

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Maria José de La Concepción Entrena Pineda

**ZONEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADES AOS  
ESCORREGAMENTOS NA BACIA DO RIO NEVERÍ - VENEZUELA**

Santa Maria, RS  
2017



**Maria José de La Concepción Entrena Pineda**

**ZONEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADES AOS ESCORREGAMENTOS NA  
BACIA DO RIO NEVERÍ - VENEZUELA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Geografia**.

Orientador: Prof. Dr. Luís Eduardo de Souza Robaina

Santa Maria, RS  
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Pineda, Maria José de La Concepción Entrena  
ZONEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADES AOS ESCORREGAMENTOS  
NA BACIA DO RIO NEVERÍ - VENEZUELA / Maria José de La  
Concepción Entrena Pineda.- 2017.  
128 p.; 30 cm

Orientador: Luís Eduardo de Souza Robaina  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de  
Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2017

1. Geomorfologia 2. Atributos topográficos 3.  
Morfometria 4. Avaliação por múltiplos critérios 5.  
Sistema de informação geográfica I. de Souza Robaina,  
Luís Eduardo II. Título.

**Maria José de La Concepción Entrena Pineda**

**ZONEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADES AOS ESCORREGAMENTOS NA  
BACIA DO RIO NEVERÍ, VENEZUELA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Geografia**.

**Aprovado em 17 de agosto de 2017:**



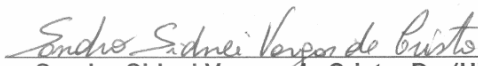
---

**Luís Eduardo de Souza Robaina, Dr.**  
(Presidente/Orientador)



---

**Andrea Valli Nummer, Dra. (UFSM)**



---

**Sandro Sidnei Vargas de Cristo, Dr. (UFT)**

Santa Maria, RS  
2017



## RESUMO

### ZONEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS PLANARES NA BACIA DO RIO NEVERÍ - VENEZUELA

AUTORA: Maria José de La Concepción Entrena Pineda  
ORIENTADOR: Prof. Dr. Luís Eduardo de Souza Robaina

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar um zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos planares aplicado na bacia do rio Neverí, nos estados Anzoátegui e Sucre, Venezuela. A escolha da área de estudo justifica-se no fato de ser uma unidade natural, onde encontra-se localizada a represa de Turimiquire e a capital do estado Anzoátegui (Barcelona). Estudos de aspectos geológicos, geomorfológicos, topográficos e hidrológicos, permitem conhecer os fenômenos naturais que podem afetar uma população, localizando a ameaça e a suscetibilidade em um espaço geográfico. Por isso se faz necessário, associar aquelas variáveis cuja informação complementa-se entre si para conseguir produzir informação, na qual se identifique o comportamento que terá uma determinada área ante a qualquer intervenção, isto é, a necessidade de produzir um zoneamento de estabilidade relativa, onde pode ser representado através de uma escala de intensidades os níveis de susceptibilidade. O desenvolvimento de investigações sobre os riscos, dentro da disciplina geográfica, surge com um caráter fundamentalmente aplicado em relação com os diversos aspectos que envolve a classificação do território, e como consequência cada vez mais comum, a ocorrência de fenômenos naturais com efeitos devastadores, em qualquer lugar habitado do planeta. A revisão bibliográfica do presente trabalho apresenta suas bases partindo do enfoque sistêmico, estudos geoambientais e a utilização de ambientes de sistemas de informação geográfica para a utilização de ferramentas de geoprocessamento. A metodologia adotada parte de uma caracterização geoambiental em combinação com a aplicação do modelo de susceptibilidade a escorregamentos proposto por Jiménez (2012), que realiza uma combinação de fatores condicionantes de escorregamentos e adicionalmente baixo as mesmas premissas propor um modelo morfométrico-estrutural e foram gerados dois cenários que permitem estabelecer critérios para realizar o zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos. Os resultados obtidos foram satisfatórios na aplicação de ambos os modelos na bacia onde obteve-se a intensidade da susceptibilidade aos escorregamentos planares em classes de susceptibilidade muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta.

**Palavras-chave:** Geomorfologia. Atributos topográficos. Morfometria. Avaliação por múltiplos critérios. Sistema de informação geográfica.





## ABSTRACT

### SUSCEPTIBILITY ZONING TO PLANAR LANDSLIDES IN THE NEVERI RIVER BASIN VENEZUELA

AUTHOR: Maria José de La Concepción Entrena Pineda  
ADVISOR: Prof. Dr. Luís Eduardo de Souza Robaina

The present work has a general objective to realize a zoning of susceptibility to landslides applied in the Neverí river basin, in the Anzoátegui and Sucre states, Venezuela. The choice of the study area is justified by the fact that it is a natural unit, where the dam of Turimiquire and the capital of Anzoátegui state (Barcelona) is located. Studies of geological, geomorphological aspects; Topographic, hydrological, allow to know the natural phenomena that can affect a population, locating the threat and the susceptibility in a geographic space. Therefore, it is necessary to associate those variables whose information complements each other to be able to produce information, in which the behavior that will have an area determined before any intervention is identified, that is, the need to produce a relative stability zoning, where can be represented through a scale of intensities the levels of susceptibility. The development of investigations into the risks within the geographical discipline arises with a fundamentally applied character in relation to the various aspects that involve the classification of the territory and as a consequence of the increasingly common occurrence of natural phenomena with devastating effects, anywhere in the world. The bibliographic review of the present work presents its bases starting from the systemic approach, geoenvironmental studies and the use of geographic information systems environments for the use of geoprocessing tools. The methodology adopted is part of a geoenvironmental characterization in combination with the application of the model of susceptibility to landslides proposed by Jiménez (2012), which performs a combination of factors conditioning slippages and additionally under the same assumptions propose a morphometric - structural model and were generated two scenarios that allow to establish criteria to realize the zoning susceptibility to landslides. The results were satisfactory in the application of both models in the basin where the susceptibility to planar landslides was obtained in classes of very low, low, moderate, high and very high susceptibility.

**Keywords:** Geomorphology. Topographic attributes. Morphometry. Multicriteria evaluation. Geographical information system.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da área de estudo. ....	28
Figura 2 - Imagem da represa Santiago Mariño ou represa de Turimiquire. ....	29
Figura 3 - Modelo de interpretação do geossistema. ....	32
Figura 4 - Fluxograma da metodologia proposta. ....	56
Figura 5 - Distribuição da frequência das classes hipsométricas. ....	60
Figura 6 - Distribuição das frequências das classes de declividade e os valores estabelecidos na bacia do rio Neverí. ....	62
Figura 7 - Distribuição do histograma de frequência na definição do perfil de curvatura das vertentes. ....	63
Figura 8 - Distribuição do histograma de frequências para a definição do plano de curvatura de vertente na bacia do rio Neverí. ....	64
Figura 9 - Sequência metodológica utilizada para a compartimentação geomorfológica da área de estudo. ....	65
Figura 10 - Processo de delimitação das unidades geomorfológicas com base nos atributos topográficos. ....	66
Figura 11 - Compartimentação da bacia do rio Neverí. ....	67
Figura 12 - Sombreados do relevo obtidos pelo processamento do MDE da bacia do rio Neverí. ....	69
Figura 13 - Localização dos escorregamentos na área de estudo. ....	73
Figura 14 - Determinação da susceptibilidade aos escorregamentos através do modelo de susceptibilidade. ....	75
Figura 15 - Atribuição dos pesos aos parâmetros morfométricos e estruturais selecionados para o modelo de susceptibilidade. ....	78
Figura 16 - Distribuição espacial da densidade de drenagem na área de estudo. ....	83
Figura 17 - Distribuição espacial do escoamento superficial (TWI) na área de estudo. ....	84
Figura 18 - Distribuição das classes hipsométricas na área de estudo. ....	86
Figura 19 - Distribuição das classes de declividade da área de estudo. ....	89
Figura 20 - Distribuição das formas das vertentes na área de estudo. ....	92
Figura 21 - Mapa esquemático da geodinâmica do sudeste do Caribe. ....	94
Figura 22 - Distribuição espacial das litologias na área de estudo. ....	97
Figura 23 - Distribuição espacial da densidade de lineamentos na área de estudo. ....	99
Figura 24 - Orientações dos lineamentos para um azimute de 0° e 45°. ....	100
Figura 25 - Orientações dos lineamentos para um azimute de 90° e 135°. ....	100
Figura 26 - Espacialização das unidades geomorfológicas na bacia do rio Neverí. ....	103
Figura 27 - Síntese das unidades geomorfológicas na bacia do rio Neverí. ....	105
Figura 28 - Curva hipsométrica do alto curso da bacia do rio Neverí. ....	106
Figura 29 - Curva hipsométrica do médio curso da bacia do rio Neverí. ....	107
Figura 30 - Curva hipsométrica do baixo curso da bacia do rio Neverí. ....	108
Figura 31 - Mapa de susceptibilidade aos escorregamentos segundo o modelo proposto por Jimenez (2012) na área de estudo. ....	110
Figura 32 - Distribuição espacial das classes de susceptibilidade geradas a partir do modelo morfométrico-estrutural de susceptibilidade aos escorregamentos na área de estudo. ....	113
Figura 33 - Comparação e distribuição espacial das classes de susceptibilidade Baixa e Moderada obtidas pelos modelos empregados. (A) Modelo Morfométrico – Estrutural (B) Modelo proposto por Jiménez (2012). ....	115

Figura 34 - Comparação e distribuição espacial das classes de susceptibilidade Alta e Muito Alta obtidas pelos modelos empregados. (A) Modelo Morfométrico – Estrutural  
(B) Modelo proposto por Jiménez (2012)..... 116

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos estudos na geomorfologia. ....	36
Quadro 2 - Dinâmica de subsistema, processo de transferência e evento de transferência.....	39
Quadro 3 - Catálogo de eventos que serviram de base para analisar imagens com registros de cicatrizes.....	72



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Superfícies totais dos municípios presentes na bacia do rio Neverí .....	27
Tabela 2 - Informações contempladas no modelo morfométrico-estrutural de susceptibilidade aos escorregamentos. ....	77
Tabela 3 - Dados dos segmentos de canais fluviais hierarquizados na área de estudo. ....	81
Tabela 4 - Quantificação do escoamento superficial na bacia do rio Neverí .....	82
Tabela 5 - Hipsometria da área de estudo. ....	85
Tabela 6 - Quantificação das classes de declividade da área de estudo. ....	88
Tabela 7 - Quantificação das formas das vertentes na área de estudo. ....	91
Tabela 8 - Quantificação das litologias na área de estudo. ....	96
Tabela 9 - Quantificação da densidade de lineamentos na bacia do rio Neverí.....	98
Tabela 10 - Quantificação das unidades geomorfológicas na área de estudo. ....	101
Tabela 11 - Quantificação das classes de susceptibilidade aos escorregamentos segundo o modelo proposto por Jiménez (2012). ....	109
Tabela 12 - Quantificação das classes de susceptibilidade aos escorregamentos na bacia do rio Neverí. ....	112





## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGE	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia
ALOS	Advanced Land Observing Satellite
AHP	Análise Hierárquica
ASF	Alaska Satellite Facility
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
ESA	Agência Espacial Europeia
FUNVISIS	Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas
HA	Hectares
INE	Instituto Nacional de Estatística
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
MARN	Meio Ambiente e Recursos Naturais
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
NDVI	Índice de Vegetação de Diferença Normalizada
OEA	Organização dos Estados Americanos
ONU	Organização das Nações Unidas
PDVSA	Petróleos de Venezuela S.A.
RADAR	Radio Detection and Ranging
SIG's	Sistemas de Informações Geográficas
UNISDR	Escritório das Nações Unidas para a Redução dos Riscos de Desastres
USGS	United States Geological Survey
WP/WLI	Working Party on World Landslide Inventory
%	Porcentagem



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>31</b>
3.1	GEOGRAFIA FÍSICA E ANÁLISE DOS SISTEMAS AMBIENTAIS	31
3.2	SUSCEPTIBILIDADE, AMEAÇA, RISCOS E DESASTRES NATURAIS	39
3.3	PROCESSOS DE MOVIMENTOS DE MASSA	42
<b>3.3.1</b>	<b>Classificação dos movimentos de massa</b>	<b>42</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Fatores Condicionantes a movimentos de massa</b>	<b>46</b>
3.4	ZONEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE	48
<b>4</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>55</b>
4.1	MATERIAIS UTILIZADOS PARA A ESTRUTURAÇÃO DO BANCO DE DADOS	57
4.2	LEVANTAMENTO E PRODUÇÃO DE DADOS	57
<b>4.2.1</b>	<b>Análise da Rede de Drenagem</b>	<b>57</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Análise do Relevo</b>	<b>60</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Análise Hipsométrica da Bacia Hidrográfica a partir da curva e da integral hipsométrica</b>	<b>67</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Análise estrutural e densidade de lineamento</b>	<b>68</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Análise das litologias</b>	<b>71</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Inventário de Cicatrizes</b>	<b>71</b>
4.3	CORRELAÇÃO DAS INFORMAÇÕES	74
<b>4.3.1</b>	<b>Modelo de Jiménez, a Susceptibilidade aos Escorregamentos</b>	<b>74</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Modelo morfométrico estrutural de susceptibilidade aos escorregamentos</b>	<b>76</b>
4.4	ZONEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE AOS ESCORREGAMENTOS NA BACIA DO RIO NEVERÍ	79
<b>5</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>81</b>
5.1	ANÁLISE DA REDE HIDROGRÁFICA	81
5.2	ANÁLISE DO RELEVO	85
5.3	CONTEXTO GEOLÓGICO-ESTRUTURAL	94
<b>6</b>	<b>COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA DO HIDROGRÁFICA DO RIO NEVERÍ</b>	<b>101</b>
6.1	EVOLUÇÃO DO SISTEMA HIDROGRÁFICO DA BACIA DO RIO NEVERÍ	105
<b>7</b>	<b>ZONEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS</b>	<b>109</b>
7.1	SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS COM O MODELO DE JIMENEZ (2012)	109
7.2	SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS COM O MODELO MORFOMÉTRICO-ESTRUTURAL	112
7.3	RELAÇÃO ENTRE OS MODELOS ANALISADOS	115
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>117</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>119</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa são um dos principais processos geomorfológicos responsáveis pela evolução do relevo, movimentando e retirando fragmentos de solo e rocha ao longo das encostas, onde um dos mais significativos movimentos de massa são os escorregamentos.

Os escorregamentos (*landslides*) são movimentos gravitacionais rápidos de curta duração, com volume e superfície de ruptura bem definidos, onde o material desprendido é jogado para fora da encosta, tendo como geralmente como resultado feições longas como cicatrizes, podendo assumir geometria rotacional ou translacional. Os escorregamentos são condicionados por complexas relações entre fatores geológicos, englobando as características climáticas, lito-estruturais, geomorfológicos e antrópicos. É importante destacar que áreas suscetíveis a processos de escorregamentos, quando ocupadas, podem gerar risco a desastres naturais.

A Venezuela caracteriza-se por ter uma proporção de áreas urbanas muito alta, com uma porcentagem em torno de 87,7% da população, onde segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE, 2001) as áreas urbanas são definidas como aquelas que tem mais de 1000 pessoas. Além disso, existem inúmeras áreas ocupadas pelos centros populacionais que estão localizados em lugares onde os eventos físicos-naturais podem representar um risco para a vida das pessoas e a infraestrutura. Nestes espaços podem ocorrer locais que são afetados por processos de movimentos de massa e inundações periódicas causadas pelas fortes chuvas, que ocorrem de forma setorial nas partes superior, media e inferior das bacias hidrográficas.

Um desastre natural é uma emergência resultante da ação de forças naturais que têm consequências excepcionais, tais como: perda de vidas, danos à infraestrutura física e de serviços, bem como a perda de bens materiais, de tal forma que afeta o processo de desenvolvimento econômico, social e ambiental. Estes eventos são classificados como "natural", mas na maior parte dos casos têm o envolvimento humano; a partir do momento que o homem através de suas ações e suas percepções faz um fenômeno natural tornar-se perigoso.

Neste sentido, é um desastre natural o resultado de uma combinação de eventos extremos com uma vulnerabilidade socioeconômica e física, enfatizando a necessidade de saber o que essas áreas espacialmente mais prováveis têm de

características que aumentam o risco para a ocorrência de adversidades ambientais. Em uma consideração geral, isso pode ser visto como um risco ambiental, que se caracteriza como um processo ou fenômeno natural que pode causar a perda de vidas, danos à saúde, danos materiais, perda de meios de subsistência e serviços, ruptura social e econômica ou danos ambientais (UN-ISDR, 2009).

A análise dos processos superficiais e os riscos naturais associados é um vasto campo de investigação de Geografia, envolvendo os três ramos principais: Geografia Física, Geografia Humana e Cartografia. Os estudos e representações dos aspectos geológicos, geomorfológicos, topográficos, hidrológicos, fornece as informações sobre os fenômenos naturais que podem afetar uma população e permitir localizar a ameaça e a susceptibilidade em um espaço geográfico.

Por isso, é necessário associar as variáveis cujas informações são complementares umas as outras para conseguir informações de produtos. Com isso, é possível prever o comportamento que terá uma determinada área antes de qualquer intervenção, por meio de um zoneamento de estabilidade relativa, utilizando-se através de uma escala de níveis de intensidade a susceptibilidade.

Os impactos serão reduzidos na medida em que o homem compreender que esses fatores devem ser levados em consideração no processo de planejamento, concebido sob uma visão holística, considerando as variáveis sociais, ambientais e econômicas, o impacto dos desastres naturais e, portanto, a sua influência ao meio ambiente e à população.

Por muitos anos, diferentes cidades e vilas do País são constantemente afetadas por eventos naturais, onde estes aumentam o seu grau de atividades e de sensibilidade que o homem tem sobre o relevo. A atividade humana representa um fator indireto que acelera ou ativa esses fenômenos que geram movimentos de massa, obtendo o resultado de localidades afetadas por deslizamentos de terra, tombamentos e quedas em relevos montanhosos e sistemas de piedemonte.

O desenvolvimento de pesquisas sobre os processos superficiais que podem causar risco, no âmbito da disciplina geográfica, vem com um caráter aplicado principalmente em relação aos vários aspectos que envolvem o uso da terra, e como resultado da ocorrência cada vez mais comum de fenômenos naturais com efeitos devastadores, em qualquer lugar habitado do planeta; razão pela qual os anos 1990 foi decretado pela Organização das Nações Unidas (ONU) como a "Década

Internacional para a Redução de Desastres Naturais", na Terceira Cúpula das Américas.

A área de estudo é parte do sistema de planícies origem fluvial – deltas – e terraços marinhos no baixo curso e áreas com relevo muito movimentado no baixo e alto curso. A ocupação se localiza no baixo curso, estando sujeita a processos de inundação, mas também de corridas que se associam a ocorrência de escorregamentos no médio e alto curso. Além disso, o crescimento populacional, condicionado pelo petróleo e o turismo, carece de planejamento global, o que resultou no aumento da demanda por terra e com o passar do tempo tem causado mudanças significativas para o ambiente em detrimento da qualidade de vida, tornando o problema mais crítico.

Os fenômenos naturais aumentam ano após ano, mas a própria população, trazendo a expansão urbana consequente e, com ele, o empobrecimento de amplos setores da população, que exercem maior pressão sobre os recursos naturais, o que os torna vulnerável a um determinado evento. Nesse sentido, destaca-se o advento das geotecnologias, onde tornou possível através de um banco de dados georreferenciado, realizar a interpolação de informações referentes ao meio físico, possibilitando o ordenamento dos dados, os quais servem para a execução de diferentes tipos de análises.

Com base nisso, o presente trabalho tem como objetivo geral “Avaliar a susceptibilidade aos escorregamentos na bacia do rio Neverí - Venezuela em escala 1: 50.000, a fim de fazer um zoneamento”. Para atender a isso, contempla-se os objetivos específicos:

1. Analisar os parâmetros morfométricos do relevo: declividade, forma, índice topográfico de umidade na bacia do rio Neverí.
2. Avaliar a presença de lineamentos estruturais e controle geológico na bacia do rio Neverí.
3. Realizar um inventário de escorregamentos na bacia hidrográfica do Rio Neverí para o período de 2010-2016.
4. Estabelecer relações entre os parâmetros morfométricos do relevo, litologia e lineamentos estruturais com o inventário de escorregamentos planares.
5. Realizar uma análise comparativa de entre duas metodologias de estabelecer zoneamento de susceptibilidade aos escorregamentos.

Segundo MARN-PDVSA (2003) na região nordeste da Venezuela existem 112 bacias hidrográficas que por sua extensão, investimento em infraestrutura hidráulica, situação ou condição estratégica no caso da presença de ecossistemas frágil, áreas com regime de administração especial (áreas de conservação), exploração e produção de petróleo; é preciso realizar estudos detalhados para gerar subsídios ao planejamento e o ordenamento territorial.

A escolha da área de estudo deu-se em virtude de ser uma unidade natural no caso da bacia do rio Neverí, onde está localizada a represa de Turimiquire e a capital do estado Anzoátegui (Barcelona) e a conurbação Barcelona-Porto La Cruz.

Com base nisso, para apresentar o trabalho definiu-se sete capítulos, caracterizados da seguinte forma:

O primeiro capítulo apresenta uma introdução do trabalho, contendo o problema de pesquisa, seu contexto, objetivos e a justificativa da área de estudo.

No segundo capítulo, apresenta-se uma breve caracterização da área de estudo, trazendo informações referentes a dinâmica da bacia nos aspectos da atividade turística, atividade petroleira, sociais e econômicos.

Por sua vez, o terceiro capítulo contém as concepções teóricas que deram suporte a proposta do trabalho, tendo como objetivo estruturar as bases teóricas da temática abordada. Sendo assim, a revisão bibliográfica aborda questões relacionados a Abordagem Sistêmica, Sistemas Ambientais, Sistemas Geomorfológicos, Zoneamentos de Susceptibilidade a Escorregamentos Movimentos em Massa e seus fatores condicionantes, e a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas.

O quarto capítulo é responsável por tratar os procedimentos que foram empregados no decorrer da pesquisa, apresentando os modelos de susceptibilidade a escorregamentos planares para gerar a proposta de elaboração do zoneamento.

A partir do quinto capítulo são apresentados os resultados e as discussões dos procedimentos empregados para a definição do zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos planares. No decorrer desse capítulo foi apresentada a análise dos elementos físicos da paisagem que contempla a rede hidrográfica, o relevo, e o contexto geológico e estrutural.

O sexto capítulo apresentou a compartimentação geomorfológica da bacia e as características de evolução da bacia nas porções alta, média e baixo curso.



No decorrer do sétimo capítulo, foi apresentado o zoneamento de susceptibilidade aos escorregamentos na bacia do rio Neverí, caracterizando cada uma das áreas com relação ao grau de susceptibilidade a escorregamentos presentes.

Finalizando a pesquisa são apresentadas as considerações finais do trabalho e as recomendações para trabalhos futuros que possam subsidiar o planejamento de uso e ocupação nas áreas da bacia.



## 2 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Neverí está localizado na região nordeste de Venezuela, nas porções dos estados de Anzoátegui e Sucre, entre as coordenadas geográficas de 10°10'00" e 10°00'00" de latitude norte e 64°40'00" e 64°00'00" de longitude oeste.

A bacia hidrográfica do rio Neverí conta com uma superfície total de 137.671,69ha e abrange porções dos municípios que integram o estado de Anzoátegui, como: Simón Bolívar, Libertad, Juan Antonio Sotillo, Guanta, Pedro María Freitas, Diego Bautista Urbaneja; e dos municípios do estado de Sucre, como: Montes e Sucre. Além desses, contém a cidade de Barcelona, a capital do estado de Anzoátegui (Figura 1).

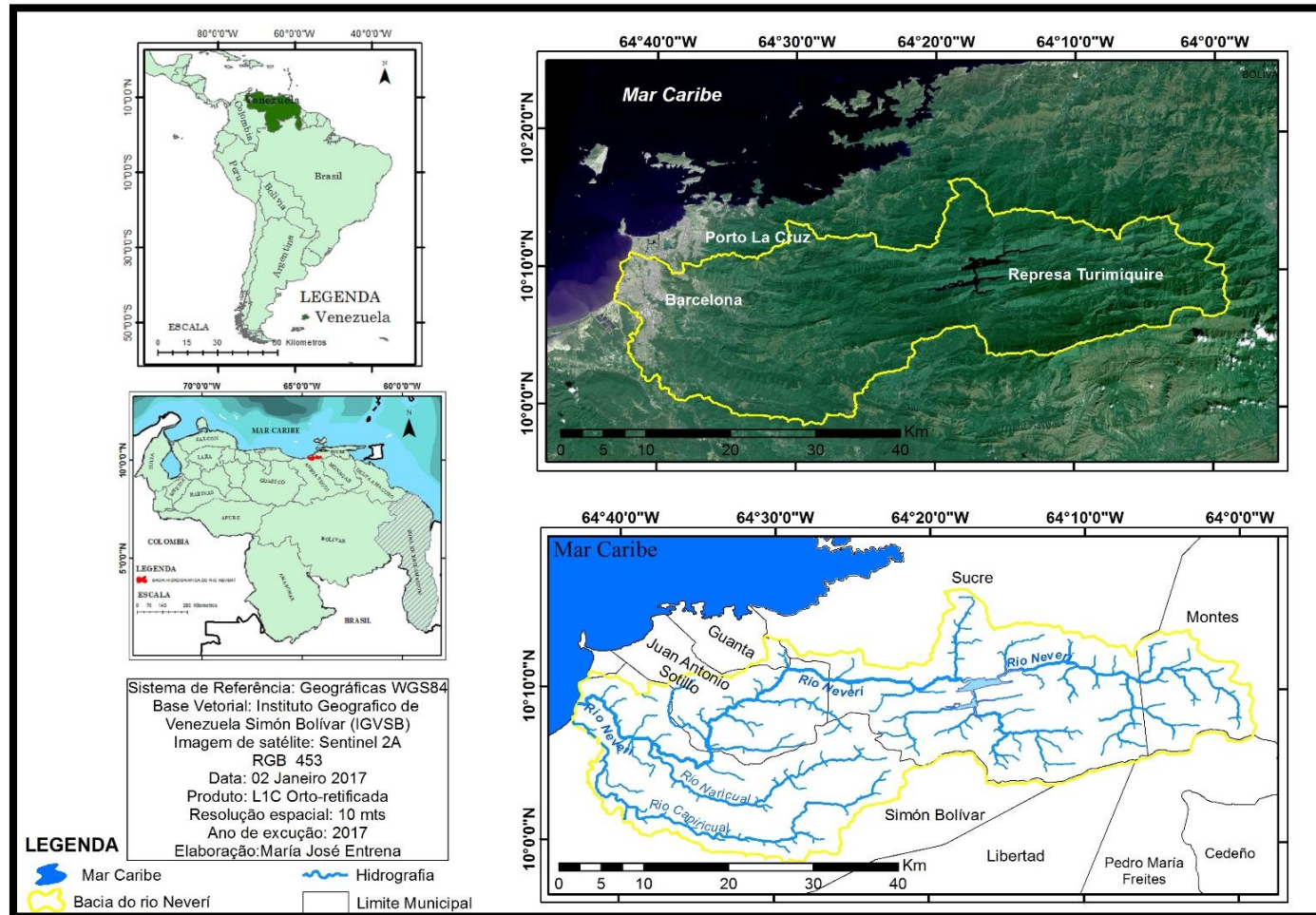
A Tabela 1 apresenta os valores de superfície total de cada um dos municípios e a superfície total dentro da bacia do rio Neverí.

Tabela 1 - Superfícies totais dos municípios presentes na bacia do rio Neverí

Estado	Município	Superfície total do município (ha)	Superfície total dentro da bacia (ha)	Porcentagens de superfície dentro da bacia (%)
Anzoátegui	Simón Bolívar	168.120,06	49.430,65	35,91
	Libertad	213.308,82	238,32	0,17
	Juan A. Sotillo	22.849,51	17.690,72	12,85
	Guanta	7.220,53	881,73	0,64
	Pedro M. Freitas	789.883,66	431,92	0,31
	Diego B Urbaneja	1.126,94	92,84	0,07
Sucre	Sucre	148.219,92	54.560,09	39,63
	Montes	97.718,85	14.343,38	10,42

Fonte: Instituto Nacional de Estatística Venezuelana (INE, 2017).

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

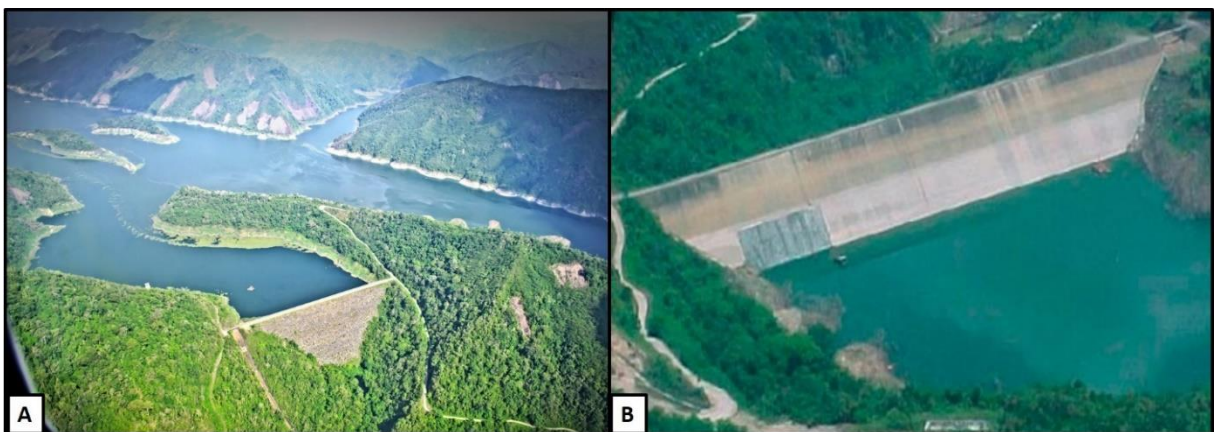
De acordo com dados do INE (2011) a cidade de Barcelona possui uma população total de 591.424 habitantes e junto com as cidades de Porto La Cruz, Lechería e Guanta conforma-se a Grande Barcelona, uma das áreas metropolitanas da Venezuela e a maior da região oriental do país.

Segundo o informe geoambiental dos estados de Anzoátegui e Sucre (2011) a bacia apresenta áreas em regime de administração especial que representam áreas de conservação. Essas áreas são as seguintes: Zona de Proteção do Maciço de Turimiquire, Parque Nacional Mochima, Área de Proteção de Infraestrutura Pública (sistema de transmissão de hidrocarbonetos).

Ainda é importante destacar que a dinâmica da área metropolitana da Grande Barcelona encontra-se baseada na indústria petroquímica, refinaria de hidrocarbonetos e o turismo nas áreas costeiras. A atividade agrícola presente é somente de subsistência.

A bacia do rio Neverí possui a represa Santiago Mariño (FIGURA 2) ou represa do Turimiquire e representa um dos mais importantes reservatórios de água potável na região oriental do país. A data de inauguração da infraestrutura é novembro de 1988. Essa represa encontra-se dentro do perímetro da zona proteção do Maciço de Turimiquire e sua área é de 778,92 ha.

Figura 2 - Imagem da represa Santiago Mariño ou represa de Turimiquire.



Fonte: Flaminio Cordido Sanchez (12 de junho 2015).



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 GEOGRAFIA FÍSICA E ANÁLISE DOS SISTEMAS AMBIENTAIS

A Geografia é o conjunto de estudos de fenômenos presentes na superfície da Terra. Esses fenômenos podem ser de qualquer ordem: física, humana, natural, o que pode ser tratados em separado e/ou de uma forma integrada, mas sempre tendo em mente que são entradas de análises para o espaço geográfico. Neste sentido, a estrutura da geografia tem uma forma que nos permite contemplar e integrar partes em um todo, é por esta razão que existem duas grandes divisões da geografia que são geografia física e geografia humana, respectivamente.

Geralmente, a geografia física é concebida como o estudo da organização espacial dos geossistemas, em que a organização é expressa pela estrutura de distribuição e o arranjo espacial dos elementos que constituem o universo do próprio sistema, e que eles são o resultado da dinâmica dos processos de atuação e as relações entre elementos; o que precede que o método adotado pela Geografia Física, é baseado na teoria de sistemas (NASCIMENTO e SAMPAIO, 2005).

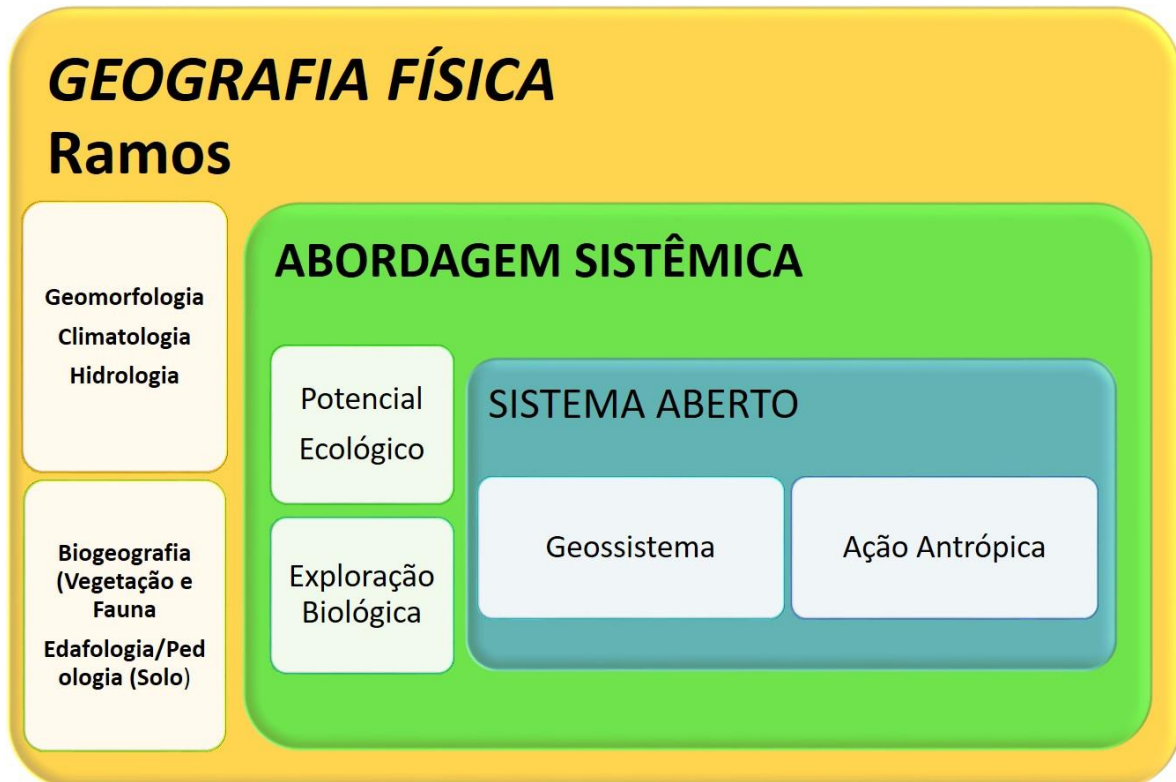
A lógica na teoria geral sistêmica determina um contexto que permite a geografia física interconexão com seus ramos e/ou ciências auxiliares e definir certos limites entre os estudos ambientais e estudos integrados. Portanto, a análise geossistêmica é a base conceitual do objeto de estudo da geografia física, uma vez que engloba uma variedade de informações sobre a dinâmica da natureza, que são uma importante contribuição para o espaço geográfico no processo de planejamento e ordenamento do território.

Com base nisso, é importante destacar que a análise geossistêmica reforça a metodologia da geografia física, o que facilita e incentiva estudos de paisagem integrados, ou seja, permite os estudos do espaço geográfico.

A Figura 3 apresenta o objeto de estudo da geografia física como uma parte do geossistema sendo assim um sistema aberto, hierarquicamente organizado pela dinâmica e dialética, com fatores físicos, biológicos e humanos. De acordo com Bertrand (1972), o geossistema é o resultado da combinação da dinâmica do potencial ecológico (envolvendo os ramos da geografia física, geomorfologia, climatologia, hidrologia) a exploração biológica, condição que inclui biogeografia, ciência do solo

e/ou também ramos da geografia física, a pedologia e da ação antrópica, como condição dos processos de superfície da Terra.

Figura 3 - Modelo de interpretação do geossistema.



Fonte: Modificado de Bertrand (1972).

O geossistema não é necessariamente homogêneo, mas é aberto e ligado a um território particular, sendo caracterizado por certas morfologias (espacial, vertical e estruturas horizontais) para a operação energizada com energia solar, a gravidade, ciclos biogeoquímicos, processos morfogenéticos e pedogenético e um determinado comportamento (alterações em uma sequência de tempo especificado), onde geofáceis (detalhe médio) e geótopos (alto detalhe) de uma forma dinâmica e, portanto, se reagruparam mostrando um mosaico da paisagem (CHRISTOFOLETTI, 2001).

Isso permite inferir que os geossistemas são estruturas geográficas que são identificados como unidades funcionais e fisionômicas, portanto, eles têm uma identidade que está devidamente localizado em um espaço geográfico. Isto implica



que o mesmo espaço pode conter diferentes estruturas geográficas, que podem ocorrer com magnitudes diferentes, dependendo da natureza do elemento que determina (componente abiótico, biótico e antrópico), onde é gerado uma metodologia complexa, com margens amplas, dirigidas à elaboração dos estudos integrados da paisagem (NASCIMENTO e SAMPAIO, 2005).

Em outras palavras, o geossistema é um conceito de ordem naturalista, o que permite analisar as estruturas de funcionamento biofísico em um espaço geográfico, ou seja com o grau de intervenção humana (BERTRAND e BERTRAND, 2007).

Os geossistemas tem uma expressão espacial na superfície, o que representa um sistema composto de elementos, que funcionam através de fluxos de energia e matéria. Combinações de energia e matéria, onde o controle de energia pode gerar heterogeneidade interna no geossistema, o que se manifesta em mosaicos de paisagem. Para o vasto território, os geossistemas são espacialmente caracterizados, analisada em sua morfologia e operação de suas unidades.

Portanto, os geossistemas são um conceito territorial, uma unidade espacial, que pode ser definido e analisados em uma determinada escala. No entanto, os vários subsistemas que compõem o geossistema têm escalas diferentes no processo de reajustamento contra modificações de origem externa, até que o equilíbrio perdido é restaurado, com ênfase na escala de tempo, que pode ser visto nos últimos anos e milhões de anos.

O estudo da dinâmica dos sistemas ambientais deve ser considerado em uma certa escala de magnitude temporais, uma vez que é possível refletir ajustes internos, a magnitude dos eventos, mantendo a integridade do seu funcionamento ou reajustamento aos produtos em mudança novas condições. Portanto, é importante enfatizar os conceitos de equilíbrio, operação e evolução geossistêmica.

Do ponto de vista espacial, os sistemas geralmente têm magnitudes diferentes. De acordo com os aspectos da forma e estrutura, os sistemas são classificados como morfológica (CHORLEY, 1972 CHORLEY e HUGGETT, 1974), os quais são baseados nas propriedades físicas, tais como a geometria, a densidade, o comprimento; a funcionalidade, com base na ação dos processos responsáveis pelas formas e o funcionamento do sistema, os quais são definidos pela ação de controle das atividades humanas sobre os processos (SALES, 2004).

A teoria dos sistemas homogeneizada artificialmente as diferenças genéticas e evolutivas dos elementos dos sistemas seguintes à disposição da dimensão temporal.

É por esta razão que na dinâmica de sistemas físicos, os eventos geralmente são determinados pelas condições momentâneas, sem considerar o passado deste espaço geográfico (Bertalanffy, 1972). Nesse contexto particular de análise de sistemas, cada elemento da origem evolutiva, a médio e longo prazo não é considerado um prejuízo para o processo de análise, formas e evolução das paisagens.

Para os momentos de análise de sistemas onde é necessário considerar a questão da presente atemporalidade neste tipo de análise, a distinção entre as causas e os efeitos na dinâmica de um dado sistema depende do tempo, bem como o tamanho da área de estudo considerado. É por esta razão que no âmbito dos estudos ambientais abordadas como sistemas físicos naturais, a paisagem contemporânea é considerada como uma etapa dentro de um período de tempo geológico e, portanto, a dinâmica deve ser estudada na escala de tempo atual em diferentes espaços que pode ser reduzida (de amostragem no campo) que permite extrapolar a dinâmica do sistema, como tal (SALES, 2004).

Dentro da abordagem sistêmica, a noção de entropia é considerada como um indicador de estabilidade estatística e serve como um critério para analisar o equilíbrio no contexto espacial. Portanto, torna-se ao lado de outras técnicas, um instrumento que é utilizado para analisar a existência de equilíbrio nos fenômenos de interesse geográfica (Christofolletti, 1979). Por outro lado, a noção de equilíbrio representa a adaptação total de variáveis internas para as suas condições externas, o que significa que as formas e os seus atributos representam valores dimensionais de acordo com as influências exercidas pelo ambiente geográfico.

Os sistemas ambientais ou sistemas físicos são sistemas dinâmicos e abertos, portanto, são conotados como geossistemas, onde essa conotação se aproximou do ponto de vista de Sotchava (1977) que define os geossistemas como a expressão de fenômenos naturais decorrentes de todas as interações da superfície da terra, onde formações naturais experimentaram o impacto dos elementos sociais, econômicos e técnicos que têm a capacidade de modificar a dinâmica natural. Neste sentido, a abordagem tem um envolvimento geossistêmico conceitual da relação sociedade-natureza.

Por outro lado, Bertrand (1972) conceitua o geossistema como um sistema aberto hierarquicamente organizado, consistindo da dinâmica e dialética e, portanto, instáveis, composto por fatores físicos, biológicos e antrópicos. A relação sociedade-

natureza mostra a necessidade para o estabelecimento de processos metodológicos para a caracterização das variáveis a serem consideradas, e por conseguinte, é necessário conhecer os elementos de relevo, clima, solo, vegetação bem como ter conhecimento da importância que assumem na dinâmica do ambiente onde eles estão presentes e que está a ser analisada (SOUZA, 2015).

Este tipo de análise é de grande importância no que diz respeito à organização espacial porque sob a abordagem sistêmica permite integrar os componentes do meio ambiente, em que o sistema ambiental tende a representar um arranjo espacial como resultado da interação de fluxos e transformações em componentes naturais e socioeconômicos (CHRISTOFOLETTI, 1999; SOUZA, 2015).

Tricart (1977) levanta a possibilidade de gerir o ambiente de forma integral, com destaque para o complexo conjunto de relações em sistemas ambientais, que parte de uma avaliação dos sistemas ambientais de uma perspectiva dinâmica que considera a intensidade dos processos atuais e as respostas respectivamente. A este respeito, estes relacionamentos complexos são estabelecidos a partir de várias condições e os mecanismos de compensação e a autorregulação do sistema ambiental. Assim, pode-se dizer que a segmentação espacial pela visão geossistêmica, estabelece critérios que procuram identificar e agrupar o comportamento das variáveis ambientais, destacando os processos morfodinâmicos da paisagem.

É importante destacar que a geomorfologia é um dos principais ramos da geografia física, pois a sua abordagem permite a compreensão do relevo como um elemento dinâmico da superfície da terra e como um espaço onde se materializam os processos. O seu desenvolvimento no espaço tempo permite a compreensão dos processos de dinâmica da superfície, especialmente aqueles que ocorrem nas vertentes, tais como os movimentos de massa.

Christofoletti (1980), define a geomorfologia como uma ciência que foca seus estudos na gênese e evolução das formas do relevo na superfície da terra. Seu objetivo é a caracterização geomorfológica de uma determinada área ou região com suas formas atuais na superfície, além da inclusão das informações da morfometria e morfogênese do terreno (ROSS, 1992).

Segundo Cunha (2006) as diferentes perspectivas das abordagens são organizadas e desenvolvidas no espaço temporal dos estudos realizados na geomorfologia. Com base nisso, o Quadro 1 mostra os níveis de estudos na

geomorfologia, com respeito na sua evolução e desenvolvimento nesse ramo da geografia física, além de seu nível para detalhar a componente espacial.

Quadro 1 - Classificação dos estudos na geomorfologia.

<b>Nível de estudos</b>	<b>Escala</b>
1. Estudos Clássicos	Regional
2. Estudos de Processos	Local
3. Estudos Morfométricos e Quantitativos	Regional e Local
4. Estudos de relação Homem-Geomorfologia	Regional e Local
5. Estudos aplicados a planificação Ambiental.	Regional

Fonte: Modificado de Cunha (2006).

Trentin e Robaina (2012), articulam o estudo da geomorfologia conforme a análise espaço-temporal dos processos de modelagem do relevo terrestre, onde é possível identificar, analisar e prever os processos de degradação ambiental, os quais encontram-se ligados aos elementos físicos em um determinado espaço geográfico. Portanto, a análise geomorfológica é projetada como uma ferramenta de análise e determinação das ações para mitigar a fim de evitar os impactos no ambiente.

A caracterização geomorfológica representa o resultado integral das formas e dos processos naturais e antrópicos, num espaço temporal (pretérito e presente) dos componentes do meio físico. Neste sentido, segundo Penteado (1985), a classificação geomorfológica inclui características morfométricas e morfológicas além dos processos morfodinâmicos e morfogenéticos do relevo.

Segundo Wood (1996) a parametrização do relevo refere-se à representação quantitativa das características morfológicas da paisagem, que são continuamente descritas pelas equações aplicadas a modelos numéricos representação altimétrica e onde os atributos geomorfométricos são derivados.

É por esta razão que as variáveis morfométricas são instrumentos importantes na análise geomorfológica, abrindo caminho para o estudo dos processos evolutivos e das formas do terreno (OZDEMIR, 2011).

A importância da classificação do relevo reside na utilização de diferentes aplicações no domínio do planejamento e ordenamento do território, zoneamento

ambiental, mapeamento geomorfológicos, pedológicos, de susceptibilidade geoambiental, entre outras (TRENTIN, ROBAINA, SILVEIRA, 2015).

A classificação geomorfométrica é suportada por atributos quantitativos (variáveis morfométricas) do componente topográfico, que representam elementos quantificáveis na superfície da terra. Estes atributos topográficos pode ser parametrizados utilizando variáveis como a altitude, inclinação, aspecto, curvaturas (plano, perfil), a área de contribuição, entre outros (GUADAGNIN e TRENTIN, 2014).

Os elementos acima mencionados de forma simplificada encontradas na capacidade de descrever a dinâmica da superfície da Terra, apresentarem vestígios de como era o seu passado, como é o seu presente e como vai ser o seu futuro (com base nas condições atuais); e assim, gerar estudos em vários níveis de detalhe, que podem vir a ser fontes de diagnósticos e zoneamentos ambientais.

No caso dos sistemas geomorfológicos, a bacia pode ser considerada como um exemplo de sistema complexo porque tem todas as características inerentes. Nesse sentido, a bacia é um sistema aberto aos fluxos de energia e matéria, em que as entradas do sistema são representadas pela precipitação e as forças tectônicas subjacente e as saídas pela perda de água e sedimentos. Além disso, sua configuração hierárquica é outra característica básica de sistemas complexos geomorfológicos (MATTOS e FILHO, 2004).

Como sendo uma unidade organizada, a bacia hidrográfica é composta por subsistemas, onde suas interações dão origem à organização e estruturação do sistema geral de uma forma integrada. A delimitação destes subsistemas pode variar dependendo da perspectiva para ser considerada, por exemplo, do ponto de vista funcional, a bacia pode ser subdividida em áreas de produção, transferência e deposição, cada uma representando um subsistema. Do ponto de vista morfológico, está estruturado em dois subsistemas identificados como vertentes e canais de rios (MATTOS e FILHO, 2004).

É importante considerar que independentemente da perspectiva escolhida para o sistema de análise geomorfológico (bacia), a identificação dos subsistemas não pode ser executada individualmente com cada um dos seus componentes: estrutura, função e organização, que são o resultado das interrelações entre eles (MATTOS e FILHO, 2004).

No caso de bacias hidrográficas, as condições climáticas, geológicas e biogeográficas constituem o seu entorno. Assim, os parâmetros relevantes que

descrevem as bacias de drenagem de abastecimento estão relacionados com a quantidade de calor (expresso pela temperatura), precipitação (chuva, neve, etc.), área e volume de afloramentos litológicos, área e densidade de cobertura vegetal, a profundidade da cobertura de alteração, entre outros (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Em uma bacia hidrográfica, as condições climáticas, litológicas, biogeográficas entre outras condicionará a estruturação de certa rede de drenagem e certas formas de relevo. Uma vez atingido o estado de estabilidade, a geometria da rede fluvial e morfologia está em perfeito equilíbrio e só permanecem inalterados, se acontece qualquer alteração das variáveis condicionantes.

A existência de limites é fundamental para entender as respostas dos sistemas geomorfológicos e as perturbações ambientais (Phillips, 1992; Renwick, 1992). A sensibilidade da paisagem é definida como a atual relação entre a magnitude da mudança e a magnitude da resposta do sistema com relação a esta mudança, que está diretamente relacionada com a existência de limites; ou seja, quanto menor é a existência de limites de um sistema maior, é sensível a perturbações e, portanto, mais propensos a deixar seu estado de estabilidade (THOMAS, 2001).

Assim, a dinâmica da interação do sistema é estabelecida durante suas mudanças no caminho evolutivo da forma e tamanho da bacia de atração (Clark et al., 1995). Isto significa que à medida que o sistema é perturbado há uma tendência para a diminuição do tamanho da bacia de atração, e por conseguinte, o sistema é susceptível de deixar o seu estado de estabilidade.

O estudo analítico da bacia é utilizado por pesquisadores, principalmente na análise da sua dinâmica atual, como no caso da análise proposta por Christofoletti (1974), que visa associar a forma da bacia com a sua área. Para isso, propõe-se a aplicação de alguns parâmetros morfométricos como o índice de circularidade e o índice de forma; pois o planejamento de bacias hidrográficas é essencial em uma sociedade devido ao aumento do uso de água potável. Esta tendência atual envolve o desenvolvimento sustentado da bacia, que envolve o uso racional dos recursos hídricos (CRISTO, 2002).

O Quadro 2 apresenta a forma como os subsistemas operam dentro do sistema da bacia hidrográfica que reflete a dinâmica, o processo e o evento de transferência. Portanto, na dinâmica do subsistema e no evento de transferência produz alterações de várias magnitudes de processo do subsistema.

Quadro 2 - Dinâmica de subsistema, processo de transferência e evento de transferência.

Dinâmica de subsistemas	Processo de transferência	Evento de transferência
Atmosfera/Vertente	Precipitação	Chuva
Vertente/Rios	Fluxo	Fluxo superficial/Fluxo subterrâneo
Rios/Mar	Fluxo	Debito fluvial
Mar/Atmosfera	Evaporação	Vapor de Agua

Fonte: Christofolletti (1979).

É importante considerar que a dimensão espacial da bacia hidrográfica como uma unidade de estudo, ainda não apresenta um consenso definitivo (SILVA, 2009). Vários autores usam diferentes critérios de avaliação em seus estudos para determinar as unidades espaciais de suas pesquisas. Este critério de seleção deverá enfrentar a necessidade da escala de representação e dos itens que vai ser estudados, de modo que sua representação é satisfatória.

De acordo com Botelho (1999, apud SILVA, 2009), as bacias hidrográficas são uma unidade natural de estudo e análise da superfície da Terra, ideal para o ordenamento do território onde é possível reconhecer e estudar as interrelações entre os vários elementos da paisagem e os processos que atuam na modelagem.

As bacias hidrográficas delimitadas por unidades com base em critérios geomorfológicos, representam vantagens sobre unidades de planejamento definidas por outros atributos, como por exemplo unidades definidas por atributos climáticos ou com base nos tipos de vegetação.

Com base nesta discussão, o trabalho utiliza como limite de estudo a bacia hidrográfica por apresentar delimitação baseada em características naturais e possibilitar a discussão integrando os elementos que condicionam os processos naturais.

### 3.2 SUSCEPTIBILIDADE, AMEAÇA, RISCOS E DESASTRES NATURAIS

A superfície terrestre, encontra-se submetida a processos geomorfológicos que a desgastam e moldam, com base na ação direta e indireta de agentes dinâmicos,

dando como consequência fenômenos naturais de origem geológica, hidrológica e atmosférica tais como terremotos, erupções vulcânicas, movimentos de massa, maremotos, inundações, furacões, entre outros, ou possíveis eventos desastrosos originados por tecnologias perigosas tais como acidentes provocados pelo homem ou por falhas técnicas, os quais representam um perigo latente que pode ser considerado como uma ameaça para o desenvolvimento social e econômico de uma região ou um país.

A avaliação dos riscos e a prevenção de desastres têm sido tratados relativamente há poucos anos. Sua conceituação e análise sistemática praticamente iniciaram com os especialistas das ciências naturais nas últimas décadas, com os estudos a respeito de fenômenos geodinâmicos, hidrometeorológicos e tecnológicos. Durante a maior parte do tempo e, em particular, nos primeiros anos, a ênfase dirigiu-se para o conhecimento das "ameaças" gerando as primeiras reflexões sobre o tema.

O risco tem sido definido por numerosos autores de diferentes maneiras, mas coincidem, quando tratam que este é um produto constante da confluência de dois fatores: ameaça e vulnerabilidade, e é obtido relacionando a probabilidade de ocorrência de um evento em certa intensidade com a vulnerabilidade dos elementos expostos.

No contexto ambiental, um desastre pode ser definido como um evento ou acontecimento que ocorre, na maioria dos casos, de forma repentina e inesperada, causando sobre os elementos submetidos, alterações intensas representadas na perda de vida e saúde da população, a destruição ou perda dos bens de uma coletividade e/ou danos severos sobre o meio ambiente. Esta situação significa a desorganização dos padrões normais de vida, gera adversidade, desamparo e sofrimento nas pessoas, efeitos sobre a estrutura socioeconômica de uma região ou um país e/ou a modificação do meio ambiente.

Existem diferentes concepções da ameaça como parte do risco, onde se propõe que a verdadeira ameaça surge quando da possibilidade teórica passa à probabilidade mais ou menos concreta, de que um desses fenômenos de origem natural, se produza em um determinado tempo e em uma determinada região que não esteja apta para enfrentar sem traumatismos esse fenômeno. Entre as definições destaca a da Organização dos Estados Americanos (OEA, 1993), onde a ameaça natural se refere àqueles elementos do meio ambiente que são perigosos para o homem.



Destas definições desprende-se que as ameaças naturais estão associadas a fenômenos naturais que podem ser de diversos tipos: atmosféricos, hidrológicos ou geológicos. Neste sentido, a avaliação da ameaça define-se como o processo mediante o qual se determina a probabilidade de ocorrência e a severidade de um evento em um lapso específico e em uma área determinada, representando a ocorrência estimada e a localização geográfica de eventos prováveis.

A susceptibilidade corresponde às características físicas do ambiente, depende do processo natural que está sendo analisado (inundação, seca, movimentos em massa, vendavais, furacões, tornados, granizo, gelada, etc.) e suas condições são diferentes para um mesmo espaço geográfico, por exemplo, um área com forte susceptibilidade de ocorrência de inundações pode ser de muito baixa susceptibilidade de ocorrência de movimentos em massa, bem como algumas áreas podem apresentar alta susceptibilidade para ambos processos, esta depende diretamente de suas características naturais.

A susceptibilidade pode ser diferenciada em natural e induzida. A natural serve como ferramenta para o planejamento da ocupação de áreas ainda livres e apresenta, portanto, um caráter preventivo. A susceptibilidade induzida é determinada para áreas já urbanizadas, onde as atividades humanas alteraram extensivamente o terreno e conseqüentemente a susceptibilidade natural (PFALTZGRAFF, 2007).

Além disso, a susceptibilidade constitui-se no primeiro passo para a avaliação de risco, indicando os locais onde devem ser realizados mapeamentos mais detalhados. Dessa forma, ela geralmente é determinada em estágios preliminares do planejamento.

Com base nisso, a susceptibilidade deve ser entendida como a probabilidade de ocorrência de um deslizamento derivado das condições do terreno, isto é, é avaliado com base na correlação espacial entre os fatores de predisposição como declividade, geologia, cobertura e uso da terra (Meneses, 2011). Zêzere (2007, apud MENESES, 2011) também definem susceptibilidade como a propensão do território à ocorrência de um tipo particular de deslizamento com base nos fatores condicionantes da instabilidade.

A recomendação da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), sugere que a susceptibilidade aos deslizamentos pode ser definida também como uma avaliação quantitativa de tipo, volume ou área e da distribuição espacial de

escorregamentos que existem ou potenciais que podem ocorrer em uma área (FELL et al, 2008).

### 3.3 PROCESSOS DE MOVIMENTOS DE MASSA

O contexto dos movimentos de massa apresenta uma série de dificuldades nos conceitos que se utilizam para ser definidos. A essência dos conceitos se baseia na complexa e variável natureza do fenômeno, que só pode ser analisado com a simplificação e a tentativa de atenuar essas dificuldades (HUTCHINSON, 1988; CRUDEN, 1991; CRUDEN e VARNES, 1996; COROMINAS e YAGUE, 1997).

Os movimentos de massa originam-se quando a resistência dos materiais geológicos é superada pelas forças gravitacionais, as quais apresentam a tendência de deslocamento nas vertentes. Esse balanço é expressado nos métodos deterministas com o fator de segurança, geralmente aproximado a partir de parâmetros geotécnicos ou mecânicos dos materiais geológicos, e estima quantas vezes a resistência da massa afetada é superior às tensões gravitacionais. Portanto, os métodos deterministas calculam as probabilidades das combinações possíveis dos parâmetros de resistência do terreno e definem um cenário de estabilidade (CHACÓN, 2008).

Os processos associados a instabilidade das vertentes distinguem-se em fatores que determinam as condições gerais de estabilidade ou fatores determinantes e os fatores que ativam o desencadeiam os movimentos ou fatores ativadores.

Em qualquer contexto disciplinar, os movimentos de massa possuem um significado importante nos conceitos atuais de perigo, ameaça e risco natural, de origem geomorfológica e seus impactos ambientais (CHACON, 2008).

#### 3.3.1 Classificação dos movimentos de massa

A classificação dos movimentos de massa depende dos critérios utilizados para sua diferenciação. A classificação usada no presente estudo apoia-se nas publicações realizadas anteriormente por Varnes (1958, 1978) e baseia-se fundamentalmente no mecanismo de rompimento e propagação do movimento utilizando basicamente critérios morfológicos, onde é possível diferenciar quatro tipos básicos de movimentos.

O escorregamento é um movimento onde o deslocamento do terreno se produz sobre uma ou várias superfícies de rompimento bem definidas. A massa geralmente desloca-se em conjunto, comportando-se como uma unidade, praticamente sem deformação interna em seu percurso. A velocidade costuma ser variável e implicam geralmente grandes volumes (JIMÉNEZ, 2005).

Em função da geometria da superfície de rompimento pode-se discernir entre escorregamentos translacional ou planar, quando a superfície é um plano com uma inclinação mais ou menos constante, e deslizamento rotacional, quando a superfície de rompimento é de uma superfície côncava. Os deslizamentos rotacionais produzem-se, fundamentalmente, em materiais homogêneos ou em maciços rochosos muito fraturados (ANTOINE, 1992). Ao contrário, os escorregamentos translacionais costumam produzir-se sobre materiais heterogêneos com superfícies de descontinuidade bem definidas. Quando os movimentos em massa têm uma superfície de rompimento com uma geometria mista, se denominam escorregamentos compostos (ANTOINE, 1992).

Dentro da categoria de movimentos de massa, encontram-se os fluxos, cujo substantivo agrupa diferentes movimentos que têm em comum a deformação interna e contínua do material e a ausência de uma superfície reta de deslocamento (Varnes, 1978 apud JIMÉNEZ, 2005). Em alguns casos, a superfície de rompimento pode ser assimilado a toda uma faixa de deformação. As diferenças se caracterizam pelo material envolvido, seu conteúdo em água e a velocidade de desenvolvimento, de lenta a súbita. Os mais comuns são os movimentos em solo (fluxos de terra), movimentos de detritos ou blocos rochosos (fluxos de blocos).

Na área de estudo, são predominantes os fluxos de detritos que são movimentos que englobam fragmentos rochosos e blocos, em uma matriz fina de areia, silte e argila onde, geralmente, os constituintes maiores representam uma porcentagem superior a 50%. Estes tipos de movimentos têm lugar em encostas cobertas por material não consolidado e a água é um motor principal no processo.

A queda de rocha corresponde ao rápido movimento de uma massa de qualquer tamanho de rocha ou de solo em forma de blocos isolados ou material em massa. Os deslocamentos produzem-se principalmente em sentido vertical por queda livre, são típicos em maciços rochosos e geralmente estão controlados pelas descontinuidades. Este tipo de movimento requer uma topografia como escarpas ou

declividades fortes e se caracterizam pela acumulação de blocos de tamanho variável na base da encosta (JIMÉNEZ,2005).

Por outro lado, os movimentos complexos são aqueles que resultam da combinação de duas ou mais tipos de movimentos elementares descritos anteriormente.

Dos movimentos de massa descritos destacam-se os escorregamentos nas vertentes, os quais trazem enormes prejuízos econômicos, bloqueiam vias expressas e com frequência, levam à perda de muitas vidas (FERNANDES et al, 2001).

Nos grandes centros urbanos, os deslizamentos assumem frequentemente proporções catastróficas, uma vez que os inumeráveis cortes, taludes, depósitos de lixo, deflorestações, modificações na drenagem, entre outras agressões, geram novas relações com os fatores condicionantes naturais sócios à geomorfologia e à geologia (FERNANDES e AMARAL, 1996). Portanto, é muito difícil realizar uma predição efetiva destes fenômenos em uma determinada paisagem.

A previsão da ocorrência dos escorregamentos vem tomando uma importância crescente na literatura geomorfológica e geotécnica. Portanto, apresentam-se diferentes concepções do problema e diversas formas de abordá-lo. Grande parte dos enfoques e metodologias propostas, por exemplo, são orientadas à definição de áreas críticas aos deslizamentos, ou seja, áreas de maior suscetibilidade à ocorrência do processo (GUZZETTI et al., 1999).

Por outro lado, outros estudos procuram caracterizar o risco envolvido, englobando tanto a possibilidade de ocorrência do processo e os danos detonados (CERRI, 1993; FILHO e WOLLE, 1996, apud FERNANDES et al., 2001).

A utilização de modelos matemáticos de predição de áreas susceptíveis a deslizamentos depende diretamente de um melhor entendimento dos diferentes mecanismos e fatores condicionantes envolvidos, o qual requer de ensaios de campo e monitoramento desses processos, principalmente no que se refere à caracterização da dinâmica hidrológica superficial e subsuperficial das vertentes (ANDERSOR e BURT, 1978; FERNANDES,1999;MONTGOMERY,1997).

Dentro dessa perspectiva, assume uma grande importância neste tipo de análise a definição das escalas espaciais e temporais mais adequadas. No caso dos escorregamentos nas vertentes, é necessário considerar critérios específicos para poder caracterizá-los e desta forma proceder à avaliação dos mesmos.

A dinâmica dos deslizamentos encontra-se enquadrada em dois elementos: os mecanismos de ruptura e os fatores condicionantes respectivamente. São vários os mecanismos que levam à instabilidade das vertentes, entre eles se destaca o aumento da poro-pressão positiva e a conseqüente diminuição do fator de segurança, o qual se encontra intimamente unido à saturação dos solos. Este mecanismo torna-se muito reconhecido na literatura geomorfológica. Conseqüentemente, é de esperar um forte controle da morfologia do terreno na localização das cicatrizes no campo, uma vez que as formas de relevo tanto em planta como em perfil vão definir os níveis de convergência e divergência hidrológica de uma determinada topografia.

Outro mecanismo de ruptura nas vertentes encontra-se representado pela perda de sucção (coesão aparente) relacionada ao aumento da umidade do solo no decorrer do avanço da frente de infiltração, no qual a ruptura ocorre sem que a condição de saturação seja atingida.

Sabe-se que os escorregamentos são condicionados por complexas relações entre os fatores geológicos, englobando as características lito-estruturais, tectônicas, geomorfológicas, climáticas, antrópicas. Aqueles fatores de origem geomorfológica, muitas vezes denominados como parâmetros topográficos (geomorfométricos), abordam as relações entre a hidrologia (superficial e subsuperficial) das vertentes, englobando parâmetros tais como: declividade, forma da vertente (tanto em perfil como em plano), área de contribuição, orientação das vertentes (aspecto), espessura do solo, longitude da vertente, simetria-assimetria de vales e elevação (FERNANDES e AMARAL, 1996).

De acordo com Christofolletti (1980), Bigarella (2003) e Ritter (2006, apud CARNO, 2015), o tipo de vertente possui grande influência nos processos erosivos e a análise da relação entre a concavidade, convexidade e declividade da vertente, define os pontos e graus de susceptibilidade à erosão, bem como os lugares prováveis para a deposição dos sedimentos.

Segundo Cunha e Guerra (1998), o equilíbrio da vertente depende da quantidade de material intemperizado disponível, da quantidade de chuva, da presença e do tipo de vegetação e principalmente da morfologia do terreno e do grau de declividade das vertentes. Qualquer alteração em um desses fatores pode intensificar os processos erosivos e detonar os movimentos em massa.

### 3.3.2 Fatores Condicionantes a movimentos de massa

Os fatores geológicos que condicionam os movimentos de massa levam em consideração o tipo de distribuição dos materiais que compõem o substrato das vertentes, que apresentam diferentes comportamentos em referência à resistência ao cisalhamento, permeabilidade e outras características. Com relação aos fenômenos de instabilidade, cada litologia comporta-se de forma diferente. Os materiais do substrato podem ser divididos em maciços rochosos e maciços terrosos, cobrindo solos, rochas, depósitos e estruturas geológicas com características geotécnicas específicas.

No caso dos maciços rochosos, os principais processos desestabilizadores que se apresentam ocorrem nos taludes de corte em áreas escarpadas. O grau de alteração da rocha e as estruturas anisotrópicas existentes tais como falhas, disjunções e juntas de alívio servem como zonas preferenciais de percolação de água e alteração de rocha, diminuindo a resistência e atuando como detonante dos processos de desestabilizadores (VANACÔR 2006).

Estruturas geológicas como falhas e fraturas representam importantes descontinuidades mecânicas e hidráulicas, podendo condicionar diretamente o mecanismo e a geometria da ruptura. As falhas correspondem a estruturas planas ou curvilíneas, por meio das quais a rocha é deslocada em uma direção, geralmente contida no plano de fratura e atuam como direções preferenciais de alteração, permitindo a frente de intemperismo o avanço para o interior do maciço de modo bem mais efetivo (FERNANDES e AMARAL, 2003).

A distribuição espacial e a relação entre suas atitudes (direção e mergulho) é outro fator que rege os mecanismos desestabilizadores. Portanto, a interseção de planos de falha com outras descontinuidades (fraturas de alívio, fraturas tectônicas e bandamentos composicionais) resulta na individualização de blocos não alterados no interior de uma massa bem intemperizada, gerando um aumento na heterogeneidade do maciço rochoso como um todo (FERNANDES e AMARAL, 1996).

Para o caso dos maciços terrosos, Nummer (2003) propõe que uma série de parâmetros e propriedades dos solos têm influência direta ou indireta na suscetibilidade aos movimentos em massa e ao tipo de processo desestabilizador, como o peso específico, porosidade, mineralogia, granulometria, plasticidade, permeabilidade, entendimento e história de tensões.

Estes maciços terrosos estão diretamente relacionados com os processos morfogenéticos e a formação do relevo. As características texturais, estruturais e sedimentológicas estão associados a três processos básicos: eluvial, fluvial e pluvial-gravitacional. Na caracterização dos maciços terrosos que ocorrem nas vertentes, os processos pluviais gravitacionais são os mais importantes, pois são os responsáveis pela origem dos depósitos de tipo colúvio e tálus (AZAMBUJA et al, 2001, apud VANACÔR, 2006).

Segundo Lara (1997), os colúvios encontram-se constituídos por solos que sofreram um processo de transporte ao longo da vertente e não mostram qualquer estrutura de rocha de origem. Podem apresentar alguns blocos e/ou fragmentos de rocha imersos em uma matriz de solo, portanto, a matriz é sempre predominante em todo o depósito. Por outro lado, depósitos de tálus são aqueles formados por material dendrítico de cabeceiras de vertente, com indícios de ser provenientes de movimentos de massa passados que mobilizam blocos rochosos de dimensões, forma e até litologias variadas, os quais se dispõem de forma caótica envolvidos em uma matriz coluvionar.

Desde o ponto de vista estrutural, os colúvios são mais problemáticos em termos de estabilidade de vertentes, uma vez que são materiais de baixa resistência e em função da grande porosidade e plasticidade, exibem um comportamento viscoplástico em períodos chuvosos.

Os condicionantes de tipo geomorfológico têm influência direta na instabilidade das vertentes e são os mais utilizados no prognóstico dos movimentos de massa pela grande maioria dos autores, os quais fazem uso de um ou mais parâmetros topográficos, entre os quais pode ser citado a declividade da vertente e a forma do perfil de vertente (côncava ou convexa); onde estas duas características do relevo parecem exercer um importante papel como determinante dos movimentos de massa.

A declividade é um parâmetro topográfico, o qual é utilizado como o principal e para maioria dos autores como o único parâmetro incorporado nos estudos de definição e prognóstico de áreas instáveis, gerando com frequência distorções nas análises de deslizamentos, evidenciando a importância da consideração de outros parâmetros nas análises.

Diversos estudos de corte geomorfológico têm fixado sua atenção no papel que desempenha a forma das vertentes. Tal é o caso dos atributos topográficos como o perfil de curvatura e o plano de curvatura onde o primeiro refere-se ao caráter

convexo/côncavo do terreno analisado em perfil (Valeriano, 2003), enquanto o segundo refere-se ao caráter divergente/convergente dos fluxos de matéria sobre o terreno realizando a análise em uma projeção horizontal (VALERIANO e CARVALHO JÚNIOR, 2003).

A análise da rede hidrográfica pode levar a elucidação de inúmeras questões, pois os cursos d'água controlam os processos morfogenéticos mais ativos na enculturação da paisagem. A água cai sobre a superfície terrestre e é organizada dentro de bacias de drenagem onde é transferida para os sistemas maiores (NUMMER, 2003).

A hierarquia fluvial consiste em estabelecer a classificação de um determinado curso d'água no conjunto total de uma bacia hidrográfica na qual se encontra com a função de facilitar e tornar mais objetivos as análises morfométricas. Nesse caso, os critérios de hierarquização seguiram a metodologia de Strahler (1952), onde os menores canais, sem tributários são considerados como de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência. Os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem, os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem e pode receber afluentes de segunda e primeira ordens e assim sucessivamente.

Portanto, o acúmulo de fluxo pode ser igualmente importante como condicionante geomorfológico, pois o mesmo representa o tamanho da área de contribuição do fluxo de água vindo das porções mais altas do terreno para cada ponto dentro de uma área. Contudo, o acúmulo de fluxo possui grande importância para a instabilização das encostas, uma vez que tem uma relação direta com a concentração dos fluxos de água superficial e subterrânea e consequente saturação dos solos (MONTGOMERY, 1998; DIETRICH, 1995).

### 3.4 ZONEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE

Desde meados da década de 1990, os estudos de riscos e desastres naturais é uma das linhas de pesquisa das Geociências que mais vem se desenvolvendo. Um dos campos de ação dessas linhas de pesquisa, tem como princípio reflexionar e conhecer os impactos dos fenômenos naturais na superfície terrestre. Portanto, contempla-se aplicações dos conhecimentos técnicos do meio físico aos diversos



instrumentos e mecanismos de gestão ambiental, utilizando-se da cartografia, que inclui os bancos de dados e a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's).

Nesse sentido, a ABGE propõe um zoneamento com a divisão do solo em áreas ou domínios homogêneos e sua classificação de acordo aos graus de susceptibilidade, perigo ou risco de deslizamento real e/ou potencial ou em concordância com a aplicabilidade de regulamentações ligadas ao perigo (FELL et al, 2008).

Santos (2011), também definem zoneamento como o ato de dividir uma área em setores (zonas), a partir de critérios predeterminados ou estabelecidos, onde cada zona se encontra sujeita a normas específicas que podem focar uma linha de ação; apresentando um grau de similitude e relação entre os elementos componentes e uma diferença claramente entre as zonas adjacentes.

Cada unidade zoneada, apresenta um alto grau de associação dentro de si com as variáveis envolvidas, com significativa diferença entre elas e os outros setores, onde se conclui que o zoneamento realiza uma análise por agrupamento possível, estruturados em um eixo horizontal de uma determinada área e em uma escala específica (SANTOS, 2004). Portanto, o zoneamento é o resultado de um processo que envolve diversos passos, tais como a definição de indicadores, levantamento de dados sobre os indicadores, elaboração integrada das informações, onde estes indicadores conduzem ao diagnóstico e a definição de limites que definem as zonas (SANTOS, 2011).

No cenário venezuelano encontra-se diversos estudos de zoneamento de susceptibilidade a movimentos de massa e zoneamentos de susceptibilidade a escorregamentos por ser o tipo de movimento de massa mais comum.

Cartaya (2006) propõe um modelo de zoneamento de susceptibilidade aos movimentos em massa através de um sistema de informação geográfica, analisando a distribuição espacial da susceptibilidade aos movimentos em massa com o emprego de estatística multivariada na bacia de drenagem do arroio de Curucutí, no estado Vargas, na região centro-norte de Venezuela. As variáveis em consideração para o modelo de zoneamento de susceptibilidade foram: geologia de superfície, geomorfologia, declividade e conflitos de uso da terra. Os resultados da aplicação do modelo foram exitosos na área de estudo.

Roa (2006) na região andina (região sudoeste), especificamente na área metropolitana do estado Trujillo em Venezuela realizou um mapeamento de susceptibilidade e ameaça de escorregamentos por avaliação multicritério no ambiente de sistemas de informações geográficas baseado no método de análise hierárquica (AHP), tendo em consideração os seguintes fatores: declividade, forma das vertentes, cobertura vegetal, distância de drenagem e unidades geomorfológicas. Os resultados obtidos foram os mapas de susceptibilidade (alta-média-baixa) e ameaça aos escorregamentos na área metropolitana do estado de Trujillo.

Ramirez (2011) realizou um zoneamento de áreas susceptíveis aos movimentos de massa na cidade de Mérida no estado Mérida (região sudoeste), Venezuela através de técnicas de geoprocessamento. A escolha da área de estudo se dá com relação a dinâmica complexa dos processos geomorfológicos dessa área. Nesse sentido, o autor realizou uma avaliação dos mapas dos fatores condicionantes (geologia-unidades litológicas, declividade, unidades geomorfológicas e uso da terra e cobertura vegetal). A metodologia adotada foi a AHP; o mapeamento final foi na escala 1:25.000 com os níveis de susceptibilidade (muito baixa, baixa, moderada, alta, muito alta). Os resultados do zoneamento mostraram que 15% da superfície da cidade de Mérida possui susceptibilidade aos movimentos de massa muito alta e alta, 53% da superfície total da cidade apresenta uma susceptibilidade moderada e 32% da superfície total é uma susceptibilidade muito baixa e baixa.

Marcano e Cartaya (2011) desenvolveram um zoneamento de ameaça aos movimentos de massa por causa da sismicidade nas bacias dos setores Camuri Chico e Ponta Tigrillo, no estado de Vargas, com a finalidade de contribuir ao planejamento preventivo e a redução dos riscos para um desenvolvimento sustentável das áreas urbanas. A pesquisa foi do tipo correlativo, baseada no método heurístico, com o emprego da análise geoestatística multivariada para obter mapas de susceptibilidade específica, ponderada e final. O método foi de avaliação multicritério e as variáveis escolhidas foram: geologia da superfície, geomorfologia, declividade e conflitos de uso.

Pineda e Vilorio (2011) determinaram as áreas susceptíveis aos deslizamentos num setor da cordilheira da costa central de Venezuela (região centro-norte). Na primeira etapa a pesquisa consistiu na avaliação de unidades de paisagem através de um índice de susceptibilidade. Esse índice foi calculado como um quociente entre o número de cicatrizes dentro de cada unidade e o total da área. O segundo

procedimento, baseado em regressão logística, revelou que além da litologia, os fatores condicionantes dos escorregamentos são o tipo de relevo, a distância à rede de drenagem, a cobertura vegetal estimada por meio do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) e a sua localização na paisagem; enquanto o fator ativador foi a precipitação. Os resultados predizem uma alta susceptibilidade aos deslizamentos, particularmente nas encostas com escassa cobertura vegetal, aumentando nas vertentes com formas côncavas com uma proximidade menor dos 50 metros de distância da rede de drenagem.

Sánchez (2014) elaborou um zoneamento de susceptibilidade aos movimentos de massa na bacia do arroio La Culebra, no município Guanta, na região nordeste do estado de Anzoátegui. O objetivo da pesquisa foi determinar os níveis de susceptibilidade aos movimentos de massa através do geoprocessamento com uma metodologia probabilística bivariada. A metodologia consistiu em fazer o relacionamento e a ponderação de cada fator analisado (declividade, aspecto, geologia, estruturas geológicas, cobertura vegetal, unidades geomorfológicas e estabilidade cinemática) para obter o zoneamento de susceptibilidade na bacia hidrográfica.

O geoprocessamento é compreendido como um conjunto de técnicas computacionais, as quais operam sobre bancos de dados, onde são registradas as ocorrências georreferenciadas para transformar em uma informação espacial relevante e se encontra apoiada nas estruturas de percepção ambiental que proporcionam o máximo de eficiência dessa informação. Uma dessas estruturas é a visão sistêmica, onde a realidade é percebida de forma composta por entidades físicas ou virtuais. Este apoio tecnológico/metodológico a cargo do geoprocessamento é um fator que qualifica a criação de enlaces entre as concepções teóricas como é o caso da visão sistêmica e a prática da pesquisa ambiental.

Atualmente, as técnicas de geoprocessamento aliados aos produtos de percepção remota oferecem inúmeras possibilidades de análises e estudos dessas áreas com potencial erosivo e suscetibilidade a movimentos de massa, utilizando a análise digital do relevo por meio de Modelos Digitais de Elevação (MDE) (SILVEIRA et al, 2014).

O geoprocessamento é essencial, já que se manifesta mediante um sistema que se encarrega de capturar, manejar e analisar os dados e informações que se encontram geograficamente representados. Portanto, estas técnicas são

mundialmente implementados por instituições governamentais, não-governamentais e acadêmicas, como ferramentas indispensáveis para o planejamento territorial, manejo integrado de bacias, avaliação e mitigação de desastres, bem como para a conservação dos recursos naturais (ALATORRE CEJUDO et al, 2015).

Os grandes avanços tecnológicos das últimas décadas têm provocado profundas mudanças nas metodologias de estudo das ciências da terra e disciplinas afins. Na atualidade tanto os trabalhos de investigação básica como os aplicados fazem um uso intensivo de ferramentas geo-informáticas, como as imagens de satélite e os sistemas de informações geográficas. Estes últimos em particular, são programas desenhados para o tratamento eficiente da informação espacial com fins de apoio à tomada de decisões, cujas capacidades vão desde a captura dos dados espaciais, seu armazenamento e organização mediante um banco de dados, até seu processamento mediante funções de análise espacial e representação final da informação gerada.

A evolução e a disponibilidade de imagens ópticas e de radar tem favorecido e facilitado os estudos de suscetibilidade a riscos geológicos, e desta forma permite definir um melhor gerenciamento territorial, isto é, servindo como auxílio ao processo de tomada de decisão ao respeito da ocupação dos espaços e seus respectivos usos (CARNO et al., 2015). Esta disponibilização de numerosos sensores tanto ópticos como de radar admitem realizar diversos procedimentos que permitem a extração e análise de informação de interesse através de diversas técnicas e procedimentos e desta forma poder integrar o acervo de informações em um sistema de informação geográfica.

Albuquerque (2008) destaca a utilização de Modelo Digital de Terreno (MDT) em ambientes de SIG's além de representar o relevo de uma forma tridimensional, demonstra que é possível a extração de atributos morfométricos, os quais podem ser usados como medida espacial para descrever processos geomorfológicos presentes.

Portanto, através do geoprocessamento encontra-se disponível modelos e procedimentos para as análises geomorfológicas que permitem a investigação detalhada de relações entre as entidades pertencentes a um ambiente (sistema) determinado. Estes procedimentos baseiam-se na existência de um banco de dados digitais, os quais são capazes de executar, incansavelmente depois da busca absolutamente exaustiva de ocorrências singulares ou combinadas de características

de entidades, que se encontram registradas nos bancos de dados espaciais (SILVA, 2001).

No presente trabalho o uso de ferramentas de geoprocessamento e produtos de sensoriamento remoto (imagens de satélite) servem para o tratamento eficiente das informações desde a captura dos dados espaciais, seu armazenamento e organização, até o seu processamento mediante funções de análise espacial e representação final da informação gerada.



## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No presente capítulo são apresentados os materiais e os procedimentos metodológicos na elaboração do presente trabalho, procurando atender aos objetivos propostos para essa pesquisa

Para a construção da investigação foi utilizada o método dedutivo mediante metodologias que proporcionam uma análise integrada dos fenômenos naturais e sociais, conforme os princípios de Tricart (1977) e a abordagem sistêmica proposta por Christofolletti (1980), em que os meios podem ser classificados de acordo com a intensidade dos processos atuais: quando o ambiente se encontra em equilíbrio dinâmico são estáveis; os que encontram-se em desequilíbrio são altamente instáveis; e os meios intermediários podem ser ambientes que se encontram em um estado de transição que pode ser entre o estável e o instável.

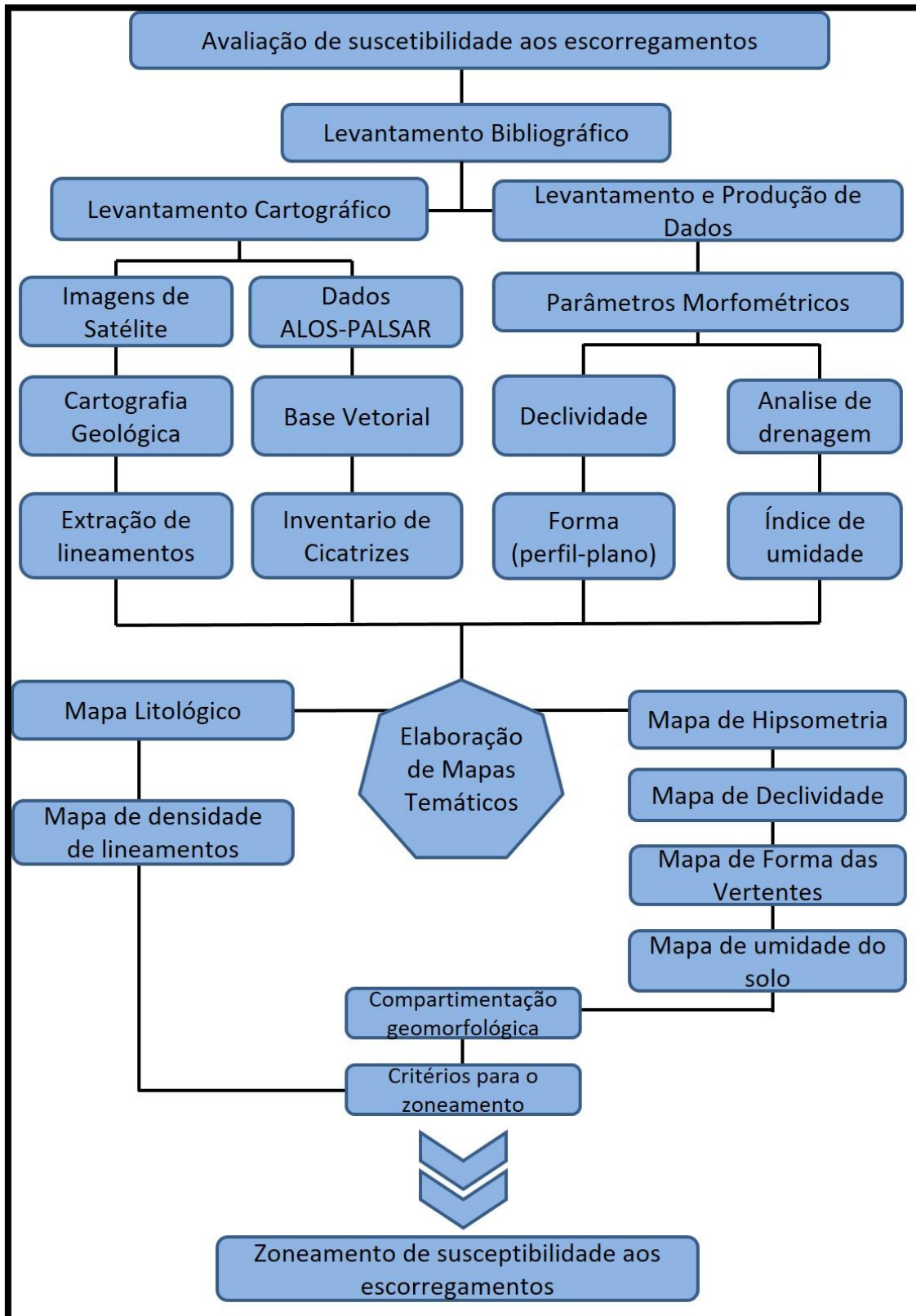
Dentro deste enfoque, segundo Libault (1971) a pesquisa geográfica propõe quatro níveis (compilatório, correlativo, semântico e normativo) por tanto, os procedimentos foram enquadrados para analisar, correlacionar, interpretar e normatizar os diversos elementos da natureza, com o intuito de compreender e observar as incidências presentes no espaço e, portanto, no fenômeno em estudo.

A metodologia proposta tem como base diversos autores que trabalham no marco da geografia física e geomorfologia, especificamente na temática de suscetibilidade aos escorregamentos.

Por sua vez, os procedimentos técnicos e operacionais utilizados no decorrer da pesquisa foram adaptados de Jimenez (2012), Madruga (2014), Cartaya et al, (2006).

Posteriormente, após a avaliação do enfoque proposto realizou-se um zoneamento de suscetibilidade a deslizamentos que represente a dinâmica natural da área de estudo através da metodologia apresentado por Jimenez (2012) e uma metodologia adaptada. Com isso, a Figura 4 apresenta o fluxograma da metodologia proposta para realizar a avaliação da susceptibilidade aos escorregamentos.

Figura 4 - Fluxograma da metodologia proposta.





#### 4.1 MATERIAIS UTILIZADOS PARA A ESTRUTURAÇÃO DO BANCO DE DADOS

- ❖ Imagens de satélite da série LANDSAT e do sensor ASTER obtidas pelo portal do *United States Geological Survey* (USGS) e do satélite Sentinel 2A através do site da Agência Espacial Europeia (ESA), as quais foram utilizadas como base para a elaboração do inventário de cicatrizes no período de tempo estabelecido (2010-2016).
- ❖ Imagens de RADAR do satélite ALOS sensor PALSAR com resolução espacial de 12,5 metros obtidas pelo site do *Alaska Satellite Facility* (ASF), para um período de tempo de 2006-2011.
- ❖ ArcGIS® 10.1, PCI *Geomatics* 2016, ENVI® 4.8, *RocksWorks* 16, SAGA GIS: *softwares* utilizados respectivamente na geração das informações do banco de dados georreferenciado e na elaboração dos mapas temáticos, análise e interpretação dos resultados obtidos. Na interface do usuário do *software* ArcGIS® 10.1 foi realizada a maior parte dos procedimentos e a edição final dos *layout* dos mapas temáticos.
- ❖ Cartas de geologia de superfície da área de estudo na escala 1:50.000 e 1:100.000 em formato *raster*, as quais foram elaboradas em diversas missões exploratórias pela empresa *Creole Petroleum Corporation* durante os anos de 1940, 1950, 1960 e 1970.
- ❖ A base cartográfica vetorial primária como limites estaduais e municipais foram espacializados a partir de informações obtidas em agências oficiais da República Bolivariana da Venezuela, cuja base foi disponibilizada pelo Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB,2015).

#### 4.2 LEVANTAMENTO E PRODUÇÃO DE DADOS

##### 4.2.1 Análise da Rede de Drenagem

A rede de drenagem da bacia do rio Neverí foi analisada morfometricamente a partir dos dados primários obtidos de forma direta do MDE. A maior parte dos processos ocorreram no *software* ArcGIS® 10.1, através da extração automática da rede de drenagem e a determinação das ordens dos cursos de água.

Os parâmetros analisados foram: Hierarquia Fluvial, Comprimento Total dos Segmentos de Canais Fluviais, Densidade de Drenagem e Índice Topográfico de Umidade.

#### *4.2.1.1 Hierarquia Fluvial*

A hierarquia fluvial da rede de drenagem adotou a proposta de classificação estabelecida por Strahler (1952, apud CHRISTOFOLETTI, 1980), onde os canais que não possuem tributários, são considerados canais de primeira ordem, o encontro de dois canais de primeira ordem originam um de segunda ordem e assim, sucessivamente.

#### *4.2.1.2 Comprimento dos Segmentos de Canais Fluviais*

Esse atributo é expressado geralmente em quilômetros e permite avaliar as alterações em termos de perda ou ganho na extensão do curso para o escoamento linear das águas no contexto das bacias hidrográficas. Para o caso da bacia do rio Neverí, calculou-se o comprimento dos segmentos de canais fluviais para realizar o cálculo da densidade de drenagem.

#### *4.2.1.3 Densidade de Drenagem*

Corresponde ao comprimento do canal de fluxo por unidade de área quadrada. É geralmente influenciado por vários fatores como geologia, clima, permeabilidade do solo, etc. Uma alta densidade de drenagem reflete uma bacia com uma resposta hidrológica rápida a eventos de precipitação, enquanto uma baixa densidade de drenagem significa uma resposta hidrológica lenta do sistema hidrográfico. Essa relação pode ser expressa com a seguinte equação:

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Onde:

*Dd* é a densidade de drenagem

$Lt$  é o comprimento total dos canais fluviais expressos em km

$A$  é a área total da bacia hidrográfica expressas em  $\text{km}^2$

#### 4.2.1.4 Índice Topográfico de Umidade

É uma variável que define a tendência de uma célula para acumular água (Gruber e Peckham, 2009). Ela está relacionada com a umidade do solo e reflete a tendência de geração de escoamento; estabelece relação com a direção de fluxo e a acumulação de fluxo, representado pela área de captação ou a área de acumulação. Esse índice é calculado a partir da expressão (BEVEN e KIRKBY, 1979).

$$TWI = \ln \left[ \frac{As}{\tan \beta} \right]$$

Onde:

$As$  é o fluxo acumulado

$\beta$  é a declividade

Essa variável é um atributo topográfico composto, trata-se de dois atributos primários. Quando a área de captação é aumentada e o gradiente diminui, o teor de umidade diminui. Ao combinar dados sobre a área de gradiente e de captação, desse índice leva-se em consideração tanto a geometria da encosta local como a localização do local de paisagem. Portanto, melhor se correlaciona com a umidade do solo que a área específica. O teor de umidade controla as acumulações de fluxo, a umidade do solo, a profundidade do lençol freático, evapotranspiração, a profundidade do solo, a matéria orgânica, teor de areia e lama, distribuição de vegetação; e por conseguinte, é muito útil em estudos de vegetação, agricultura, hidrologia e geomorfologia (KIENZLE, 2004).

A análise do índice de umidade da bacia do rio Neverí foi realizada na interface do usuário do *software* SAGA 5.0.0, no módulo *Hidrology* com a ferramenta *Topographic Wetness Index* a partir do MDE gerado das imagens de RADAR ALOS-PALSAR com resolução de 12,5 metros. O *raster* resultado foi exportado para ser reclassificado na interface do usuário do ArcGIS® 10.1 em cinco classes através da

ferramenta *Reclassify*. Diante disso, foi realizada a quantificação das classes em hectares (ha) e em valores percentuais (%).

## 4.2.2 Análise do Relevo

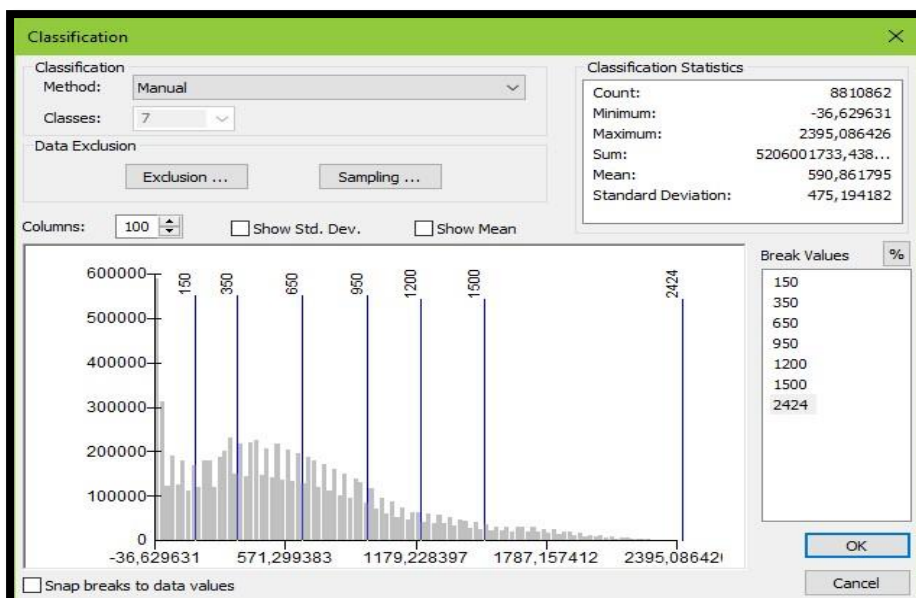
### 4.2.2.1 Hipsometria

A análise hipsométrica da bacia do rio Neverí, foi realizada a partir da análise do MDE que possibilitou estipular sete classes hipsométricas representadas em altitudes: <150 metros, 150-350 metros, 350-650 metros, 650-950 metros, 950-1200 metros, 1200-1500 metros, 1500-2395 metros.

O MDE foi gerado das imagens de RADAR ALOS-PALSAR com resolução de 12,5 metros, através da utilização da ferramenta *Reclassify* do ArcGIS® 10.1, de acordo com as classes hipsométricas definidas anteriormente.

A Figura 5 representa o histograma de frequência criado a partir da interface do usuário no *software* ArcGIS® 10.1, com a respectiva distribuição das frequências hipsométricas da bacia do rio Neverí.

Figura 5 - Distribuição da frequência das classes hipsométricas.



#### 4.2.2.2 Declividade

O principal parâmetro de análise na estabilidade de declividade é o ângulo da declividade. Como o ângulo da declividade está diretamente relacionado com a ocorrência de movimentos de massa, usa-se frequentemente na preparação de mapas de suscetibilidade aos escorregamentos (CEVIK e TOPAL, 2003; YALCIN, 2008).

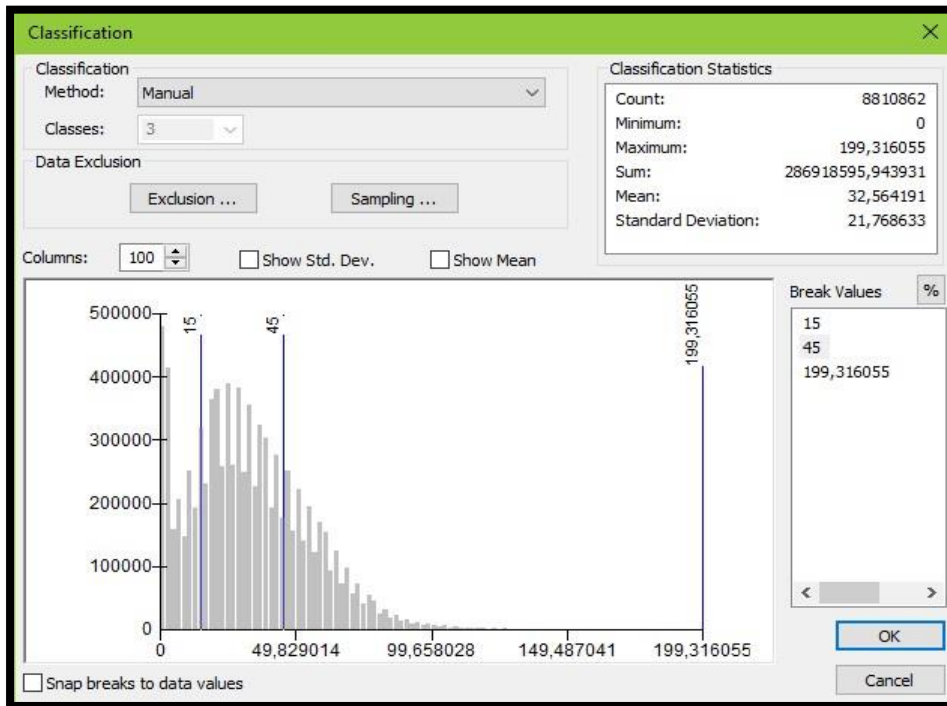
A avaliação deste parâmetro é realizada através da plataforma ArcGIS® 10.1, através do módulo *Spatial Analyst* com a ferramenta *Slope* gerada através do polinômio de Horn (1981), onde o insumo primário desta avaliação é a partir de imagens retificadas de Radar ALOS-PALSAR, com uma resolução espacial de 12,5 metros.

Nesse sentido, para a bacia do rio Neverí foram definidas três classes de declividades as quais expressam o comportamento das encostas na área de estudo. Diante disso, foram definidas as seguintes classes de declividades: 0%-15%; 15%-45%; >45%, que seguem a proposta de classificação estabelecida pelo método de análises de distribuição da declividade (AUAEV, 2005).

Posteriormente, o arquivo *raster* foi reclassificado com a ferramenta *Reclassify* do ArcGIS® 10.1 o que possibilitou a quantificação das classes de declividade na bacia do rio Neverí.

Por sua vez, na Figura 6 é apresentado o histograma de frequência criado a partir da interface do usuário no *software* ArcGIS® 10.1 com a distribuição da frequência das classes de declividade para a bacia do rio Neverí.

Figura 6 - Distribuição das frequências das classes de declividade e os valores estabelecidos na bacia do rio Neverí.



Fonte: Interface do Usuário do ArcGIS® 10.1 (2017)

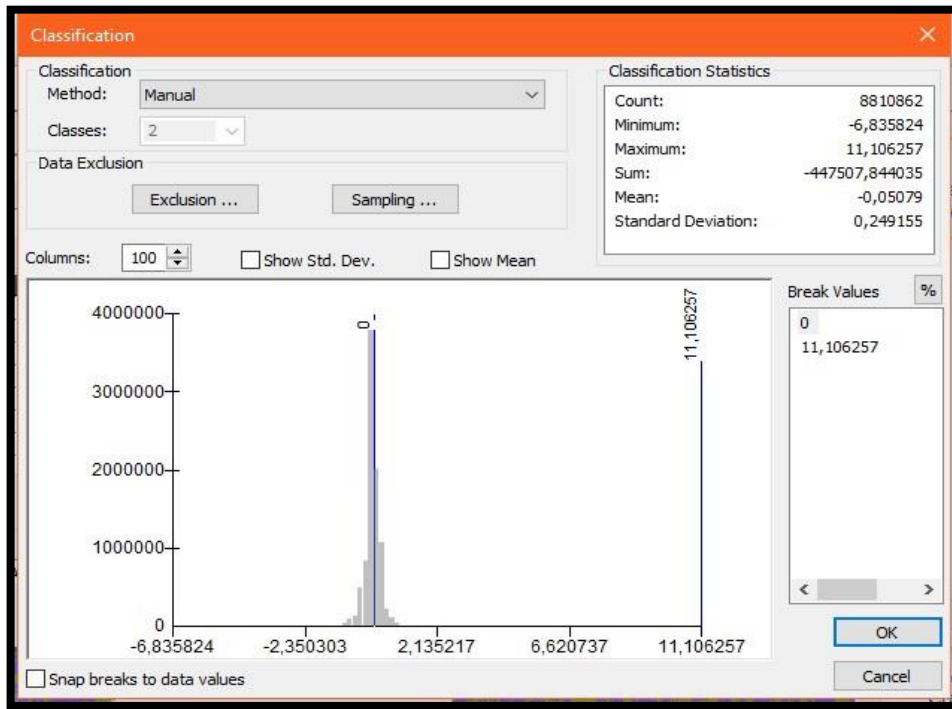
#### 4.2.2.3 Curvatura das Encostas

Esse atributo topográfico exerce uma influência marcada no desenvolvimento dos movimentos de massa, uma vez que se condiciona a partir do fluxo de água e dos materiais sólidos ao longo das encostas (MONTGOMERY et al,1997).

A avaliação da curvatura foi realizada mediante a utilização da plataforma de ArcGIS® 10.1 no módulo de *Spatial Analyst* com a ferramenta *Curvature*, onde o insumo primário desta avaliação é a partir de imagens retificadas de RADAR ALOS PALSAR, com uma resolução espacial de 12,5 metros, onde se obtêm dois produtos preliminares, que referem-se ao perfil de curvatura e o plano de curvatura.

O perfil da curvatura foi analisado através do histograma de frequência, onde foram classificados os valores negativos (<0,00) para as vertentes convexas e valores positivos (>0,00) para as vertentes côncavas, conforme é apresentado na Figura 7.

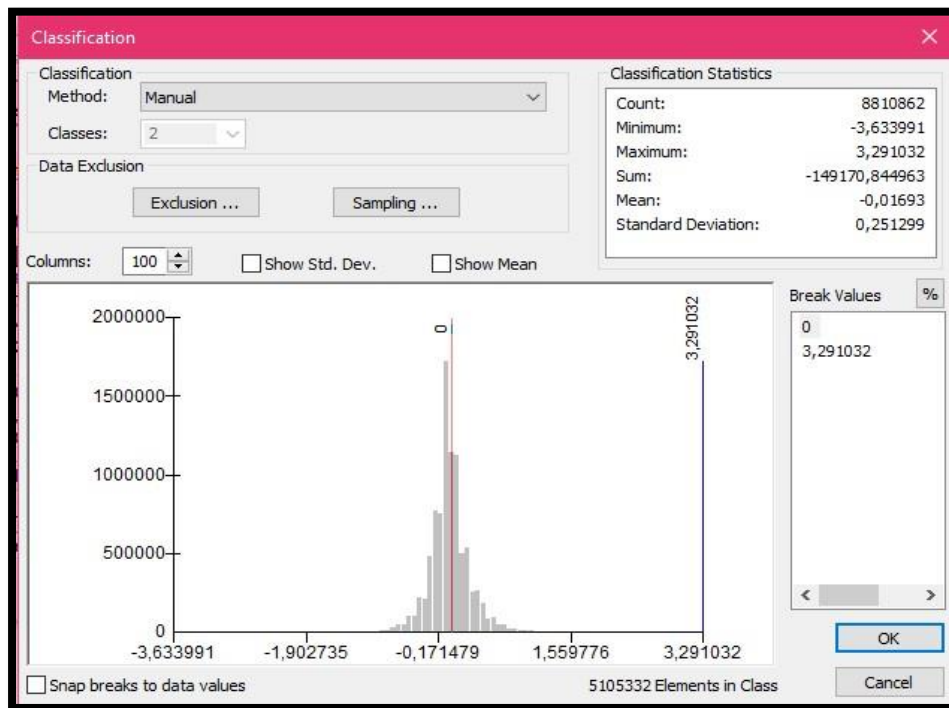
Figura 7 - Distribuição do histograma de frequência na definição do perfil de curvatura das vertentes.



Fonte: Interface do Usuário do ArcGIS® 10.1 (2017)

O plano de curvatura foi classificado com base no histograma de frequência, onde foram definidos os valores negativos ( $<0,00$ ) para as vertentes convergentes e os valores positivos ( $>0,00$ ) para as vertentes divergentes. Na Figura 8 é apresentado a distribuição do histograma de frequências do plano de curvatura.

Figura 8 - Distribuição do histograma de frequências para a definição do plano de curvatura de vertente na bacia do rio Neverí.



Fonte: Interface do Usuário do ArcGIS® 10.1 (2017).

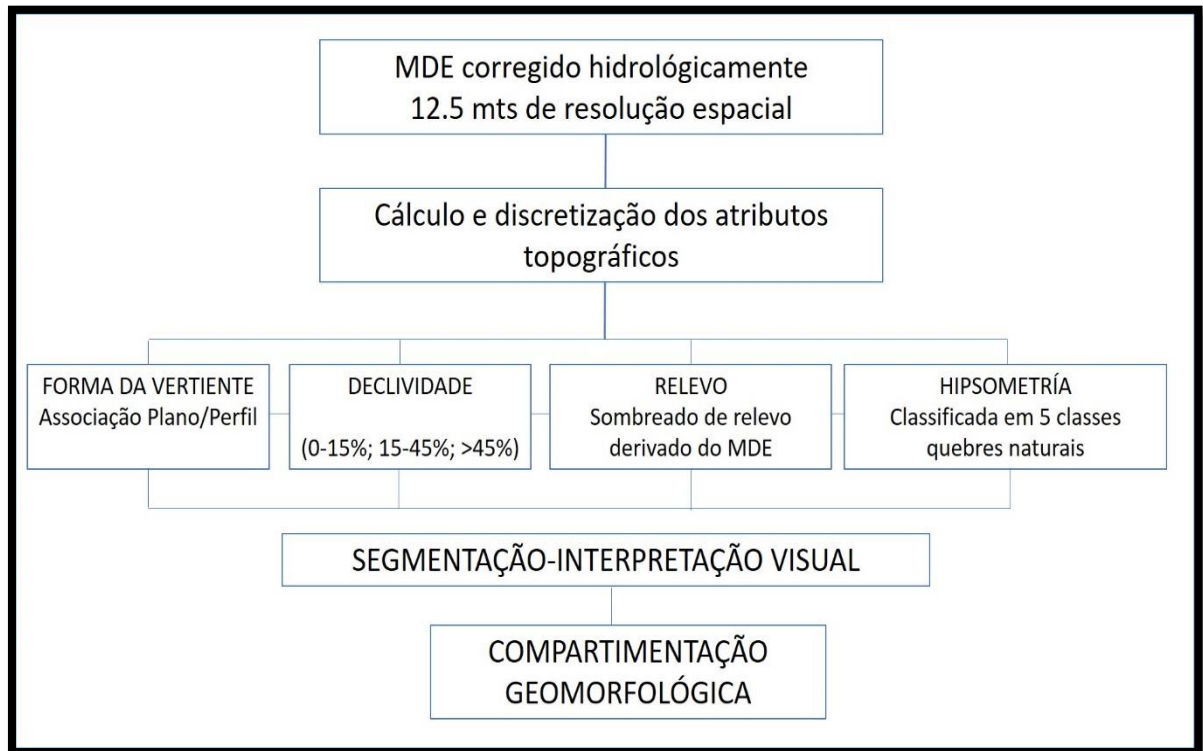
#### 4.2.2.4 Compartimentação Geomorfológica

A compartimentação geomorfológica da bacia do rio Neverí realizou-se a partir da proposta de mapeamento automatizado (Silveira e Silveira, 2013), conforme os preceitos de Iwasahi e Pike (2007). O relevo da área de estudo foi analisado com base no cruzamento de índices topográficos gerados através do ambiente de sistemas de informações geográficas e hierarquizados através de uma árvore de decisão com base na resposta da área de estudo e nas variáveis morfométricas: altitude, declividade, plano de curvatura, perfil de curvatura e sombreado do relevo.

Esse processo foi realizado com as combinações dos atributos topográficos, onde cada uma das variáveis determina as possibilidades do agrupamento em sete unidades geomorfológicas. Na Figura 9 apresenta-se a sequência metodológica da compartimentação geomorfológica.



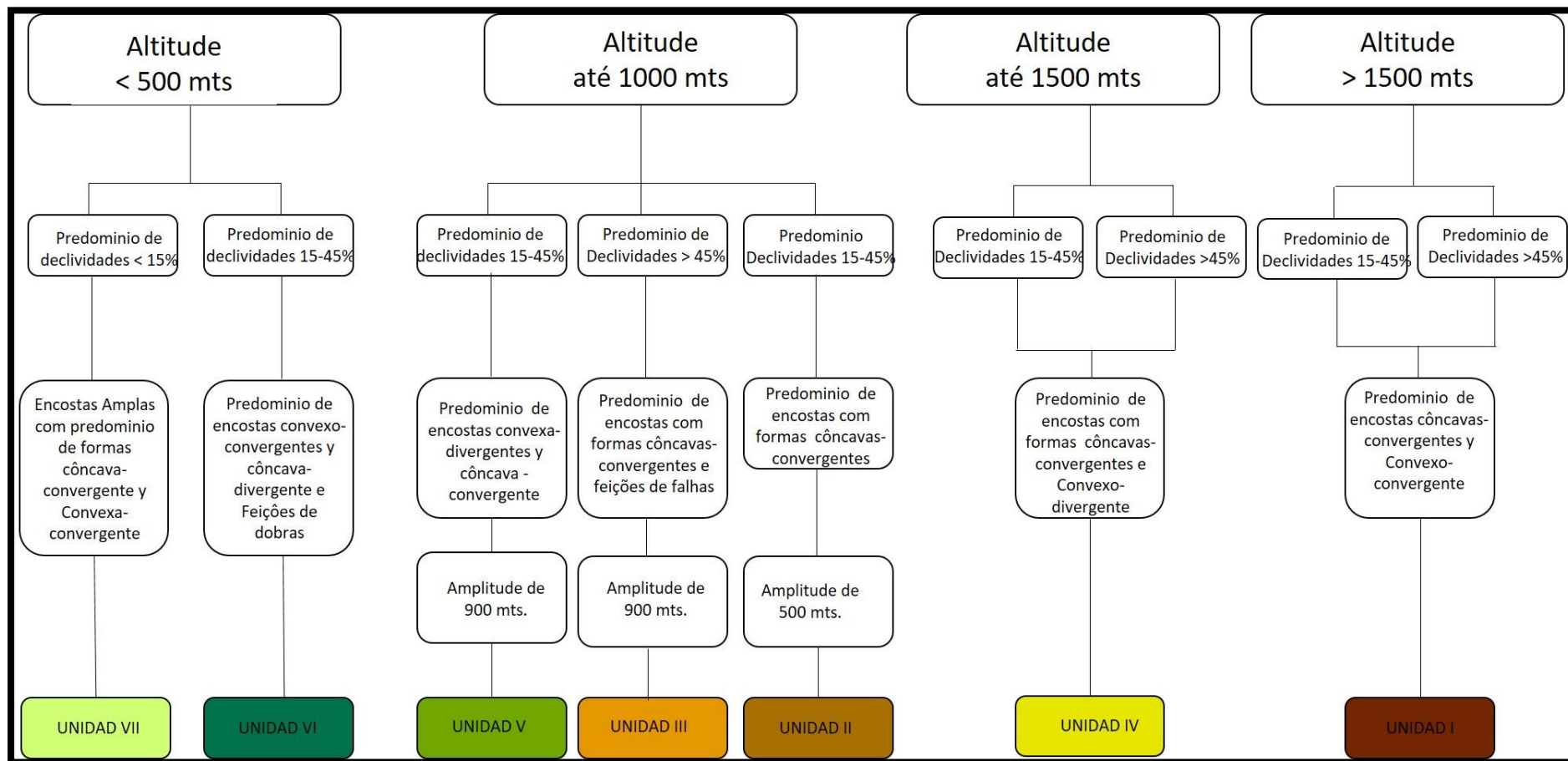
Figura 9 - Sequência metodológica utilizada para a compartimentação geomorfológica da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Frente a isso, logo após a aplicação da sequência metodológica da compartimentação geomorfológica; o processo de delimitação das unidades geomorfológicas baseou-se na resposta dos atributos topográficos e assim, obteve-se as sete unidades com as características apresentadas na Figura 10.

Figura 10 - Processo de delimitação das unidades geomorfológicas com base nos atributos topográficos.



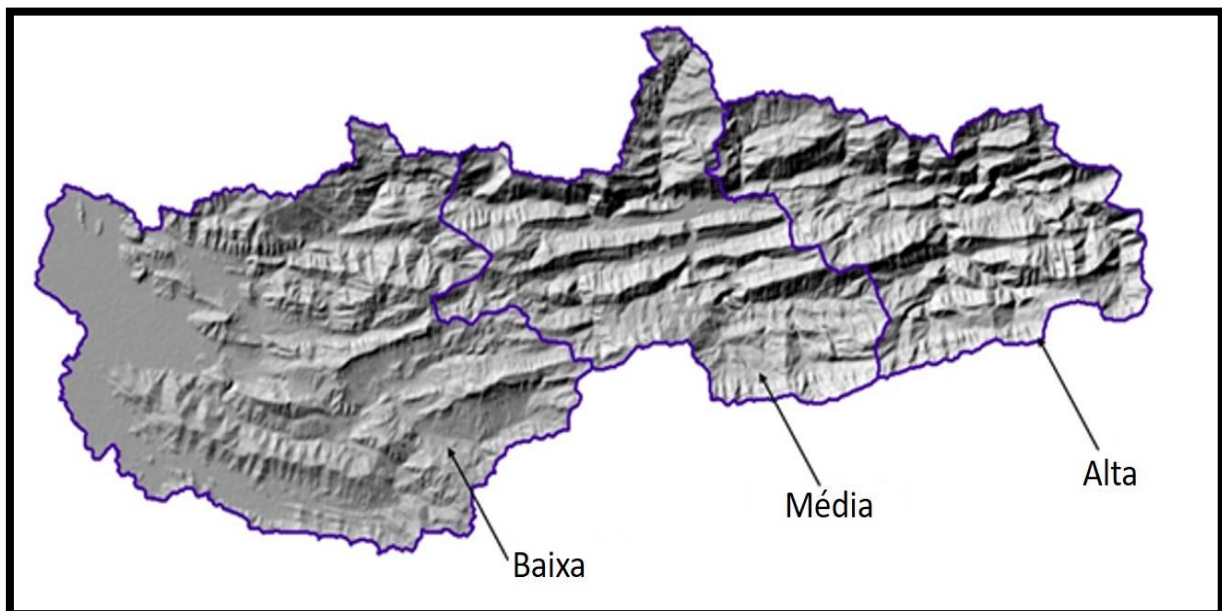
Fonte: Elaborado pela autora (2017).

#### 4.2.3 Análise Hipsométrica da Bacia Hidrográfica a partir da curva e da integral hipsométrica

A análise hipsométrica da bacia como sistema hidrográfico realizou-se para conhecer o comportamento do volume de massa que apresenta a bacia do rio Neverí e a evolução do sistema hidrográfico. A análise das curvas e as integrais hipsométricas foi realizado através da ferramenta *CalHypso* inserida na interface do usuário do ArcGIS® 10.1. A ferramenta foi elaborada para realizar a extração automática da curva hipsométrica e calcula sua integral hipsométrica e os momentos estadísticos do sistema hidrografico (PÉREZ-PEÑA, AZAÑÓN e AZOR, 2009).

A análise das curvas hipsométricas e os momentos estatísticos permitem conhecer como é o processo evolutivo do sistema hidrográfico. Diante disso, a bacia do rio Neverí foi compartimentada em três partes (alta, meia e baixa) para analisar quantitativamente sua dinâmica como sistema (Figura 11).

Figura 11 - Compartimentação da bacia do rio Neverí.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

#### 4.2.4 Análise estrutural e densidade de lineamento

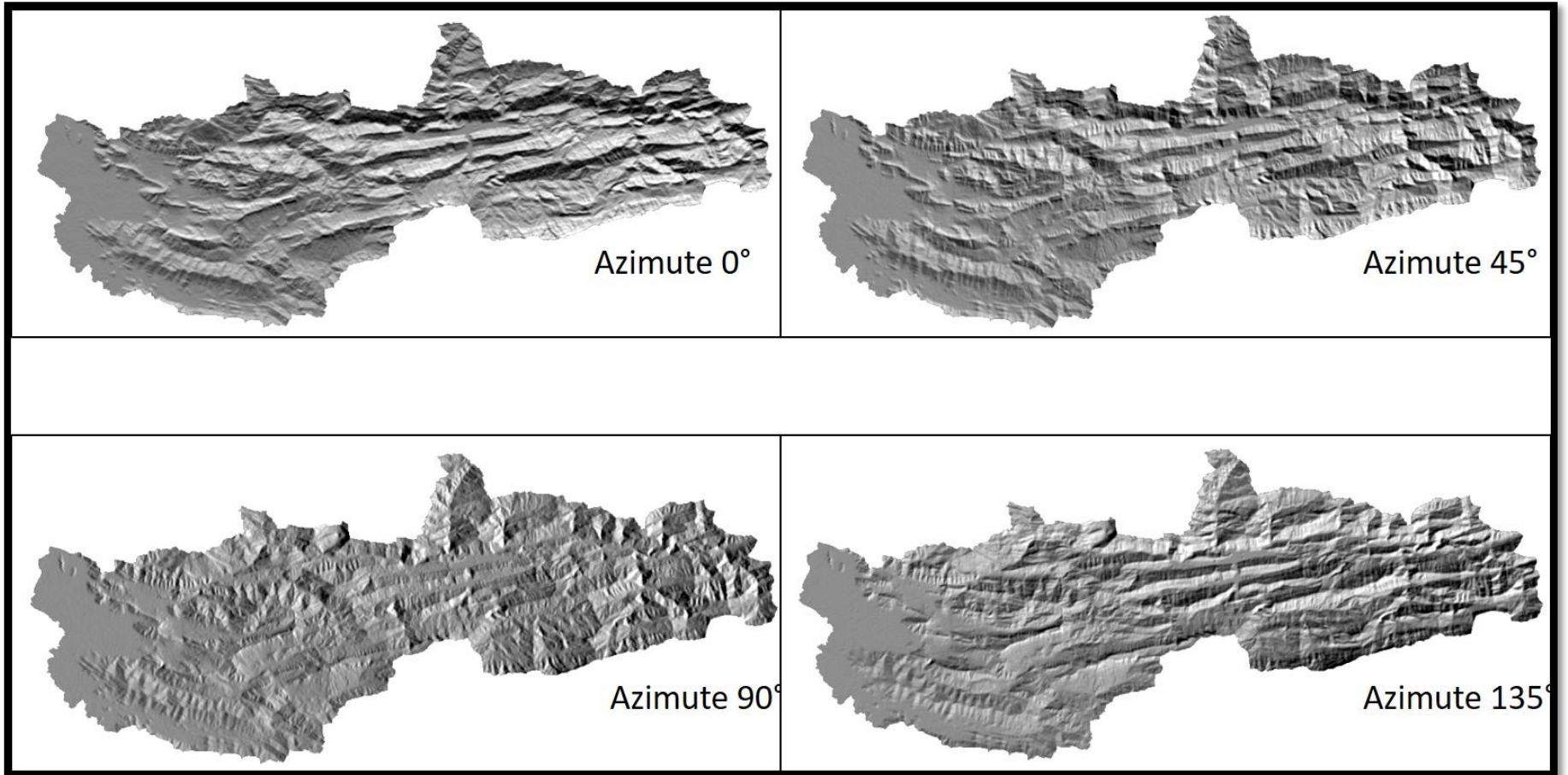
Um lineamento é definido como um segmento linear ou ligeiramente curvo com expressão regional, que pode ser observada em uma imagem mediante uma variação nos tons.

O'leary, Friedman e Pohn (1976) descrevem o termo lineamento como um segmento linear simples ou composto de uma superfície cujas partes são alinhadas em uma trama linear ou ligeiramente curvas, as quais diferem dos padrões de seções adjacentes e provavelmente refletem algum fenômeno de subsuperficial, o qual é possível ser cartografado.

A elaboração do mapa de lineamentos vem dada como produto do contexto geológico regional da área de estudo, auxilia na interpretação da morfodinâmica da bacia hidrográfica assim como também auxilia no arranjo cinemático, tanto em terrenos sedimentares ou cristalinos (CONCEIÇÃO e SILVA, 2013).

A extração automática dos lineamentos presentes na área de estudo, foi realizada através do *software* PCI Geomatics 2016 no algoritmo *Line* no módulo *Focus*. Primeiramente foram geradas quatro imagens sombreadas do relevo derivadas do MDE, as quais levaram em consideração os seguintes valores de azimute (0°; 45°, 90° e 135°). O processo foi realizado na interface do usuário de ArcGIS® 10.1 no módulo *Spatial Analyst Tool* na ferramenta *Hillshade*. A Figura 12 apresenta as imagens resultantes, as quais referem-se ao relevo sombreado com os valores de azimute (0°; 45°, 90° e 135°) na bacia do rio Neverí.

Figura 12 - Sombreados do relevo obtidos pelo processamento do MDE da bacia do rio Neverí.



Fonte: Interface do usuário do ArcGIS® 10.1 (2017)

Os sombreados do relevo foram inseridos na interface do usuário do PCI Geomatics 2016 no módulo *Focus* e realizada a extração automática dos lineamentos. Este procedimento consiste em transformar feições lineares contidas nas imagens em um segmento vetorial de modo automático. O *Line* é controlado por parâmetros globais cujos valores são pré-definidos ou alterados pelo usuário. Esses parâmetros inseridos no algoritmo *Line* foram os seguintes (KIRAN e AHMED, 2014):

- ❖ *Filter Radius (Pixels)* = 10
- ❖ *Edge Gradient Threshold* = 100
- ❖ *Curve Length Threshold (Pixels)* = 30
- ❖ *Line Fitting Error Threshold (Degrees)* = 3
- ❖ *Angular Difference Threshold (Degrees)* = 30
- ❖ *Linking Distance Threshold (Pixels)* = 20

Por sua vez, obteve-se os vetores dos lineamentos presentes na bacia do rio Neverí nas orientações (0°, 45°, 90° e 135°) oriundo das imagens sombreadas do relevo com resolução espacial de 12,5 metros. A partir disso, os vetores foram processados na interface do usuário de ArcGIS® 10.1 para obter os vetores finais e elaborar a densidade de lineamentos na bacia do rio Neverí.

No processo de elaboração da densidade de lineamentos foram utilizados os vetores obtidos automaticamente das imagens de sombreado do relevo através da interface do usuário de ArcGIS® 10.1 no módulo *Spatial Analyst* na ferramenta *Line Density*. Dessa forma, o resultado foi a densidade de lineamentos presente na bacia do rio Neverí expressa em km/km<sup>2</sup>.

A partir do *raster* de densidade de drenagem realizou-se a classificação com a ferramenta *Reclassify* e obteve-se a quantificação em quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>) e os percentuais da superfície total da bacia.

Para conhecer a direção preferencial dos lineamentos obtidos foi utilizado o *software RockWorks* 2016 e os vetores da extração automática de lineamentos elaborou-se os diagramas de rosetas para cada valor de azimute considerado nos sombreados do relevo. Dessa forma, obteve-se a direção dos lineamentos para cada domínio estrutural.

#### 4.2.5 Análise das litologias

A análise da distribuição das litologias encontradas na bacia do rio Neverí, foi realizada com base na cartografia de geologia de superfície desenvolvida pela *Creole Petroleum Corporation* na escala 1:50.000 e 1:100.000 com auxílio de alguns trabalhos de graduação da engenharia geológica desenvolvidos em regiões próximas da área de estudo.

A estrutura geológica é determinante no desenvolvimento do relevo; as formas topográficas são uma manifestação direta das estruturas geológicas presentes. A estrutura tem relação, por sua vez, com a composição mineralógica que pode ser associado à maior ou menor resistência das rochas ante o intemperismo; em consequência, na natureza há rochas de grande resistência, que cria relevos elevados que realçam sobre aqueles constituídos por rochas menos resistentes (SUAREZ, 1998).

#### 4.2.6 Inventário de Cicatrizes

Para realizar o inventário foi realizada a consulta de registros de eventos associados a deslizamentos na área correspondente à bacia do rio Neverí para um período recente de seis anos (2010-2016), partindo dos registros apresentados pelo Projeto "Recopilação e Socialização de Informação existente no País", o qual é desenvolvido atualmente pela *Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas* (FUNVISIS) e que são apresentados no Quadro 3 e na Figura 13.

Objetivou-se espacializar a informação recopilada mediante os registros coletados e foi realizada a seleção das imagens de satélite correspondentes às datas estabelecidas nestes registros e desta forma proceder a realizar a interpretação visual para detectar as cicatrizes associadas aos escorregamentos.

A seleção de imagens de satélite para avaliar cicatrizes de escorregamentos utilizou datas com ocorrência de eventos nos registros presentes no inventário nacional de riscos (FUNVISIS, 2016), obtidas pelo portal do USGS, disponível em: <<http://glovis.usgs.gov/>>. As imagens utilizadas foram dos satélites LANDSAT 8 (30 metros de resolução), ASTER (15 metros) e sentinel 2A. Nos casos que tiveram concordância com as datas de eventos extremos (chuvas intensas) e nas imagens em combinação de bandas do espectro visível não foram visualizadas cicatrizes, optou-

se por aplicar o NDVI procurando marcas de solo exposto e ter uma tentativa de associação com cicatrizes de escorregamentos.

Uma vez interpretadas as imagens de satélite obtiveram-se um arquivo de tipo vetorial, o qual foi inserido no banco de dados para a posterior fase de análise e validação do modelo de susceptibilidade.

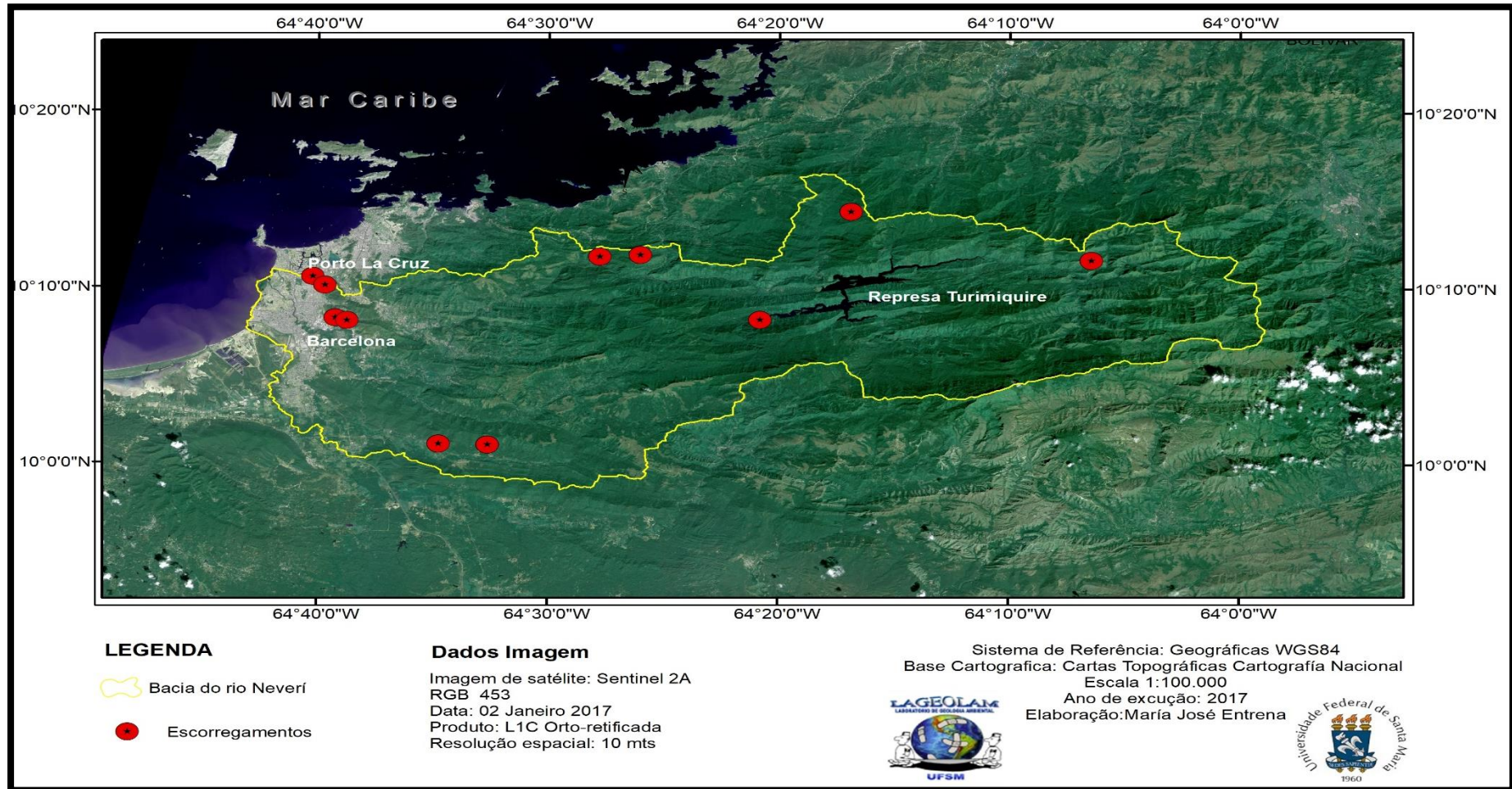
Quadro 3 - Catálogo de eventos que serviram de base para analisar imagens com registros de cicatrizes.

<b>Data</b>	<b>Tipo de evento</b>	<b>Evento</b>	<b>Causas</b>	<b>Localização</b>
28/05/2010	Movimento em Massa	Escorregamento	Chuvas Intensas	Cerro Colorado
02/08/2010	Hidrometeorológico	Inundação	Chuvas Intensas	Zona Industrial Los Montones
26/11/2010	Movimentos em Massa	Escorregamento	Chuvas Intensas	Cerro Colorado
10/01/2011	Movimentos em Massa	Escorregamento	Chuvas Intensas	Setor Ezequiel Zamora
10/08/2011	Hidrometeorológico	Escorregamento	Chuvas Intensas	Puente Ayala
25/5/2012	Hidrometeorológico	Inundação	Chuvas Intensas	Barcelona
14/06/2012	Hidrometeorológico	Inundação	Chuvas Intensas	Barcelona
17/12/2013	Hidrometeorológico	Inundação	Chuvas Intensas	Barcelona
10/07/2014	Hidrometeorológico	Inundação	Onda Tropical	Barcelona
21/09/2014	Hidrometeorológico	Inundação	Chuvas Intensas	Barcelona
18/04/2015	Hidrometeorológico	Inundação	Chuvas Intensas	Porto La Cruz
18/09/2015	Hidrometeorológico	Inundação	Chuvas Intensas	Villa La Caraqueña

Fonte: FUNVISIS (2016).



Figura 13 - Localização dos escorregamentos na área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

### 4.3 CORRELAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

O cruzamento e a correlação das informações produzidas, permitiram obter uma cartografia preliminar no diagnóstico ambiental da área de estudo para a definição do zoneamento de susceptibilidade aos escorregamentos na bacia do rio Neverí.

Esse processo de correlação das informações foi determinado pela aplicação do modelo de susceptibilidade aos escorregamentos *Susceptibility Model* (Jiménez, 2012) e um adaptado denominado morfométrico-estrutural. Diante disso, destaca-se que o cruzamento das informações obtidas no decorrer das etapas iniciais da pesquisa foi realizado no *software* ArcGIS® 10.1 onde ocorreu o gerenciamento e combinação dos *layers*.

#### 4.3.1 Modelo de Jiménez, a Susceptibilidade aos Escorregamentos

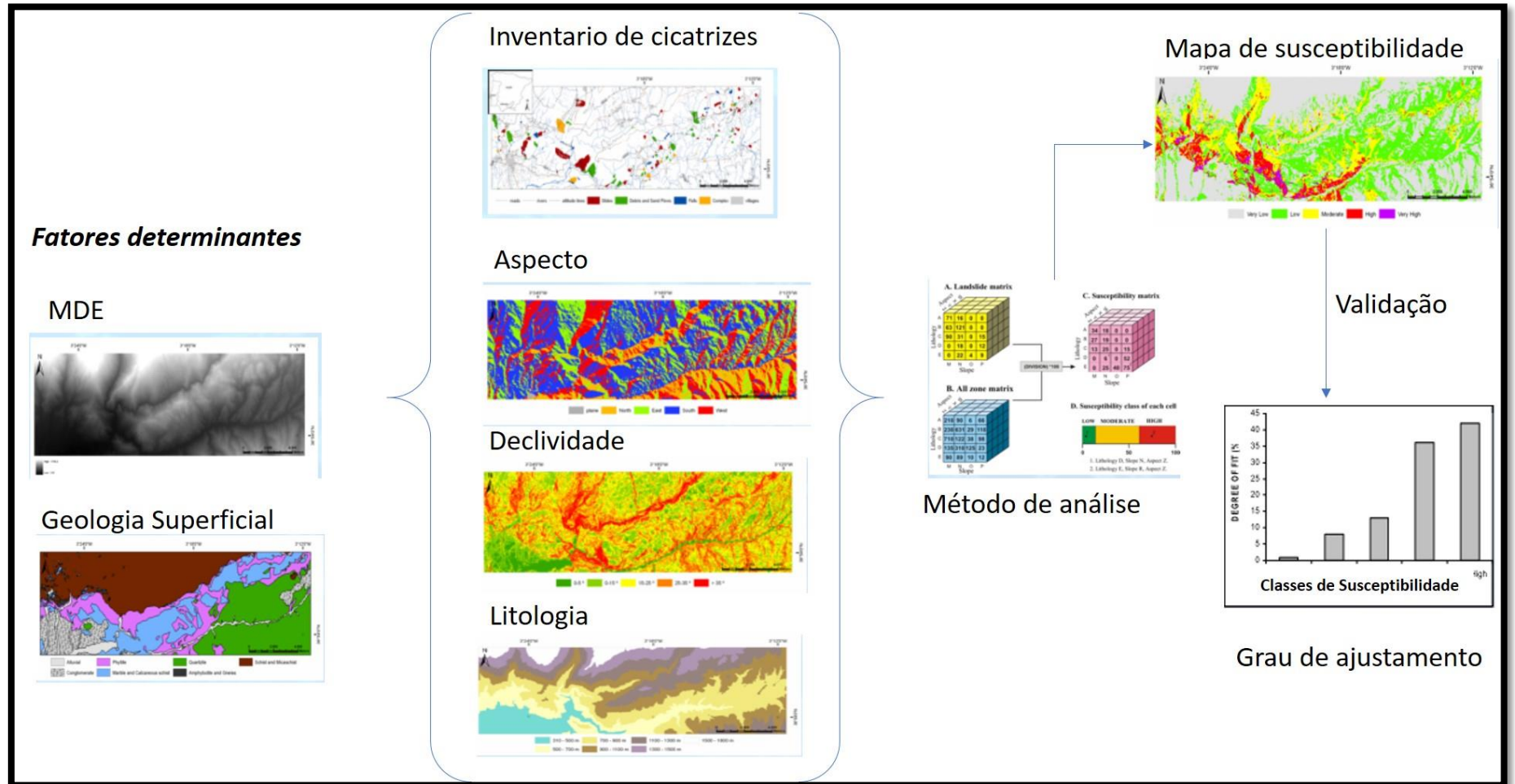
O modelo *Susceptibility Model* baseia-se na análise estatística bivariada, contemplando a análise cruzada de mapas de fatores determinantes e a frequência espacial de movimentos de massa. Na presente pesquisa foram considerados os escorregamentos como um dos tipos de movimentos de massa que podem ser avaliados com esse modelo.

Diante disso, o modelo permite uma avaliação do índice de instabilidade numa zona específica, ainda que não é capaz de prever a suscetibilidade aos movimentos de massa em termos de probabilidade absoluta (Figura 14).

No entanto, ele permite avaliar a possível instabilidade relativa em uma região ampla utilizando uma série de fatores condicionantes a estes processos de movimentos de massa.

A análise da susceptibilidade aos escorregamentos realizou-se mediante o método da matriz, que corresponde a uma técnica de análise estatística bivariada, suficientemente validado e contrastado (MAHARAJ, 1993; FERNANDEZ, 1999; CLERICI, 2002).

Figura 14 - Determinação da susceptibilidade aos escorregamentos através do modelo de susceptibilidade.



Fonte: Modificado de Jiménez (2012).

O modelo de suscetibilidade conduz ao usuário primeiro através de um MDE, que mostra as características morfológicas e morfométricas da área de estudo, tais como, a elevação, o ângulo de declividade e orientação das vertentes (aspecto). Além disso, outro fator determinante é a litologia, o qual é independente dos insumos gerados pelo MDE. Uma vez que se obtêm os fatores determinantes são reclassificados e se obtêm um arquivo em formato vetorial, além de todas as combinações entre as classes destes fatores se determinam utilizando as capacidades de geoprocessamento de ArcGIS® 10.1.

O próximo passo para o desenvolvimento do modelo de suscetibilidade a escorregamentos consiste em identificar as áreas afetadas por uma superfície dada de ruptura (isto é, a área da fonte) e portanto, para cada combinação das classes de fatores determinantes. Esse passo conduz à matriz de escorregamentos baseada em um banco de dados de escorregamentos da bacia, onde se distinguem duas classes simples: com ou sem escorregamentos.

Na última etapa, para construir um modelo de suscetibilidade a escorregamentos, são calculados as porcentagens de área afetada por escorregamentos em combinação dos fatores determinantes e no mapa de suscetibilidade aos escorregamentos resultante obtém-se um zoneamento progressivo de áreas cada vez mais propensas a escorregamentos.

#### **4.3.2 Modelo morfométrico estrutural de susceptibilidade aos escorregamentos**

O modelo contemplado por Jiménez (2012) dentro dos fatores condicionantes, como se menciona anteriormente, não inclui a forma das vertentes, é por esta razão que se propõem, adicionalmente, um modelo concebido no qual o fator condicionante principal é a declividade somada ao comportamento das formas das encostas, já que fornecem informação relevante à dinâmica hidrológica do sistema hidrográfico. Além disso, o pouco número de cicatrizes identificados, pode provocar incongruências.

Na Tabela 2 apresenta-se as informações utilizadas no modelo morfométrico – estrutural de susceptibilidade aos escorregamentos

Tabela 2 - Informações contempladas no modelo morfométrico – estrutural de susceptibilidade aos escorregamentos.

<b>Declividade</b>	<b>Forma das Vertentes</b>	<b>Densidade de Lineamentos</b>	<b>Índice de Umidade</b>
1) 0%-15%	1) Divergente-Convexa	1) 0-2 L/km <sup>2</sup>	1) Escoamento Baixo
2) 15%-45%	2) Divergente-Côncava	2) 2-4 L/km <sup>2</sup>	2) Escoamento Médio
3) >45%	3) Convergente-Convexa	3) 4-6 L/km <sup>2</sup>	3) Escoamento Alto
-	4) Convergente-Côncava	4) 6-9 L/km <sup>2</sup>	4) Escoamento Muito Alto

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Na primeira etapa do modelo morfométrico – estrutural de susceptibilidade aos escorregamentos, foram estabelecidos diferentes níveis de suscetibilidade dependendo da declividade, da forma das vertentes; da densidade de lineamentos e do índice de umidade. Considerou-se quatro tipos de susceptibilidade aos escorregamentos (baixa, moderada, alta muito alta) diante o processo de standardização dos parâmetros morfométricos e estrutural.

Para o fator da declividade, considerado por diversos estudos como o principalmente utilizado em estudos de escorregamentos se estabelece uma ponderação onde exerce uma influência duas vezes maior que a forma das vertentes. Na equação abaixo expressa-se o cruzamento das informações correspondentes aos parâmetros morfométricos selecionados para o modelo de susceptibilidade (QUESADA e BARRANTES, 2017):

$$MMESE = \frac{D + FV + DL + TWI}{4}$$

Onde:

*MMESE* Modelo Morfométrico-Estrutural de Susceptibilidade aos Escorregamentos

*D* Declividade

*FV* Forma das Vertentes

*DL* Densidade de Lineamentos

*TWI* Índice Topográfico de Umidade



O cruzamento das informações foi realizado através dos pesos apresentados na Figura 15.

Figura 15 - Atribuição dos pesos aos parâmetros morfométricos e estruturais selecionados para o modelo de susceptibilidade.

Declividade	Peso	Forma de Vertente	Peso
0% - 15%	2	Divergente – Convexa	1
15% - 45%	4	Divergente – Côncavo	2
> 45%	6	Convergente – Convexa	3
		Convergente – Côncavo	4
Índice de Umidade	Peso	Densidade de Lineamentos	Peso
Escoamento Baixo	1	1- 0 – 2 L / km <sup>2</sup>	1
Escoamento Meio	2	2- 2 – 4 L / km <sup>2</sup>	2
Escoamento Alto	3	3- 4 – 6 L / km <sup>2</sup>	3
Escoamento Muito Alto	4	4- 6 – 9 L / km <sup>2</sup>	4

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Da análise do mapa de densidade de lineamentos definiu-se zonas com abundantes fraturas e lineamentos. Os lineamentos correspondem a todos os elementos lineares, em geral aproximadamente retilíneos ou levemente curvilíneos, que interessam à superfície topográfica e estão relacionados com fenômenos geológicos que afetam ao substrato.

Todas as etapas mencionadas foram desenvolvidas em ambiente de SIG's para o ArcGIS® 10.1 para gerar o mapa resultante do modelo morfométrico-estrutural de susceptibilidade aos escorregamentos.

#### 4.4 ZONEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE AOS ESCORREGAMENTOS NA BACIA DO RIO NEVERÍ

A sínteses de todas as informações coletadas, analisadas e interpretadas no decorrer do trabalho, são apresentadas em um mapa de susceptibilidade aos escorregamentos na escala 1:50.000 que representa o zoneamento de susceptibilidade, utilizando a proposta de Jiménez (2012) e a proposta morfométrica-estrutural.

A presença de escorregamentos é um fenômeno sujeito a muitos graus de incerteza, pois incluem diferentes tipos de movimentos, velocidades, materiais, restrições geológicas, etc. O valor do fator de segurança, pode não ser confiável, especialmente quando existem incertezas em relação aos dados para a análise, incertezas dos modelos matemáticos e as incertezas humanas.

O zoneamento de suscetibilidade permite avaliar, parcialmente, essa incerteza e é uma ferramenta muito útil para a tomada de decisões, especialmente, nas primeiras etapas de planejamento de um projeto. O zoneamento consiste na divisão do terreno em áreas homogêneas e a qualificação da cada uma destas áreas de acordo com o grau real ou potencial.

Não existe um procedimento padronizado para a preparação de mapas de suscetibilidade aos deslizamentos e os níveis de susceptibilidade variam de acordo com os critérios dos diversos autores.

Portanto, destaca-se que o zoneamento de susceptibilidade aos escorregamentos na bacia do rio Neverí, fundamenta-se em uma análise integrada dos componentes naturais a partir de uma caracterização dos elementos básicos que foram através de cartografia e interpretação.





## 5 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO

O espaço geográfico da área de estudo é caracterizado por quatro formas de paisagem, que são: planície litorânea, montanhas, vales e planos; uma rede hidrográfica conformada pelas bacias hidrográficas de Unare, Uchire, Neverí, cuja rede drenam ao Mar do Caribe, e por uma região com altas temperaturas que oscilam entre 25°C e 27, 5°C; e possui uma variedade de coberturas vegetais (MARN, 1991).

### 5.1 ANÁLISE DA REDE HIDROGRÁFICA

A bacia do rio Neverí é um sistema hidrográfico composto por diversos arroios e rios. Na sua margem esquerda encontra-se os rios Aragua, Capiricual e Naricual nas porções oeste e sudoeste da bacia. Na margem direita são seus afluentes o Rio Guamal, Rio Colorado, Arroio Veja Grande, Arroio Chuponal, Arroio Alambique, Arroio La Peña, Arroio Provisor e transversalmente é drenado pelo Rio del Medio, Rio Campo Solo, Rio Negro, Rio Zumbador, Rio El Guayabo, Arroio Bajo Negro, Arroio Pekin, Arroio Coricual.

A área de contribuição da bacia corresponde com a área total (137.669,72 ha). O sistema hidrográfico apresenta de maneira geral um padrão de drenagem retangular-dendrítico controlado pelas falhas presentes, com a característica do paralelismo em seus afluentes principais. Na Tabela 3 são apresentados os dados de hierarquização e quantificação dos segmentos de canais fluviais e a densidade de drenagem da bacia do Rio Neverí.

Tabela 3 - Dados dos segmentos de canais fluviais hierarquizados na área de estudo.

Ordem	Densidade de Drenagem (km/km <sup>2</sup> )	Área (Ha)	Porcentagem (%)
1 <sup>a</sup>	0- 0,35	18507,92	13,44
2 <sup>a</sup>	0,35 – 0,71	34783,84	25,27
3 <sup>a</sup>	0,71- 1,02	38993	28,33
4 <sup>a</sup>	1,02 – 1,39	32101,20	23,32
5 <sup>a</sup>	1,39 – 2,37	13272,72	9,64
<b>Total</b>	-	<b>137.669,72</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

A densidade de drenagem é um valor que se encontra controlado pelas características litológicas (permeabilidade), estruturais dos materiais, pela densidade de vegetação e os fatores climáticos. Na Figura 16 apresenta-se a distribuição espacial da densidade de drenagem na bacia do rio Neverí distribuído por ordem dos canais fluviais.

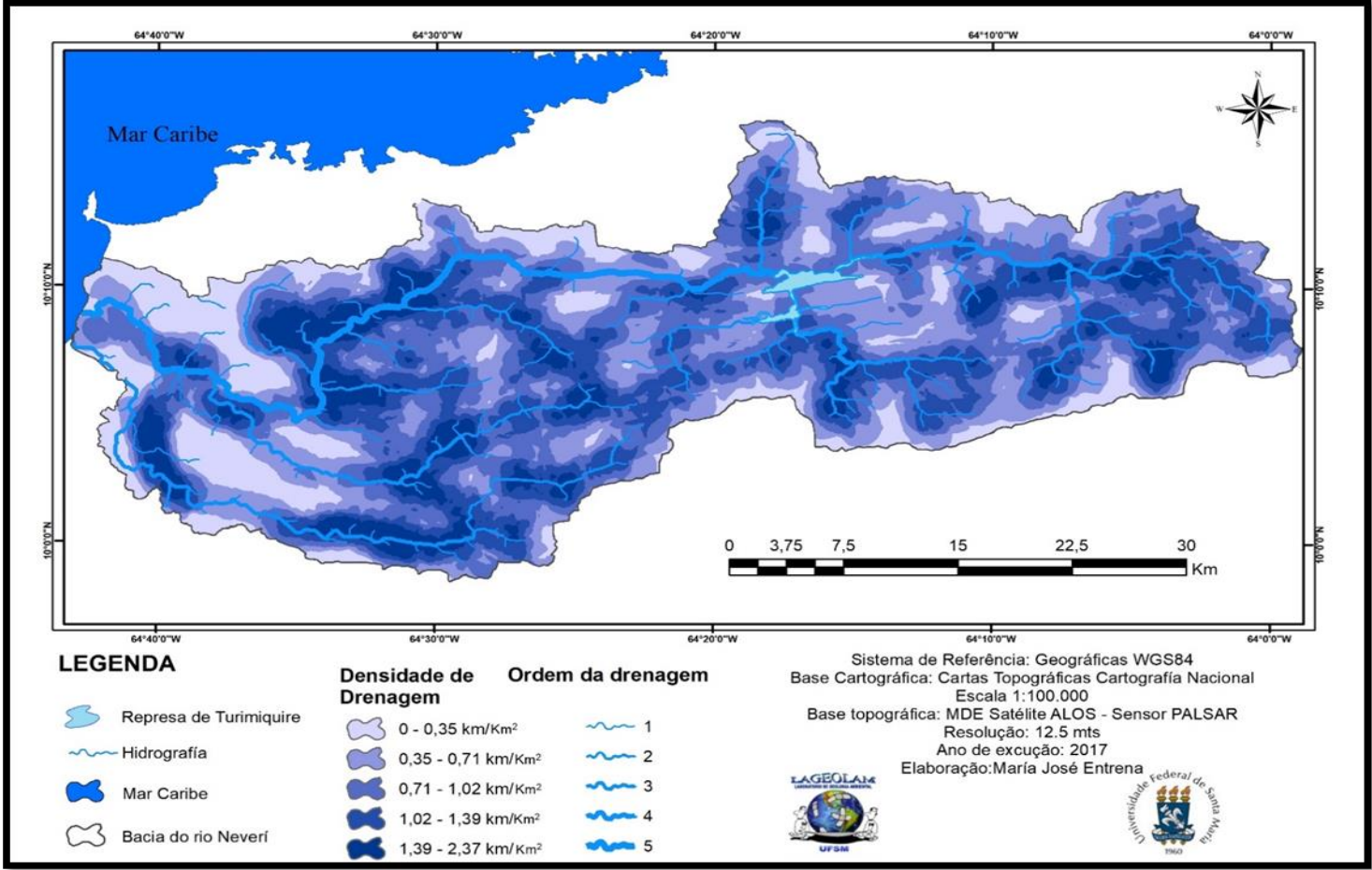
Diante disso, a resposta do escoamento superficial é uma variável que descreve a tendência do solo ao respeito a umidade. Portanto, o comportamento do índice topográfico de umidade é um índice diretamente ligado com o fator relevo e particularmente com a altimetria. Na Tabela 4 apresenta-se a quantificação do escoamento superficial na bacia do rio Neverí e na Figura 17 representa-se a distribuição espacial do escoamento superficial na área de estudo.

Tabela 4 - Quantificação do escoamento superficial na bacia do rio Neverí

<b>Escoamento Superficial</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Baixo	64613,30	46,93
Moderado	47507,98	34,51
Alto	14094,77	10,24
Muito alto	11454,13	8,32
<b>Total</b>	<b>137.669,72</b>	<b>100</b>

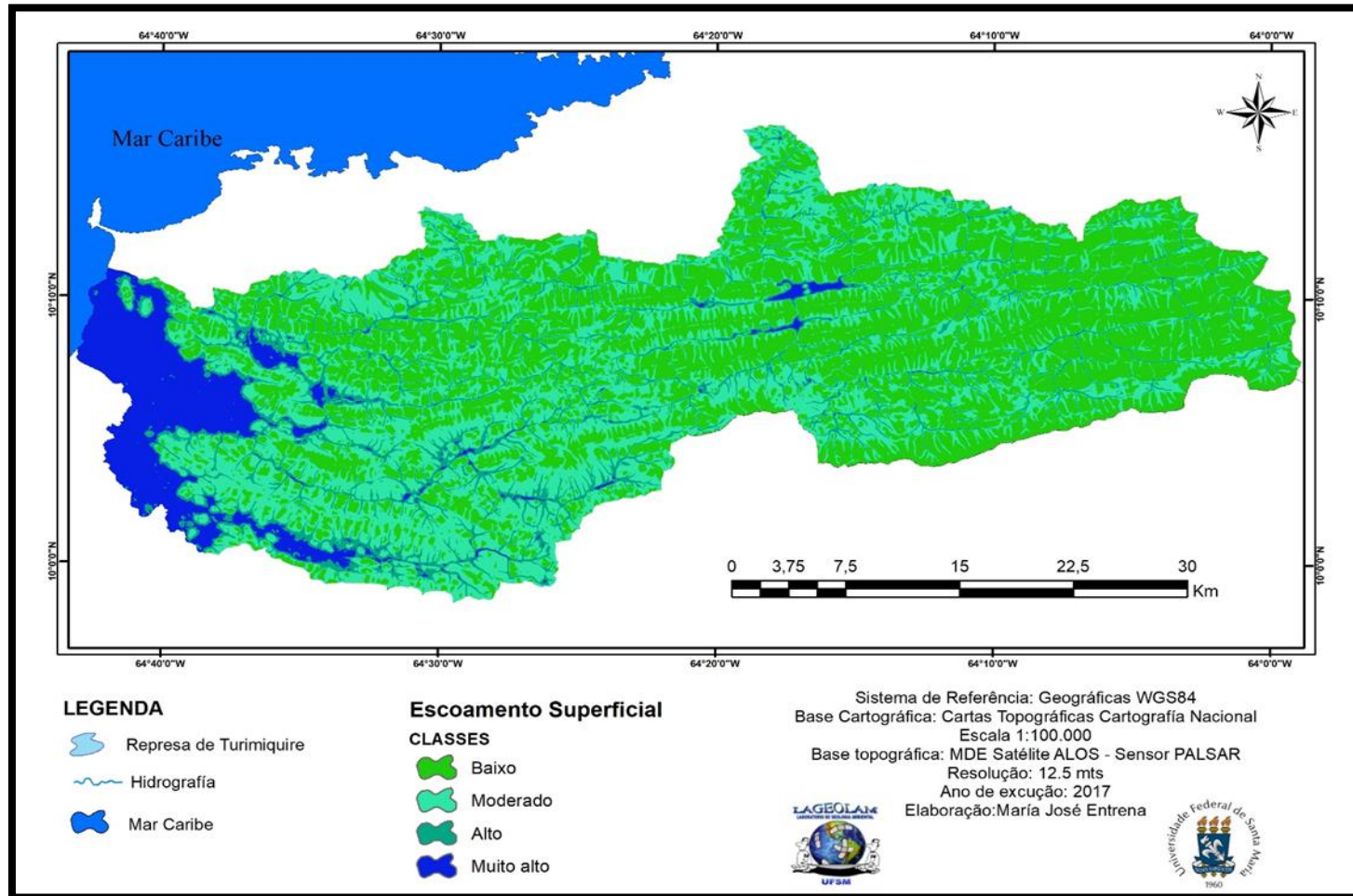
Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 16 - Distribuição espacial da densidade de drenagem na área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 17 - Distribuição espacial do escoamento superficial (TWI) na área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

## 5.2 ANÁLISE DO RELEVO

A bacia do rio Neverí caracteriza-se por ser uma região de Serra do tipo alpino na etapa de maturidade precoce, com dobras e falhamentos, gerando vales internos, colinas e albardões o que caracteriza a Cordilheira da costa e a Serra do Interior (MARN,2001).

A área de estudo apresenta como menor cota altimétrica o valor de 0 metros, onde o rio Neverí deságua no Mar do Caribe formando um delta e a maior cota é de 2.446 metros, localizado nas cabeceiras dos rios, junto a Serra do Turimiquire.

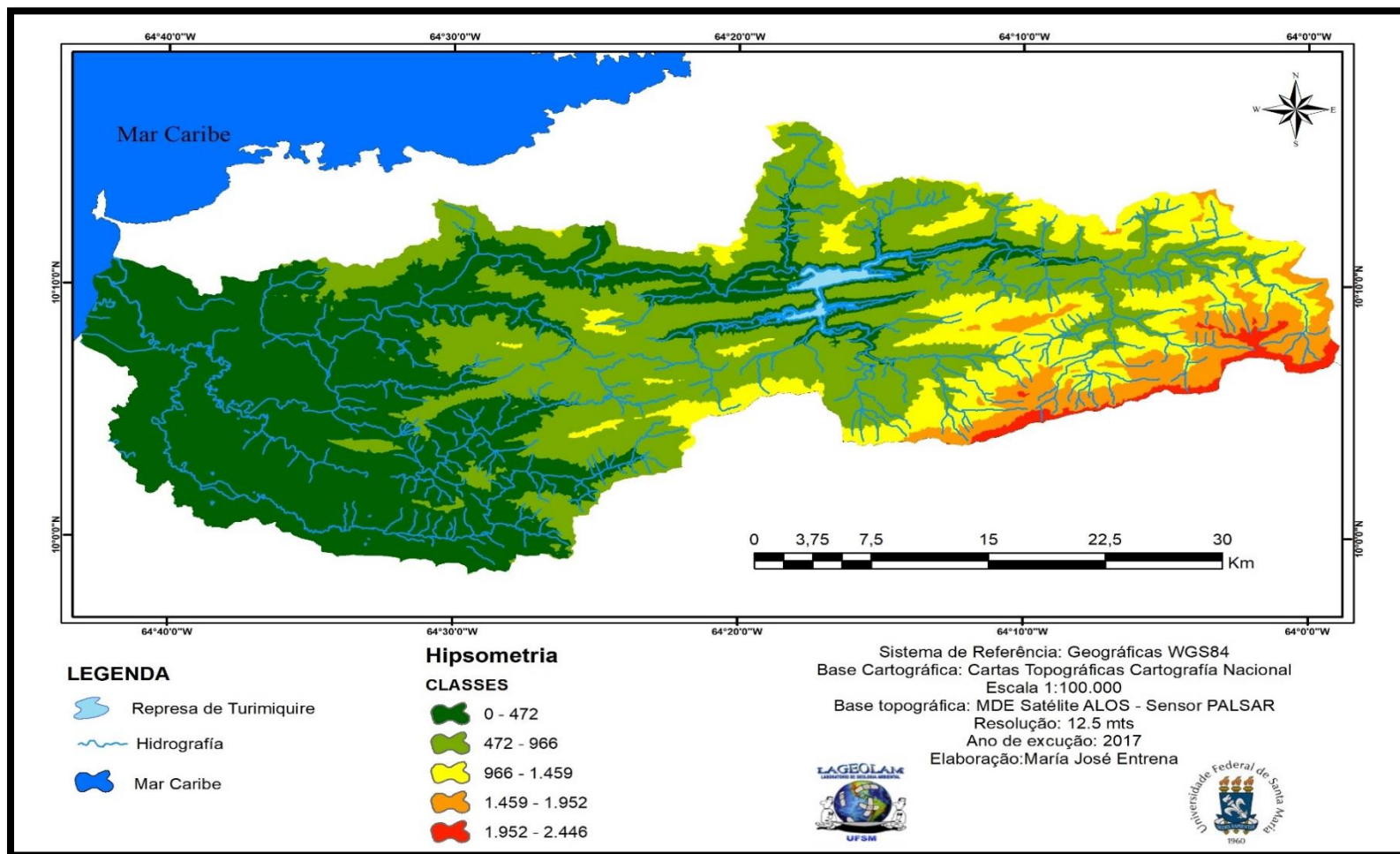
A partir da Tabela 5 e da Figura 18 pode ser analisada a quantificação e a distribuição espacial das classes hipsométricas da bacia do rio Neverí.

Tabela 5 - Hipsometria da área de estudo.

<b>Classes Hipsométricas</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
< 150 m	26.779,12	19,45
150 – 350 m	22.012,47	15,99
350 – 650 m	34.603,75	25,14
650 – 950 m	26.311,22	19,11
950 – 1.200 m	11.890,73	8,64
1.200 – 1.500 m	8.206,06	5,96
1.500 – 2.395 m	7.866,36	5,71
<b>Total</b>	<b>137.669,72</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 18 - Distribuição das classes hipsométricas na área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).



◆ *Altitudes inferiores a 150 metros*

Representa 19,45% do total da área da bacia, sendo assim, a segunda classe hipsométrica com maior expressividade na área de estudo. Essa classe abrange porções do extremo noroeste da bacia. Destaca-se ainda que é nessa classe hipsométrica que localiza-se a área urbana dentro da bacia do rio Neverí.

Essa classe hipsométrica caracterizam-se por apresentar as menores altitudes dentro da área de estudo, associando-se aos segmentos fluviais de maior e media hierarquia fluvial. Dentre eles, destacam-se: Rio Neverí (5ª ordem), Rio Aragua (3ª ordem), Rio Naricual (3ª ordem), Arroio Provisor (2ª ordem).

◆ *Altitudes entre 150 e 350 metros*

Representa 15,99% do total da área da bacia, abrangendo porções do centro, noroeste, sudoeste, com maior expressividade na porção noroeste e sudoeste da bacia. Essa classe hipsométrica associa-se aos segmentos fluviais muito variados, nos quais, destacam-se: Rio Neverí (5ª ordem), Rio El Guayabo (3ª ordem), Rio Zumbador (3ª ordem), Rio Colorado (3ª ordem), Arroio El Tigre (3ª ordem), Rio Negro (2ª ordem), Arroio Chuponal (2ª ordem), Arroio Veja Grande (1ª ordem), Rio Blanco (1ª ordem), Rio Nuevo (1ª ordem).

◆ *Altitudes entre 350 e 650 metros*

Representa 25,14% do total da área da bacia, abrange porções no centro, noroeste e nordeste, e é responsável por demarcar os divisores de água das sub-bacias da área de estudo.

◆ *Altitudes entre 650 e 950 metros*

Com um 19,11% de expressividade na bacia e com grandes porções no centro e sudeste, representa as transições de colinas onduladas a colinas mais escarpadas, demarcando o início da Serra do Turimiquire.

♦ *Altitudes entre 950 e 1.200 metros*

Essa classe representa 8,64% do total da área da bacia e abrange a porção leste no início das cabeceiras do rio Neverí com a presença de colinas escarpadas e montanhas.

♦ *Altitudes entre 1.200 e 1.500 metros*

Essa classe hipsométrica representa 5,96% do total da bacia e sua maior abrangência ocorre na porção sudeste. Representa as partes médias (intermediárias) da Serra de Turimiquire e o relevo é caracterizado pelas montanhas escarpadas e vales encaixados.

♦ *Altitudes entre 1.500 e 2.395 metros*

Por fim, essa classe hipsométrica representa 5,71% de expressividade na bacia do rio Neverí. Além de ocupar as porções mais altas da Serra de Turimiquire ela caracteriza-se por apresentar relevos escarpados nas porções sul e sudeste.

Com relação a distribuição das declividades das encostas na bacia pode-se observar a Tabela 6, onde são apresentadas as classes de declividade da bacia do rio Neverí com a suas respectivas áreas e porcentagens e na Figura 19 podem ser visualizadas a sua distribuição espacial na área de estudo.

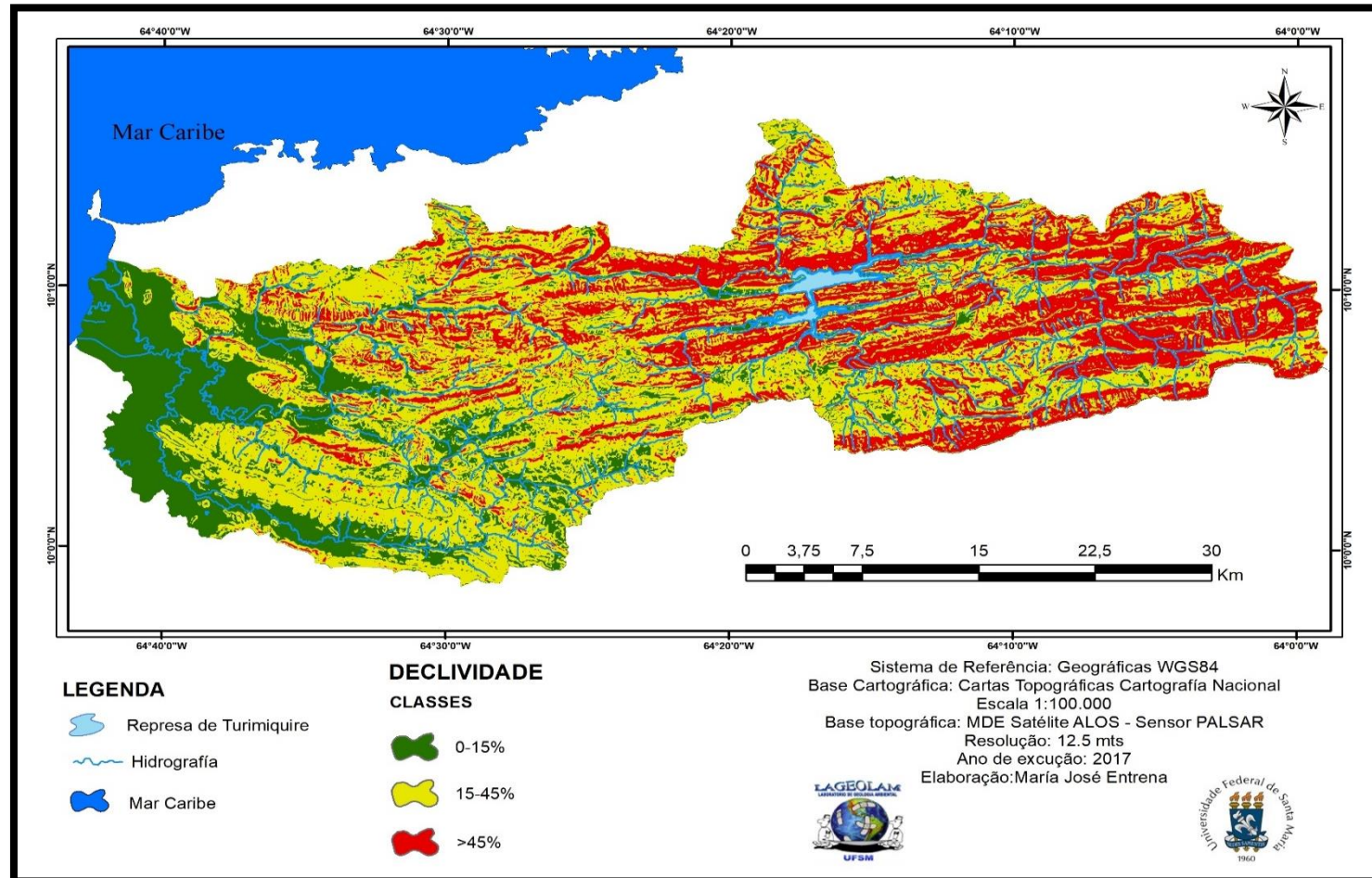
Tabela 6 - Quantificação das classes de declividade da área de estudo.

<b>Classes de Declividade</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
0%-15%	30.800,89	22,37
15%-45%	69.243,46	50,30
>45%	37.625,35	27,33
<b>Total</b>	<b>137.669,72</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2017).



Figura 19 - Distribuição das classes de declividade da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

◆ *Declividades entre 0 e 15%*

Representa 22,37% do total da área da bacia do rio Neverí. Essa classe distribui-se nas porções sudoeste, noroeste da área de estudo e apresenta-se associada aos canais principais do rio Neverí e do rio Aragua nas planícies de inundação, principalmente do rio Neverí. A classe encontra-se com associação direta entre as vertentes levemente onduladas e áreas de planície. Os processos superficiais predominantes são os agradacionais, onde é possível observar nas áreas planas, a deposição dos sedimentos fluviais oriundos das áreas mais elevadas, assim como, o assoreamento dos cursos d'água com a formação de bancos de areia.

◆ *Declividades entre 15 e 45%*

Representa 50,30% da área total de estudo, sendo a classe mais expressiva dentro da bacia. Essa classe encontra-se distribuídas em porções do norte, noroeste, sudoeste, centro-oeste, nas terras drenadas pelo rio Capiricual, Naricual e seus canais tributários. Apresenta um relevo ondulado e por vezes mais ondulado até o relevo escarpado nas nascentes do rio Neverí nas porções altas da bacia.

◆ *Declividades maiores que 45%*

Representa 27,33% do total da área da bacia e encontra-se distribuída quase em toda a bacia em uma faixa desde o norte até o leste da bacia. O relevo predominante é fortemente ondulado, marcando vertentes íngremes e mais escarpadas, com a presença de vegetação silvestre que compõem as matas de encostas, além de ser as áreas das nascentes do rio Neverí.

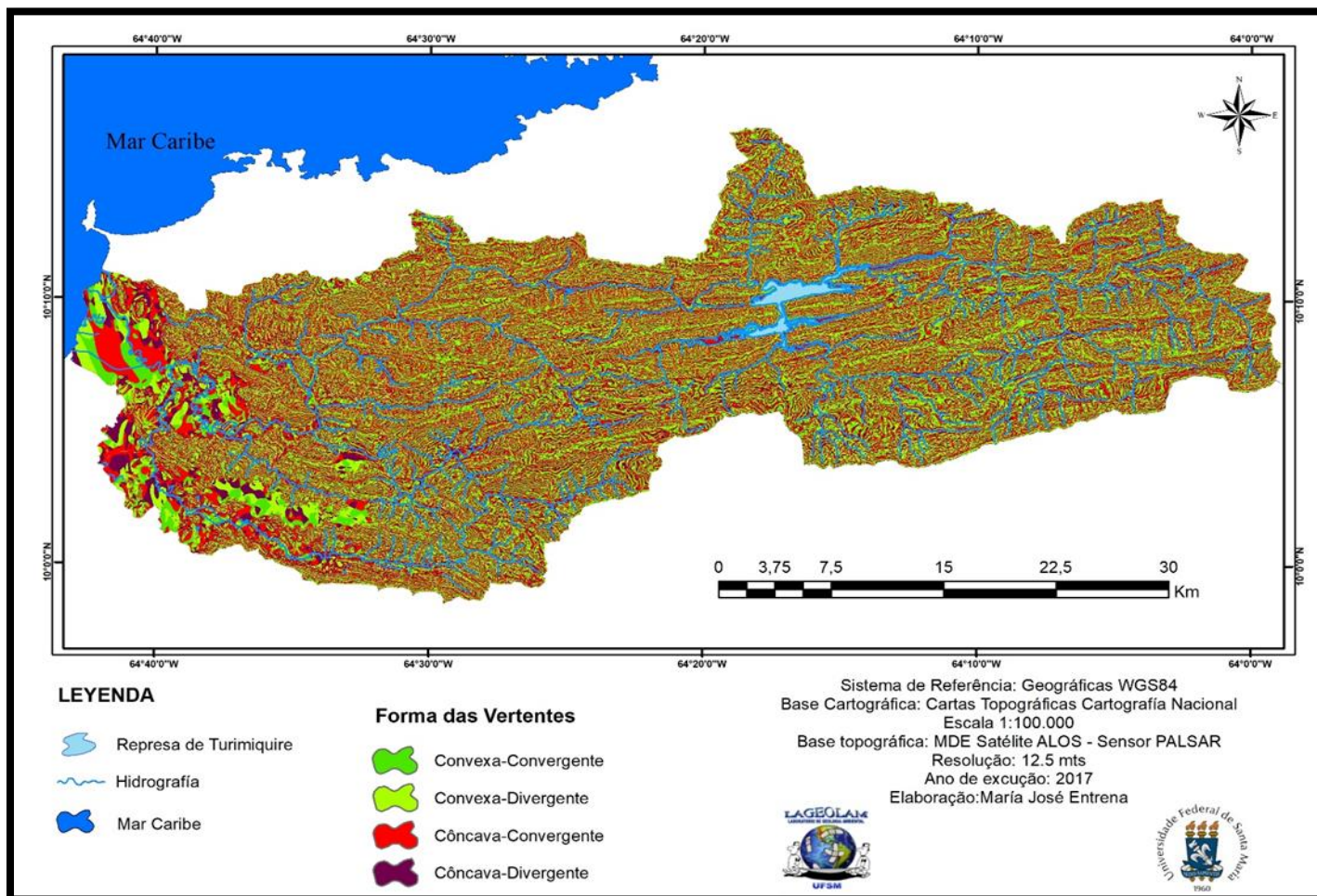
As formas das vertentes da bacia do rio Neverí foram classificadas em vertentes côncavo-convergentes, côncavo-divergentes, convexo-convergente e convexo-divergente. Na Tabela 7 e na Figura 20 apresenta-se a quantificação de cada classe e a espacialização das mesmas na área de estudo.

Tabela 7 - Quantificação das formas das vertentes na área de estudo.

<b>Classes</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Côncavo-Convergente	22.378,89	16,26
Côncavo-Divergente	40.161,98	29,17
Convexo-Convergente	46.014,09	33,42
Convexo-Divergente	29.114,75	21,15
<b>Total</b>	<b>137.669,72</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 20 - Distribuição das formas das vertentes na área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

◆ *Côncavo-Convergente*

Representa 16,26% do total da área da bacia, correspondendo ao segmento médio até a base das vertentes, caracterizando-se pelo acúmulo e a concentração máxima dos fluxos de escoamento das vertentes. Nos sistemas de drenagens, essa classe representa o leito dos segmentos dos canais fluviais.

◆ *Côncavo-Divergente*

Representando 29,17% da área total da bacia, essa classe encontra-se associada desde o segmento médio até a base das vertentes. Quando estão associadas as cornijas e aos morrotes, marcam a sua porção inferior e, nas áreas próximas as drenagens, tem relação com as áreas de planície e com os processos de dispersão dos fluxos associados ao plano divergente e de maior velocidade dos escoamentos.

◆ *Convexo-Convergente*

Essa classe representa 33,42% do total da área da bacia, possui alguns pontos de maior densidade, os quais encontra-se associados as áreas de leito fluvial no sistema de drenagens (sub-bacias). No início das vertentes correspondem as áreas superiores da encosta, que vão desde o terço superior até o segmento médio. Particularmente, nessas áreas ocorre um aumento da energia dos fluxos superficiais, com o predomínio dos mesmos sobre os processos de infiltração do terreno, assim como, marcam o início da concentração dos escoamentos, devido ao plano convergente.

◆ *Convexo-Divergente*

Representa 21,15% do total da área da bacia, é a segunda classe com maior expressividade dentro da bacia do rio Neverí. O relevo associado é ondulado e/ou fortemente ondulado. As vertentes representam a porção que vai desde o topo até o segmento médio, com aumento da energia do fluxo e com menor infiltração e máxima

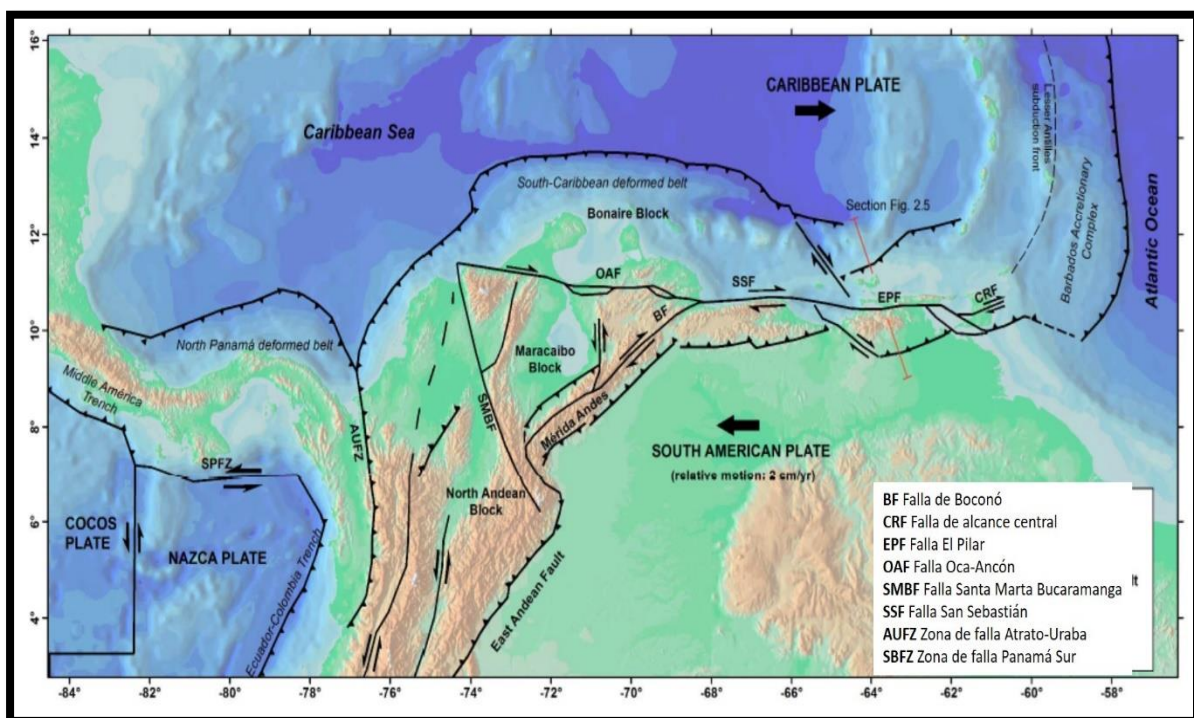


dispersão no plano divergente, dependendo diretamente das declividades do perfil da encosta.

### 5.3 CONTEXTO GEOLÓGICO-ESTRUTURAL

O norte de Venezuela é essencialmente uma zona de fronteira entre as placas do Caribe e América do Sul (Figura 21), onde está envolvido um conjunto complexo de blocos ou microplacas. Essa margem de placa ativo de 1.600 km de largura considera-se como uma ampla zona de transposição tectônica ou de partição da tensão e convergência.

Figura 21 - Mapa esquemático da geodinâmica do sudeste do Caribe.



Fonte: Audemard (1999); Audemard et al. (2000); Weber et al. (2001); Trenkamp et al. (2002); Soto et al. (2007, apud REINOZA, 2014).

Nesse sentido, o leste da Venezuela é uma zona tectonicamente complexa, que tem sido afetada por vários processos tectônicos tais como: (a) o rompimento da Pangeia durante o Jurássico; (b) a formação de uma margem passiva para o norte desde o Cretáceo até o Paleógeno; (c) a colisão oblíqua iniciada durante o Mioceno

entre as Placas Caribe e Sul-americana, formando-se a Serrania do Interior Oriental e a bacia ante país associada. Com base nisso, podem ser identificados três províncias geológicas: ao Norte da Falha do Pilar encontram-se rochas metamórficas e ígneas oceânicas de Araya - Paria, para o Sul os sedimentos erodidos da margem passiva aflorando na Serrania do Interior e o Sudeste os sedimentos Terciários - Quaternários da bacia ante país (JACOME, 2002).

A geologia da bacia do rio Neverí (Figura 22) caracteriza-se pela presença da Serra do Interior Oriental do tipo alpino em etapa fisiográfica de maturidade, com dobramentos e falhamentos, gerando vales interiores, colinas e morros caracterizado por uma flexão que determina a Cordilheira da Costa e a Serrania do Interior (MARN, 2001).

As Formações são de idade Cretáceo, em grande parte da bacia, que marcam um ciclo transgressivo que se inicia com conglomerados e arenitos, seguidas de um intervalo calcário, para terminar com predomínio de lutitos (PDVSA, INTEVEP, 2007). No baixo curso ocorrem rochas sedimentares, predominantemente areníticas do Terciário e na foz a presença dos depósitos recentes.

A litologia segundo Alarcón e Caicedo (2010), diferenciam os sedimentos quaternários na área de Porto La Cruz e seus arredores; esses sedimentos formam planícies costeiras que podem ser compartimentadas em termos deposicionais:

**Cones aluviais** que por sua vez é subdividida em T2 a mais antigo a mais recente, depositada em ambientes flúvio-torrenciais (cones e planícies da bacia) e T1 formada por dois eventos aluvionais, uma de caráter flúvio-torrencial e a outra de intercalação de arenito e lutitos com presença de lentes conglomeráticas.

**Depósitos de águas salobas e/ou doces, T0;** que corresponde a uma planície costeira em desenvolvimento pela taxa de sedimentação da região, devido ao estancamento de águas salobas e/ou doces e a segunda é a cunha da zona de relevos acima do nível d'água desse ambiente, assumindo a idade do Holoceno.

**Paleo-Planície Costeira** com fácies de lagoa e pântanos extintos assoreadas por areias de grão fino ou grão grosso, assumindo a idade Holocena.

**Paleoambiente Próximo-Costeiro** que aflora à linha de costa, com presença abundante de fósseis em boas condições (moluscos), areias de tamanho de grão heterogêneo, além de uma base de capa siltosa que se descreve como uma plataforma interna ou próxima costeira, assumida como uma variação lateral de fácies da planície costeira do Holoceno.

**Praia areia e limo**, dependendo do setor varia o tamanho de grão e a presença de fósseis erodido pela dinâmica da linha de costa, atualmente em processo de desenvolvimento e assumindo a idade do Holoceno.

**Depósitos de coluvião** originados nas vertentes das montanhas, produtos de movimentos em massa de solos ou rochas com planos sobressaturados de água desestabilizados. A quantificação das litologias na bacia do rio Neverí, podem ser visualizadas na Tabela 8.

É importante salientar que os ambientes de sedimentação costumam ser mais continentais na porção sul da bacia. Durante o seu processo de deposição apreciam-se desenvolvimentos de areia em toda a área com manifestações marinhas ao norte. Observam-se nos registros de poços ao sul, o avanço de uma possível linha de costa, indicando um período transgressivo, em direção leste e oeste e uma contribuição de sedimentos de sudeste ao norte (ARNSTEIN et al., 1985).

Posteriormente faz-se evidente uma linha de costa em direção nordeste e a contribuição de sedimentos que vão desde o sudoeste até o noroeste. Depois disso, observam-se períodos regressivos passando de um ambiente de plataforma interior a um de talude médio.

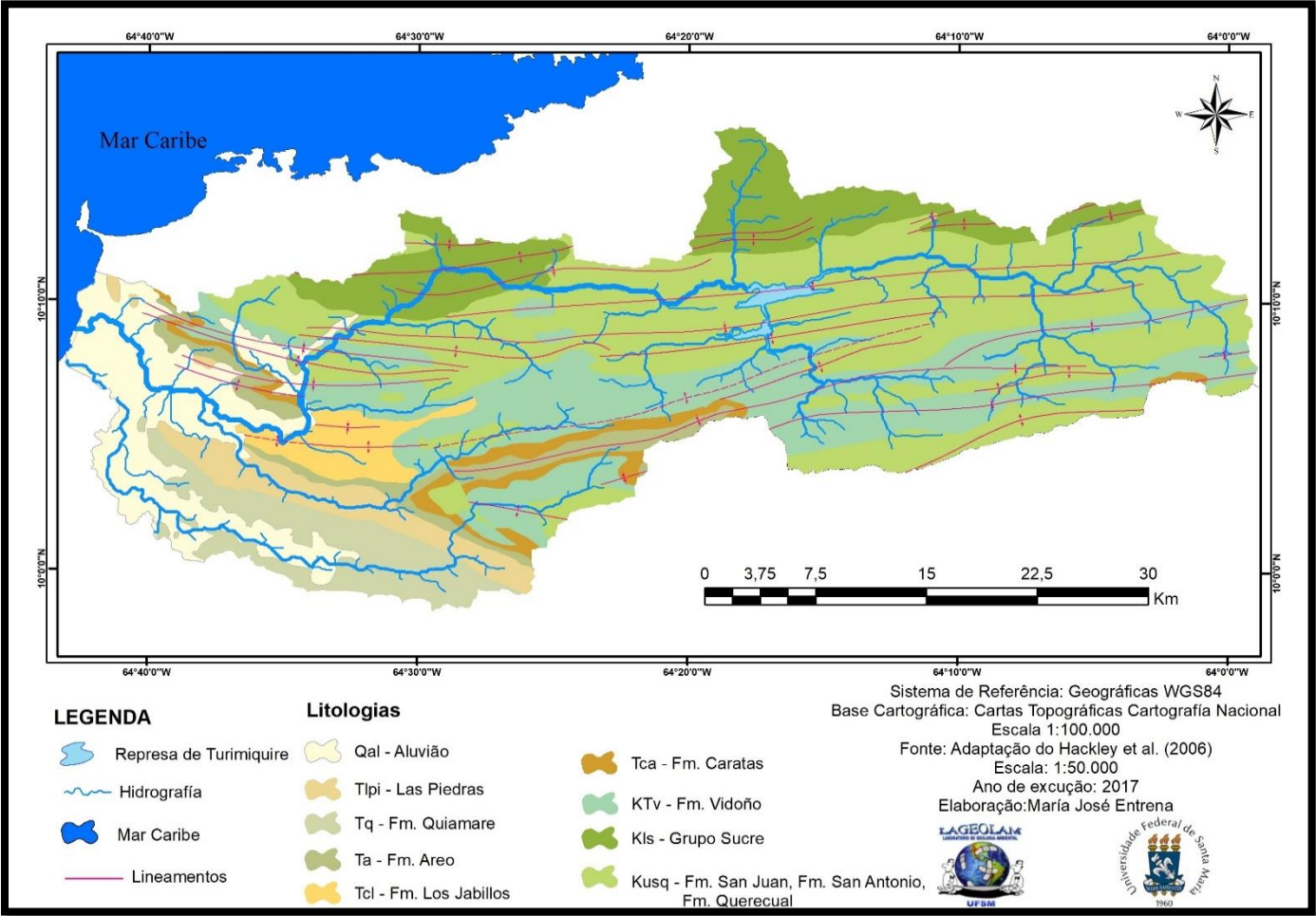
Com isso, pode-se destacar que a bacia do rio Neverí apresenta uma grande diversidade com relação a distribuição das litologias, pois na área de estudo, encontra-se desde áreas de depósitos recentes até rochas vulcânicas e sedimentar com diferentes formações.

Tabela 8 - Quantificação das litologias na área de estudo.

<b>Litologias</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Qal- Aluvião- Depósitos Recentes	15.024,61	10,91
Tlpi Arenito c/mica	5.313,99	3,86
Tq -Rochas sedimentarias	7.922,66	5,75
Ta- Xistos	4.858,46	3,53
Tcl- Calcita, Arenito e Xisto	3.879,59	2,82
Tca- Xistos, Arenito, Calcita, Limolito	3.902,84	2,83
KTv – Lutita preta	28.206,96	20,49
Kusq- Arenito, Xisto, Calcita, Limolito	53.069,11	38,55
Kls – Arenito, Xisto, Conglomerado	15.491,66	11,25
<b>Total</b>	<b>137.669,72</b>	<b>100</b>



Figura 22 - Distribuição espacial das litologias na área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

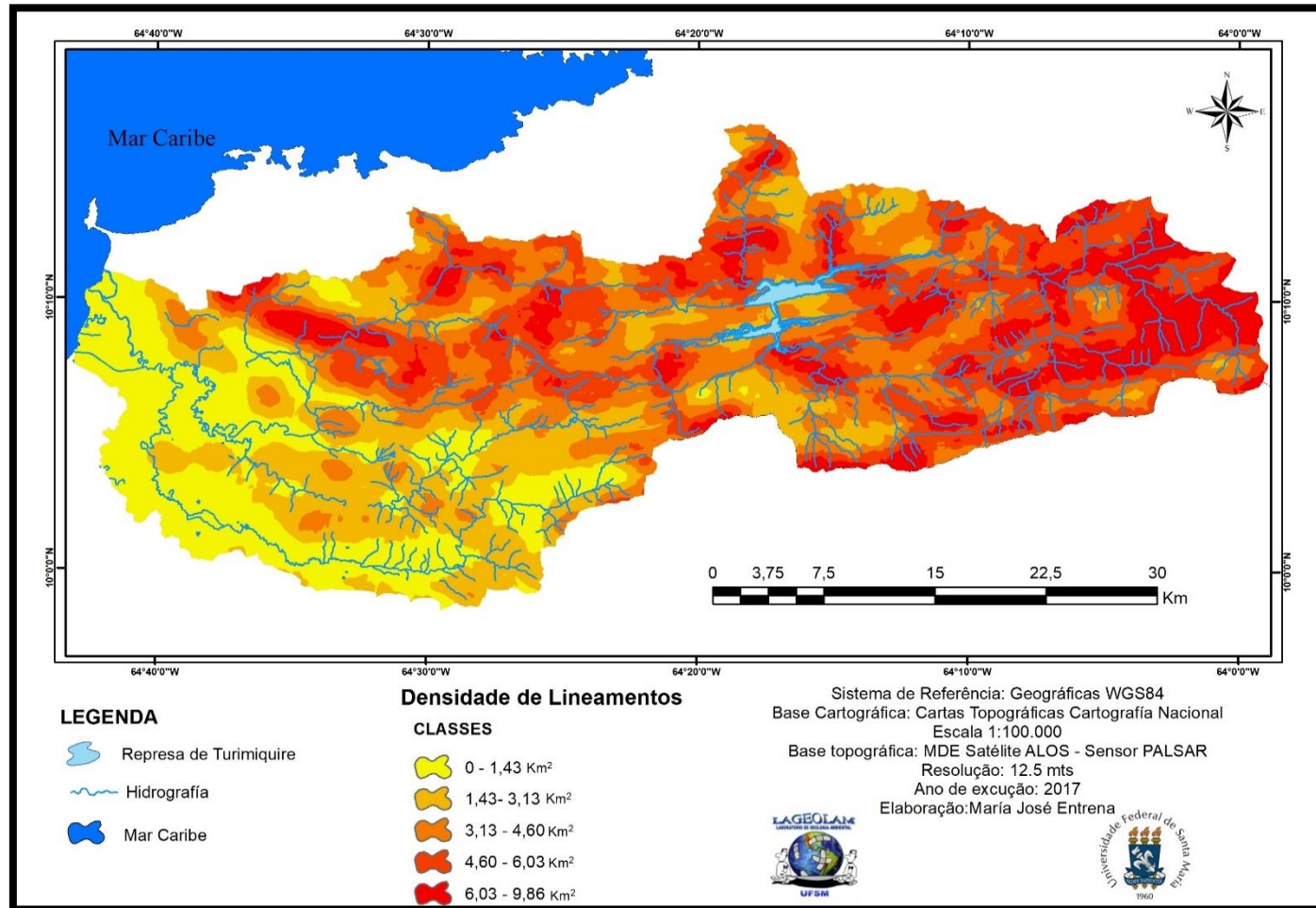
A área de estudo apresenta uma importante quantidade de lineamentos, os quais são produto da tetônica que controla a bacia do rio Neverí. Nos elementos estruturais mais significativos encontra-se a presença da falha de Pilar, a falha de Úrica e a deflexão de Barcelona. A falha de Pilar é a falha sismogênica mais ativa da região com orientação leste-oeste (Audemard et al., 2000). Nesse sentido, a Figura 23 apresenta a densidade de lineamentos na área de estudo e a Tabela 9 representa a quantificação da densidade na bacia.

Tabela 9 - Quantificação da densidade de lineamentos na bacia do rio Neverí.

<b>Densidade</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
0 – 1,43	25.407,64	18,46
1,43 – 3,13	28.453,84	20,67
3,13 – 4,60	32.148,68	23,35
4,60 – 6,03	34.031,52	24,72
6,03 – 9,86	17.631,12	12,81
<b>Total</b>	<b>137.669,72</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

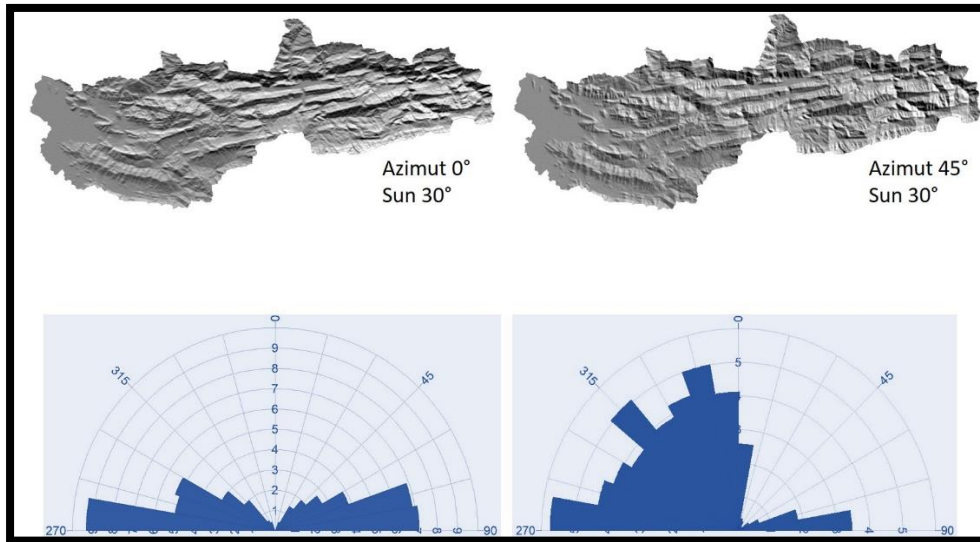
Figura 23 - Distribuição espacial da densidade de lineamentos na área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

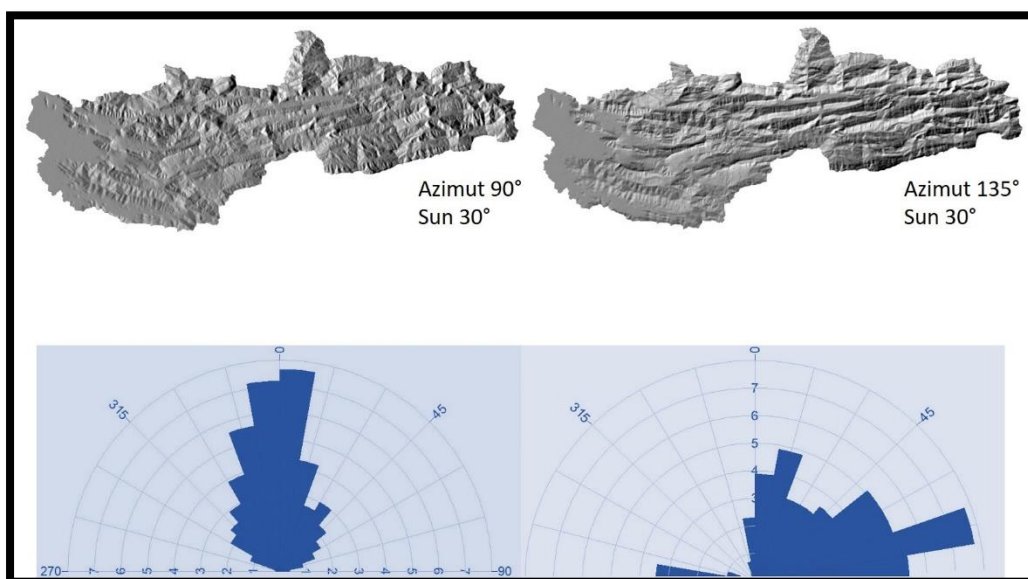
Com base nisso, destaca-se que as principais orientações dos lineamentos são apresentadas na Figura 24 e na Figura 25.

Figura 24 - Orientações dos lineamentos para um azimute de 0° e 45°.



Fonte: Interface do usuário do ArcGIS® 10.1 e Rock Works 16 (2017).

Figura 25 - Orientações dos lineamentos para um azimute de 90° e 135°.



Fonte: Interface do usuário do ArcGIS® 10.1 e Rock Works 16 (201

## 6 COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA DO HIDROGRÁFICA DO RIO NEVERÍ

Baseando-se nos parâmetros de relevo como altitude, declividade e amplitude, além de análise do sombreado do relevo, foram definidas sete unidades geomorfológicas para a bacia do rio Neverí, as quais encontram-se na Tabela 10 onde apresenta-se as suas respectivas áreas e porcentagem na bacia e sua espacialização ocorre na Figura 26.

Tabela 10 - Quantificação das unidades geomorfológicas na área de estudo.

<b>Unidade</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Unidade I	8.356,56	6,08
Unidade II	36.916,43	28,51
Unidade III	28.702,03	20,85
Unidade IV	14.838,14	10,78
Unidade V	18.304,27	13,30
Unidade VI	19.299,45	14,02
Unidade VII	11.244,22	8,17
<b>Total</b>	<b>137.669,72</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

### ◆ *Unidade I*

A unidade I apresenta uma área de 8.366,56 ha, representando 6,08% da superfície da bacia e compreende as áreas de maiores altitudes da bacia, localizadas na porção sudeste. As formas do relevo são representadas por montanhas fortemente escarpadas com declividades maiores que 45%.

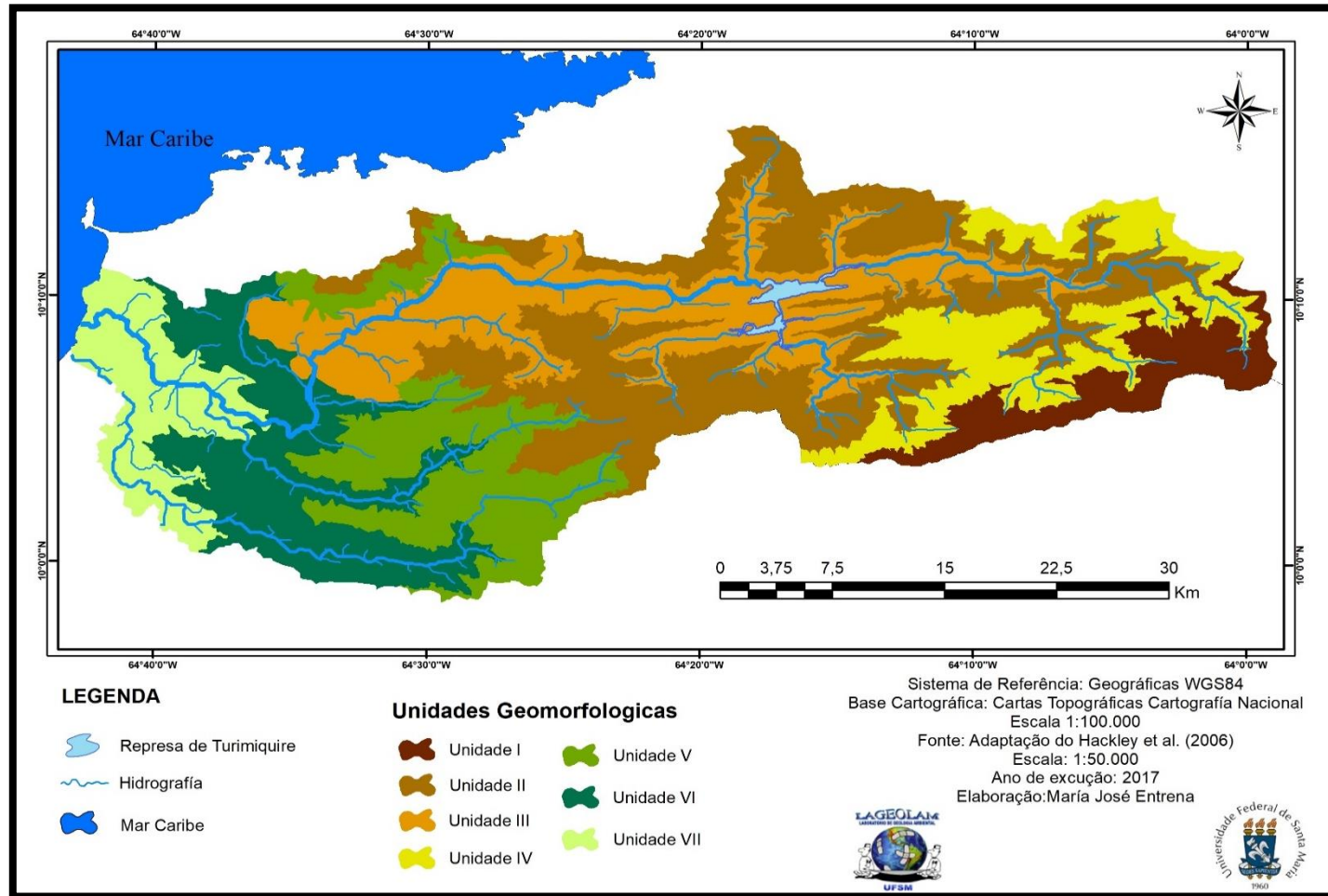
### ◆ *Unidade II*

A unidade II contém uma área de 36.916,43 ha, representando o 26,81% da superfície total, onde a característica principal das formas do relevo nessa unidade é a presença de um conjunto de montanhas altas, com alinhamentos tectônicos. As altitudes são de até 1.000m, declividades de 15 a 45%, formas predominantes

côncavo-convergente e amplitudes de até 500m. A localização da unidade é na parte central da bacia.



Figura 26 - Espacialização das unidades geomorfológicas na bacia do rio Neverí.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

◆ *Unidade III*

Essa unidade conta com uma área de 28.702,03 ha, representando 20,85% da área total da bacia. Representa formas de relevo controladas pela tectônica com forma de morros escarpados e vales encaixados, com altitudes em torno de 1000m, declividades acima de 45% e amplitudes de até 900m. A unidade III localiza-se na parte central e média da bacia.

◆ *Unidade IV*

Encontra-se nas porções sul e norte da região oriental da bacia, correspondendo a uma área 14.838,14 ha que representa 10,78% da área total da bacia. As altitudes na unidade são por volta de 1.500m e as declividades maiores de 45%; por sua vez, as formas de relevo são representadas por morros escarpados.

◆ *Unidade V*

A unidade V apresenta uma área de 18.304,27 ha, correspondendo a 13,30% da superfície total da bacia. As formas de relevo encontram-se representadas por morros com vertentes entre 15% e 45%, amplitudes de até 900m e altitudes ao redor de 1.000m, ocorrendo principalmente na parte oeste da bacia.

◆ *Unidade VI*

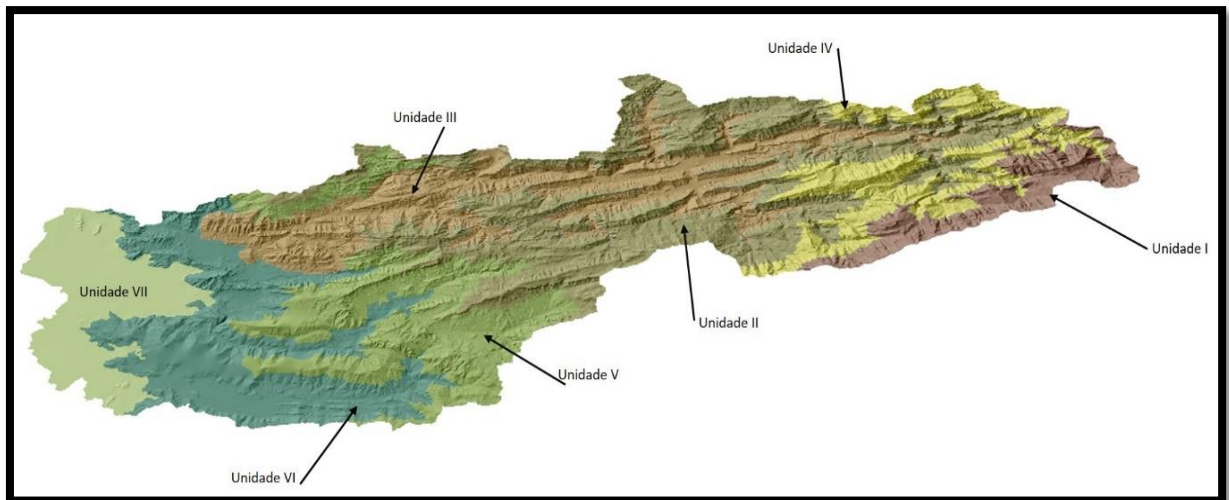
Na unidade VI ocorre o predomínio de colinas onduladas com altitudes que oscilam entre 200 e 500 metros com declividades de 15%. A localização da unidade na bacia é na parte oeste e conta com uma superfície de 19.299,45 ha representando 14,02% da área total da bacia. Essa unidade apresenta áreas de deposição dos sedimentos que provêm das partes mais altas da bacia.



◆ Unidade VII

Por fim, a unidade VII é representada pelas áreas planas com 8,17% do total da área de estudo, com altitudes que oscilam desde o zero metros e 150m, declividades menores que 15% e as formas de relevo representativas são as planícies aluviais. A Figura 27 espacializa a síntese das sete unidades geomorfológicas definidas e mapeadas na bacia do rio Neverí.

Figura 27 - Síntese das unidades geomorfológicas na bacia do rio Neverí.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

## 6.1 EVOLUÇÃO DO SISTEMA HIDROGRÁFICO DA BACIA DO RIO NEVERÍ

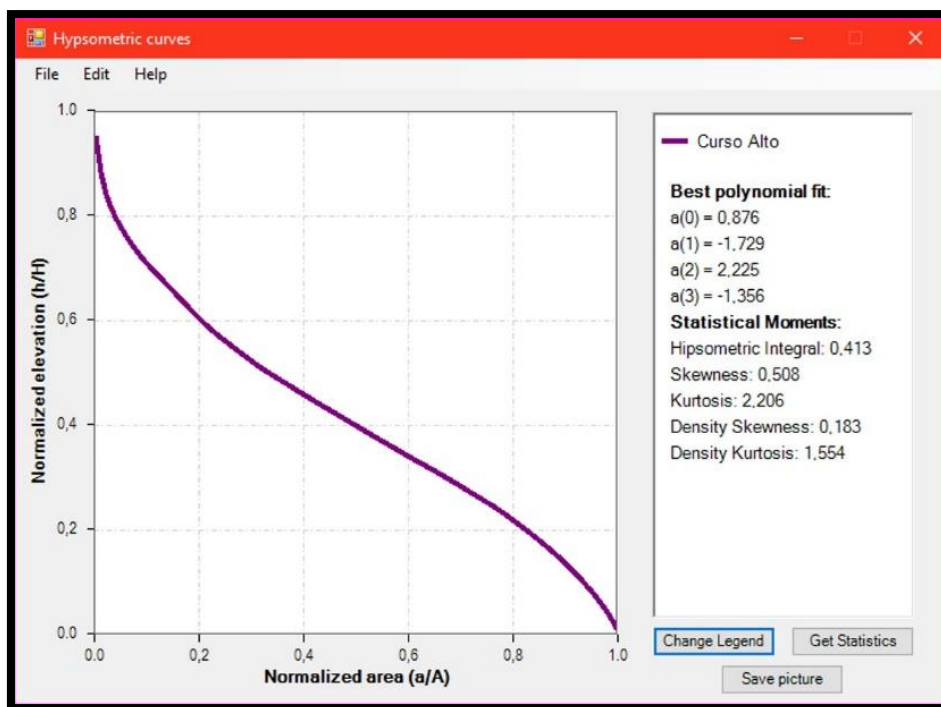
O rio Neverí desemboca no Mar do Caribe formando um pequeno delta e constituindo uma área de drenagem encaixada por causa do controle tectônico que forma relevos com grandes altitudes e declividades escarpadas. A avaliação da evolução do sistema hidrográfico com uma abordagem quantitativa possibilita obter o comportamento desse sistema.

A análise quantitativa mostra na integral hipsométrica no curso alto da bacia o início de uma etapa de equilíbrio (maturidade), o valor obtido da integral encontra-se na faixa de 0.35 – 0.60, a forma da curva é com sinuosidade a qual representa a forma típica dos cursos de 3º ordem e 4º ordem com litologias homogêneas. Na Figura 28

apresenta-se o comportamento da curva hipsométrica, o valor da integral hipsométrica e os momentos estatísticos específicos para essa porção da bacia do rio Neverí.

No alto curso do rio, o sistema hidrográfico encontra-se em um estado de equilíbrio no balanço de erosão e o controle tectônico, tendo como resultado as formas de relevo presentes. A curva resultante é a expressão de um estado estacionário nos processos de erosão e transporte no sistema fluvial e as declividades contribuidoras (Strahler, 1952). Neste estudo, desenvolveu-se um sistema de declividades de canais e vales que se adaptam com maior eficácia à redução da massa terrestre com forças erosivas disponíveis, equilibradas com as forças resistivas de coesão mantidas pela rocha mãe, o solo e a cobertura vegetal. As bacias já não mais se estão expandindo na área, estando apenas em contato com as bacias similares.

Figura 28 - Curva hipsométrica do alto curso da bacia do rio Neverí.



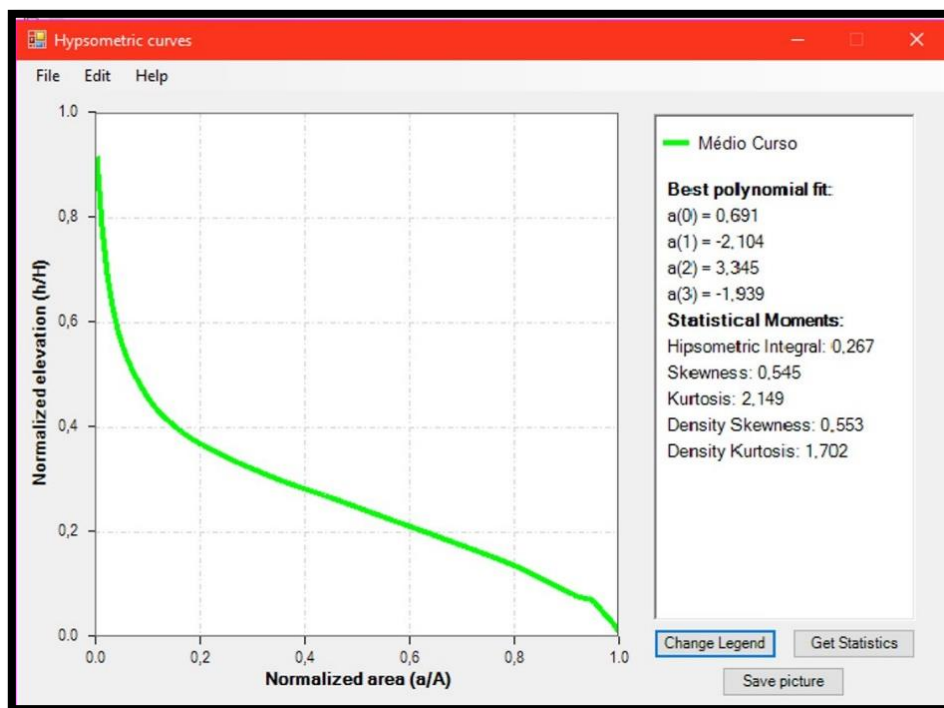
Fonte: Interface do usuário do ArcGIS® 10.1 (2017), Ferramenta *CalHypso* (PÉREZ-PEÑA, AZAÑÓN e AZOR, 2009).

O curso médio do rio Neverí apresenta uma mudança na fase (maturidade) para a fase de senescência (senil), o valor da integral hipsométrica é 0.267, nessa fase de

*monadnock*<sup>1</sup> é desenvolvida na faixa de 0 até 0.350. Na Figura 29 é possível observar a forma da curva hipsométrica e o valor da integral hipsométrica no curso médio da bacia.

O relevo presente é o mais desenvolvido, nesta etapa de senilidade, correspondendo à fase final de desenvolvimento dos ciclos de erosão da cada um dos processos geológicos presentes.

Figura 29 - Curva hipsométrica do médio curso da bacia do rio Neverí.



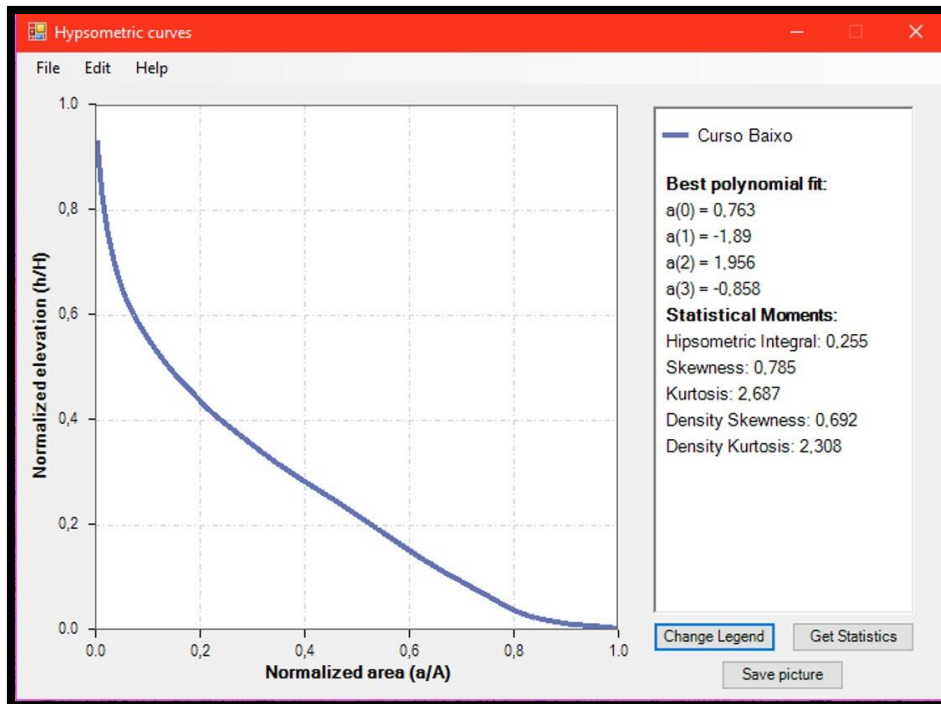
Fonte: Interface do usuário do ArcGIS® 10.1 (2017), Ferramenta *CalHypso* (PÉREZ-PEÑA, AZAÑÓN e AZOR, 2009).

No baixo curso do rio Neverí a forma da curva hipsométrica muda novamente, mas o valor da integral hipsométrica (0.255) continua na etapa senil no sistema hidrográfico (Strahler, 1952). A forma da curva é mais côncava que no alto e médio curso, e isso encontra-se associado diretamente as variações na litologia e a

<sup>1</sup> É uma forma residual que apresenta feições variadas tais como crista, cúpula, e domo, cujas encostas mostram declives acentuados, dominando uma superfície de aplanamento superior.

resistência aos processos erosivos. Diante disso, a Figura 30 apresenta a curva hipsométrica resultante no baixo curso da bacia

Figura 30 - Curva hipsométrica do baixo curso da bacia do rio Neverí.



Fonte: Interface do usuário do ArcGIS® 10.1 (2017), Ferramenta *CalHypso* (PÉREZ-PEÑA, AZAÑÓN e AZOR, 2009).

A integral hipsométrica na parte baixa da bacia reflete a etapa de senilidade e a forma da curva reflete o equilíbrio entre a estrutura geológica e a resistência da rocha à erosão. Esse equilíbrio é consequência da redução de energia dentro do sistema hidrográfico devido aos processos de acumulação e sedimentação na bacia.

## 7 ZONEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS

A última etapa da pesquisa é responsável pela aplicação dos modelos de susceptibilidade propostos por Jimenez (2012) e o modelo morfométrico-estrutural de susceptibilidade, onde as informações obtidas foram analisadas e interpretadas no decorrer do trabalho, sendo apresentadas em dois mapas de susceptibilidade (FIGURAS 33 e 34) na área de estudo.

### 7.1 SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS COM O MODELO DE JIMENEZ (2012)

O mapa resultado na escala 1:50.000 do modelo de susceptibilidade a escorregamentos proposto por Jiménez (2012) classifica a susceptibilidade em cinco classes (Muita Baixa, Baixa, Moderada, Alta e Muito Alta). Na Figura 31 pode-se visualizar o mapa resultado da aplicação do modelo na área da bacia do rio Neverí e na Tabela 11 apresenta-se a quantificação das classes de susceptibilidade aos escorregamentos na área de estudo.

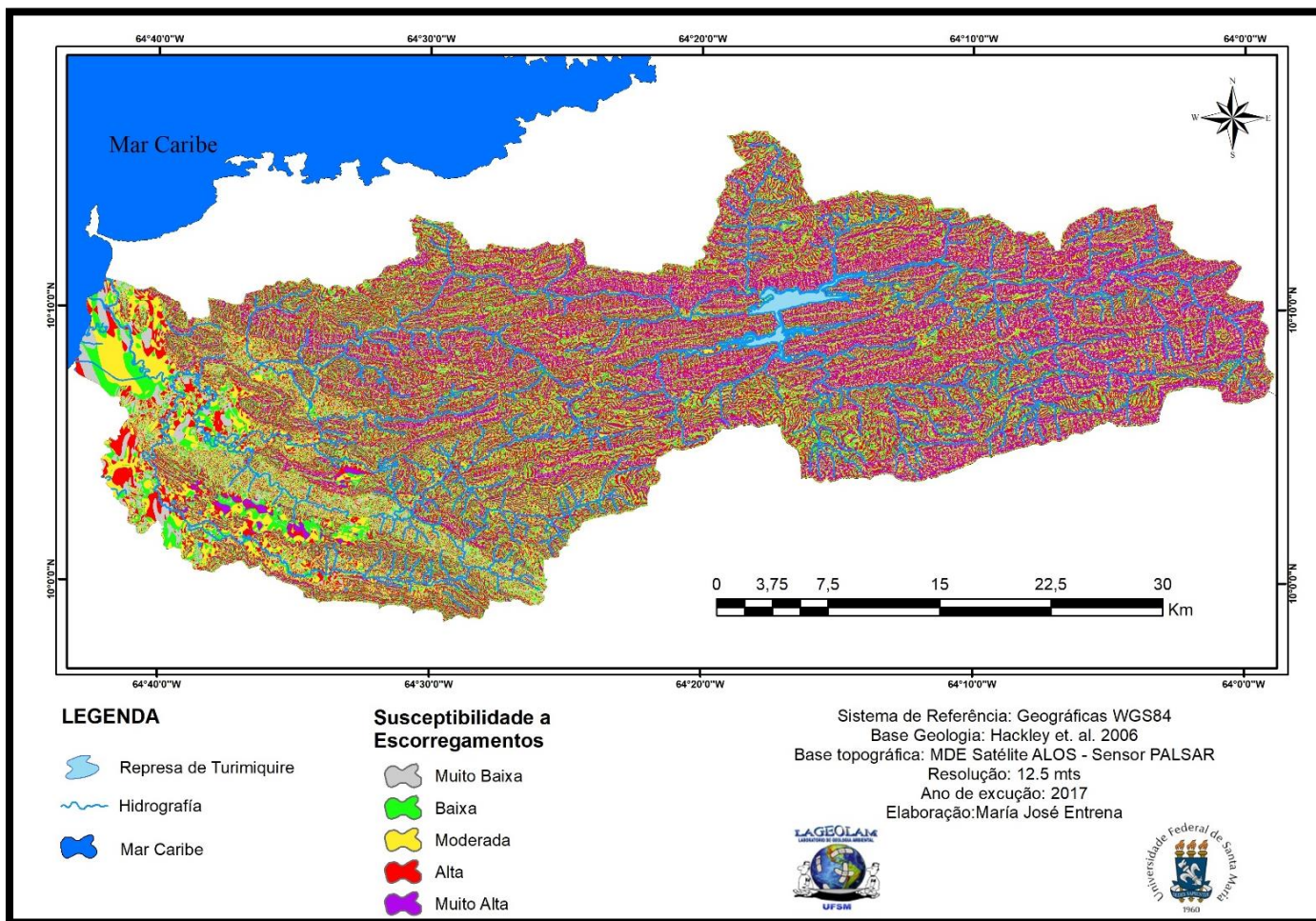
Tabela 11 - Quantificação das classes de susceptibilidade aos escorregamentos segundo o modelo proposto por Jiménez (2012).

<b>Classe de Susceptibilidade</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Muito Baixa	8.620,41	6,26
Baixa	25.454,27	18,50
Moderada	35.273,19	25,63
Alta	33.756,84	24,53
Muito Alta	34.514,27	25,08
<b>Total</b>	<b>137.669,72</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

A arquitetura do modelo de susceptibilidade aos escorregamentos proposto por Jimenez (2012) como uma ferramenta da interface do usuário do ArcGIS® 10.1 apresenta as classes de susceptibilidade.

Figura 31 - Mapa de susceptibilidade aos escorregamentos segundo o modelo proposto por Jimenez (2012) na área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

◆ *Susceptibilidade Muito Baixa*

Essa classe representa 6,26% do total da área da bacia e abrange algumas porções do norte, noroeste no setor da planície aluvial no baixo curso, próximo a foz, constituindo assim, a classe de susceptibilidade menos expressiva e de forma dispersa nas porções altas da bacia.

◆ *Susceptibilidade Baixa*

Representa 18,50% do total da área da bacia do rio Neverí e encontra-se dispersa na área de estudo, mas predominantemente, ocorre no baixo curso.

◆ *Susceptibilidade Moderada*

Representa 25,63% do total da área da bacia do rio Neverí, constituindo na classe mais expressiva dentro da área de estudo. Essa classe abrange porções do médio curso (centro), alto curso (leste), e nas planícies aluviais (norte, noroeste) do baixo curso.

◆ *Susceptibilidade Alta*

Representa 24,53% do total da bacia do rio Neverí, sendo a terceira classe com maior expressividade na área de estudo e encontra-se nas porções do alto curso, nas encostas dos vales encaixados do médio curso e ocorrendo no baixo curso próximo a foz

◆ *Susceptibilidade Muito Alta*

Representa 25,08% do total da bacia do rio Neverí, sendo a segunda classe com maior expressividade na área de estudo, constituindo um grande número de encostas no médio e alto curso.



## 7.2 SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS COM O MODELO MORFOMÉTRICO-ESTRUTURAL

Por sua vez, a aplicação do modelo morfométrico-estrutural, proposto nesta pesquisa na escala 1:50.000, foram calculados, analisados e padronizadas os parâmetros morfométricos e estruturais. O resultado foi um mapa de susceptibilidade aos escorregamentos com quatro classes de susceptibilidade (Baixa, Moderada, Alta e Muito Alta). A Tabela 12 apresenta a quantificação das classes de susceptibilidade aos escorregamentos na área de estudo e a Figura 32 representa a espacialização das classes de susceptibilidade aos escorregamentos na bacia do rio Neverí.

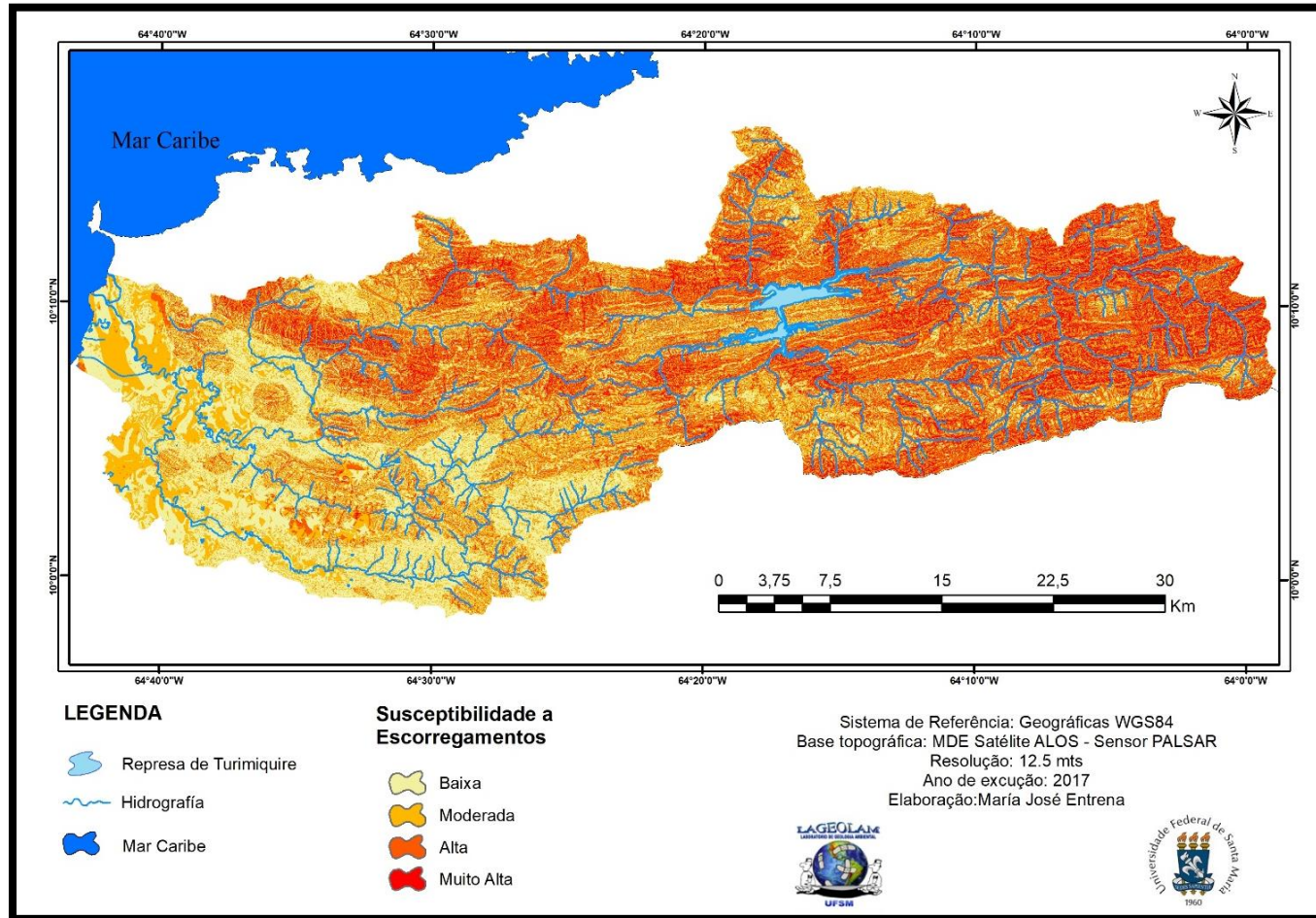
Tabela 12 - Quantificação das classes de susceptibilidade aos escorregamentos na bacia do rio Neverí.

<b>Classes de Susceptibilidade</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Baixa	36.261	26,35
Moderada	43.319,16	31,48
Alta	40.128,80	29,17
Muito Alta	17.879,12	12,99
<b>Total</b>	<b>137.669,72</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2017).



Figura 32 - Distribuição espacial das classes de susceptibilidade geradas a partir do modelo morfométrico-estrutural de susceptibilidade aos escorregamentos na área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

O mapa de susceptibilidade obtido apresenta importantes similaridades e diferenças em relação ao mapa obtido do modelo proposto por Jiménez (2012). A quantificação das classes de susceptibilidade foram semelhantes; mas a distribuição espacial ficou mais definido no modelo proposto.

◆ *Susceptibilidade Baixa*

Representa 26,35% do total da área da bacia do rio Neverí encontra-se dispersa na área de estudo e nas poções do sudoeste e oeste da área de estudo e espalhada no centro e sul-sudeste da área de estudo. Ocorre, predominantemente no baixo curso, em vertentes no médio curso e raramente no alto curso.

◆ *Susceptibilidade Moderada*

Representa 31,48% do total da área da bacia do rio Neverí, constituindo na classe mais expressiva dentro da área de estudo. As porções maiores encontra-se no norte e oeste da área de estudo, junto ao baixo curso, os vales que marcam o início do relevo escarpado do curso médio, e muito disperso no alto curso do rio Neverí.

◆ *Susceptibilidade Alta*

Representa 29,17% do total da bacia do rio Neverí, sendo a segunda classe com maior expressividade na área de estudo, e encontra-se nas encostas do curso médio e alto do rio Neverí.

◆ *Susceptibilidade Muito Alta*

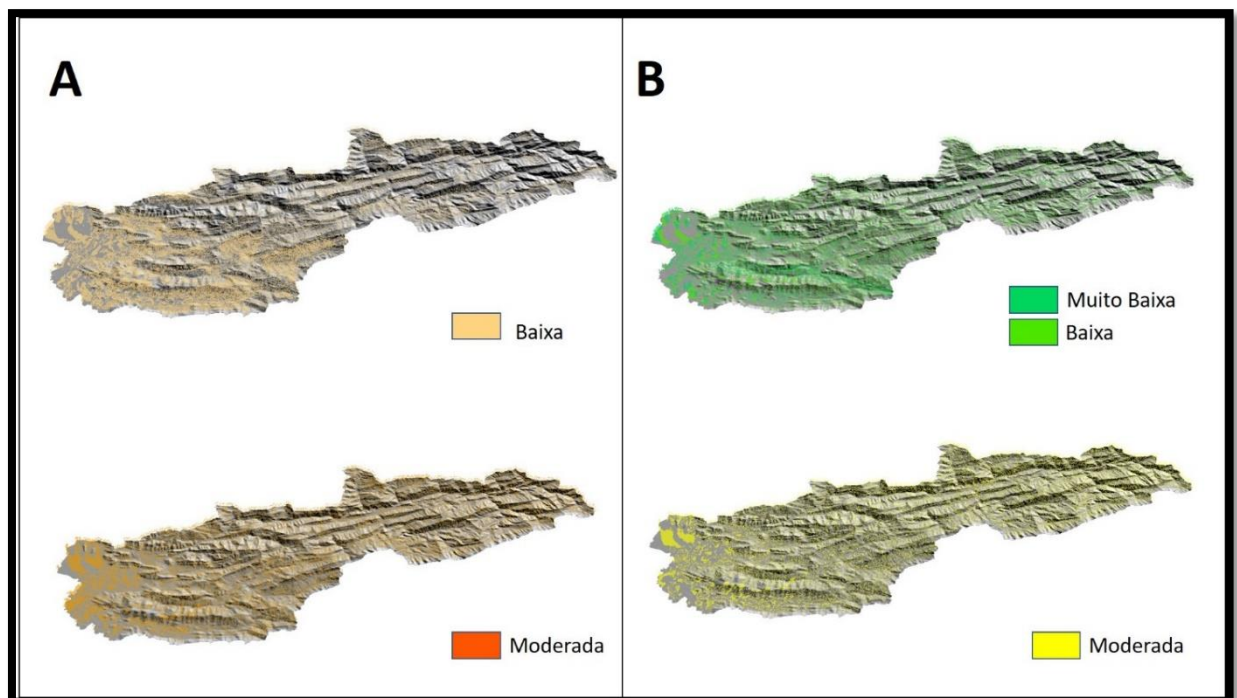
Representa 12,99% do total da bacia do rio Neverí, encontrando-se distribuída nas encostas do início do médio e alto curso do rio Neverí onde os níveis hipsométricos são elevados.

### 7.3 RELAÇÃO ENTRE OS MODELOS ANALISADOS

Os parâmetros contemplados no modelo de Jiménez (2012) foram: em relação aos parâmetros morfométricos: declividade e aspecto; quanto aos escorregamentos o inventário da ocorrência; substrato geológico (litologias associadas). O modelo proposto baseia-se em os seguintes parâmetros morfométricos: declividade, forma das vertentes, índice de umidade (escoamento superficial) e a densidade de lineamentos como parâmetro de controle estrutural.

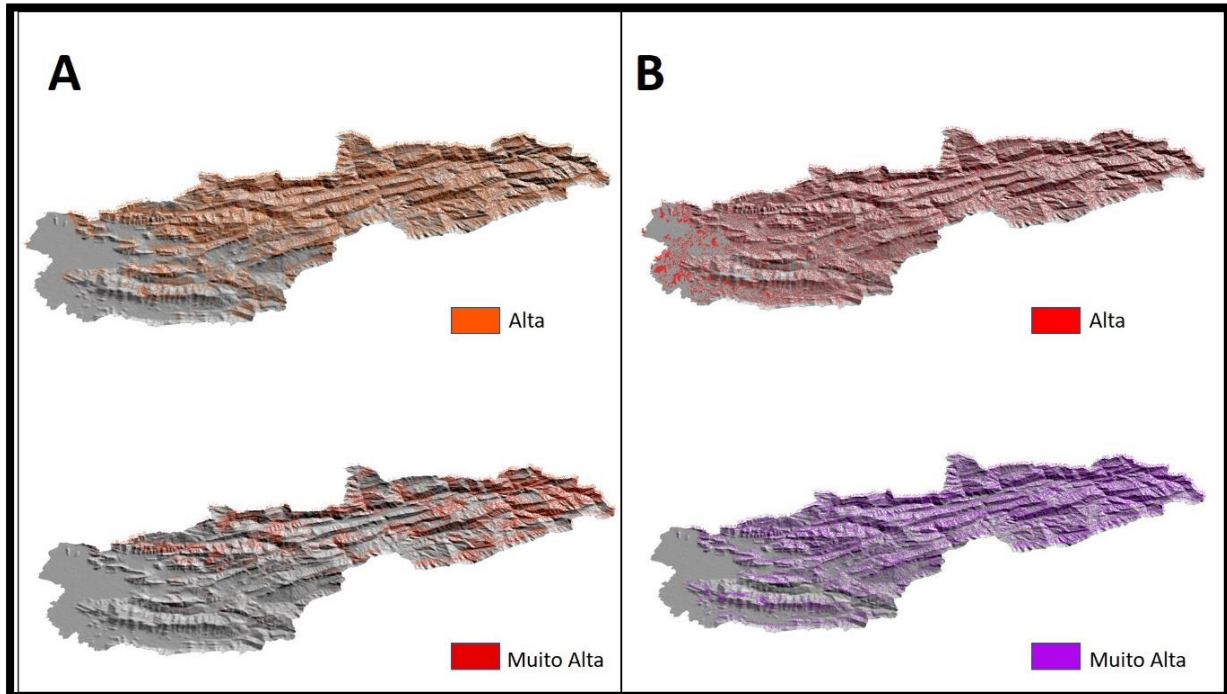
Nas Figuras 33 e 34 apresenta-se a comparação das classes obtidas dos modelos empregados, onde pode-se observar as semelhanças e diferenças indicadas com anterioridade no contexto espacial.

Figura 33 - Comparação e distribuição espacial das classes de susceptibilidade Baixa e Moderada obtidas pelos modelos empregados. (A) Modelo Morfométrico – Estrutural (B) Modelo proposto por Jiménez (2012).



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 34 - Comparação e distribuição espacial das classes de susceptibilidade Alta e Muito Alta obtidas pelos modelos empregados. (A) Modelo Morfométrico – Estrutural (B) Modelo proposto por Jiménez (2012).



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

A principal diferença que apresentam os modelos empregados foi a causa da utilização de o inventario de cicatrizes. Essas diferenças espaciais podem-se observadas especificamente nas classes alta e muito alta de ambos modelos.

As classes baixas (modelo morfométricos - estrutural- A) e muito baixa (modelo Jiménez-2012- B) são muito semelhantes em sua distribuição espacial, encontrando-se associadas a planície aluvial do baixo curso do rio Neverí e raramente no médio e alto curso.

No caso das classes moderadas o resultado dos modelos empregados foi quase idêntico, apresentando pequenas variações no médio curso e alto da bacia as quais vão de áreas com elevações intermédias a grandes elevações.

As classes alta e muito alta susceptibilidade a escorregamentos apresentam diferenças maiores, a causa principal é que o modelo proposto por Jiménez (2012) analisa a presença de cicatrizes, portanto as áreas onde não teve semelhança espacial é porque teve presença de cicatriz.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de susceptibilidade aos escorregamentos, diz respeito às características físicas que contribuem para a deflagração do processo. Portanto, o presente trabalho objetivou analisar os elementos físicos que caracterizam a área de estudo que permitam compreender o comportamento do sistema hidrográfico do rio Neverí.

A utilização dos atributos topográficos na delimitação de unidades geomorfológicas parte da classificação digital das unidades com base nas características físicas do meio relacionando diretamente a altitude e a declividade, com o auxílio de diversas técnicas de geoprocessamento. Portanto, os atributos topográficos expressam relação direta com a taxa, magnitude e direção do fluxo da matéria e energia no relevo e com os mecanismos de transformação e transporte.

Dessa forma permite a divisão da bacia hidrográfica em áreas geomorfológicas homogêneas quanto os processos da dinâmica e modelagem da superfície (processos erosivos na parte alta e média e de sedimentação nas partes baixas da bacia).

A partir da avaliação por múltiplos critérios nos modelos empregados obtiveram-se dois cenários de suscetibilidade a escorregamentos.

Portanto, os resultados obtidos neste trabalho demonstram que é possível mapear de maneira eficiente a susceptibilidade a escorregamentos com o emprego de ferramentas de geoprocessamento, utilizando poucos recursos e variáveis.

As vantagens da utilização dos modelos consistem na facilidade de armazenamento de dados, de atualização periódica e de reprodução dos resultados. Além disso, a qualquer momento da análise as variáveis podem ser modificadas e os pesos ajustados, permitindo a geração de cenários alternativos. Mas é necessário ressaltar que a avaliação das áreas susceptíveis a escorregamentos não é uma ciência exata e que os resultados obtidos constituem-se em uma predição, a qual depende da qualidade dos dados utilizados.

Ainda, a adequação dos modelos é diretamente relacionada à seleção dos critérios e dos pesos, sendo estas as etapas que devem exigir maior esforço e atenção. As diferentes classes de susceptibilidade obtidas facilitam a hierarquização dos locais mais susceptíveis a escorregamentos e favorecem a determinação de prioridades para o planejamento e direcionamento das ocupações humanas. Nesse sentido, os cenários elaborados constituem-se em um subsídio importante para a

identificação de potenciais situações de conflito entre a dinâmica das encostas e a ocupação humana, de modo de evitar a consolidação da ocupação nas áreas inseridas na classe de susceptibilidade alta e muito alta.

Os cenários obtidos permitem ainda indicar preliminarmente os locais onde é necessário realizar mapeamentos detalhados de perigo e risco, possibilitando melhor planejamento dos recursos humanos, tecnológicos e financeiros.

Não obstante os resultados favoráveis, existem aprimoramentos que podem ser aplicados aos modelos utilizados. Talvez a inclusão de variáveis adicionais como a vegetação e uso da terra, possa elevar a acurácia dos mapas estimados. Entretanto, identificar variáveis complementares relevantes, evitando a inclusão de dados pouco significativos ou redundantes, consiste em uma tarefa complexa.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, S. A., RAJ, K. Lineament extraction from southern Chitradurga Schist Belt using Landsat TM, ASTERGDEM and geomatics techniques. **International Journal of Computer Applications**, v. 93, n. 12. 2014
- ALATORRE CEJUDO, L. C. et al. **Geoinformática aplicada a processos geoambientales**. 1ed. Ciudad Juarez, 2015.
- ALARCÓN, F., CAICEDO, G. **Diferenciación de los Sedimentos Cuaternarios y su Caracterización Geotécnica cualitativa, en un sector de Puerto La Cruz, Municipio Sotillo, Estado Anzoátegui**. INGEOMIN, 2010.
- ALBUQUERQUE, E. L. S; CRUZ, M. L. B; MENDES, L. M. S. Avaliação geoambiental e caracterização do uso e ocupação do alto curso do rio Catú no município de Horizonte – CE. **Geografia e Ensino e Pesquisa**, Santa Maria, v. 12, n. 1, 2008.
- ANDERSON, M. G.; BURT, T. P. The role of topography in controlling throughflow generation. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.3, p. 331-344, 1978.
- ANTOINE, P. Les problemes posés par l. **Bulletin of the international Association of Engineering Geology**, p. 9-24, 1992.
- ARNSTEIN, R.; SÁNCHEZ, H.; RUSSOMANNO, F.; CABRERA, E. Revisión Estratigráfica de la Cuenca de Venezuela Oriental. In: ESPEJO, A. R. (Ed.). **VI Congreso Geológico Venezolano. Tomo I**. Caracas: Sociedad Venezolana de Geólogos, 1985, p. 41-69.
- AUTORIDAD ÚNICA DE ÁREA PARA EL ESTADO VARGAS. **Plan De Ordenamiento Y Reglamento De Uso Del Área De Protección Y Recuperación Ambiental Del Estado Vargas (Eje Arrecife-Los Caracas)**. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 5.758. 2005
- BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, n. 13, p. 1-27, 1972.
- BERTRAND, G.; BERTRAND, C. **Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades**. Maringá: Editora Massoni, 2007
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. 3 ed. Petrópolis: Vozes, 1977. 351p
- BEVEN K., KIRKBY, M. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrol Sci Bull**, v. 24, p. 43-69, 1979.
- BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E.; HERMANN, M. L. de P.; SANTOS, G. F. dos; MENDONÇA, M.; SALAMUNI, R.; SUGUIO, K. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2 ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003

- BOTELHO, R. G. M. **Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica.** In: GUERRA, A. J. T. (Org.). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.* Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 269-300, 1999.
- CAPRILES, M. **Implicaciones de los cambios morfológicos de la bahía de Barcelona sobre la infraestructura urbana de Lechería estado Anzoátegui.** Trabajo de licenciatura (Escuela de Geografía)–Universidad Central de Venezuela, Caracas, 2006.
- CARTAYA, S.; MÉNDEZ, W.; PACHECO, H. Modelo de zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa a través de un sistema de información geográfica. *Interciencia*, v. 31, n. 9, 2006.
- CASSETI, V. **Elementos de Geomorfologia.** Goiânia: Editora da UFG, 1994. 137p.
- CEVIK, E.; TOPAL, T. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology*, v. 44, n. 8, p. 949-962, 2003.
- CHACÓN, J. **Los conceptos actuales de susceptibilidad, peligrosidad y riesgo, en la prevención de movimientos de ladera, con ejemplos de aplicaciones prácticas.** Desastres e riscos geológicos em Curitiba e litoral. Roteiro de Excursão Técnica, 2008
- CHORLEY, R. J. **Spatial analysis in geomorphology.** 1 ed, Hardcover: Methuenn Young Book, 1972. 392 p.
- CHORLEY, R. J.; HAGGET, P. **Modelos integrados em Geografia.** Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos S.A., 1974. 279p
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia.** São Paulo: Editora Hucitec, 1979. 144p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** 2. ed, São Paulo: Edgard Blucher, 1980.188p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 236p.
- CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In: GUERRA, A J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 4 ed, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 415-440, 2001.
- CLARK, N.; PEREZ-TEJO, F.; ALLEN, P. **The nature of Systems.In Evolutionary dynamics and sustainable development: a systems approach.** Aldeshor: Edward Elgar, 1995.
- CLERICI, A; PEREGO, S.; TELLINI, C.; VESCOVI, P. A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology*, v. 48, p.



349-364, 2002.

CONCEIÇÃO, R. A. C.; SILVA, A. Q. Extração automática de lineamentos utilizando imagens SRTM Landsat ETM+ e ALOS PALSAR na região de Norbes, MT. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2013, Foz do Iguaçu/PR. **Anais...** Foz do Iguaçu/PR: INPE, 2013.

COROMINAS, J.; GARCÍA YÄGUE, A. Terminología de los movimientos de ladera. In: IV SIMPOSIO NACIONAL SOBRE TALUDES Y LADERAS INESTABLES, 3, 1997 Granada. **Anais...** Granada, v. 3, p. 1051-1072, 1997.

CREOLE PETROLEUM CORPORATION. **Geologia de Superficie**. Venezuela: Escala 1:50.000. Mapa D-10-D; Mapa D-10-A, 1958.

CRUDEN, D. M. A simple definition of a landslide. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 43, n. 1, p. 27-29, 1991.

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. Landslide types and processes. In: TURNER, A. K.; SCHUSTER, R. L. (Orgs.). **Landslides-Investigation and Mitigation**. Transportation Research Board, Washington Special Report 247, p. 36-75, 1996.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

CUNHA, L. **Para quê e a quem serve a Geomorfologia?** Aurora Geography Journal. Portugal: Universidade do Minho, 2006.

CRISTO, S. S. V. **Análise De Susceptibilidade a Riscos Naturais Relacionados às Enchentes e Deslizamentos do Setor Leste da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis - SC**. 211f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

DAI, F. C.; LEE, C. F. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. **Geomorphology**, v. 42, n. 3-4, p. 213-228, 2002.

DIETRICH, W. E.; REISS, R.; HSU, M. L.; MONTGOMERY, D. R. A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data. **Hydrological processes**, v. 9, n. 3-4, p. 383-400, 1995.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS® 10.1 License Manager and Installation**. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/desktop/latest/get-started/license-manager/guide/license-manager-installation-and-startup.htm>>. Acesso em: 18 jul. 2016.

FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W. Z. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. **Engineering Geology**, v. 102, n. 3, p. 99-111, 2008.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem

geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p.123-194.

FERNANDEZ, C. I.; DEL CASTILLO, T. F.; EL HAMDOUNT R.; MONTERO, J. C. H. Verification of landslide susceptibility mapping: a case study. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 24, p. 537-544, 1999.

GRUBER, S.; PECKHAMN, S. Land-Surface Parameters and Objects in Hydrology. In: HENGL, T.; REUTER, H. (Orgs.). **Geomorphometry: Concepts, Software, Applications**. Amsterdam-Oxford: Elsevier, 2009. p 171-194.

GUADAGNIN, P. M. A.; TRENTIN, R. Compartimentação Geomorfométrica da Bacia Hidrográfica do Arroio Caverá-RS. **GeoUERJ**, Rio de Janeiro, v.1, n. 25, p. 183-199, 2014. Disponível em: <<http://www.epublicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/10030/9928>>. Acesso em: 14 ago. 2016.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. Degradação ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (Orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 337-379.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. dos S. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192p

GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. **Geomorphology**, v. 31, n. 1-4, p. 181-216, 1999.

HACKLEY, P.; URBANI, F.; KARLSEN, A. W.; GARRITY, C. P. **Geological shaded relief map of Venezuela**. USGS, Open File Report. Dos hojas a escala, 1:750.000. 2004.

HORN, B. K. P. **Hill shading and the reflectance map**. Proceedings of the IEEE, v. 01, n. 69, p. 14-47, 1981.

HUTCHINSON, J. H. Morphological and Geotechnical Parameters of Landslides. In: **Relation to Geology and Hydrology**. Proc. 5th Intern. Symp. On Landslide, p. 3-35. 1988

INSTITUTO GEOGRÁFICO DE VENEZUELA SIMÓN BOLÍVAR. **Vectores de Venezuela**. Disponível em: <<http://ide.igvsb.gob.ve/wms/>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. **Censos de Población y Vivienda.1961-2001**. Caracas, Venezuela. 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. **División Politico Territorial de Anzoátegui y Sucre**. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA. **Informe Geoambiental de Anzoátegui, Venezuela.** Caracas/Venezuela, 2011. 252p.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA. **Informe Geoambiental de Sucre, Venezuela.** Caracas/Venezuela. 2011. 186p.

IWAHASHI, J.; PIKE, R. J. Automated classifications of Topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. **Geomorphology**, v. 3, n. 4, p. 409-440. 2007.

JÁCOME, M. Modelado geodinámico de la serranía del interior oriental y la cuenca de maturín. In: XI CONGRESO VENEZOLANO DE GEOFÍSICA, 2002, Caracas. **Anais...**Caracas, 2002.

JIMÉNEZ-PERALVAREZ, J. D. **Análisis de susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante un SIG en la cuenca vertiente al embalse de Rules.** 106f. Memorial (Doctorado)–Universidad de Granada, Granada, 2005.

JIMÉNEZ-PERÁLVAREZ, J. D.; IRIGARAY C.; EL HAMDOUNI, R.; CHACÓN, J. Building models for automatic landslide-susceptibility analysis, mapping and validation in ArcGIS. **Natural Hazards**, v. 50, n. 3, p. 571-590, 2009

JIMÉNEZ-PERÁLVAREZ, J. D. **Movimientos de ladera en la vertiente meridional de Sierra Nevada (Granada, España): Identificación, Análisis y Cartografía de susceptibilidad y Peligrosidad mediante SIG.** 188p. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologias do Meio Ambiente)–Universidad de Granada, Granada, 2012.

KIENZLE, S. The effect of MDE raster resolution on first order, second order and compound terrain derivatives. **Transactions in GIS**, v. 8, n. 1, p. 83-111, 2004.

LARA, A. A.; MARQUES E. A. G.; ALMEIDA A. C. R. Mapeamento de riscos de acidentes associados a escorregamentos – Morro da Serrinha, Rio de Janeiro, Brasil. In: 2ª CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADES DE ENCOSTAS (COBRAE), 1997, Rio de Janeiro/RJ. **Anais...** Rio de Janeiro/RJ: ABMS/ABGE, 1997.

LIBAULT, A. Os quatro níveis da pesquisa geográfica. **Métodos em Questão**, São Paulo, n. 1, 1971

MADRUGA, M. B. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da susceptibilidade a escorregamentos no município do Porto Alegre, RS.** 168p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

MAHARAJ, R. J. Landslide processes and landslide susceptibility analysis from an upland watershed : A case study from St . Andrew , Jamaica , West Indies. **Engineering Geology**, v. 34, p. 53-79, 1993.

MARCANO MONTILLA, A.; CARTAYA RÍOS, S. Zonificación de la amenaza por procesos de remoción en masa originados por las precipitaciones entre Camurí

Chico y Punta Tigrillo, estado Vargas, Venezuela. In: IV JORNADAS NACIONALES DE GEOMÁTICA, 2011, Caracas. **Anais...** Caracas: Fundación Instituto de Ingeniería, 2011.

MATTOS, S. H. V. L.; FILHO, A. P. Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, p. 11-18, 2004.

MENESES, S. B. M. C. **Susceptibilidade e Risco de Movimentos de Vertente no Concelho de Tarouca**. 133f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física)–Universidade de Lisboa, 2011.

MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA EL AMBIENTE. **Gestión Integrada de la Zona Costera de Anzoátegui**. Barcelona, Anzoátegui. 2006.

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES. **Plan de Ordenación del Territorio**. Estado Anzoátegui, Venezuela. 1991.

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES. **Plan de Conservación de la Cuenca Alta y Media del río Neverí**. Informe Ejecutivo. Caracas, Venezuela. 2001.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E.; TORRES, R.; PRESTUD ANDERSON, S.; HEFFNER, J. H.; LOAGUE, K. Hydrologic response of a steep, unchanneled valley to natural and applied rainfall. **Water Resources Research**, v. 33, n. 1, p. 91-109, 1997.

MOREIRA DO CARNO, A.; SILVA SOUTO, M. V.; DUARTE, R. C.; MESQUITA, A. F. Análise de Risco Ambiental à Erosão Gerada a partir de produtos de sensores remotos: MDE Topodata e Landsat 8. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2015, João Pessoa/PB. **Anais...** João Pessoa/PB: INPE, 2015.

NASCIMENTO, F.; SAMPAIO, L. F. Geografia física, geossistemas e estudos integrados da paisagem. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral, v. 67, p. 167-179, 2005.

NUMMER, A. V. **Parâmetros geológicos-geotécnicos controladores dos movimentos de massa na RS486/Rota do Sol-Itati/RS**. 256f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

ORGANIZACIÓN DE ESTADOS AMERICANOS. **Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado**. Washington, D.C. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente, Secretaria Ejecutiva para asuntos económicos y sociales. 1993.

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. **Geological Society Of America Bulletin**, v. 87, n. 10,

p. 1463-1469, 1976.

OZDEMIR, A. Landslide susceptibility mapping using Bayesian approach in the Sultan Mountains (Aksehir, Turkey). **Natural Hazards**, v. 59, n. 3, p. 1573-1607, 2011.

PETRÓLEO DE VENEZUELA S.A. **Código Estratigráfico de las Cuencas Petroleras de Venezuela**. [Libro en línea]. Disponível em: <<http://www.pdv.com/lexico/lexicoh.htm>>. Acesso em: 29 out. 2016.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1985. 186p

PÉREZ-PEÑA, J. V.; AZAÑÓN, J. M.; AZOR, A. CALHYPSO: An ArcGIS extension to calculate hypsometric curves and their statistical moments. Applications to drainage basin analysis in SE Spain. **Computers & Geosciences**, v. 35, n. 6, p. 1214-1223, 2009.

PFALTZGRAFF, P. A. D. S. **Mapa de suscetibilidade a deslizamentos na região metropolitana do Recife**. 120f. Tese (Doutorado em Geologia)—Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

PHILLIPS, J. D.; RENWICK, W. H. Geomorphic systems. **Geomorphology**, v. 5, n. 3, p.195-489. 1992.

PINEDA, M. C.; VILORIA, J.; MARTÍNEZ-CASANOVAS, J. A. Cambios de cobertura vegetal y susceptibilidad a deslizamientos de tierras en la serranía interior, Venezuela. In: V JORNADAS NACIONALES DE GEOMÁTICA, 2013, Caracas. **Anais...** Caracas: Fundación Instituto de Ingeniería, 2013.

QUESADA ROMÁN, A.; BARRANTES CASTILLO, G. Modelo morfométrico para determinar áreas susceptibles a procesos de ladera. **Investigaciones Geográficas**, [S.l.], mayo 2017. ISSN 2448-7279. Disponível em: <<http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/57318>>. Acesso em: 03 mai. 2017.

RAMIREZ, N. Zonificación de áreas susceptibles a los movimientos en masa: Terraza de la ciudad de Mérida y sus alrededores. In: IV JORNADAS NACIONALES DE GEOMÁTICA, 2011, Caracas. **Anais...** Caracas: Fundación Instituto de Ingeniería, 2011.

REINOZA, G.; CARLOS E. **High resolution geodetic gnss surveys of the present day deformation along the south-caribbean margin. Implications for earthquake hazard assessment in western and north-eastern Venezuela**. Earth Sciences: Université Grenoble Alpes, 2014.

ROA, J. G. Aproximación al mapa de susceptibilidad y amenazas por deslizamientos de la ciudad de Trujillo, Venezuela. **Revista AGORA**. Trujillo, v. 9, n. 2, 2006.

ROJAS, T. **Geografía de la región Nororiental**. Caracas: Editorial Ariel-Seix Barrial

Venezolana, 1981.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 17-29, 1992. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47108/50829>>. Acesso em: 12 set. 2016.

SAHA, A. K.; GUPTA, R. P.; ARORA, M. K. GIS-based Landslide Hazard Zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas. **Int. J. Remote Sensing**, v. 23, n. 2, p. 357-369, 2002.

SALES, V. D. C. Geografia, Sistemas E Análise Ambiental: Abordagem Crítica. **GEOUSP-Espaço e Tempo**, São Paulo, p. 125-141, 2004.

SANCHEZ, A. **Zonificación de susceptibilidad ante los movimientos em massa em la cuenca de la quebrada La Culebra, Municipio Guanta al NE del estado Anzoátegui**. 371f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Geológica)–Universidade Central de Venezuela, Caracas, 2014.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004

SANTOS, J. O. **Fragilidade e Riscos Socioambientais em Fortaleza – CE: contribuições ao ordenamento territorial**. 315f. Tese (Doutorado)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

STRAHLER, A. N. Dynamic basis of geomorphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 9, p. 923-938, 1952.

SILVA, M. K. A. **Análise geoambiental das bacias hidrográficas federais do cerrado mineiro**. 200p. Dissertação (Mestrado em Geografia)–Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P. Classificação geomorfométrica de unidades morfológicas do relevo no estado do Paraná obtida de atributos topográficos e árvore de decisão. In: XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2013, Vitória/ES. **Anais...** Vitória/ES: UFES, 2013.

SILVEIRA, C.; FIORI, A. P.; SCHILIPACK, P.; DIAS, S. M. Mapeamento preliminar da suscetibilidade natural a movimentos de massa da Serra do Mar Paranaense apoiado na análise digital do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, p. 3-22, 2014.

SOTCHAVA, V. B. O Estudo dos Geossistemas. **Métodos em Questão**, São Paulo, v. 16, p. 1-52. 1977.

SUAREZ, J. **Deslizamientos Y Estabilidad De Taludes En Zonas Tropicales**. Bucaramanga, Colombia: Publicaciones UIS, 1998. 550p.

THOMAS, M. F. Landscape sensitivity in time and space - An introduction. **Catena**, v. 42, n. 2-4, p. 83-98, 2001.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S.; SILVEIRA, C. T. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Itu/RS **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 16, n. 2, 2015.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. As Unidades de Relevo como base para a Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Itu – Oeste do Rio Grande do Sul. In: 9º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2012, Rio de Janeiro/RJ. **Anais...** Rio de Janeiro/RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977. 91p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat 8**. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/>>. Acesso em: 30 jan. 2016.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)**. Disponível em: <<http://srtm.usgs.gov/>>. Acesso em: 13 fev. 2016.

UNISDR. **Terminology on disaster risk reduction**. Geneva, Switzerland, 2009.

VALERIANO, M. M.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 17-29, 2003.

Disponível em:

<<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php?journal=rbg&page=article&op=view&path%5B%5D=17&path%5B%5D=15>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

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**. 132p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Meteorologia)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre, 2006.

VARNES, D. J. Landslide types and processes. **Landslides and engineering practice**, v. 24, p. 20-47. 1958.

VARNES, D. J. Slope movement and types and process. In: SCHUSTER, R. L.; KRIZEK, R. J. (Orgs.). **Landslides: Analysis and control. Transportation Research Board Special Report 176**. Washington: National Academy of Sciences, 1978. p.11-33.

VENEZUELA. **Cartografía Nacional**. Folhas 7246; 7245; 7346; 7345; 7446; 7445 na escala 1:100.000.

WOOD, J. **The geomorphological characterisation of digital elevation models**. 238f. PhD Thesis (Doctorate in Geography)–University of Leicester, Leicester, 1996.

WP/WLI. A suggested method for reporting a landslide. International Geotechnical Societies. UNESCO Working Party on World Landslide Inventory; Chairman Cruden

DM, **Bull Eng Geol Environ**, v. 41, p. 5-12, 1990.

WP/WLI. A suggested method for a landslide summary. International Geotechnical Societies. UNESCO Working Party on World Landslide Inventory; Chairman Cruden DM, **Bull Eng Geol Environ**, v. 43, p.101-110, 1991.

WP/WLI. A suggested method for describing the activity of a landslide. International Geotechnical Societies. UNESCO Working Party on World Landslide Inventory; Chairman Cruden DM, **Bull Eng Geol Environ**, v. 47, p. 53-57, 1993.

WP/WLI. **Multilingual landslide glossary. International Geotechnical Societies.** UNESCO Working Party on World Landslide Inventory; Chairman Cruden DM, Bitech, Richmond, British Columbia.1993

XAVIER DA SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental.** Rio de Janeiro: Editora Jorge Xavier da Silva, 2001. 228p.

YALCIN, A. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. **Catena**, v. 72, n. 1, p. 1-12, 2008.

ZINCK, A.; URRIOLOLA, P. **Paisajes y suelos en la cuenca del río Neverí, estado Anzoátegui (Venezuela).** Caracas: Ministerio de Obras Públicas, 1972.