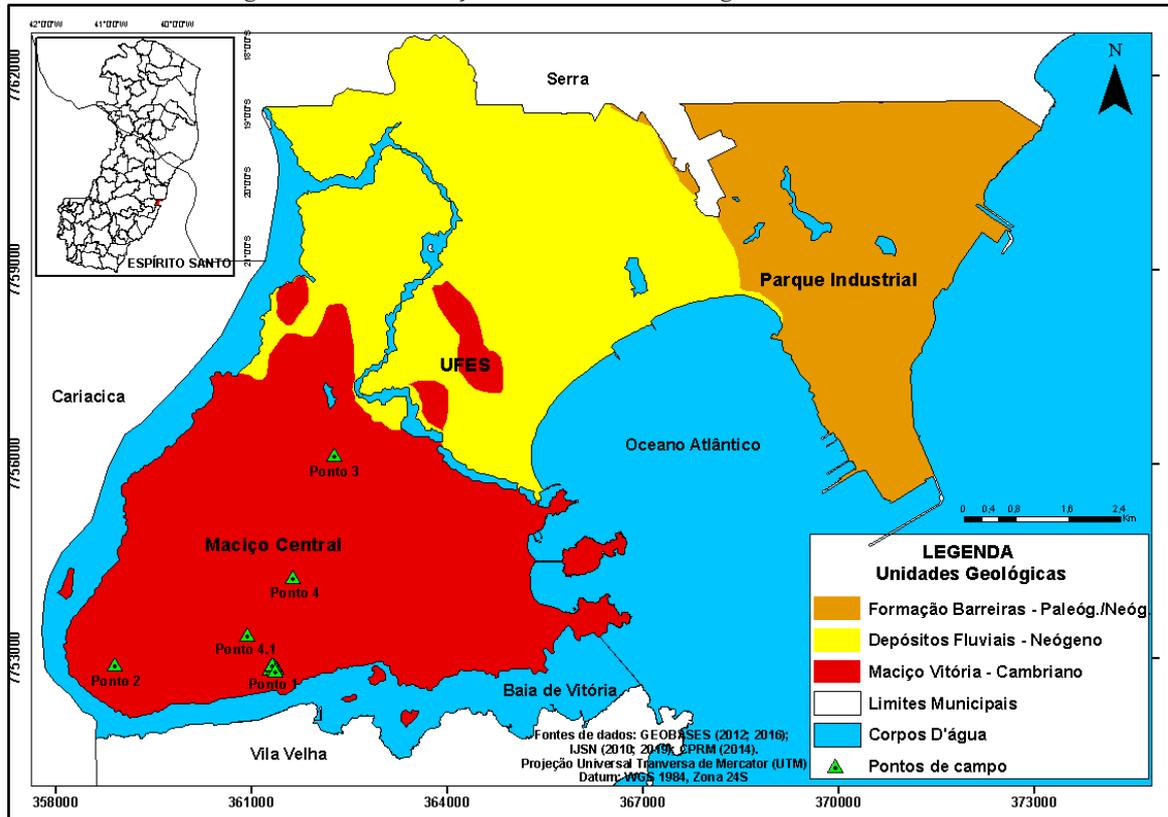
<sup>2</sup> Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Vitória - ES, Brasil. [luizabricalli@gmail.com](mailto:luizabricalli@gmail.com)

## INTRODUÇÃO

Essa pesquisa foi realizada no município de Vitória (Figura 1), capital do Espírito Santo, tendo como objetivo principal identificar e relacionar os padrões de lineamentos com a ocorrência de movimentos de massa. A área

apresenta três Unidades Geológicas: Maciço Vitória, Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes e Formação Barreiras (CPRM, 2014), sendo também compreendida pelas Unidades Geomorfológicas Tabuleiros Costeiros, Colinas e Maciços Costeiros e Planícies Costeiras (GATTO et al., 1983).

Figura 1 – Localização e Unidades Geológicas de Vitória-ES.



Fonte: Os autores (2022).

A combinação de fatores fisiográficos, juntamente com o crescimento desordenado da ocupação urbana em determinadas áreas, sem o adequado planejamento do uso da terra e com a presença de edificações de baixo padrão construtivo, tem desencadeado acidentes associados a movimentos de massa, muitas vezes causando desastres, o que eleva a necessidade e importância de se analisar e compreender esses processos (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

Nesse sentido, as pesquisas sobre os movimentos de massa têm 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 pode contribuir com a

dinâmica evolutiva do relevo (EFFGEN; COUTO; MARCHIORO, 2018).

No Brasil, uma quantidade expressiva de estudos sobre movimentos de massa tem sido realizada no sudeste do país (TOMINAGA et al., 2007; FERNANDES et al., 2001; 2004; EFFGEN; MARCHIORO, 2017), com destaque para o estado do Espírito Santo, que apresenta muitas áreas com ocorrências destes processos (EFFGEN et al., 2020; EFFGEN; COUTO; MARCHIORO, 2018; SANTOS; MARCHIORO, 2020).

Um aspecto importante relacionado à ocorrência de movimentos de massa, não muito abordado em estudos da temática, pode estar relacionado à influência de estruturas geológicas (falhas e juntas), que correspondem à linhas de fraqueza da crosta terrestre (BRICALLI, 2011). O estudo da relação dos padrões de lineamentos com a ocorrência de movimentos de massa é, praticamente, escasso,

sendo assim considerado um estudo inédito para o município de Vitória e para o estado do Espírito Santo. No entanto, a relação dos lineamentos com a ocorrência de movimentos de massa tem sido investigada no Brasil e no mundo, tendo como referência pesquisas no continente asiático (ANBALAGAN; SIGH, 1996; NAGARAJAN, et al., 2000; SARKAR; KANUNGO, 2017) e europeu (ATKINSON; MASSARI, 1998; AMBROSI; CROSTA, 2006), apresentando também estudos no Brasil (GONTIJO, 1999; TOMINAGA, 2007).

Assim, com base nessa problemática ambiental e social que assola o município de Vitória (ES), estudos que possam dar subsídios ao entendimento e ao monitoramento dos movimentos de massas, bem como às tomadas de decisões para planejamentos futuros e até mesmo emergenciais, se fazem necessários.

## MATERIAS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos para elaboração dessa pesquisa foram essencialmente compostos por análises de gabinete (escalas 1:110000 e 1:25000) e análise de campo (escala 1:1).

### Análises de gabinete

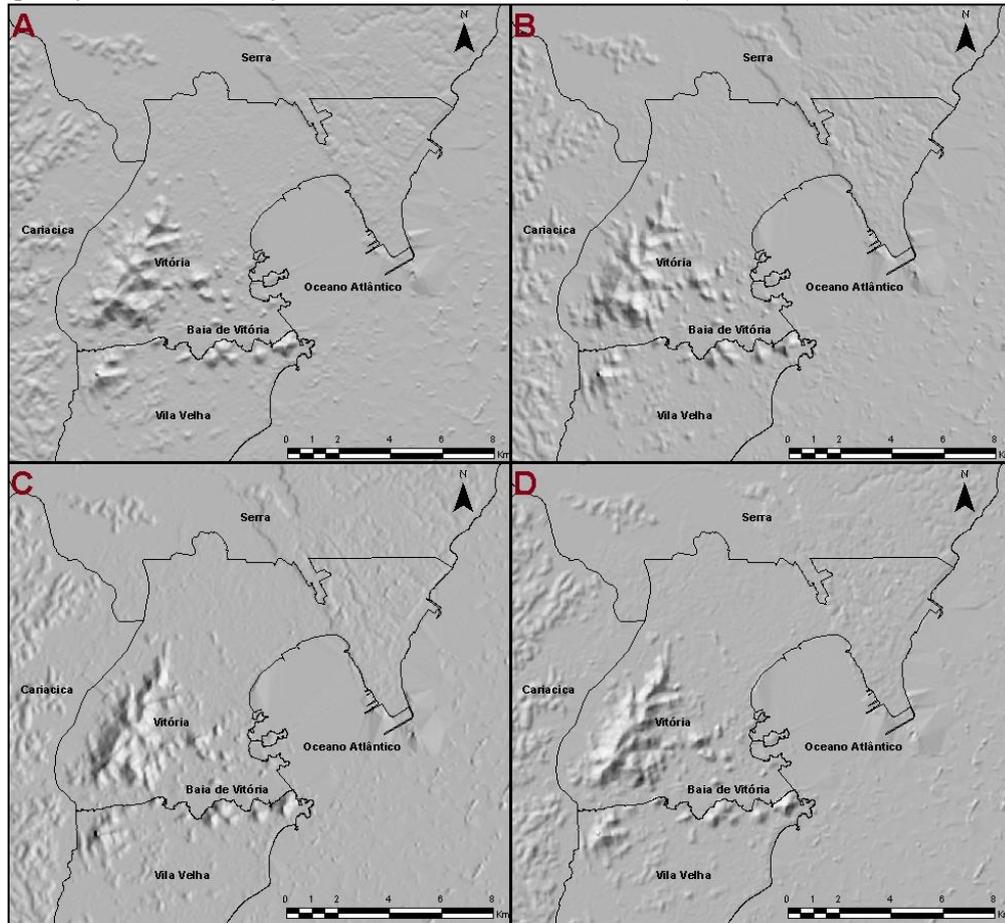
As bases cartográficas utilizadas foram processadas no *software ArcGIS™ 10.5* (ESRI, 2016). Todos os mapas foram criados ou convertidos para a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum Geodésico Horizontal WGS 1984, Fuso 24S.

### Análise de Lineamentos

#### *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), sobre um Modelo Digital de Elevação (MDE), adquirido do Serviço Geológico Norte-Americano (USGS), com resolução espacial de 30m (VALERIANO, 2002), onde foram aplicadas 4 (quatro) iluminações artificiais (000°, 045°, 090° e 315°) – Bricalli (2011), como demonstra a Figura 2. Os lineamentos foram identificados seguindo a metodologia de Liu (1984) e decalcados em cada uma das iluminações, na escala de 1:110.000.

Figura 2 - Aplicação das iluminações artificiais na área de estudo (A: 000°; B: 045°; C: 090°; D: 315°).



Fonte: Os autores (2022).

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

Foram utilizados ortofotomosaicos adquiridos do IJSN - Instituto Jones dos Santos Neves (2019). Sobre as imagens foram decalcados os lineamentos, seguindo novamente a metodologia de Bricalli (2011), e as definições de Liu (1984), na escala de 1:25.000.

### Elaboração de rosetas de orientação

Para o cálculo da orientação dos lineamentos foi utilizado o aplicativo Azimuth Finder (2013).

Os valores de orientação dos azimutes e comprimento de lineamentos foram exportados e plotados em tabelas presentes no programa Oriana (versão 3.21, *license demo*), da Kovach Computing Services (2021), sendo representados em diagramas de rosetas.

### 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*.

O cálculo da densidade foi realizado pela ferramenta *Line Density*, presente no *Arc Toolbox*, com tamanho de célula 45 e unidade da área em  $\text{km}^2$ . Esta ferramenta 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.

### 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), 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).

### **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/km<sup>2</sup>.

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.

### **Espacialização das ocorrências de movimentos de massa**

Os dados de movimento de massa foram adquiridos em dois períodos temporais distintos:

Os movimentos de massa registrados pela Defesa Civil Municipal de Vitória, ocorridos no período de 2006 a 2011, foram adquiridos no mapa interativo do PROJETO MAPENCO (2021).

Já os ocorridos entre 2012 à 2020 foram adquiridos na Defesa Civil Municipal, através do acesso aos relatórios de vistorias, disponibilizados pela instituição.

### **Análises estruturais e ocorrência de Movimentos de Massa**

Foi analisada a relação de dados estruturais presentes na área com a ocorrência de movimentos de massa. Esses dados foram também analisados com base nas características litológicas subjacentes (CPRM, 2014) e nos dados estruturais, sobretudo neotectônicos, definidos para a área (BRICALLI, 2011).

### **Análises de campo**

Nas análises de campo foram selecionados 4 (quatro) pontos de estudo na área, onde foram identificadas em gabinete a presença de movimentos de massa registrados pela Defesa Civil Municipal nas proximidades de lineamentos decalcados.

## **RESULTADOS**

### **Análise de lineamentos**

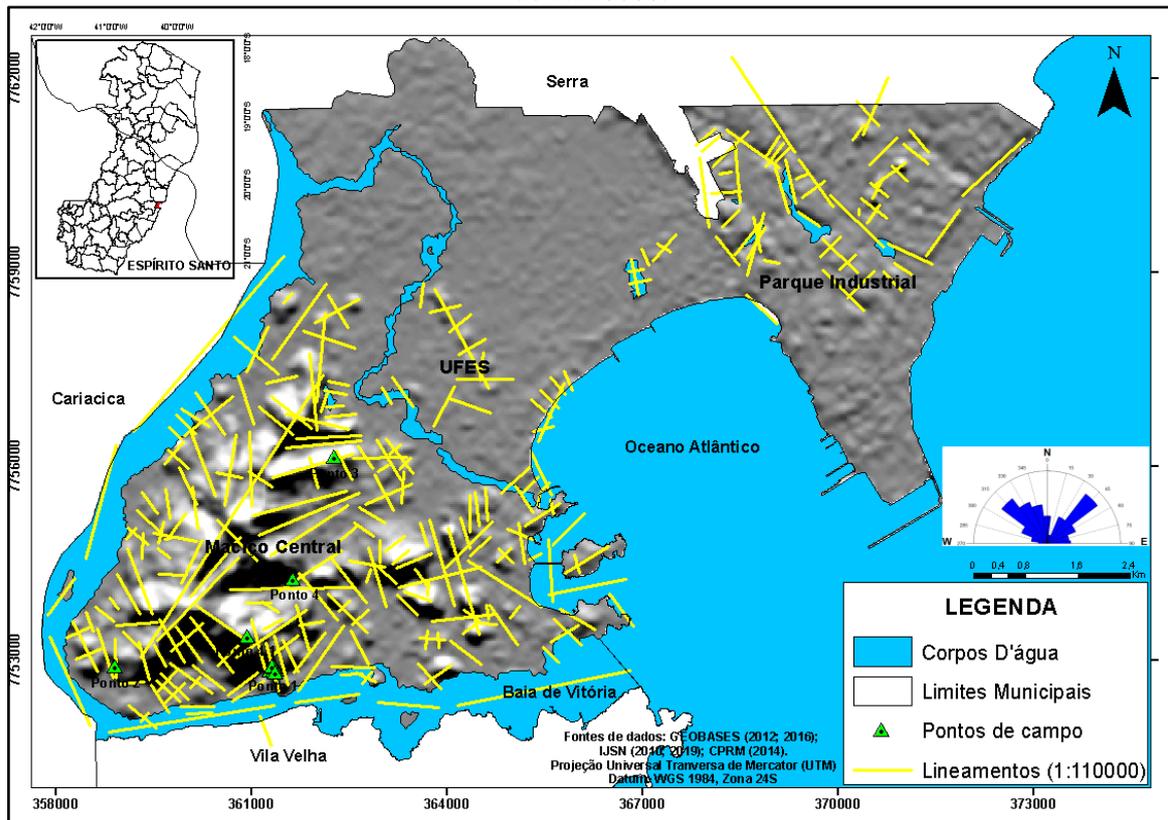
#### **Lineamentos em Modelo Digital de Elevação (MDE)- Escala 1:110.000**

No mapa de lineamentos elaborado por meio da técnica de extração manual sobre Modelo Digital de Elevação (MDE) para o município de Vitória (Figura 3), na escala de 1:110000, foram identificados 273 lineamentos, em uma área de 93,38 km<sup>2</sup>.

Foi possível observar uma maior concentração de lineamentos de orientação NW-SE, seguidos pelas direções NE-SW, NNW-SSE, ENE-WSW e WNW-ESE, respectivamente, possuindo também lineamentos E-W, em menor quantidade.

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.

Figura 3 - Mapa de Lineamentos decalcados sobre Modelo Digital de Elevação (MDE), na escala de 1:110000.



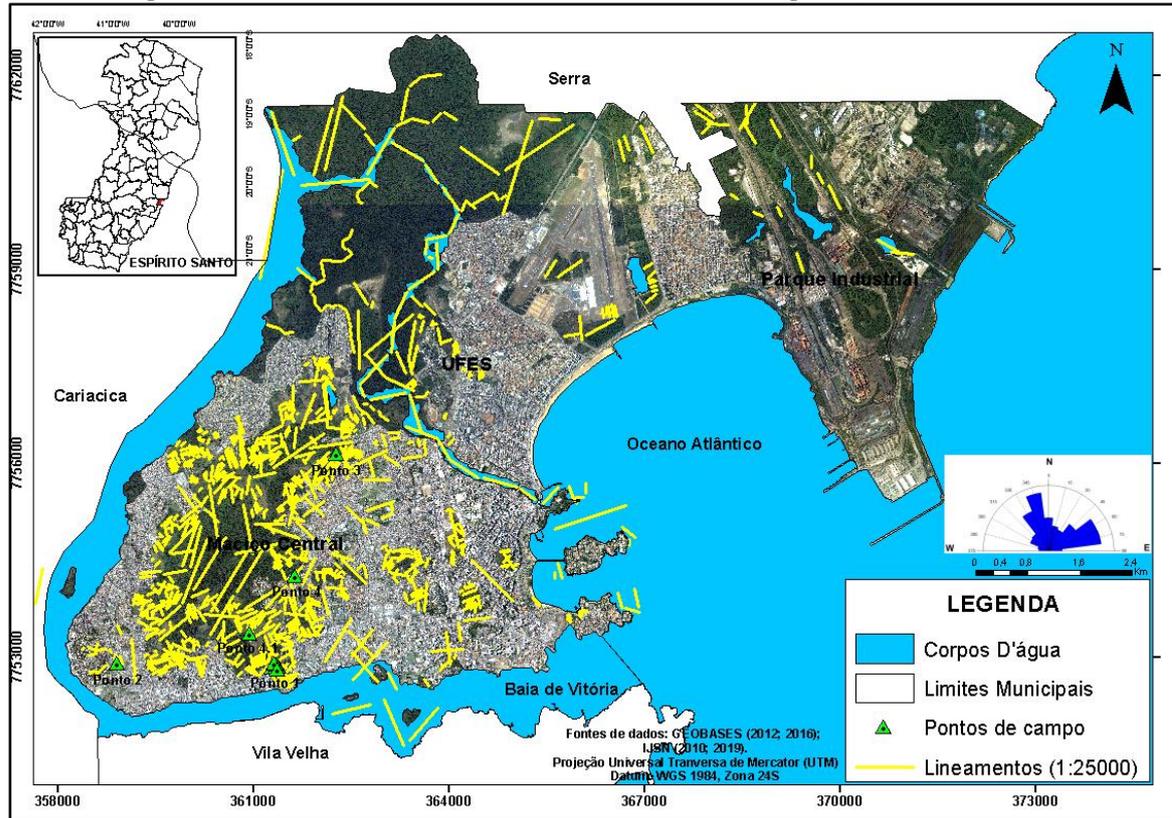
Fonte: Os autores (2022).

### *Lineamentos em Ortofotos Digitais - Escala 1:25.000*

O mapa de lineamentos elaborado por meio da técnica de extração manual sobre Ortofotos Digitais para o município de Vitória (Figura 4), na escala de 1:25000, permitiu maior detalhe de interpretação e assim identificar uma maior quantidade de lineamentos, totalizando 1211 destas feições, em uma área de 93,38 km<sup>2</sup>.

Esta escala apresenta maior recorrência de lineamentos de orientação NNW-SSE, ENE-WSW, seguidos por lineamentos E-W. Assim como foi identificado no mapeamento de escala 1:110000, as maiores proporções de lineamentos mapeados se encontram na Unidade Geológica do Maciço Vitória, seguida pela Formação Barreiras.

Figura 4 – Lineamentos decalcados sobre Ortofotos Digitais, em escala 1:25000.



Fonte: Os autores (2022).

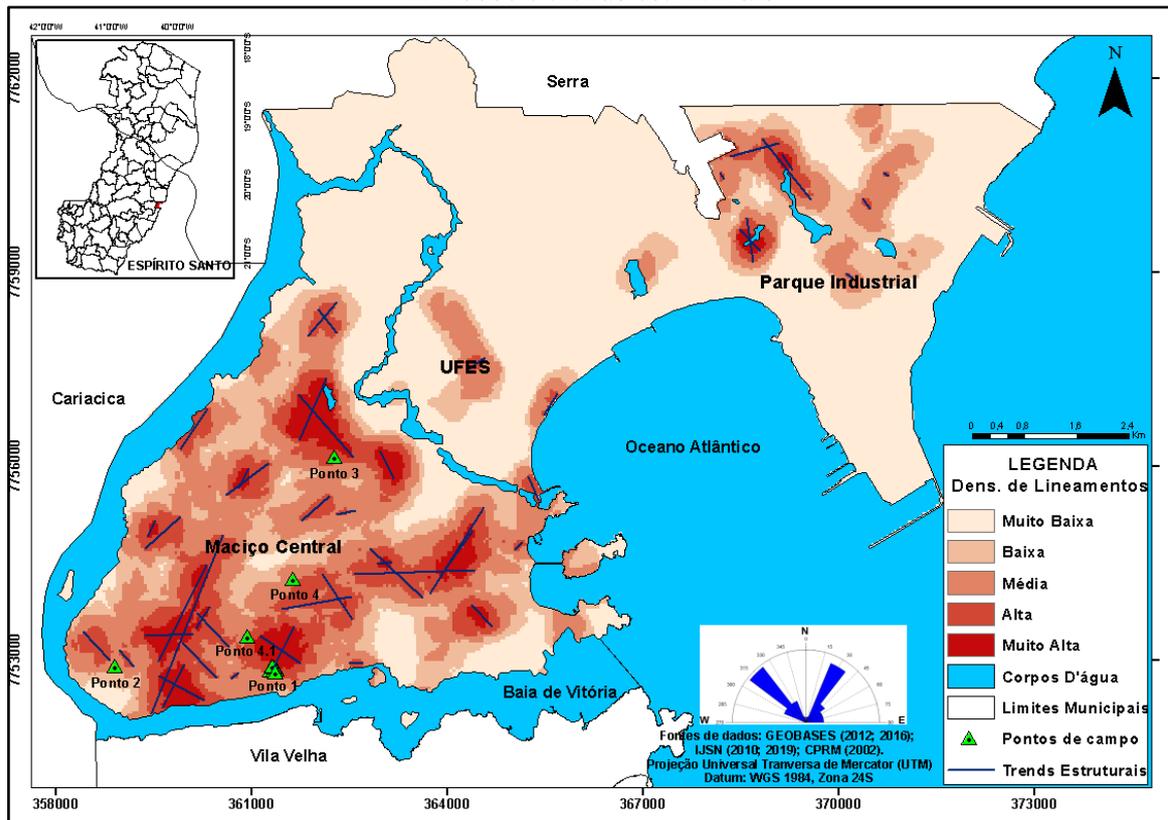
### Densidade de Lineamentos e trends Estruturais

A densidade dos lineamentos decalcados sobre o Modelo Digital de Elevação (MDE), em escala de 1:110000 (Figura 5), 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 5 – Densidade dos lineamentos decalcados sobre Modelo Digital de Elevação (MDE) em escala 1:110000 e *trends* estruturais

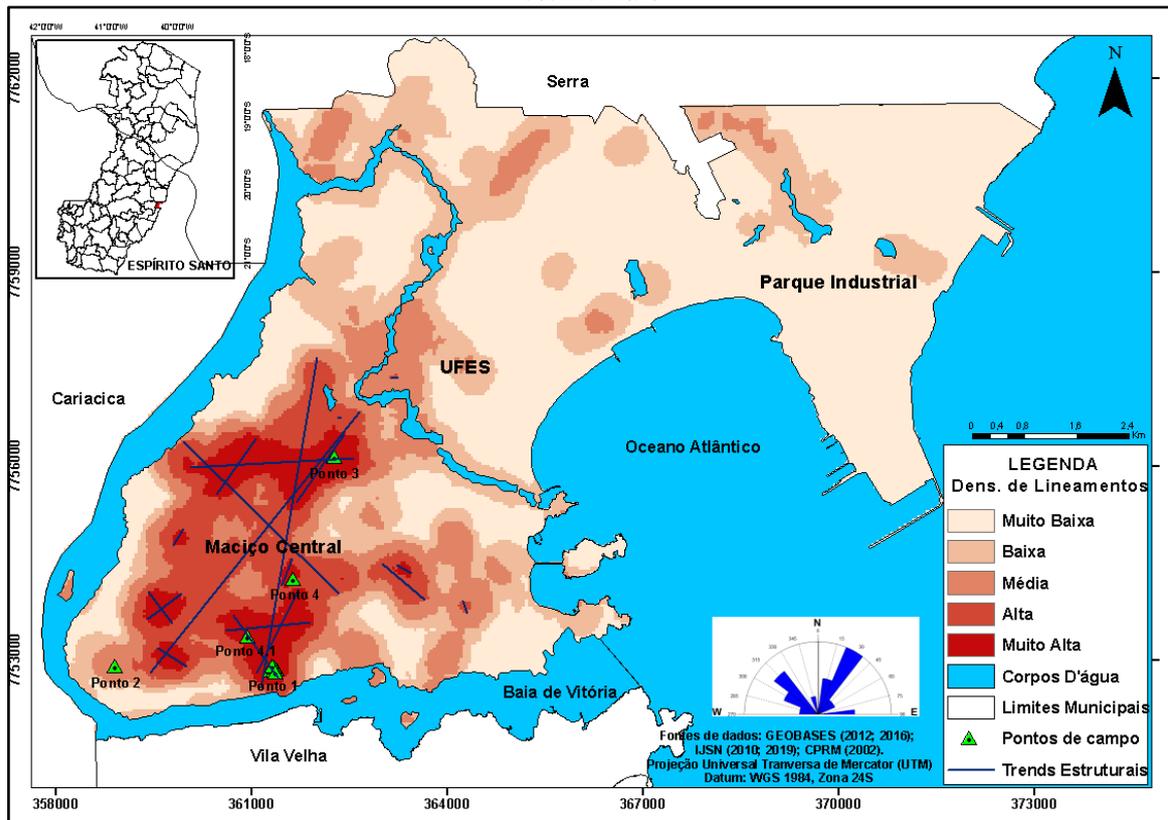


Fonte: Os autores (2022).

Os lineamentos mapeados sobre Ortofotos Digitais, em escala de 1:25000 (Figura 6), 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 NW-SE, seguido pelas orientações NE-SW, NNE-SSW, NNW-SSE, WNW-ESE, ENE-WSW e E-W, nesta ordem.

Figura 6 - Densidade dos lineamentos decalcados sobre Ortofotos Digitais em escala 1:25000 e *trends* estruturais



Fonte: Os autores (2022).

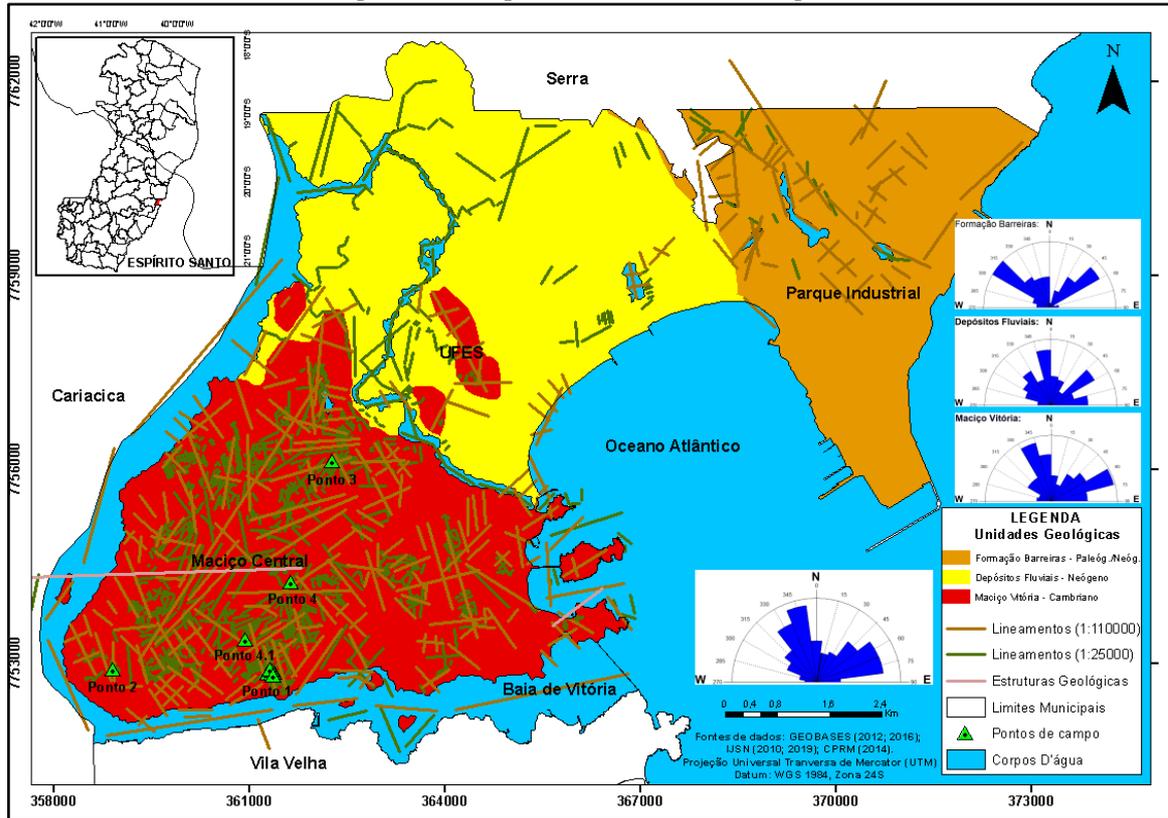
### Mapa de Estruturas Geológicas

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 7).

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.

Figura 7 – Mapa de Estruturas Geológicas



Fonte: Os autores (2022).

Os gráficos de rosetas demonstram a predominância de estruturas de orientação NE-SW e NNW-SSE na Unidade Geológica Maciço Vitória. Na Formação Barreiras as orientações NW-SE e NE-SW foram identificadas com maior frequência. Já na Unidade Geológica de Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes, as direções NNW-SSE, NE-SW e NW-SE são predominantes.

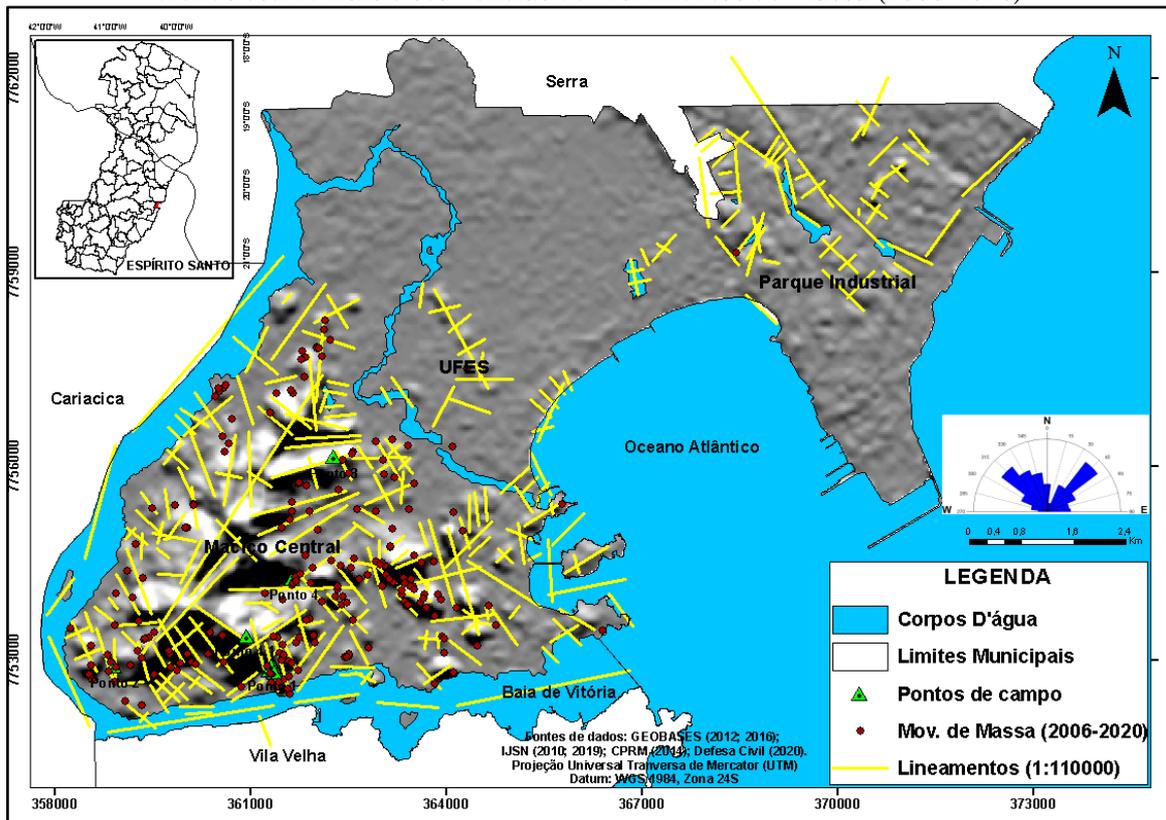
### Lineamentos, Trends Estruturais (1:110000) e Movimentos de Massa

Os lineamentos decalcados no MDE, tanto em relação à orientação, quanto à quantidade de lineamentos, possuem uma forte relação

espacial e de orientação com os movimentos de massa ocorridos na área.

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 8).

Figura 8 – Lineamentos decalcados sobre Modelo Digital de Elevação (MDE), na escala 1:110000, trends estruturais e ocorrências de Movimentos de Massa (2006-2020)



Fonte: Os autores (2022).

Os movimentos de massa ocorrem predominantemente nas áreas de densidade de lineamentos Alta e Muito Alta (Figura 5). Além disso, o gráfico de rosetas dos *trends* estruturais mostra dominância da orientação NW-SE, seguido pelas orientações NNE-SSW e NE-SW.

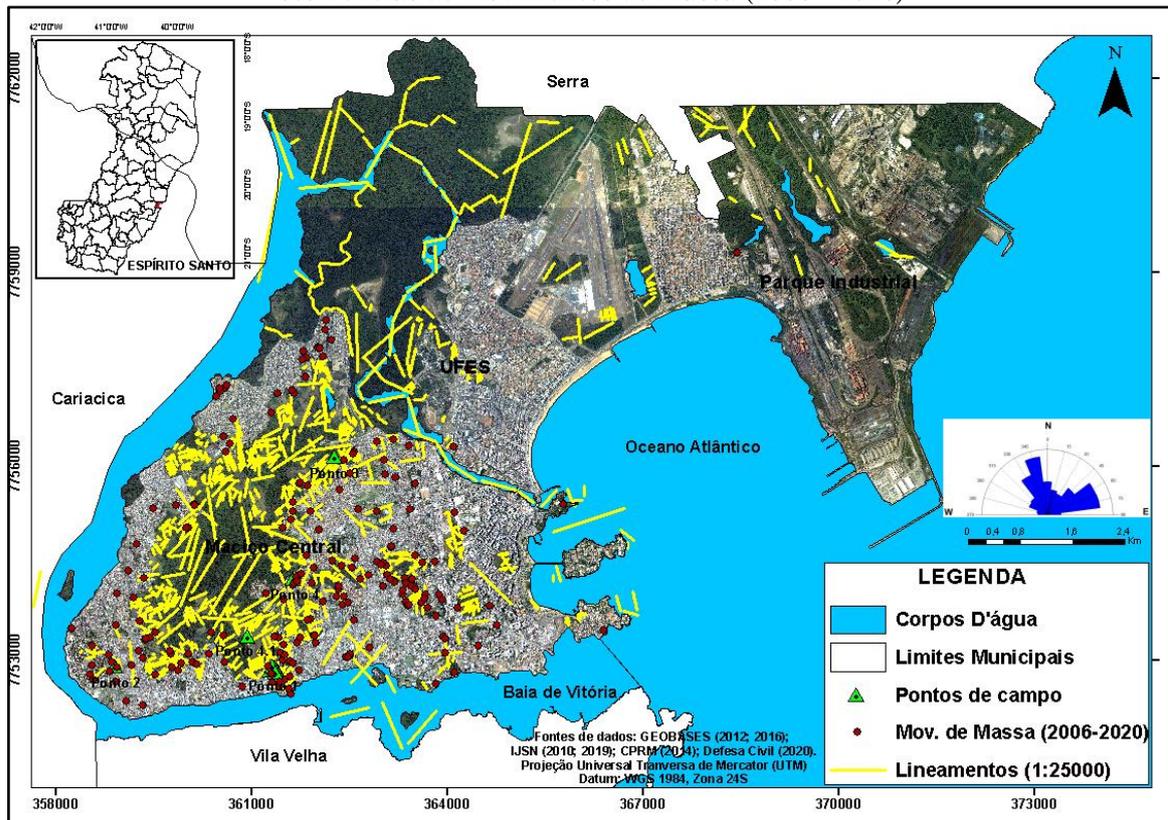
### Lineamentos, Trends Estruturais (1:25000) e Movimentos de Massa

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.

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 9).

Figura 9 – Lineamentos decalcados sobre Ortofotos Digitais (1:25000), trends estruturais e ocorrências de Movimentos de Massa (2006 - 2020)



Fonte: Os autores (2022).

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 1:110000 ou 1:25000.

A ocorrência dos movimentos de massa é predominante nas áreas de densidades de lineamentos Alta e Muito Alta (Figura 6). O gráfico de rosetas dos *trends* estruturais mostra a proeminência da orientação NW-SE, seguido pela orientação NE-SW.

### 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). Os pontos

de campo estão presentes na Unidade Geológica Maciço Vitória (CPRM, 2014), que corresponde à região de maior densidade de lineamentos, estruturas geológicas e incidência de movimentos de massa entre os anos de 2006 a 2020, e na Unidade Geomorfológica Colinas e Maciços Costeiros (GATTO et al., 1983). O trabalho de campo (Figuras 8, 9 e 10) 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.

No Ponto 2 (Figura 10), bairro Caratoíra, é possível identificar encosta rochosa com a presença de fraturas de grandes dimensões, que formam lineamento de orientação ENE-WSW, e diversas estruturas menores de orientação NNW-SSE.

Figura 10 – A: Movimento de massa de grandes dimensões, ocorrido no bairro Caratoíra (Ponto 2); B: Fraturas ENE-WSW (linha amarela) e NNW-SSE (linha vermelha) identificadas em campo

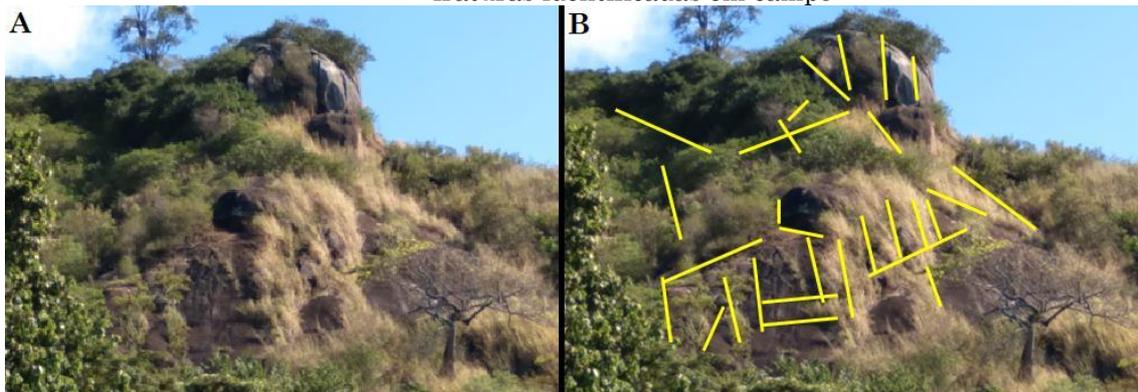


Fonte: Vitória (2020). Adaptado e elaborado pelos autores (2022).

Nos Pontos 3 (Figura 11) e 4.1 (Figura 12), situados respectivamente nos bairros Joana D'arc e Fradinhos, foram identificadas encostas com quantidades expressivas de fraturas, em

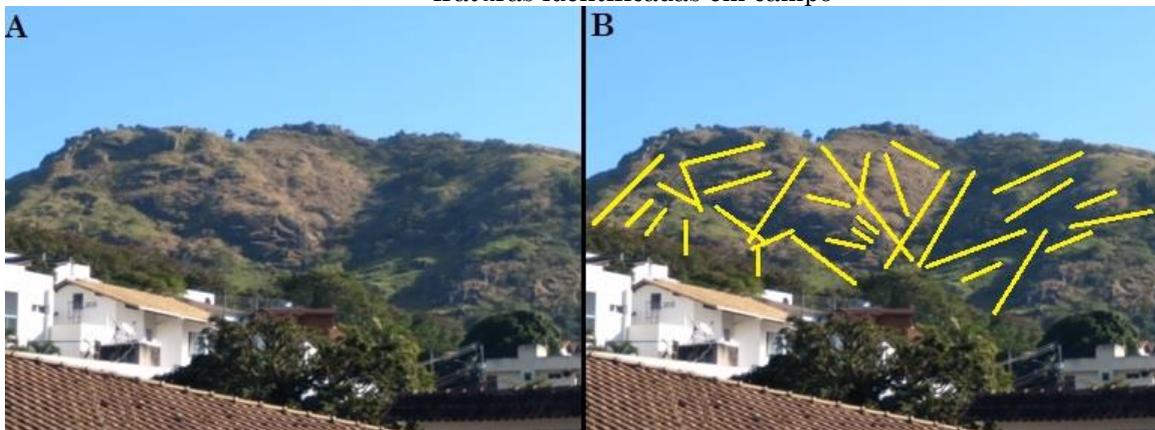
locais onde foram localizados blocos rolados e cicatrizes de escorregamentos durante as campanhas de campo.

Figura 11 – A: Encosta situada no bairro Joana D'arc (Ponto 3); B: Linhas amarelas representam fraturas identificadas em campo



Fonte: Os autores (2022).

Figura 12 – A: Encosta situada no bairro Fradinhos (Ponto 4.1); B: Linhas amarelas representam fraturas identificadas em campo



Fonte: Os autores (2022).

As fraturas identificadas no Ponto 3 (Figura 11) apresentam predominantemente orientações

NW-SE e NNW-SSE. Já a encosta situada no ponto 4.1 (Figura 12), apresenta uma maior

quantidade de estruturas com orientações NE-SW e NW-SE.

## DISCUSSÕES

### Análises estruturais e ocorrência de movimentos de massa

#### Densidade de Estruturas Geológicas, Trends Estruturais e Movimentos de Massa

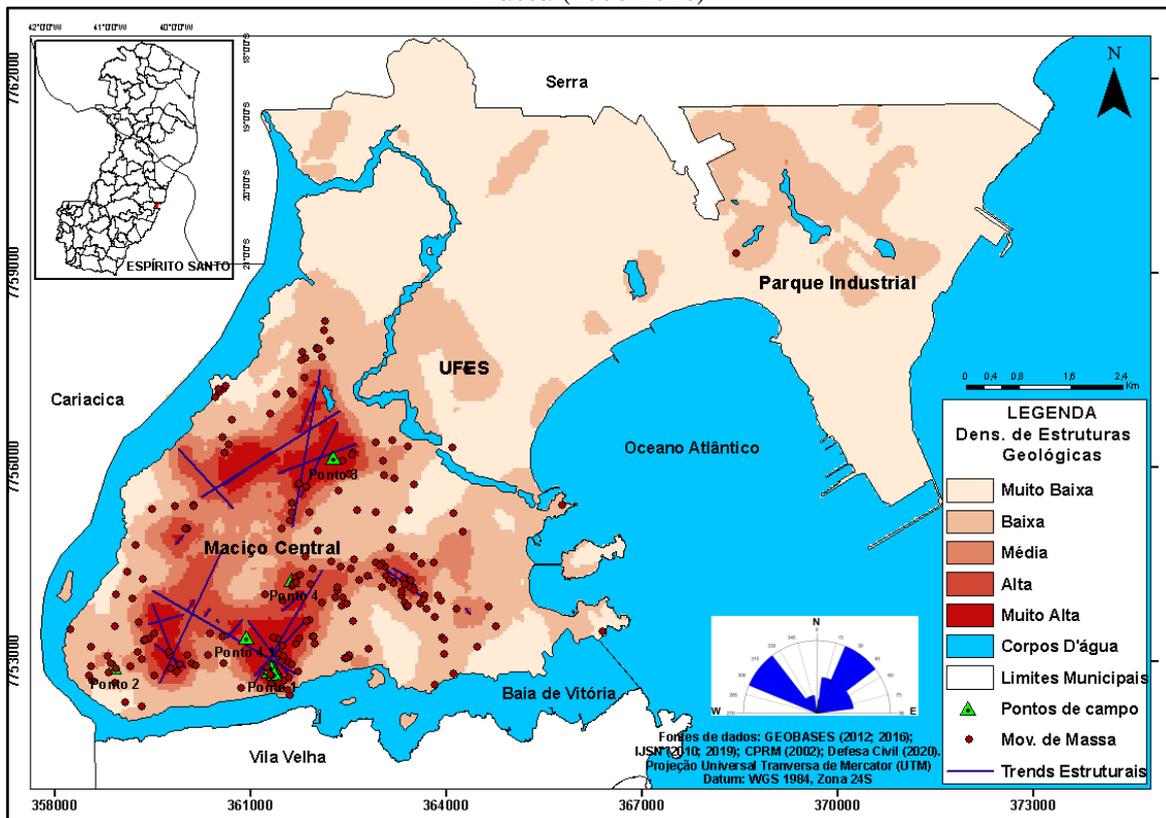
Dos 202 (duzentos e dois) movimentos de massa registrados, 62 (sessenta e dois), que correspondem a 30,7% da totalidade, ocorreram em áreas de densidade alta, que representam apenas 5,3% da extensão territorial de Vitória.

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 13 e Tabela 1.

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.

Figura 13 – Densidade de Estruturas Geológicas, trends estruturais e ocorrências de Movimentos de Massa (2006-2020)



Fonte: Os autores (2022).

**Tabela 1** – Relação entre densidade de estruturas geológicas 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: Os autores (2022).

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 1 e figura 13. Observa-se também, que à medida que aumenta a densidade de lineamentos, aumenta a ocorrência de movimentos de massa (Tabela 1 e Figura 13), 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 NNE-SSW, seguido pelas orientações NW-SE, NE-SW, NNW-SSE e ENE-WSW.

### *Análise da relação entre Estruturas Geológicas, trends estruturais e Movimentos de Massa*

A partir dos resultados obtidos, observa-se a predominância das orientações dos lineamentos NNW-SSE e NW-SE e a ocorrência predominante de movimentos de massa nessas orientações, tanto na escala de 1:110000, quanto na escala de 1:25000. Essas orientações são as mais recorrentes nas Unidades Geológicas Depósitos Fluviais argilo-arenosos e argilosos recentes e Formação Barreiras, além de apresentar grande representatividade em estruturas identificadas no Maciço Vitória.

Os lineamentos de orientações NNW-SSE e NW-SE 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 de ambas as escalas de análise 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 estrutura, 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 e a mais identificada na Unidade Geológica Maciço Vitória, é também a segunda orientação em que mais foram identificadas ocorrências de movimentos de massa no período analisado. Essa orientação corresponde à direção predominante do Orógeno Araçuaí (TUPINAMBÁ et al., 2007).

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, na escala de 1:110000, 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.

Já na escala de 1:25000, considerando os eventos neotectônicos associados ao estado do Espírito Santo (BRICALLI, 2011), uma quantidade significativa dos movimentos de massa (39,6%) ocorreu nas proximidades de lineamentos influenciados pela Transcorrência Dextral E-W. Dentre os processos espacializados, a maior proporção (41,5%) de movimentos de massa culminou nas proximidades de lineamentos cuja orientação está associada à Distensão NW-SE ou à Transcorrência Sinistral E-W.

## 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 dos processos de movimentos de massa, mesmo não sendo possível afirmar se essa relação ocorre de forma direta ou indireta.

Foram identificadas as orientações predominantes dos lineamentos, dos *trends* de lineamentos e das estruturas geológicas (juntas e falhas), além da densidade de lineamentos em diferentes escalas, contribuindo significativamente para os estudos da temática no município de Vitória e no estado do Espírito Santo.

A maioria das pesquisas sobre movimentos de massa não considera ou atribui pouca relevância às influências estruturais implícitas nesses processos. Assim, esta pesquisa trouxe uma abordagem diferenciada sobre o tema e apresentou resultados que permitem novas discussões.

## REFERÊNCIAS

- 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. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.06.031>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(96\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(96)00033-6)
- ATKINSON, P. M.; MASSARI, R. **Mapping Susceptibility to Landsliding in the Central Apennines, Italy.** Computers and Geosciences, 24, 373-385, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(97\)00117-9](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(97)00117-9)
- 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.
- 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.
- 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. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i4.12066>
- 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. <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-52656>
- ESRI Inc. **ArcMap (versão 10.5.1).** Redlands, Estados Unidos, 2016.
- 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 Suscetíveis.** Revista Brasileira de Geomorfologia, s. l., v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001. <https://doi.org/10.20502/rbg.v2i1.8>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(03\)00115-2](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(03)00115-2)
- 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.
- 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).
- GRUPO DE PESQUISA EM NEOTECTÔNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Azimuth Finder.** 2013. Disponível em <http://www.neotectonica.ufpr.br/2013/index.php/aplicativos>. Acesso em: 13 jul. 2021.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação.** São Paulo: Blucher, 1983.
- IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves. **Ortofotomosaicos.** 2019. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/imagens-kpst-2019-2020>. Acesso em: 12 abr. 2020.

- KOVACH COMPUTING SERVICES. **Oriana (versão 3.21, license demo)**. 2021. Disponível em: <https://www.kovcomp.co.uk/oriana/>. Acesso em: 15 jul. 2021.
- 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.
- MAPENCO - Projeto de Mapeamento de Áreas de Risco Geológico-Geotécnico e Monitoramento de Encostas do Município de Vitória – ES. **Mapa Interativo**. 2021. Disponível em: [https://mapas.mapenco.com.br/mapa\\_int/index.php](https://mapas.mapenco.com.br/mapa_int/index.php). Acesso em: 10 jul. 2021.
- MENDES, L. A.; DANTAS, M.; BEZERRA, L.M.M. Geomorfologia. **Projeto Radam Brasil**. Folha SE.24 Rio Doce .V 34. Rio de Janeiro, 1987.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s100649900032>
- 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.
- 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. <http://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.160946>
- SARKAR, S.; KANUNGO, D. P. **GIS application in landslide susceptibility mapping of Indian Himalayas**. GIS Landslide, Springer Japan, 2017. [https://doi.org/10.1007/978-4-431-54391-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-4-431-54391-6_12)
- SILVA, A. M.; Schulz, H. E.; Camargo, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: RIMA, 2003.
- 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.
- 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. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v15i1.108>
- USGS - United States Geological Survey. **Modelo Digital de Elevação**. 2008. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 20 abr. 2020.
- 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.
- VITÓRIA (Município). DEFESA CIVIL. **Relatórios de Vistoria**. Vitória, 2020.

## CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Thiago Borini Pimentel concebeu o estudo, coletou, analisou os dados, redigiu o texto e elaborou os produtos cartográficos. Luiza Leonardi Bricalli redigiu o texto, auxiliou na interpretação dos dados, orientou toda a produção da pesquisa.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.