



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E LETRAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



JANAIRA MARQUES LEAL

**VULNERABILIDADE AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE SÃO MIGUEL DO TAPUIO,  
PIAUÍ: BASES PARA O ORDENAMENTO TERRITORIAL**

TERESINA, PIAUÍ

2019

JANAIRA MARQUES LEAL

**VULNERABILIDADE AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE SÃO MIGUEL DO TAPUIO,  
PIAUÍ: BASES PARA O ORDENAMENTO TERRITORIAL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Geografia, da Universidade Federal do Piauí, para a obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Organização do Espaço e Educação Geográfica.

Linha de Pesquisa: Estudos Regionais e Geoambientais.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cláudia Maria Sabóia de Aquino.

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares.

TERESINA, PIAUÍ

2019

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco  
Divisão de Processos Técnicos

L435v Leal, Janaira Marques.  
Vulnerabilidade ambiental no município de São Miguel do Tapuio, Piauí : bases para o ordenamento territorial / Janaira Marques Leal. -- 2019.  
105 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Humanas e Letras, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Teresina, 2019.

“Orientação: Prof. Dr. Cláudia Maria Sabóia de Aquino.”  
“Coorientação: Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares.”

1. Mapeamento geomorfológico. 2. Vulnerabilidade ambiental.  
3. Ordenamento territorial. 4. Estruturas circulares. I. Título.

CDD 551.4

JANAIRA MARQUES LEAL

**“VULNERABILIDADE AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE SÃO MIGUEL DO TAPUIO, PIAUÍ: BASES PARA O ORDENAMENTO TERRITORIAL”**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Piauí – UFPI.

Orientadora: Profª. Drª. CLAUDIA MARIA SABOIA DE AQUINO

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/2019.

**BANCA EXAMINADORA**

Profª. Drª 

[Orientadora - Presidente]

CLAUDIA MARIA SABOIA DE AQUINO

Prof. Dr. 

[Examinador Externo à Instituição - UFPI]

GLAIRTON CARDOSO ROCHA

Prof. Dr. 

[Examinador Interno ao Programa – PPGGEO – UFPI]

GUSTAVO SOUZA VALLADARES

## Dedicatória

Á minha mãe e meu pai, razão da minha existência. Aos meus irmãos Janaine e Douglas, e minha sobrinha/afilhada Laura, por mostrar que o amor impulsiona tudo nesse mundo. Somos um só.

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente queria agradecer a maior energia que rege o universo, que me deu força e paz nos momentos em que mais precisei, que nunca me desamparou e todos os dias me enchia de amor e alegria: Deus.

Durante o período de conclusão do mestrado muitas pessoas me ajudaram de diversas formas a passar pelos obstáculos que me eram ofertados, onde estas não poderiam deixar de serem citadas nessa pesquisa.

Primeiramente, a quem dedico não só esta pesquisa, mas também toda a minha vida acadêmica, pois sem ela nada disso seria possível, sem o amor ofertado por ela, sem a força no dia a dia, sem os seus ensinamentos e cuidados, sem sua ajuda financeira: minha mãe, Valmisa. Obrigada por tudo, minha vida.

A minha irmã que sempre me ajudou muito, me auxiliando com seus conselhos arianos, com o seu amor, sua coragem, sua experiência com pós-graduação, com seus puxões de orelha, com seus cuidados (muitos cuidados, ufa!), e também com a ajuda financeira em muitos momentos. Obrigada, irmã, nada disso será esquecido.

Ao meu padrasto pelas caronas que sempre me salvavam.

Ao meu irmão pelo amor.

Ao meu pai pelo carinho e atenção em todos os momentos dessa jornada da vida.

Ao meu cunhado pelos conselhos infundáveis.

À minha sobrinha Laura, por ser luz na minha vida desde o seu nascimento.

À minha tia Maria Luisa pelo amor e carinho de sempre.

Aos meus amigos que nunca me abandonaram, que mesmo quando eu dizia que não dava mais eles vinham e me davam uma injeção de ânimo através de suas palavras e companheirismo, em especial ao João Victor, Janaine e Rubens. Vocês são um pedaço do céu.

Ao meu amigo Jonh Lennon (*Let it be*), por ser para mim uma grande referência dentro da ciência geográfica, bem como de amigo leal. Obrigada pela caminhada, amigo.

À uma pessoa que esteve presente em diversos momentos, bons e também difíceis. Por acompanhar a minha entrada na pós e a caminhada no dia a dia sempre reafirmando o quanto isso tudo daria certo: Maria Mariana. Obrigada, ni.

Aos amigos do Laboratório Geomática que alegravam os dias e que sempre estavam ali para ajudar: Myryan, Diana, Jéssica, Andréa, Wellynne, Amanda, João Victor. Vocês foram maravilhosos.

Aos meus amigos da graduação com quem tive o prazer de dividir o início de toda essa história geográfica. Amo todos vocês, amigos, em especial ao grupo “Cobrex”.

Aos professores do PPGGEO pelos ensinamentos durante as aulas, em especial ao Prof. Dr. Antonio Cardoso Façanha. Foi muito bom tê-lo na minha vida acadêmica.

Ao Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares por toda a ajuda que me forneceu nesse tempo, nunca me desamparou quando o assunto era o sensoriamento remoto, como também pela sua amizade. Obrigada, professor, jamais esquecerei de todo auxílio que me deste até aqui.

À minha Orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cláudia Maria Sabóia de Aquino, a quem devo sinceros agradecimentos por ter confiado em mim desde o início quando eu ainda nem era pós-graduanda, me auxiliando ainda na construção do projeto. Devo muito à senhora, pois muito do que sei adquiri através de suas aulas na graduação/mestrado e durante as longas e enriquecedoras orientações. Pelos ensinamentos e amizade, muito obrigada, Professora!

À Universidade Federal do Piauí – UFPI por ceder o Laboratório Geomática para a confecção dos meus mapas.

À CAPES e à FAPEPI por fornecer uma bolsa de estudos, a qual pude me manter durante alguns meses na pós-graduação.

A todos que me ajudaram de alguma forma e que não foram aqui citados, meu mais sincero obrigada.

“Nós mudamos quando crescemos, somos jovens e não sabemos que um dia envelhecemos e distraídos venceremos.”

(Selvagens à procura de lei)



## RESUMO

É possível observar o surgimento de questionamentos acerca da utilização dos recursos naturais como mercadoria a partir das relações estabelecidas entre sociedade e natureza, principalmente após a Primeira Revolução Industrial. Tais questionamentos transformam-se em preocupações quando o surgimento de diversas formas de uso desenfreado dos ambientes naturais revelam-se superiores à capacidade de suporte dos mesmos. Neste sentido, a presente pesquisa tem por objetivo geral analisar a complexidade do meio físico de São Miguel do Tapuio, Estado do Piauí, a partir da abordagem sistêmica, tendo em vista subsidiar o ordenamento territorial, destacando suas vulnerabilidades, potencialidades e limitações. Os objetivos específicos aqui propostos foram: 1) caracterizar os aspectos ambientais do município de São Miguel do Tapuio, Piauí (geologia, hidrografia, clima, associações de solos e NDVI); 2) elaborar mapa de compartimentação geomorfológica, conforme Ross (1992); 3) realizar mapeamento da cobertura vegetal do município de São Miguel do Tapuio utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do ano de 2017; 4) Elaborar mapa com as classes de vulnerabilidade ambiental para o município de São Miguel do Tapuio, considerando a metodologia de Crepani et al. (2001). Para que se fizesse possível o mapeamento da vulnerabilidade ambiental utilizaram-se parâmetros como a evolução geológica e grau de coesão das rochas para a delimitação da vulnerabilidade do fator Geologia; Declividade Média; Erodibilidade dos solos; e NDVI para cobertura vegetal. Neste sentido, constatou-se que o município apresentou 0,01% na classe de Baixa vulnerabilidade, 26,4% na classe Moderada vulnerabilidade, 63,9% na classe Moderadamente alta vulnerabilidade e 9,5% na classe Alta vulnerabilidade. Foram identificadas as seguintes unidades geomorfológicas e respectivas vulnerabilidades ambientais: Superfície de Cimeira (40,9% Moderada e 58,7% Moderadamente alta); Reverso superior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado (44,9% Moderada, 55% Moderadamente alta e 0,1% Alta); Reverso inferior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado (32% Moderada, 60,6% Moderadamente alta e 7,5% Alta); Formas tabulares muito dissecadas (0,03% Baixa, 39,3% Moderada, 60,2% Moderadamente alta e 1% Alta); Formas tabulares dissecadas (43,2% Moderada e 61,7% Moderadamente alta); Vales (9,9% Moderada, 64,5% Moderadamente alta e 25,4% Alta); Áreas de inundação sazonal com relevo movimentado (1,4% Moderada, 91% Moderadamente alta e 7,5% Alta). Com base nisso, constata-se que unidades que apresentam menores valores de vulnerabilidades correspondem à Superfície de Cimeira, Reverso superior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado e Superfícies tabulares dissecadas. As unidades que apresentaram uma maior vulnerabilidade compreendem o Reverso inferior seco a cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado, Formas tabulares muito dissecadas, Vales e Áreas de inundação sazonal com relevo movimentado. Os dados alcançados pela presente pesquisa permitem aferir que o município estudado apresenta condições ambientais que necessitam de medidas de ordenamento territorial que forneçam subsídios para proteção de suas áreas, uma vez que no mesmo foram identificadas áreas mais vulneráveis e menos vulneráveis de acordo com os fatores físicos utilizados para a sua análise. Espera-se que a presente pesquisa possa contribuir com ações posteriores de planejamento territorial para fins de sustentabilidade no município de São Miguel do Tapuio, Piauí, servindo como ponto de partida aos estudos relativos a esta área geográfica do Estado.

**Palavras-chave:** Vulnerabilidade ambiental; Mapeamento geomorfológico; Ordenamento territorial; Estruturas circulares.

## ABSTRACT

It is possible to observe the emergence of questions about the use of natural resources as a commodity based on the relationships established between society and nature, especially after the first Industrial revolution. Such questions become concerns when the emergence of various forms of unbridled use of natural environments reveal themselves superior to their capacity to support them. In this sense, the present research aims to analyze the complexity of the physical environment of São Miguel do Tapuio, state of Piauí, from the systemic approach, with a view to subsidize the territorial ordering, highlighting its vulnerabilities, potentialities and limitations. The specific objectives proposed here were: 1) to characterize the environmental aspects of the municipality of São Miguel do Tapuio, Piauí (geology, hydrography, climate, soil associations and NDVI); 2) elaborate map of geomorphological compartmentalization, according to Ross (1992); 3) to map the vegetation cover of the municipality of São Miguel do Tapuio using the normalized difference (NDVI) of the year of 2017; 4) to elaborate a map with the classes of environmental vulnerability for the municipality of São Miguel do Tapuio, considering the methodology of Crepani et al. (2001). In order to make possible the mapping of environmental vulnerability, parameters such as geological evolution and degree of rock cohesion were used to delineating the vulnerability of the geology factor; Declivity, Medium; Soil erodibility; and Ndvi for plant cover. In this sense, it was found that the municipality presented 0.01% in the low vulnerability class, 26.4% in the moderate vulnerability class, 63.9% in the moderately high vulnerability class and 9.5% in the high vulnerability class. The following geomorphological units and their environmental vulnerabilities were identified: Summit surface (40.9% moderate and 58.7% moderately high); Dry upper reverse of the Ibiapaba Cuesta moderately dissected (44.9% moderate, 55% moderately high and 0.1% high); Dry inferior reverse of the Ibiapaba Cuesta moderately dissected (32% moderate, 60.6% moderately high and 7.5% high); Very dissected tabular forms (0.03% low, 39.3% moderate, 60.2% moderately high and 1% high); Dissected tabular forms (43.2% moderate and 61.7% moderately high); Valleys (9.9% moderate, 64.5% moderately high and 25.4% high); Areas of seasonal flooding with lively relief (1.4% moderate, 91% moderately high and 7.5% high). Based on this, it appears that units with lower vulnerability values correspond to the summit surface, dry upper reverse of the moderately dissected Ibiapaba cuesta and dissected tabular surfaces. The units that presented a greater vulnerability comprise the dry lower reverse the moderately dissected Ibiapaba Cuesta, very dissected tabular forms, valleys and areas of seasonal flooding with lively relief. The data obtained by this research allow us to assess that the studied city has environmental conditions that require territorial planning measures that provide subsidies for the protection of their areas, since they were identified Vulnerable and less vulnerable areas according to the physical factors used for their analysis. It is hoped that this research may contribute to further actions of territorial planning for sustainability purposes in the municipality of São Miguel do Tapuio, Piauí, serving as a starting point for studies related to this geographic area of the state.

**Keywords:** Environmental Vulnerability; Geomorphological Mapping; Territorial Planning; Circular structures.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### Figuras

Figura 1 – Representação esquemática do Geoprocessamento .....	31
Figura 2 – Fluxograma metodológico da compartimentação geomorfológica do município de São Miguel do Tapuio, Piauí .....	39
Figura 3 – Procedimentos da pesquisa .....	46
Figura 4 – Localização do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.....	48
Figura 5 – Mapa Geológico do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.....	52
Figura 6 – Mapa de solos do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.....	56
Figura 7 – Comportamento da temperatura e da chuva no município de São Miguel do Tapuio, Piauí, entre os anos de 1960 e 1990 .....	58
Figura 8 – Drenagem do município de São Miguel do Tapuio, Piauí .....	60
Figura 9 – Compartimentação geomorfológica do município de São Miguel do Tapuio, Piauí .....	67
Figura 10 – Classes de declividade do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.....	71
Figura 11 – Erodibilidade dos solos (K) do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.....	75
Figura 12 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do município de São Miguel do Tapuio, Piauí, do ano de 2017.....	77
Figura 13 – Erosividade das chuvas (R) do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.....	79
Figura 14 – Mapa de vulnerabilidade ambiental do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.....	81
Figura 15 – Imagem fotografada na unidade denominada de Reverso Superior Seco da Cuesta da Ibiapaba, apresentando uma vulnerabilidade na classe moderadamente vulnerável .....	84
Figura 16 – Imagem fotografada na unidade denominada de Reverso Inferior Seco da cuesta da Ibiapaba, apresentando uma vulnerabilidade na classe Alta...	86
Figura 17 – Imagem fotografada na unidade denominada de Formas tabulares muito dissecadas, apresentando uma vulnerabilidade na classe de vulnerabilidade Alta .....	88
Figura 18 – Ambientes de veredas, São Miguel do Tapuio, Piauí .....	90
Figura 19 – Imagem fotografada na unidade denominada de Vales, apresentando uma vulnerabilidade na classe alta .....	90
Figura 20 – Imagem fotografada na unidade denominada de Vales, apresentando uma vulnerabilidade na classe Moderada .....	91
Figura 21 – Imagem fotografada na unidade denominada de Áreas de inundação sazonal com relevo movimentado, apresentando uma vulnerabilidade na classe moderadamente alta .....	92

## Quadros

Quadro 1 – Classificação dos sistemas em Geomorfologia .....	26
Quadro 2 – Classificação morfodinâmica do ambiente .....	29
Quadro 3 – Classes de Declividade e suas características de acordo com EMBRAPA (2009) .....	38
Quadro 4 – Estações meteorológicas usadas para elaborar o mapa de erosividade das chuvas.....	41
Quadro 5 – Características das Imagens do LANDSAT 8 OLI para o município de São Miguel do Tapuio, Piauí .....	42
Quadro 6 – Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas associadas às condições de vulnerabilidade ambiental .....	45
Quadro 7 – Temáticas e suas respectivas características de análise da vulnerabilidade .....	45
Quadro 8 – Características das unidades geológicas presentes no município de São Miguel do Tapuio, Piauí .....	49
Quadro 9 – Táxons da compartimentação geomorfológica de São Miguel do Tapuio, Piauí.....	68
Quadro 10 – Quadro comparativo das unidades geomorfológicas .....	94

## Tabelas

Tabela 1 – Intervalos de Erosividade das chuvas (R) com respectivas denominações das classes correspondentes a cada intervalo .....	41
Tabela 2 – Ocorrência de associações dos solos no município de São Miguel do Tapuio, Piauí.....	54
Tabela 3 – Estrutura etária da população do município de São Miguel do Tapuio, Piauí .....	61
Tabela 4 – Evolução da população rural e urbana de São Miguel do Tapuio, Piauí (1991 a 2010) .....	62
Tabela 5 – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal e seus componentes (São Miguel do Tapuio, Piauí).....	63
Tabela 6 – Principais produtos de cultura temporária e permanente do município de São Miguel do Tapuio, Piauí (2010).....	64
Tabela 7 – Dados pecuários do município de São Miguel do Tapuio, Piauí (2010).....	64
Tabela 8 – Renda, Pobreza e Desigualdade – município de São Miguel do Tapuio, Piauí .....	65
Tabela 9 – Área e porcentagem das unidades geomorfológicas identificadas no município de São Miguel do Tapuio, Piauí .....	68
Tabela 10 – Intervalos de Declividade Média com respectivas denominações das classes, áreas e porcentagens correspondentes a cada peso, no município de São Miguel do Tapuio, Piauí .....	70

Tabela 11 – Associações de solos de acordo com IBGE (2014) e Classes correspondentes a Erodibilidade dos solos (K), segundo Crepani et al. (2001).....	72
Tabela 12 – Classes de Erodibilidade dos solos (K) com respectivas áreas em porcentagens, nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí .....	73
Tabela 13 – Distribuição dos valores de NDVI no ano de 2017 com suas respectivas áreas e valores de vulnerabilidades no município de São Miguel do Tapuio, Piauí.....	76
Tabela 14 – Intervalos e classes de Erosividade das chuvas (R) com respectivas áreas em porcentagens, no município de São Miguel do Tapuio, Piauí .....	78

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEPRO	Fundação Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais do Piauí
CPRM	Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FJP	Fundação João Pinheiro
GTP	Geossistema, Território e Paisagem
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA	Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicada
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>1 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	18
1.1 A inserção da abordagem sistêmica na Geografia Física .....	18
1.2 Vulnerabilidade Ambiental.....	22
1.3 Geomorfologia aplicada à vulnerabilidade ambiental .....	25
1.4 Ecodinâmica dos ambientes e a vulnerabilidade ambiental .....	28
1.5 Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) auxiliando na análise ambiental.....	30
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	35
2.1 Procedimentos técnico-operacionais .....	35
2.1.1 Localização da área de estudo .....	35
2.1.2 Caracterização Geológica .....	36
2.1.3 Caracterização Hidrográfica.....	36
2.1.4 Caracterização Geomorfológica .....	36
2.1.5 Erosividade da Chuva.....	40
2.1.6 Caracterização Climática e vegetação .....	42
2.1.7 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).....	42
2.1.8 Caracterização Pedológica .....	43
2.1.9 Caracterização Socioeconômica.....	44
2.1.10 Análise da Vulnerabilidade Ambiental .....	44
<b>3 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL E SOCIOECONÔMICA DO MUNICÍPIO DE SÃO MIGUEL DO TAPUIO, PIAUÍ</b> .....	47
3.1 Geologia .....	49
3.1.1 Formação Cabeças .....	50
3.1.2 Formação Longá.....	50
3.1.3 Formação Pimenteiras .....	50
3.1.4 Formação Poti.....	50
3.1.5 Formação Serra Grande .....	50
3.1.6 Depósitos Colúvio-Eluviais .....	51
3.2 Pedologia .....	53
3.3 Clima, recursos hídricos e vegetação .....	57
3.4 Aspectos socioeconômicos do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.....	61
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	66

4.1	Compartimentação Geomorfológica .....	66
4.2	Análise dos indicadores de vulnerabilidade ambiental no município de São Miguel do Tapuío, Piauí.....	69
4.2.1	Vulnerabilidade do fator Geologia (G) .....	69
4.2.2	Vulnerabilidade do fator Geomorfologia (R).....	70
4.2.2.1	Declividade Média (DM).....	70
4.2.3	Vulnerabilidade do fator Pedologia.....	72
4.2.3.1	Erodibilidade dos Solos (K) .....	72
4.2.4	Vulnerabilidade do fator cobertura vegetal a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) .....	76
4.2.5	Vulnerabilidade do fator clima .....	78
4.2.5.1	Erosividade da Chuva .....	78
4.3	Análise da vulnerabilidade ambiental nos compartimentos geomorfológicos da área de estudo .....	82
4.3.1	Superfícies de Cimeira .....	82
4.3.2	Reverso superior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado .....	83
4.3.3	Reverso inferior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado .....	84
4.3.4	Formas tabulares muito dissecadas .....	86
4.3.5	Formas tabulares dissecadas.....	88
4.3.6	Vales.....	89
4.3.7	Áreas de inundação sazonal com relevo movimentado .....	91
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>96</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>99</b>



## INTRODUÇÃO

A utilização dos recursos naturais constitui um meio imprescindível para a sobrevivência e desenvolvimento da humanidade. Neste sentido, as diversas formas de uso inadequado dos recursos naturais apresentam-se em níveis extremamente elevados em relação ao tempo que a natureza necessita para se estabilizar novamente.

Com o advento da tecnologia, principalmente a partir da Revolução Industrial os ambientes naturais foram fortemente explorados e pouco se falava a respeito da sustentabilidade, ou pelo menos algo que se aproximasse disso. Assim sendo, com a intensificação do uso dos recursos naturais, emergiram os debates acerca da preservação da natureza.

Nesse contexto, várias diretrizes políticas foram sendo propostas com intuito de atrelar o bem-estar da sociedade aos aspectos ambientais. Assim, emergiu a concepção segundo a qual a sociedade e a natureza poderiam ser apreendidas em suas múltiplas interações, favorecendo a compreensão da complexidade do espaço.

Com isso, estudar as relações entre homem e natureza segundo uma perspectiva sistêmica configura-se como a meta principal da geografia física, haja vista que a falta de conhecimento quanto às limitações naturais dos ambientes favorece a utilização indiscriminada dos recursos naturais.

Assim sendo, a gestão de um território exige o conhecimento integrado de seus recursos naturais, com suas respectivas potencialidades e limitações (LIMA; CESTARO; ARAÚJO, 2010). O referido conhecimento carece de um diagnóstico ambiental, considerado um instrumento que objetiva apresentar os principais elementos do meio físico, biótico e socioeconômico, passíveis de modificações, sejam de ordem natural e/ou antrópica (ROSS, 2006).

Neste ínterim, busca-se aqui oferecer bases ao ordenamento territorial do município de São Miguel do Tapuio, Piauí, em face da carência de estudos com este viés. Dessa forma, os resultados aqui alcançados podem subsidiar uma compreensão mais sistemática acerca das potencialidades e limitações do meio ambiente do citado município.

Assim, a presente pesquisa tem como objetivo geral analisar de maneira integrada a complexidade do meio físico de São Miguel do Tapuio, PI, a partir da abordagem sistêmica, considerando para tanto suas vulnerabilidades, potencialidades e limitações.

Os objetivos específicos compreenderam: 1) caracterizar os aspectos ambientais do município de São Miguel do Tapuio, PI (geologia, hidrografia, clima, associações de solos e

NDVI); 2) elaborar mapa de compartimentação geomorfológica, conforme Ross (1992); 3) realizar mapeamento da cobertura vegetal do município de São Miguel do Tapuio utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do ano de 2017; 4) Elaborar mapa com as classes de vulnerabilidade ambiental para o município de São Miguel do Tapuio, considerando a metodologia de Crepani et al. (2001).

A partir dos objetivos apresentados, cabe destacar as questões-problema que norteiam a presente pesquisa, quais sejam: 1) Considerando a metodologia de mapeamento geomorfológico proposta por Ross (1992), quais unidades morfológicas estão presentes no município de São Miguel do Tapuio? 2) Como se caracterizam essas unidades morfológicas? 3) Considerando a metodologia de Crepani et al. (2001), como se espacializam\caracterizam os níveis de vulnerabilidade ambiental no município de São Miguel do Tapuio? 4) Os sistemas naturais na área de estudo revelam distintas potencialidades e limitações considerando eminentemente as características físicas?

Vale salientar que a apresentação e discussão dos objetivos da pesquisa estruturam-se em quatro capítulos.

O primeiro capítulo apresenta os fundamentos teóricos da abordagem sistêmica, contextualizando-a dentro dos estudos em geografia física, bem como a apresentação dos conceitos trabalhados nessa pesquisa como vulnerabilidade ambiental, o papel da geomorfologia dentro da geografia, como também o auxílio dos SIGs para os estudos que visam o ordenamento territorial dos espaços geográficos. Busca-se nesse capítulo situar o leitor diante da problemática escolhida para a realização desta pesquisa.

O capítulo dois apresenta os métodos e técnicas adotados para atingir todos os objetivos propostos na presente pesquisa. Utilizaram-se as técnicas de sensoriamento remoto que facilitam a visão da realidade vista através de sensores de satélites que se encontram na órbita da terra. A importância dessas técnicas é discutida no capítulo dois quando se enfatiza a aplicabilidade dos SIGs no ordenamento territorial.

No capítulo três apresenta-se a caracterização geral da área abordando os aspectos geológicos, pedológicos, climáticos, hídricos e vegetacional, bem como os aspectos socioeconômicos da área de estudo. A sistematização destas informações pode subsidiar novos estudos sobre a área de estudo.

No capítulo quatro são apresentados os resultados e discussões da pesquisa. Nesse capítulo encontra-se presente o mapeamento geomorfológico do município de São Miguel do Tapuio baseado na metodologia taxonômica de Ross (1992); uma análise dos indicadores empregados na avaliação da vulnerabilidade ambiental do município estudado, quais sejam

eles vulnerabilidade geológica, geomorfológica, pedológica, climática, vegetal (realizado através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Erosividade das chuvas. Estes são os fatores empregados na análise da vulnerabilidade ambiental, apresentados ao fim do presente capítulo.

## 1 REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1 A inserção da abordagem sistêmica na Geografia Física

É possível observar o surgimento de questionamentos acerca da utilização dos recursos naturais como mercadoria a partir de relações estabelecidas entre sociedade e natureza, principalmente após a primeira revolução industrial. Tais questionamentos transformam-se em preocupações quando o surgimento de diversas formas de uso desenfreado dos ambientes naturais mostra-se superior à capacidade de suporte dos ambientes.

Dessa forma, o estudo integrado do ambiente coloca-se como suporte para a compreensão da complexidade inerente à relação da sociedade com a natureza no contexto do espaço geográfico (ROSS, 2006).

Destaca-se que a análise ambiental integrada constitui uma busca pelo conhecimento sobre a estrutura e funcionamento do meio ambiente em seu conjunto de componentes. No âmbito da Geografia, especificamente da Geografia Física, os estudos ambientais têm sido tratados sob o enfoque sistêmico com a interpretação das paisagens de forma integrada, considerando-se essencialmente a estrutura e os processos interativos entre os diversos componentes ambientais (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Ao longo do desenvolvimento da Geografia a partir das primeiras tentativas de sua sistematização no final do século XVIII por Alexandre Von Humboldt, por intermédio do conceito de *Landschaft*, considerava-se o meio geográfico em sua totalidade, funcionando mediante as inter-relações vigentes entre seus componentes, delineando-se assim as primeiras rupturas com o paradigma mecanicista e reducionista na interpretação do meio (GUERRA; MARÇAL, 2006).

Humboldt utilizava-se de observações realizadas em suas viagens para analisar a paisagem como um todo harmônico, surgindo assim as primeiras interpretações diferenciadas do modelo já existente. Dagnino (2008) evidencia o caráter integrador e interdisciplinar que Humboldt empreendeu em sua principal obra, denominada *Cosmos*. Desse modo, já era perceptível uma noção integradora entre os diversos componentes geográficos (busca da totalidade), como se assinala pelo próprio alemão: “Nos climas gelados do norte, no meio das charnecas estéreis, o homem pode apropriar-se de tudo que o viajante vai pedir às zonas mais afastadas; e criar, dentro de si mesmo, um mundo, obra de sua inteligência, livre e imorredouro como ela” (HUMBOLDT, 1950, p. 299).

Neste sentido, Aragão (1960) corrobora que a ampla capacidade naturalista de Humboldt ia desde a Geologia até a Zoologia e, por isso, os seus estudos eram realmente eficazes no que tange à integração entre diversos campos científicos.

Outro entusiasta que corroborou com o processo de sistematização da geografia foi Ritter na Alemanha. Este por sua vez, professor universitário, buscava apreender a inter-relação a partir de um conhecimento de síntese do todo (SILVA, 2018).

O legado de Ritter reside nas comparações que o mesmo fazia entre diferentes regiões (início dos estudos regionais), como forma de se entender o antropocentrismo das paisagens ao longo da história e o porquê cada uma se diferenciava de outra (SILVA, 2018).

Outros dois integrantes do histórico de sistematização da geografia com ciência foram Friedrich Ratzel (1844 – 1904) e Paul Vidal de La Blache (1845 – 1918), onde o primeiro conseguiu consagrar as noções de território e Estado-nação e foi pioneiro em estudos que tratavam da apropriação do espaço pelo homem (CAZZAROTO, 2006), e o segundo voltava-se para uma contribuição mais sistêmica/integrada da natureza, criticando, veementemente, uma possível fragmentação da ciência geográfica (LA BLACHE, 1954).

Para Guerra e Marçal (2006), as transformações socioeconômicas e tecnocientíficas ocorridas a partir da segunda metade do século XX impulsionaram a busca por novas possibilidades teóricas e metodológicas para a prática científica. No âmbito da Geografia, este momento de renovação foi engendrado pelo desejo de rompimento dos geógrafos com as abordagens tradicionais existentes, desabrochando em profundas transformações epistemológicas no cerne das pesquisas voltadas ao estudo do ambiente natural.

O interesse da Geografia Física pela abordagem sistêmica reporta-se à segunda metade do século XX, tendo nos princípios conceituais da Teoria Geral dos Sistemas a fonte de inspiração primordial (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Gregory (1992) elucida que o processo de incorporação da abordagem sistêmica na Geografia Física estendeu-se por 35 anos, tendo início em 1935 com a formulação do conceito de ecossistema pelo ecólogo-botânico A. G. Tansley e consolidando-se com a publicação da obra *Physical Geography: a system approach* de Chorley e Kennedy no ano de 1971 (GUERRA; MARÇAL, 2006).

Neste sentido, cita-se que a inserção da abordagem sistêmica nos estudos geográficos favoreceu o desenvolvimento da análise integrada da paisagem em bases teóricas, conceituais e metodológicas mais consolidadas (SOUZA, 2005).

A partir das décadas de 1960 e 1970, destaca-se o desenvolvimento do conceito de geossistema, elaborado por Sotchava (1977). Para o referido autor, o geossistema

corresponderia ao método mais eficiente para estabelecer parâmetros à análise das intervenções humanas na natureza, tendo em vista o planejamento ambiental.

Nesta acepção, Christofolletti (1999) ressalta que o geossistema utiliza-se de muitas informações fornecidas pelos elementos ambientais, onde esses dados são de extrema importância para estudos voltados para a Geografia Física, pois projeta a sua dinâmica e funcionalidade fornecendo bases para a compreensão do território.

Neste sentido, Souza (2005) corrobora que o aprimoramento do método geossistêmico objetiva analisar não apenas os componentes naturais, mas, principalmente, as conexões entre eles e também com as ações humanas, sendo, desta maneira, uma abordagem eficaz para apreender as múltiplas relações entre a sociedade e a natureza.

Souza (2005) ainda destaca que, ao se conhecer o funcionamento da dinâmica interna aos geossistemas, torna-se possível sistematizar informações úteis à gestão racional dos recursos naturais, subsidiando, assim, a elaboração de mecanismos que minimizem os conflitos socioambientais.

Com este novo aparato conceitual, a ciência geográfica conseguiria atingir a compreensão da complexidade dos sistemas geoambientais, focalizando o aproveitamento sustentável dos recursos naturais e oferecendo também uma avaliação mais diligente das intervenções antrópicas (SOTCHAVA, 1977).

Portanto, infere-se que a análise dos elementos componentes do ambiente pressupõe a integração de um conjunto de variáveis responsáveis pela estruturação da paisagem. Para Bertrand (2004), o estudo da paisagem tem que ser percebido de maneira integrada e global, afirmando que:

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável (BERTRAND, 2004, p. 141).

A paisagem deve ser analisada a partir das suas características genéticas, bem como também a resultante de sua relação com o meio, fornecendo, assim, a verificação e classificação do grau de saturação de suas unidades em relação ao uso humano (CREPANI et al., 2001).

Neste ínterim, a concepção de análise ambiental em Geografia Física considera a forma como se organizam e inter-relacionam os diversos componentes ambientais. Assim, cada sistema representa uma unidade de organização do ambiente natural, verificando-se,

comumente, um relacionamento adequado entre seus componentes que são dotados de potencialidades e limitações específicas sob o ponto de vista de recursos ambientais. Como tal, reagem de forma singular no que tange às condições históricas de uso e ocupação da terra (SOUZA, 2000).

Assim, a análise da paisagem de forma integrada traz a ênfase ao conhecimento e à delimitação dos espaços territoriais, estes modificados ou não pelas ações antrópicas. Ao considerar a dinâmica da inter-relação dos componentes, abandona-se a perspectiva estática dos estudos setorizados, fornecendo uma maior sustentação aos trabalhos em geografia física (ALBUQUERQUE, 2012).

Embora exista um debate acerca da importância dos estudos integrados, é importante ressaltar, entretanto, o fato de que o referido enfoque metodológico não preconiza a negação da importância dos estudos setorizados. Com efeito, deve-se reconhecer a importância das análises setoriais como ponto de partida para se alcançar a síntese dos componentes ambientais em sua organização sistêmica (SOUZA et al., 2009).

A intenção central desse debate integrativo que inclui sociedade-natureza, consiste em obter informações que sejam importantes para a elaboração de subsídios com vistas ao ordenamento territorial de um determinado espaço geográfico, com objetivos de conservar, preservar e recuperar a natureza que se encontra sob condições de densa ou incipiente intervenção antrópica assegurando, assim, um debate próximo entre desenvolvimento econômico em bases sustentáveis (ROSS, 2006).

Neste sentido, Ross (2006, p. 20) enfatiza que:

Para desenvolver uma Geografia Física Aplicada, necessita-se de uma compreensão integrada da realidade socioeconômica, percebendo dentro da visão de Milton Santos, de que a essência do espaço geográfico está na sua totalidade social.

Por apresentar-se como uma abordagem consolidada nos estudos ambientais dentro da geografia física, optou-se por operacionalizar a análise da vulnerabilidade ambiental do município de São Miguel do Tapuio, Piauí mediante os princípios da análise ecodinâmica, conforme Tricart (1977) e Crepani et al. (2001).

Portanto, a análise sistêmica abordada nos trabalhos em Geografia Física trás o entendimento das interações ambientais existentes no ambiente, sua dinâmica e estrutura, evidenciando as interações bidirecionais e não lineares entre os elementos existentes no mesmo. Corrobora-se que a compreensão integrada da dinâmica dos ambientes,

possibilita o planejamento para o uso racional dos recursos naturais, subsidiando, assim, bases para o ordenamento territorial.

## **1.2 Vulnerabilidade Ambiental**

A literatura acerca do tema lista um conjunto de parâmetros e índices relacionados à representação cartográfica da vulnerabilidade analisando o viés ambiental, cujos produtos visam diagnosticar impactos e subsidiar ações corretivas.

Cita-se que a representação cartográfica da análise ambiental se apresenta através dos mapas de suscetibilidades, fragilidades e vulnerabilidades, onde estes encontram-se atrelados aos princípios do ordenamento territorial, sendo concebidos como sinônimos em muitas análises ambientais preexistentes.

Para Pereira e Silva (2005), a suscetibilidade expressa a fragilidade de uma região aos processos morfodinâmicos, enquanto a vulnerabilidade exprime o grau de risco ambientes naturais às atividades antrópicas.

A pesquisa em questão não pretende em sua finalidade examinar as diferenças conceituais que circundam esses termos, mas para fins de entendimento sobre o sentido do termo vulnerabilidade aqui utilizado, adota-se o conceito de vulnerabilidade ambiental, o qual corresponde à resposta do meio às ações humanas, variando conforme suas características naturais e antropogênicas, afetando diretamente a estabilidade do meio, bem como sua qualidade ambiental (SANTOS; CALDEYRO, 2007).

Tominaga (2009) que define a vulnerabilidade como um conjunto de processos e condições resultantes de fatores físicos, sociais, econômicos, políticos e ecológicos que aumentam a susceptibilidade ao impacto de um perigo.

Dessa forma, a vulnerabilidade mostra-se como a possibilidade de se sofrer modificações derivadas de intervenções que podem ser originadas por questões muito além da sua localização, ou seja, para além dos limites geográficos do sistema afetado.

A definição de vulnerabilidade relaciona-se aos fatores de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa ou de resposta ao sistema. Neste sentido, a exposição significa o grau em que um sistema pode absorver as pressões sem sofrer alterações no longo prazo, e a capacidade adaptativa é a habilidade do sistema de se ajustar a um dano ocorrido, fazer uso de recursos ou oportunidades ou responder a mudanças ambientais que venham a ocorrer. Assim, um sistema é mais vulnerável quanto maiores forem as pressões, maior a sensibilidade do meio e menor a sua capacidade adaptativa (ADGER, 2006). De acordo com a Embrapa



(2006), pelo menos um desses fatores (exposição de um sistema à perturbações; sensibilidade do meio; capacidade adaptativa) devem ser considerados em estudos dessa natureza.

Li et al. (2006) relacionam vulnerabilidade a características do meio físico e biótico (declividade, altitude, temperatura, aridez, vegetação, solo), à exposição a fontes de pressão ambiental (densidade populacional, uso da terra) e à ocorrência de impactos ambientais (erosão hídrica) em uma área montanhosa. O estudo desses fatores permite a avaliação da maior ou menor vulnerabilidade de um sistema a determinadas questões ambientais. A exposição significa o grau, duração ou extensão em que o sistema está em contato com perturbações.

O estudo da vulnerabilidade ambiental também permite classificar o nível de exposição do ambiente à erosão hídrica, compatibilizando as características naturais à utilização do solo (XAVIER, 2010). Zanella et al. (2013) corroboram que o termo vulnerabilidade vem sendo utilizado para expressar a instabilidade dos ambientes, sendo que tal assertiva encontra-se em consonância com o viés delineado por Tricart (1977) e Grigio (2003), tendo em vista que a vulnerabilidade consiste no maior ou menor estágio de estabilidade e instabilidade dos elementos físicos e biológicos frente ao processo de uso e ocupação do espaço geográfico.

Para Santos (2006), a vulnerabilidade ambiental pode ser entendida como o grau de exposição que determinado ambiente está sujeito a diferentes fatores que podem acarretar efeitos adversos, tais como impactos e riscos, derivados ou não das atividades socioeconômicas.

As diversas formas de uso e ocupação do solo podem intensificar uma série de processos negativos, necessitando assim, de informações referentes ao meio biofísico e sócio organizacional, para se considerar de forma integrada as restrições, susceptibilidade e vocação do uso do solo, urbano e rural, otimizando seu uso e minimizando os impactos negativos, alterando o mínimo possível o frágil equilíbrio dos ambientes naturais (PINTO, 2007, p. 93).

Ross (2006) explana que em princípio, salvo algumas regiões do planeta, os ambientes naturais mostravam-se em relativo estado de equilíbrio dinâmico até o momento em que se iniciou o processo de intensificação da utilização dos recursos naturais em detrimento do desenvolvimento das sociedades.

Neste sentido, é imprescindível que as intervenções humanas sejam planejadas com objetivos claros de ordenamento territorial buscando assim a conservação da natureza,

levando-se em consideração suas potencialidades e limitações aproximando-se, dessa forma, ao conceito de sustentabilidade (ROSS, 2006).

Para Ross (2006) a fragilidade dos ambientes naturais deve ser avaliada quando se pretende considerá-la no planejamento territorial e ambiental, tomando-se o conceito de unidades ecodinâmicas preconizadas por Tricart (1977).

Em virtude das diversas metodologias utilizadas na realização de trabalhos relacionados à temática de vulnerabilidade ambiental, salienta-se nesta pesquisa a adoção da proposta metodológica de Crepani et. al., (2001) devidamente adaptada. A adaptação resulta do fato de ter-se empregado na presente pesquisa ao invés das formas de uso e cobertura das terras o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que considera a biomassa das plantas.

Ao se considerar a possibilidade de avaliação da vulnerabilidade a partir da compartimentação geomorfológica e colonização por parte da cobertura vegetal, a proposta de Crepani et. al., (2001) mostra-se uma metodologia adequada para o estudo em questão por apresentar a álgebra de mapas referentes aos aspectos ambientais do local estudado, que pode ser definida como um conjunto de técnicas para análise da informação geográfica, que contribuem para a determinação da vulnerabilidade ambiental.

Os diversos problemas ambientais acarretados pela intensa utilização dos recursos naturais expressam a fundamental importância de estudos com caráter articulador acerca dos componentes do ecossistema e suas respectivas relações. Estes trabalhos tendem a promover uma visão mais próxima da realidade no que se refere às áreas suscetíveis a problemas ambientais. Neste sentido, várias são as pesquisas que abordam a temática da vulnerabilidade ambiental considerando o relevo como elemento âncora, norteador nas pesquisas, e, por conseguinte seus respectivos graus de vulnerabilidade, como os que se seguem.

Rodrigues e Lima (2015) apresentam a análise dos sistemas ambientais que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Bom Jesus, localizada no distrito de Taperuaba, município de Sobral, Estado do Ceará, tendo como base teórico-metodológica a abordagem sistêmica. Os sistemas ambientais foram delimitados, principalmente, por critérios geomorfológicos. Nesse contexto, foram mapeados cinco sistemas ambientais para a sub-bacia hidrográfica em questão considerando-se, ainda, a vulnerabilidade das unidades ambientais identificadas.

Albuquerque (2012), apresenta a integração dos condicionantes geoambientais apoiando-se na análise geossistêmica, em que o GTP (Geossistema-Território-Paisagem) desponta como suporte metodológico importante. A partir dos aspectos geomorfológicos, procedeu-se à compartimentação geoambiental, com o objetivo de esboçar o zoneamento

geoambiental do município de Horizonte, no Ceará, considerando-se, ainda, a vulnerabilidade das unidades ambientais. O mapeamento dos sistemas ambientais delineou (3) unidades geoambientais e suas respectivas classes de vulnerabilidade.

A compartimentação geomorfológica e correspondente análise da vulnerabilidade ambiental de cada unidade identificada têm se constituído em propostas exitosas no âmbito da geografia aplicada, como comprovam os estudos citados anteriormente. Nesse contexto, esses trabalhos denotam a compartimentação geomorfológica como elemento âncora, norteador na delimitação de sistemas ambientais e da vulnerabilidade ambiental.

Assim, o mapa de vulnerabilidade ambiental deriva da análise inter-relacionada dos distintos elementos que compõem a natureza, com fins de verificar a aplicabilidade destes no ordenamento territorial.

### **1.3 Geomorfologia aplicada à vulnerabilidade ambiental**

A opção por tomar a compartimentação geomorfológica como elemento que possibilite analisar a vulnerabilidade ambiental da mesma vai de encontro à concepção de que o relevo possibilita reconhecer as conexões entre os elementos estruturadores da paisagem, destacando-se, portanto, como âncora desta pesquisa.

Na concepção de Christofolletti (1973), as formas de relevo representam a expressão espacial de uma superfície, compondo as diferentes configurações da paisagem geomorfológica. Christofolletti (1980) ainda salienta que, se existem as formas, é porque estas foram esculpidas pela ação de determinados processos. Dessa maneira, há um relacionamento muito forte entre a estruturação das formas e a magnitude e vigor dos processos, sendo que o estudo de ambos pode ser considerado como o escopo ou objetivo central da análise geomorfológica.

Casseti (2005) afirma que a Geomorfologia, enquanto integrante da análise geográfica, procura evidenciar, de forma integrada, as derivações ambientais resultantes do processo de apropriação e transformação do relevo pelo homem, acentuando, assim, a importância da pesquisa geomorfológica para o dimensionamento dos ambientes naturais com vistas ao planejamento físico-territorial.

Os avanços ocorridos nas pesquisas geomorfológicas aplicadas conferiram a esta ciência uma relevância maior devido à eclosão da problemática ambiental e incorporação de uma análise mais dinâmica, ou seja, sistêmica, que consolidou a geomorfologia como instrumento de síntese na análise aplicada ao planejamento físico-territorial. Dessa forma, os

estudos geomorfológicos aplicados servem de base para a compreensão das estruturas espaciais, não só em relação à natureza física dos fenômenos como à natureza socioeconômica dos mesmos (MOURA, 1984 apud CHRISTOFOLETTI, 1998).

Christofoletti (1980) aponta que os sistemas geomorfológicos são sistemas abertos que atuam e recebem influências de outros sistemas. Acrescenta ainda que praticamente a totalidade das investigações de natureza geomorfológica não atua de modo isolado, mas funcionam dentro de um ambiente que faz parte de um conjunto maior (Quadro 1).

Quadro 1 – Classificação dos sistemas em Geomorfologia

<b>Sistemas morfológicos</b>	Compostos pela associação entre as propriedades físicas dos sistemas e seus atributos constituintes. Configuram os sistemas menos complexos das estruturas naturais.
<b>Sistemas em sequência</b>	Formados por subsistemas em cadeia que estabelecem uma relação de cascata de matéria e energia, onde o output de um sistema é tomado como <i>input</i> pelo sistema da subsequente.
<b>Sistemas de processos-respostas</b>	Formados através da conjugação dos dois sistemas anteriores, em que as alterações nos fluxos de matéria e energia exercem reflexos expressos pela modificação na estrutura do sistema morfológico através do reajustamento de suas formas e da dinâmica das variáveis na busca do equilíbrio dinâmico entre processos e formas.
<b>Sistemas controlados</b>	São formados mediante intervenção antrópica nos sistemas ambientais físicos, que podem alterar as formas e os fluxos de matéria e energia em diferentes intensidades.

Fonte: Adaptado de Christofoletti (1980).

Embora possa ser citada uma série de variáveis físico-ambientais e econômico-culturais que possam influenciar o processo de uso e ocupação do solo, o relevo é uma categoria de abstração, porém materializa-se como o suporte para as atividades humanas, como algo perceptível, onde suas formas influenciam nas tomadas de decisão para diversos tipos de uso pelo ser humano. Assim, como explana Abreu (1985), a compreensão do relevo numa perspectiva sistêmica permite apreender o significado e as propriedades do relevo na organização do espaço, articulando a geomorfologia no campo da Geografia moderna.

Ao ressaltar o papel do relevo na delimitação dos ambientes naturais, Ross (2007) explana que, se o que se pretende é o estudo integrado da paisagem, então o caminho da

pesquisa geomorfológica é inevitável, no âmbito da qual o mapeamento geomorfológico desponta como ferramenta de análise e síntese da dinâmica do ambiente natural. É, portanto, através da representação do seu objeto de estudo – as formas de relevo – que a Geomorfologia contribui de forma mais sistemática para o estudo sistêmico da paisagem.

Calcado nas abordagens integradas, Christofolletti (1990; 1999) concebe os sistemas ambientais físicos como um sistema natural ligado a um território, possuindo morfologia, funcionamento e comportamento específicos. Ao focalizar as influências do antropismo na dinâmica dos ambientes naturais, Christofolletti (2008) ainda sublinha a importância da abordagem geossistêmica e a aplicabilidade da Geomorfologia aos estudos de planejamento ambiental e ordenamento territorial.

Neste sentido, no que se refere à análise geomorfológica numa perspectiva integrada, Ross (2003) enfatiza que é imprescindível considerar as características de evolução do relevo, pois os ambientes naturais apresentam maior ou menor fragilidade em função das suas características genéticas e de evolução. Assim, levando em consideração a presença do relevo como âncora nos estudos ambientais, o conhecimento geomorfológico surge como instrumento utilizado e inserido na execução de diversas categorias setoriais do planejamento, potencializando os estudos sobre vulnerabilidade ambiental com o intuito de subsidiar a proposta de planejamento territorial.

Assim, fica nítido o entendimento de que, tendo em vista o melhor aproveitamento dos processos produtivos e dos próprios recursos naturais, é fundamental a existência de uma noção acerca das potencialidades e limitações do relevo em face às atividades humanas. Para que se atinja tal compreensão, é necessário que haja um desenvolvimento de estudos que envolvam suas características morfológicas e os processos morfogenéticos que esculpem e modelam o relevo.

Contudo, os estudos realizados na temática de vulnerabilidade, não devem ser retratados numa perspectiva estática, restringindo-se à análise do relevo em si, mas considerando todos os componentes dos sistemas físicos ambientais, suas relações de dependência e funcionalidade, além de incluir as influências que as atividades humanas oferecem a esses processos (SOUZA, 2000).

Destaca-se que analisar a vulnerabilidade de determinadas áreas, principalmente áreas urbanizadas, permite identificar os principais riscos que podem ser desencadeados. Com efeito, Christofolletti (2001, p. 422) aponta que os fenômenos geomorfológicos assumem significativa importância à medida que “os azares relacionados com os fenômenos geomorfológicos ganham compreensão sobre sua magnitude e frequência quando integrados aos *inputs* energéticos fornecidos por outras categorias de fenômenos”.

Conforme assinala Christofolletti (2001), a geomorfologia permite desenvolver pesquisas aplicadas, envolvendo diretamente a análise dos dados geomorfológicos voltados para o atendimento de objetivos relacionados ao uso do solo, inserindo-os nos procedimentos de manejo e tomada de decisão.

Verstappen (1983) salienta que a aplicabilidade da geomorfologia é importante na geração de informações que subsidiem a melhor alocação das atividades humanas, viabilizando o ordenamento territorial. Deste modo, fica claro que o estudo das formas de relevo fornece importantes subsídios à avaliação da vulnerabilidade dos ambientes naturais em face das diferentes tipologias de uso, onde essa preocupação com os diversos tipos de uso deriva das ações de certo modo predatórias que a sociedade imprime à natureza no decurso de construção e reconfiguração de seus territórios.

É possível observar a degradação da qualidade ambiental manifestada na exaustão dos recursos naturais, comprometendo as funcionalidades sistêmicas, a paisagem, em detrimento da ocupação de áreas de forma desorganizada, não respeitando o período de renovação do ambiente natural.

Diante disso, nota-se que os estudos acerca da avaliação da capacidade de suporte dos ambientes naturais constituem-se na atualidade em uma necessidade para se evitar o comprometimento dos recursos naturais e potencialização ou desencadeamento de processos morfogenéticos que possam resultar em uma modificação, por vezes irreversível, nos ambientes naturais, acarretando a intensificação da suscetibilidade de serem afetados pelos impactos ambientais negativos.

Portanto, evidencia-se que nos estudos de geomorfologia aplicada devem nortear trabalhos práticos (estudos técnicos) de caráter geomorfológico engajados no planejamento socioeconômico e ambiental, mediante a utilização de produtos sensores e controle de campo, cuja finalidade é a geração de uma cartografia geomorfológica integrada de leitura direta e que subsidie o planejamento ambiental em espaços físico-territoriais com diferentes dimensões, considerando, inclusive, sua taxonomia (ROSS, 1992).

#### **1.4 Ecodinâmica dos ambientes e a vulnerabilidade ambiental**

Com o intuito de realizar uma avaliação da dinâmica ambiental e do estado de evolução dos ambientes, representado pelo geossistema, torna-se de suma importância debater acerca da ecodinâmica e aplicá-la na compreensão do espaço geográfico, especialmente,

quando abordada sob a ótica da diversidade e da relação das áreas mais vulneráveis ambientalmente falando.

Apoiado nos pressupostos conceituais da Teoria Geral dos Sistemas e acentuando a importância da compartimentação geomorfológica, Tricart (1976; 1977) sistematizou uma robusta abordagem para o estudo integrado dos ambientes, denominada análise ecodinâmica. Fundamentado na trilogia conceitual biocenose/morfogênese/pedogênese, Tricart propôs uma classificação morfodinâmica dos ambientes em três tipos de meios (Quadro 2).

Quadro 2 – Classificação morfodinâmica do ambiente

<b>Meios estáveis</b>	Predomina a pedogênese sobre a morfogênese e o modelado evolui mais lentamente. A cobertura vegetal é suficiente para amenizar os processos mecânicos.
<b>Meios de transição</b>	Caracterizam uma passagem gradual entre os meios estáveis e instáveis, havendo um balanço mais equilibrado e constante na relação morfogênese/pedogênese.
<b>Meios instáveis</b>	Predomina a morfogênese na dinâmica do ambiente, apresentando características de instabilidade morfogenética, resultado de causas naturais ou da ação antrópica.

Fonte: adaptado de Tricart (1977).

Ao propor uma classificação ecodinâmica do meio ambiente, Tricart (1977) diz que a ótica dinâmica tem que ser o ponto de partida da avaliação, guiando a classificação dos meios no nível taxonômico mais elevado.

Fundamentando-se na relação entre os processos morfogenéticos e pedogenéticos, pode-se classificar a ecodinâmica do ambiente, avaliando-se as condições de vulnerabilidade ambiental dos ambientes (TRICART, 1977).

Saliente-se que a classificação morfodinâmica dos ambientes elaborada por Tricart (1977) se tornou ponto de partida metodológico para os estudos de vulnerabilidade/fragilidade ambiental, muito em voga hoje no Brasil, os quais têm contribuído significativamente para a elucidação dos problemas do meio físico de forma integrada. A carta-síntese de fragilidade ambiental de Ross (1994; 2006) e a metodologia para a geração de cartas de vulnerabilidade à erosão desenvolvida por Crepani et al. (1996) são exemplos de trabalhos fundamentados nas proposições ecodinâmicas de Tricart (1977).

Tal recurso metodológico, pautado no estudo das relações entre morfogênese e pedogênese, tem grande potencialidade para pesquisas interessadas em avaliar a instabilidade morfodinâmica do meio ambiente, categorizando em diferentes classes unidades espaciais

diferenciadas segundo o grau de instabilidade. Assim, sendo definidos os agentes morfodinâmicos e sua atuação de forma integrada para a composição da paisagem, torna-se possível caracterizar a vulnerabilidade ambiental.

Dessa forma, cada sistema representa uma unidade de organização do ambiente natural, verificando-se, comumente, um relacionamento adequado entre seus componentes que são dotados de potencialidades e limitações específicas sob o ponto de vista de recursos ambientais. Como tal, reagem de forma singular no que tange às condições históricas de uso e ocupação da terra.

Assim, através da análise ecodinâmica dos ambientes é possível realizar o estudo da relação entre os processos pedogenéticos e morfogenéticos, a fim de estabelecer critérios para a definição da vulnerabilidade ambiental, determinando as potencialidades e as limitações de um ambiente modificado por razões diversas.

Diante disso, salienta-se que para a análise da vulnerabilidade, exige-se que os elementos setorizados, sendo estes (geologia, solos, geomorfologia, clima e vegetação) sejam analisados de forma integrada, para que se possa compreender o todo, subsidiando assim um reconhecimento da área para que se possa fornecer uma organização territorial.

### **1.5 Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) auxiliando na análise ambiental**

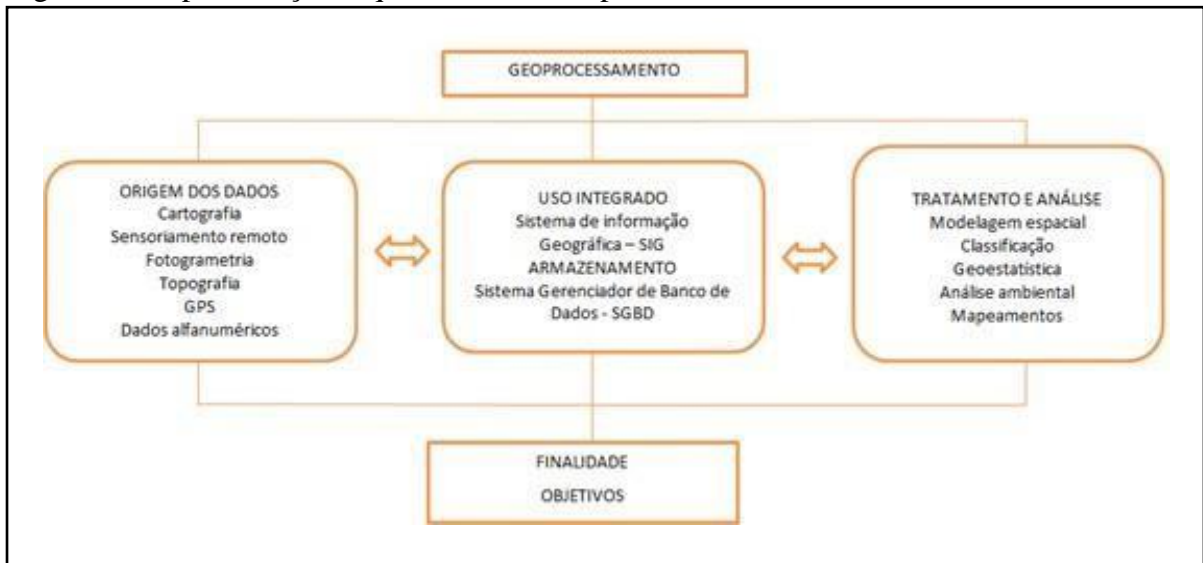
Spanhol et al. (1999) explanam que geoprocessamento é a tecnologia que abrange o conjunto de procedimentos de entrada, manipulação, armazenamento, análise e saída de dados espacialmente referenciados.

O Geoprocessamento corresponde à disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de geografia, cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional (CÂMARA et al., 2001).

Desta forma, o Geoprocessamento mostra-se de forma satisfatória no que concernem as ações que buscam as análises sociais e ambientais, como também no desenvolvimento científico para o reconhecimento da realidade, tornando-se imprescindível para o ordenamento territorial (Figura 1).



Figura 1 – Representação esquemática do Geoprocessamento



Fonte: Adaptado de Meneguette (2000 citado por ALBUQUERQUE, 2015).

Observa-se assim, que a cartografia possui um papel fundamental no contexto do Geoprocessamento, pois é através do mapa que os resultados da coleta e do tratamento dos dados são apresentados em sua forma visual.

Um SIG é constituído por um conjunto de "ferramentas" especializadas em adquirir, armazenar, recuperar, transformar e emitir informações espaciais. Esses dados geográficos descrevem objetos do mundo real em termos de posicionamento, com relação a um sistema de coordenadas, seus atributos não aparentes (como a cor, pH, custo, incidência de pragas, etc.) e das relações topológicas existentes (BURROUGH, 1987).

Portanto, para auxiliar na análise ambiental é imprescindível a utilização de técnicas de Geoprocessamento e SIGs, pois elas proporcionam uma apreensão mais próxima do real possibilitando um planejamento mais coerente para a área estudada, favorecendo uma melhor análise visual e numérica nas modificações da paisagem, integrando em um único banco de dados informações numéricas e espaciais que facilitando as análises que favorecem uma melhor utilização dos recursos naturais.

Alguns elementos são de fundamental importância para a realização do mapeamento através de imagens de satélites nos SIGs, onde estes podem ser identificados como: tonalidade, cor, textura, tamanho, forma, sombra, altura, padrão e localização das imagens. Esses elementos quando interpretados de forma coerente, torna-se possível identificar o relevo, os tipos de uso e cobertura das terras, a espacialização das populações em um

determinado recorte espacial, bem como a diversas homogeneidade e heterogeneidades presentes no ambiente estudado.

À luz dessas explicações, tais instrumentos mostram-se muito úteis para a análise integrada dos elementos conferindo a esses estudos uma importante ferramenta na conservação dos recursos naturais auxiliando o ordenamento territorial.

Na atualidade, é cada vez mais comum e necessária a aplicação de programas ou projetos de ordenamentos espaciais nos países da região latino-americana frente aos acentuados desequilíbrios territoriais que se experimentam. A aplicação destes instrumentos da política devem buscar as melhores formas de garantir resultados efetivos (YACILA, 2008 citado por CARVALHO; MATIAS, 2008, p. 93).

Neste viés de análise, conforme afirmam Lang e Blaschke (2009), o SIG fornece importantes contribuições no apoio à atividade de planejamento e ordenamento territorial, tornando-se o suporte do SIG cada vez mais complexos diante dos avanços tecnológicos, tendo em vista que essa ferramenta permite a otimização das informações por meio de consultas espaciais e tabulares de modo integrado.

É importante destacar que, atualmente, o uso das geotecnologias, como o geoprocessamento, tem se revestido de apoio fundamental para a elaboração de mapeamentos geomorfológicos e geográficos, proporcionando maior agilidade na realização dos levantamentos e do processamento das informações, na integração, espacialização dos dados e elaboração dos resultados, ampliando consideravelmente o potencial aplicativo da Geomorfologia (AQUINO; VALLADARES, 2013).

Neste íterim, o estudo dos elementos que compõem o ambiente torna-se uma ferramenta eficaz para o conhecimento do território no que concerne aos fatores estruturantes da capacidade de suporte dos ambientes, definindo as vulnerabilidades de cada sistema (SOUZA, 2006). Assim, o mapeamento geomorfológico mostra-se como um importante subsídio para a elaboração de políticas voltadas à gestão do território (CRISPIM, 2011).

Portanto, entende-se que o ordenamento territorial aliado aos produtos geocartográficos, constituem-se em um instrumento eficiente, não apenas com a simples função de ordenar áreas homogêneas em zonas com potencial de uso ambiental, mas como instrumento de efetivação das ações no espaço territorial, adotando uma postura preventiva e antepondo-se à postura paliativa, que na maioria das vezes é mais onerosa e não é eficiente no combate aos impactos ambientais.

Neste sentido, a aplicação do geoprocessamento à análise da relação sociedade-natureza mostra-se como ferramenta imprescindível e de extrema eficácia que podem ser

observados em estudos como Santos (2016), Crispim (2011) e Albuquerque (2015). Neste ínterim, corrobora-se a importância do ordenamento territorial em uma perspectiva sistêmica atrelada ao uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs).

O ordenamento territorial se apresenta com o objetivo central da utilização do território de forma racional, considerando as potencialidades e limitações no que concerne ao uso pelo ser humano, oferecendo uma possibilidade ao Estado de exercer um maior controle sobre as atividades envolvidas nos ambientes. Nesse sentido, o ordenamento do território mostra-se como um elemento decisivo na gestão dos problemas ao ambiente, sabendo que este oferece não somente medidas que possam corrigir os prejuízos causados pelos desastres, mas também possibilita a prevenção de tais danos que possam vir a existir na natureza.

A Geografia tem fornecido importantes contribuições para o ordenamento do território. De acordo com Ross (2006), as informações e os métodos de análise fornecidos pela geografia possuem o papel de permitir a adoção de determinadas práticas de planejamento com um grau acentuado de eficiência. Nesse sentido, entende-se que esse subsídio fornecido por determinada ciência é onde inicia-se o processo de ordenamento, seguido pela fase de gestão onde esta compete ao Estado levando em conta também as reivindicações promovidas pela sociedade.

Assim sendo, é de suma importância que os estudos ambientais busquem uma integração entre sociedade-natureza, utilizando-se das técnicas e ferramentas de geoprocessamento disponíveis para integrar os elementos georreferenciados e transformá-los em informações com vistas ao entendimento acerca do funcionamento e dinâmica natural a partir das intervenções humanas, e somente assim podendo gerar medidas que possam intervir na intensificação da má utilização dos recursos naturais, buscando um diálogo/equilíbrio entre uso e sustentabilidade. Nesse contexto, Ross (2006, p. 53) aponta:

(...) é absolutamente necessário que as intervenções humanas sejam planejadas com objetivos claros de ordenamento territorial, tomando-se como premissas a potencialidade dos recursos naturais e humanos, de um lado, e as fragilidades dos ambientes naturais, de outro. É, portanto, preciso pôr em prática as políticas públicas com vistas ao ordenamento territorial que valorize a conservação e a preservação da natureza, na perspectiva do desenvolvimento sustentável.

Assim, o Geoprocessamento e os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) mostram-se como ferramentas de grande relevância no contexto do ordenamento territorial, uma vez que estas ferramentas trabalhadas a partir de uma visão holística integrativa auxiliam

o reconhecimento da realidade, estendendo ainda mais o leque de possibilidades de se trabalhar a relação sociedade-natureza em um contexto em que pouco se preocupa com o ambiente em detrimento desenvolvimento econômico e social.

Os estudos em vulnerabilidade ambiental vêm recebendo um expressivo subsídio fornecido pelo alavancar das técnicas e ferramentas oferecidas pelo geoprocessamento, onde este proporciona um olhar substancialmente eficaz quando utilizado numa visão integrada do ambiente, promovendo a integração e cruzamento de dados de diferentes fontes, tarefa executada pelos SIGs, fornecendo um resultado que possa vir a auxiliar no ordenamento territorial, bem como no uso racional dos recursos naturais.

A partir do viés teórico, conceitual e metodológico delineado nessa seção, compreende-se que a utilização da abordagem sistêmica na análise da paisagem, apontando as potencialidades e limitações dos ambientes, juntamente com o auxílio do conjunto de técnicas e metodologias utilizadas para a coleta e o tratamento de informações espaciais e suas ferramentas, promovem um debate acerca da relação sociedade-natureza, uma vez que esses estudos fornecem subsídios ao ordenamento territorial, promovendo assim, um incremento ao conceito de sustentabilidade.

Neste sentido, os conceitos abordados nesta pesquisa, quando analisados de forma integrada, constituem-se em importantes fontes de informação que podem balizar o ordenamento territorial do município de São Miguel do Tapuio, Piauí, podendo, ainda, tornar-se uma ferramenta essencial em uma eventual proposta de Zoneamento Econômico para o município em questão.

## **2 METODOLOGIA**

O método geral utilizado para a realização da presente pesquisa apresenta-se como o método hipotético-dedutivo, onde este consiste na construção de conjecturas em que parte de um problema onde se dá uma resolução provisória para o mesmo, e posteriormente apresenta-se críticas com o intuito de demonstrar solução com o objetivo de eliminar os erros presentes. Neste sentido, determina-se que toda a investigação nasce de um problema, onde por meio do teste de hipótese ele é compreendido, e a partir daí, são realizadas propostas para solucioná-lo.

O suporte metodológico baseou-se na abordagem geossistêmica, proposta de origem soviética, mas que teve uma ampla disseminação a partir do esboço metodológico de Bertrand (2004) e aplicações de Tricart (1977).

A compartimentação geomorfológica realizada na presente pesquisa do município de São Miguel do Tapuí, Piauí, apoia-se na proposta metodológica taxonômica de Ross (1992).

A análise da vulnerabilidade ambiental basear-se-á na metodologia de Crepani et al. (2001), onde esta utiliza-se para reinterpretação dos dados os produtos cartográficos confeccionados da área de estudo, como mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de cobertura vegetal (NDVI), para então dar-se a classificação dos níveis de vulnerabilidade de cada área compartimentada. A proposta aqui utilizada para a análise da vulnerabilidade ambiental de Crepani et al. (2001) considera o conceito de ecodinâmica de Tricart (1977), fornecendo um subsídio para os estudos integrados da paisagem, garantindo mais uma ferramenta que auxilie o ordenamento territorial.

### **2.1 Procedimentos técnico-operacionais**

Os procedimentos técnicos-operacionais são fundamentais para o alcance dos objetivos traçados na pesquisa em questão. As etapas apresentadas a seguir resultaram da análise de material bibliográfico, geocartográfico, pesquisa de campo e aquisição de dados levantados no início e ao longo da realização desta pesquisa.

#### **2.1.1 Localização da área de estudo**

Para que se fizesse possível a confecção do mapa de localização da área de estudo foram utilizados arquivos vetoriais do Mapa de Geodiversidade do Piauí, que pode ser encontrado no endereço eletrônico <[www.cprm.com.br](http://www.cprm.com.br)>.

### 2.1.2 Caracterização Geológica

Para que se realizasse a caracterização geológica foram utilizados os dados da companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2004), que podem ser encontrados no endereço eletrônico <www.cprm.com.br>, onde tais dados do recorte espacial utilizados nesta pesquisa foram trabalhados no *software Arcgis 10.2*, e posteriormente recortado e confeccionado o esboço geológico.

Para que se fizesse possível a confecção do mapa de geologia, utilizaram-se as ferramentas *Select features > Data > export data* do *Software Arcgis*.

### 2.1.3 Caracterização Hidrográfica

Na caracterização hidrográfica foi feito um recorte dos dados da área de estudo, sendo que estes dados foram manipulados no *software Arcgis 10.2*, gerando assim o esboço da rede de drenagem do município de São Miguel do Tapuio, Piauí, sendo que os dados dessa caracterização foram extraídos do banco de dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala de 1:250.000 no ano de 2014.

As ferramentas utilizadas para a realização do recorte dos dados para confecção do mapa de hidrografia foram *Select features > Data > export data* do *Software Arcgis* utilizando como arquivo de entrada o *Shapefile* espacial da área de estudo.

### 2.1.4 Caracterização Geomorfológica

Com base na interpretação visual dos mapas gerados (geologia, hidrografia, declividade, solos, hipsometria), aliados aos conhecimentos acerca da área de estudo com a finalidade de compartimentar a área estudada em unidade menores, foram selecionadas as feições que melhor representaram as características morfológicas do município de São Miguel do Tapuio, Piauí, a partir do MDE.

É importante ressaltar que para a identificação da compartimentação geomorfológica foram utilizados outros parâmetros além da declividade como altimetria, curvas de nível, rede de drenagem, mapa geológico, com também a função do relevo sombreado.

Para a identificação e descrição da compartimentação geomorfológica realizada, utilizou-se a metodologia de Ross (1992) onde este classifica as unidades geomorfológicas através do sistema taxonômico de mapeamento, sendo importante ressaltar que tal proposição de classificação taxonômica encontra-se apoiada fundamentalmente no aspecto fisionômico ou seja no formato das formas de relevo de diferentes tamanhos.

A elaboração do mapa geomorfológico do município objeto de estudo, realizou-se inicialmente através do processamento e da análise de dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). A partir dos dados SRTM foram extraídos dados de altimetria e declividade, que subsidiaram em conjunto com outros mapas a identificação e o mapeamento geomorfológico do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.

Os dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) foram obtidos no site do Banco de dados Topodata/INPE: (<<http://www.dsr.inpe.br/topodata>>). Foram obtidos os dados refinados da resolução espacial original (~90m) no formato GRID para (~30m).

Na etapa seguinte, após adquirir as imagens, estas foram tratadas no *Software Arcgis* 10.2 e estabelecida uma nova projeção, onde esta utilizou-se a base de dados do sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) fuso 24 S.

Para que se confeccionasse o MDE do município de São Miguel do Tapuio, utilizou-se as cartas TOPODATA de índices 05S435\_ZN, 05S42\_ZN e 06S42\_ZN. Em decorrência da utilização de mais de uma cena, devido à grande extensão territorial do município estudado, foi feito um mosaico para uni-las, através do aplicativo *ArcToolbox > Data Management Tools > Raster > Raster Dataset > Mosaic To New Raster*, do *Software Arcgis*.

Posteriormente, para que se obtivesse um maior entendimento da área de estudo, o MDE foi reclassificado em nove classes altimétricas, estas variando de 82 a 900 metros. A partir dessa reclassificação foi possível a divisão das áreas mais elevadas e das mais rebaixadas do recorte espacial escolhido na presente pesquisa, neste sentido, a partir das imagens SRTM foi possível gerar o mapa temático de declividade, que também serviu como instrumento de análise das feições do relevo do município estudado nesta pesquisa.

O mapa de declividade objetiva demonstrar as inclinações de uma dada área em relação a um eixo horizontal. Serve como fonte de informações para as formas de relevo, aptidões agrícolas, riscos de erosão, restrições de uso e ocupação urbana, entre outros (RAMALHO FILHO; BEEK 1995).

O parâmetro declividade foi utilizado para caracterizar o relevo da área. A determinação das classes de declividade baseou-se no Modelo Digital de Elevação (MDE), onde essas classes foram estabelecidas conforme proposta da EMBRAPA (2009), conforme descrito no Quadro 3.

Quadro 3 – Classes de Declividade e suas características de acordo com EMBRAPA (2009).

<b>Intervalos de declividade (%)</b>	<b>Classe atribuída</b>	<b>Características</b>
<b>0 a 3</b>	Plano	Superfícies que possuem a topografia horizontal, com desnivelamentos muito pequenos.
<b>3 a 8</b>	Suave Ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituindo elevações de 50 a 100 m.
<b>8 a 20</b>	Ondulado	Quando as superfícies topográficas são pouco movimentadas, apresentando declives moderados.
<b>20 a 45</b>	Forte Ondulado	Superfícies de topografia movimentadas, variando de 50 a 100 m e 100 a 200 m, com declives fortes.
<b>45 a 75</b>	Montanhoso	Topografia vigorosa, predominando formas acidentadas, constituídas por desnivelamentos grandes, declives fortes ou muito fortes.

Fonte: EMBRAPA (2009).

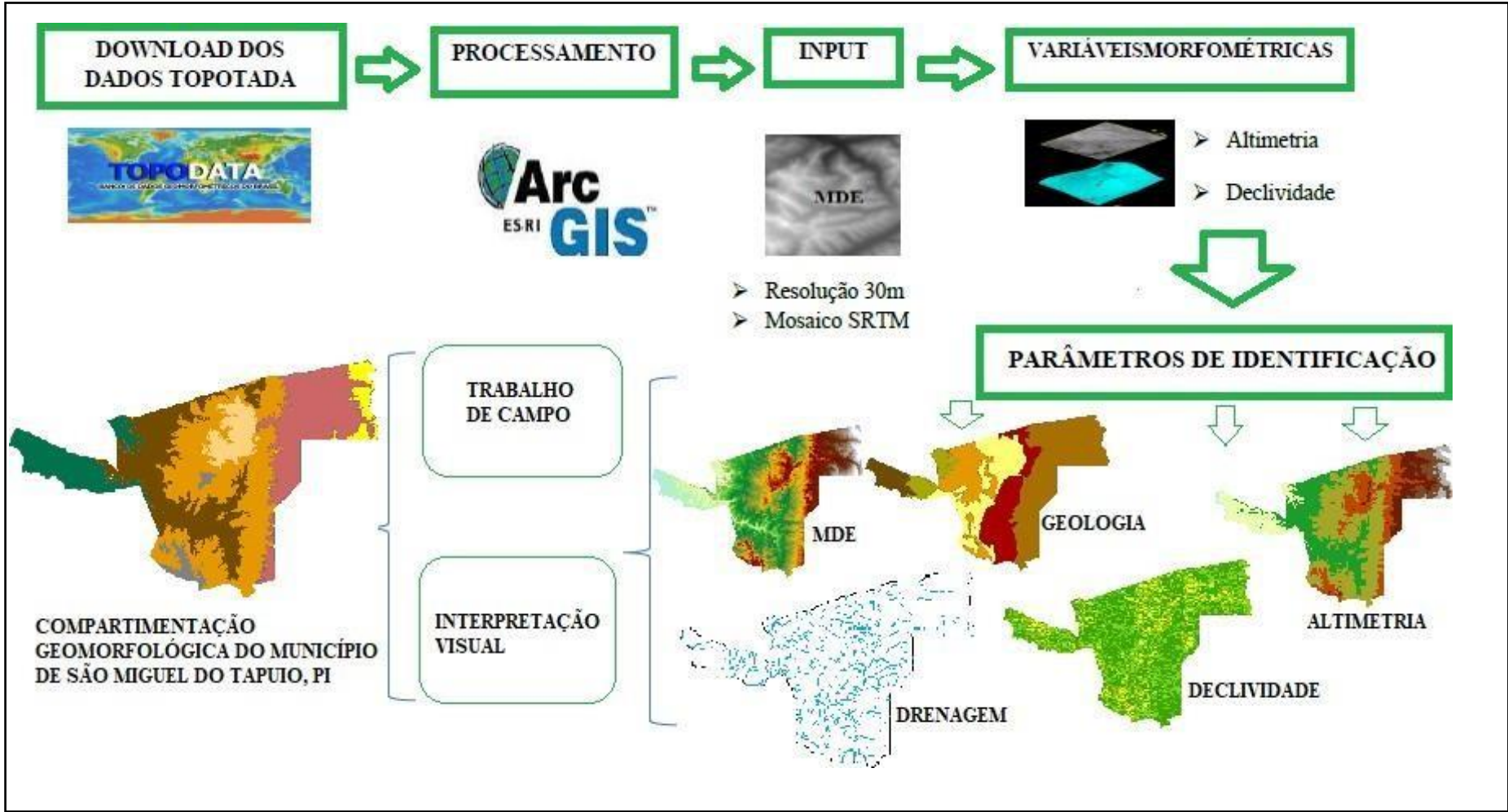
Para que se fizesse possível a geração do mapa de declividade, utilizou-se a ferramenta *ArcToolbox > Spatial Analyst tools > Surface > Slope* do *software* Arcgis. O mapa foi gerado em porcentagem (PERCENT) estabelecendo cinco classes, estas variando de plano a fortemente ondulado seguindo a classificação de Ramalho Filho e Beek (1995), porém adaptada de acordo com os declives apresentadas na área de estudo.

Embora o resultado do tratamento desses dados tenha resultado em mapas que se aproximasse ao máximo a realidade do recorte espacial escolhido nesta pesquisa, através dos trabalhos de campo, pode ser possível coletar dados adicionais, além de examinar as feições fotointerpretadas para uma classificação mais detalhada das unidades de relevo do município.

Neste sentido, o processo de mapeamento da compartimentação geomorfológica do município de São Miguel do Tapuio se deu através do processamento das imagens SRTM, posteriormente pelo tratamento dessas informações junto ao *software* Arcgis 10.2, em seguida pelas técnicas de fotointerpretação atrelado ao campo como reconhecimento do recorte espacial estudado (Figura 2).



Figura 2 – Fluxograma metodológico da compartimentação geomorfológica do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.



Organização: Janaira Marques Leal (2018).

### 2.1.5 Erosividade da Chuva

Analisou-se o elemento clima a partir do parâmetro erosividade das chuvas (R). O referido parâmetro corresponde a um dos fatores constantes na Equação Universal de Perdas de Solos, sendo considerado por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) como o principal agente causador de erosão no solo, que varia de acordo com a duração, a intensidade e a distribuição das chuvas. Nesta pesquisa utilizou-se o método indireto, proposto pelos referidos autores, conforme exposto na Equação 1. Destaca-se que esse método estima com relativa precisão os valores de R para longos períodos, considerando uma equação de regressão linear entre o índice médio mensal de erosão e o coeficiente de chuva.

(Equação 1)

$$E = 67,355 (r^2 / P) 0,85$$

Onde:

E = média mensal do índice de erosão (t/ha.mm/h);

$r^2$  = precipitação média mensal em mm

P = precipitação média anual em mm

A escolha do emprego desta equação justifica-se dada a carência de dados obtidos de modo direto para o Estado, aliada a aplicações de estudos semelhantes ao aqui proposto já realizados no Estado do Piauí, a exemplo dos estudos de Aquino (2010) e Santos (2015).

De acordo com Carvalho et al. (2010 citado por SANTOS, 2015), para que se possa medir a Erosividade é preciso inicialmente definir a média mensal do índice de erosão. Neste sentido, o clima tem influência direta nos processos erosivos de maneiras diversas, porém um dos principais tipos de erosão diz respeito à erosão hídrica pluvial, que é causada pelo impacto das gotas da chuva do solo, quando este se encontra desprovido de cobertura vegetal.

Portanto, os dados de “r” foram obtidos das planilhas de dados pluviométricos de 13 estações da rede hidrogeológica da SUDENE (1990), presentes no Estado do Piauí e duas no Estado do Ceará, sendo estas últimas identificadas com Crateús e Novo Oriente (Quadro 4).

Quadro 4 – Estações meteorológicas usadas para elaborar o mapa de erosividade das chuvas

<b>Município</b>	<b>Nome do Posto</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude (m)</b>
Castelo do Piauí	Santana	5° 20'	41° 5'	730
São João da Serra	São João da Serra	5° 30'	41° 55'	120
São Miguel do Tapuio	São Miguel do Tapuio	5° 30'	41° 20'	440
Pimenteiras	Pimenteiras do Piauí	6° 15'	41° 26'	200
Pimenteiras	Oitis	6° 22'	41° 37'	270
São Miguel do Tapuio	Dico Leopoldino	5° 51'	41° 23'	290
Pimenteiras	Curralinho	6° 38'	41° 17'	420
Pimenteiras	São Pedro do Piauí	6° 27'	41° 29'	260
São Miguel do Tapuio	São Vicente	5° 43'	41° 42'	220
São Miguel do Tapuio	Assunção	5° 52'	41° 3'	480
Castelo do Piauí	Castelo do Piauí	5° 25'	41° 34'	250
Crateús	-	5° 11'	40° 40'	-
Novo Oriente	-	5° 30'	40° 41'	-

Fonte: SUDENE (1990).

Com base nos dados pluviométricos obtidos das 13 estações, estabeleceram-se as seguintes classes de erosividade das chuvas (Tabela 1).

Tabela 1 – Intervalos de Erosividade das chuvas (R) com respectivas denominações das classes correspondentes a cada intervalo

<b>Amplitude de R (MJ.mm/ha.h.ano)</b>	<b>Classe</b>
<b>5929,33 &lt; R &lt; 6000</b>	Baixa
<b>6000 &lt; R &lt; 6150</b>	Moderada
<b>6150 &lt; R &lt; 6300</b>	Moderadamente Alta
<b>6300 &lt; R &lt; 6450</b>	Alta

Fonte: pesquisa direta (2018). Organização: Janaira Marques Leal (2018).

A capacidade das chuvas em provocar erosão pode ser quantificada e expressa como um índice de erosividade das chuvas, onde o potencial de erosão das chuvas diz respeito à perda de solo por unidade de área, que é esperada de uma chuva ao cair em área desprovida de cobertura e de resíduos vegetais (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992).

Neste ínterim, a partir da avaliação dos riscos de erosão, que são esperados a partir das várias características das chuvas, é possível predizer os potenciais riscos de degradação de uma determinada área. Entretanto, os dados de chuvas totais ou médias mensais não devem ser considerados isoladamente, mas devem estar relacionados a outros elementos, tais como as características do solo (LOMBARDI NETO; PASTANA, 1972).

#### 2.1.6 Caracterização Climática e vegetação

A caracterização climática do município de São Miguel do Tapuio se deu a partir dos dados disponíveis no site do INMET/CLIMA TEMPO, disponibilizados no endereço eletrônico ([www.climatempo.com.br](http://www.climatempo.com.br)).

A caracterização da vegetação do município estudado foi realizada com base nos dados que constam em RADAMBRASIL (1973).

#### 2.1.7 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O levantamento da biomassa da vegetação do município de São Miguel do Tapuio, Piauí, foi subsidiado pela imagens do satélite LANDSAT 8, no qual estas foram utilizadas para elaboração do mapa de NDVI.

Para elaboração do mapa de NDVI foram adquiridas imagens do satélite LANDSAT 8, no site *Science for a changing world* (USGS), disponível em: (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), imageadas do mês de setembro, do município de São Miguel do Tapuio, devido a menor quantidade de nuvens (Quadro 5). Segundo Aquino e Valladares (2013), o sistema LANDSAT foi desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), possibilitando a aquisição de dados espaciais, espectrais e temporais da superfície terrestre, de forma global, sinóptica e repetitiva. Neste sentido, a escolha da data das imagens é extremamente importante, pois os ambientes da superfície terrestre são dinâmicos, sendo assim estando sempre se modificando.

Quadro 5 – Características das Imagens do LANDSAT 8 OLI para o município de São Miguel do Tapuio, Piauí.

<b>Ponto/órbita</b>	<b>Datas</b>	<b>Resolução</b>
<b>218/64</b>	21/09/2017	30m
<b>219/64</b>	12/09/2017	30m

Fonte: USGS (2017). Organização: Janaira Marques Leal (2018).

No *ArcMap* procedeu-se a realização de mosaico das bandas 4 e 5 do LANDSAT 8, por meio do aplicativo *ArcToolbox* ferramenta *Data Management Tools*, na opção *Raster e Mosaic To New Raster* para construção do mosaico das cenas e bandas de 2017. Para que houvesse uma melhora na execução das atividades, realizou-se o recorte da área via *Spatial Analyst Tools* e opção *Extraction By Mask* utilizando como arquivo de entrada o mosaico das imagens do LANDSAT 8.

Por fim, posterior a elaboração do mapa de NDVI para 2017, efetuou-se a subtração de imagens, que possuem baixo contraste e que baseado em Santos (2014), estas podem ser classificadas indicando os valores de corte, que é definido através de estatísticas obtidas a partir dos mapas de NDVI.

Para a obtenção do mapa de NDVI segue-se a seguinte equação estatística, no qual esta por sua vez é realizada com suporte do software em que é aplicado a cada pixel que compõe a cena da área de estudo escolhida.

(Equação 2)

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V})$$

Em que:

**NDVI** é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

**IVP** é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Infravermelho Próximo.

**V** é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Vermelho.

Para a aplicação da equação do NDVI utilizou-se as ferramentas de *ArcToolbox* em seguida a opção *Spatial Analyst Tools* posteriormente em *Map Algebra* e *Raster Calculator*.

As nuvens, água e neve têm reflectâncias maiores no infravermelho e, portanto, valores negativos; as rochas e os solos expostos têm reflectâncias similares nas duas bandas e valores próximos a zero; a vegetação que apresenta maior vigor e densidade possuem os valores mais altos.

#### 2.1.8 Caracterização Pedológica

Para identificação dos tipos de solos no trecho em estudo utilizou-se os dados disponíveis no site (<http://www.visualizador.inde.gov.br/>), da Infraestrutura Nacional de Dados Especiais (INDE, 2014). Os dados da área de estudo foram recortados e manipulados no *software ArcGis 10.2*, gerando assim o esboço pedológico.

Posteriormente, à identificação dos solos, aplicou-se proposta metodológica de Crepani et al. (2001) para que se pudesse estimar as classes de fragilidade dos solos, no qual esta referida proposta baseia-se no grau de desenvolvimento ou maturidade dos solos como forma de estimar as classes de fragilidade dos mesmos. Essa metodologia foi utilizada com as devidas adaptações à realidade da área de estudo, a exemplo do valor de vulnerabilidade atribuído a cada classe de solo, no qual utilizou-se a média aritmética dos dois primeiros componentes de cada associação de solos para realizar a classificação de vulnerabilidade do fator solos.

### 2.1.9 Caracterização Socioeconômica

A caracterização socioeconômica deu-se através dos dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Fundação João Pinheiro (FJP). Por fim, cita-se que para a elaboração e sistematização dos dados (físicos e humanos) foram utilizados os respectivos *softwares*: *Microsoft Office Word* 2013; *Microsoft Office Excel* 2013.

### 2.1.10 Análise da Vulnerabilidade Ambiental

A análise da Vulnerabilidade ambiental baseou-se na metodologia proposta por Crepani (2001), a qual estabelece uma escala de valores relativos e empíricos de acordo com a relação morfogênese/pedogênese. Ressalta-se que poderão haver adaptações considerando os dados disponíveis para a área de estudo. Ao final será elaborado um mapa síntese considerando a correlação dos seguintes parâmetros conforme Equação 3 e Quadro 6:

$$V = \frac{G + R + S + NDVI + C}{5}$$

(Equação 3)

Onde:

V = Vulnerabilidade;

G = Vulnerabilidade para o tema Geologia;

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia, representada na pesquisa pela declividade;

S = Vulnerabilidade para o tema Solos;

Vg = Vulnerabilidade para o tema Vegetação, representada na pesquisa pelo NDVI;

C = Vulnerabilidade para o tema Clima, representada na pesquisa pela erosividade da chuva;

Quadro 6 – Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas associadas às condições de vulnerabilidade ambiental.

<b>Categoria morfodinâmica</b>	<b>Relação Morfogênese/Pedogênese</b>	<b>Valor</b>	<b>Vulnerabilidade Ambiental</b>
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0	Estável
Intermediária	Equilíbrio dinâmico entre Pedogênese/Morfogênese	2,0	Moderadamente Vulnerável
Instável	Prevalece a Morfogênese	3,0	Vulnerável

Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001). Organização: Janaira Marques Leal (2018).

A referida proposta metodológica determinada por Crepani et al. (2001) utilizada na presente pesquisa consiste na correlação de mapas temáticos através da álgebra de mapas em que pode ser definida como um conjunto de técnicas para análise geográfica, onde estas incluem a reclassificação, a intersecção (*overlay*), bem como operações matemáticas entre mapas e as consultas a bancos de dados (CÂMARA; DAVES, 2001).

Os dados cruzados (litológicos/geologia, geomorfologia/declividade da área, tipologias de solos e ainda a vegetação/NDVI) permitem, de imediato, produzir documentos que ampliam a percepção das inter-relações entre as variáveis que respondem pela dinâmica ambiental da área estudada.

O Quadro 7 apresenta as características analisadas para avaliar a vulnerabilidade ambiental de cada tema.

Quadro 7 – Temas e suas respectivas características de análise da vulnerabilidade.

<b>Temas</b>	<b>Características</b>
Geologia	Grau de coesão das rochas
Geomorfologia	Declividade
Pedologia	Maturidade do Solo
Vegetação	Biomassa da vegetação
Clima	Intensidade pluviométrica (pluviosidade anual/duração do período chuvoso)

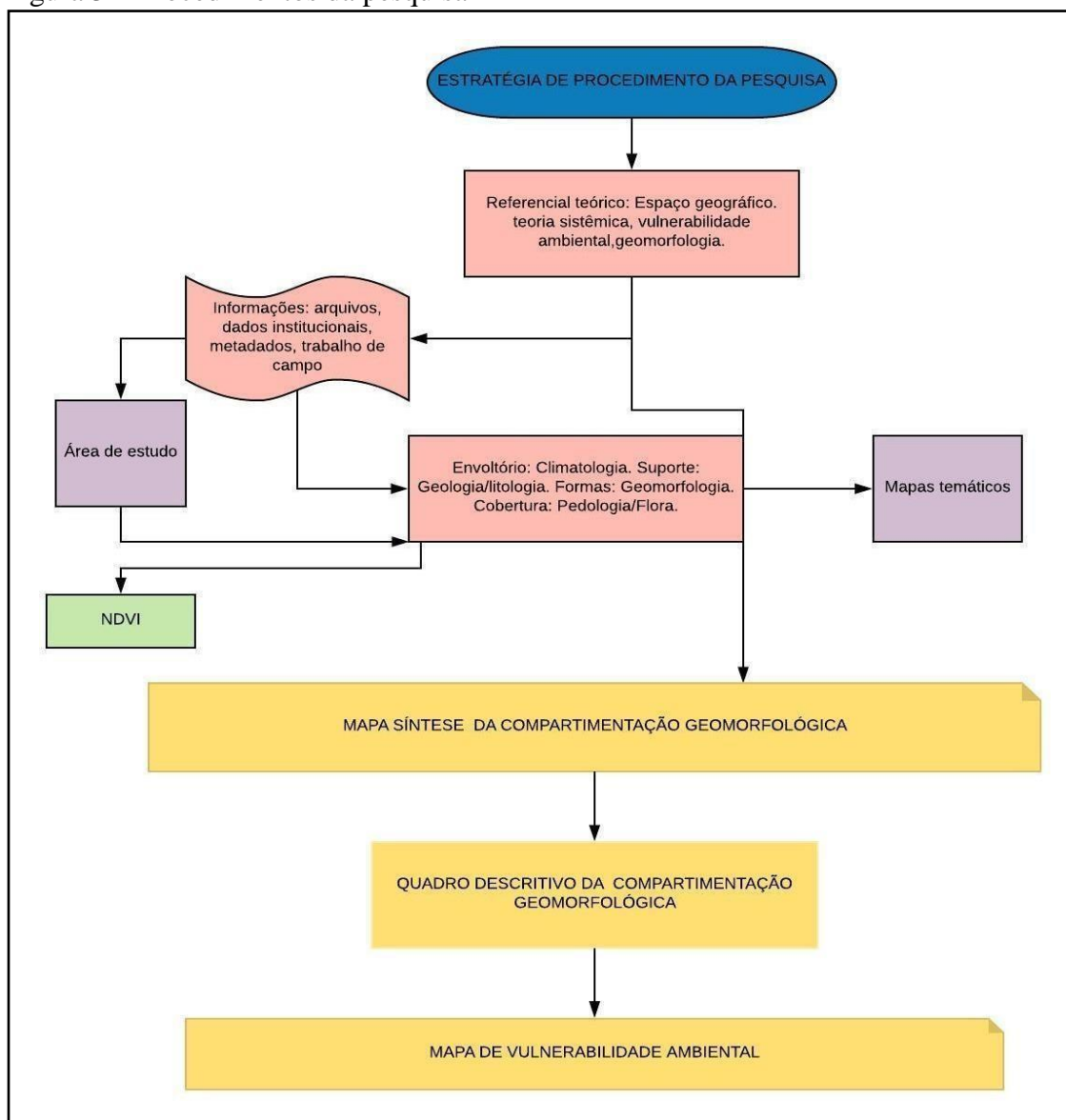
Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001). Organização: Janaira Marques Leal (2018).

Na álgebra de mapas os dados irão ser somados e divididos pelo número de classes pretendidas, sendo este em cinco. Cada classe representa na pesquisa um nível de vulnerabilidade, a saber: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto.

Os dados trabalhados na presente pesquisa foram realizados com auxílio do *software* Arcgis 10.2 com licença subsidiada pelo Laboratório de Geomática (LABGEO/UFPI) da Universidade Federal do Piauí (UFPI), onde se realizou a álgebra de mapas e as demais atividades envolvendo trabalho de geoprocessamento e SIGs.

Objetivando uma melhor compreensão do que foi executado anteriormente, a Figura 3 aponta um esquema geral dos procedimentos metodológicos adotados ao longo deste trabalho.

Figura 3 – Procedimentos da pesquisa



Fonte: adaptado de Araújo (2011). Organização: Janaira Marques Leal (2018).



### **3 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL E SOCIOECONÔMICA DO MUNICÍPIO DE SÃO MIGUEL DO TAPUIO, PIAUÍ**

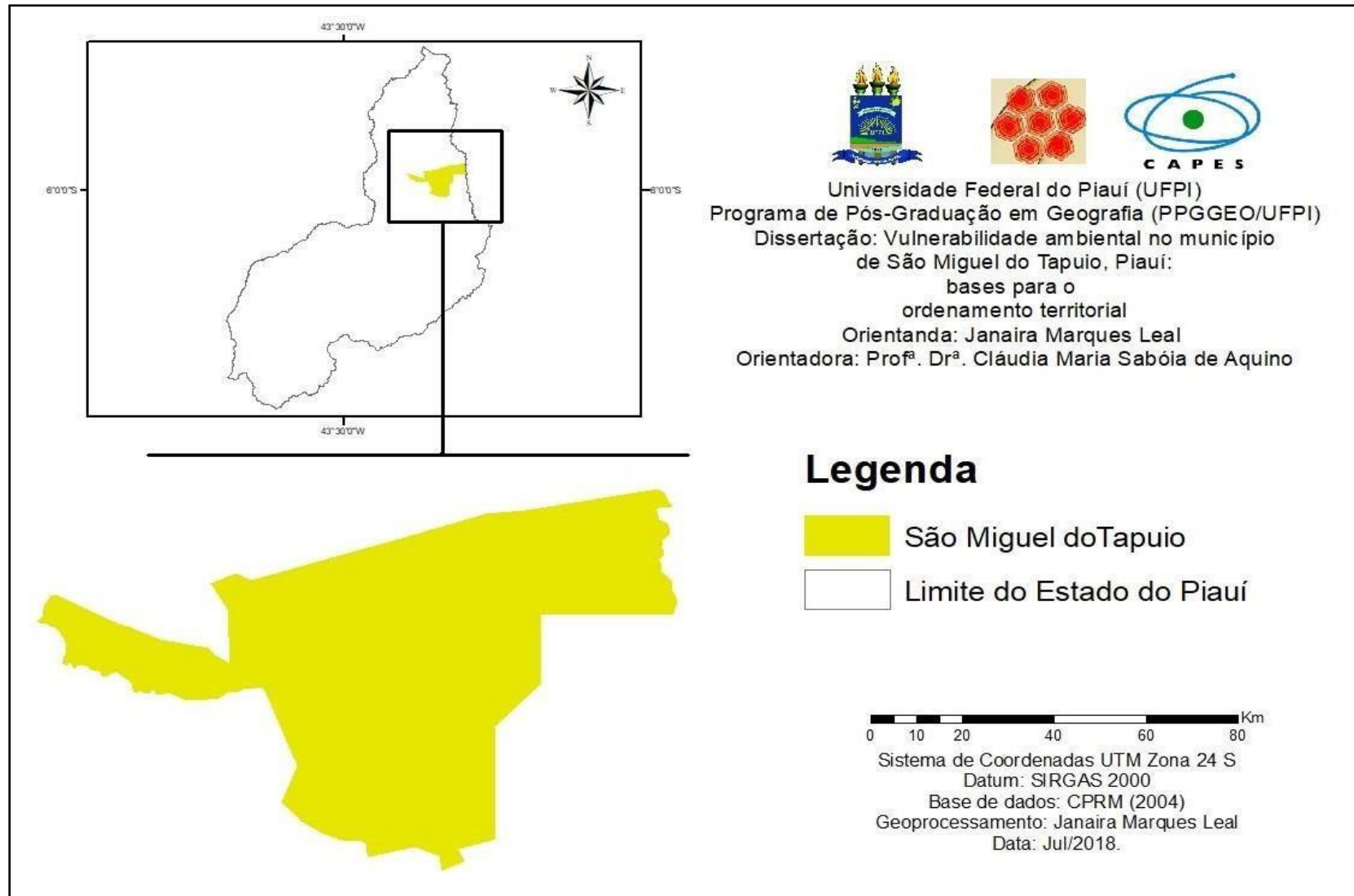
A gestão de um território exige o conhecimento integrado de seus recursos naturais, com suas respectivas potencialidades e limitações (LIMA; CESTARO; ARAÚJO, 2010). O referido conhecimento carece de um diagnóstico ambiental, considerado um instrumento que objetiva apresentar os principais elementos do meio físico, biótico e socioeconômico, passíveis de modificações, sejam de ordem natural e/ou antrópica (ROSS, 2006).

Neste sentido, a área de estudo escolhida para a realização da pesquisa corresponde ao município de São Miguel do Tapuio, localizado na microrregião de Campo Maior (Figura 4), compreendendo uma área de 5.283 km<sup>2</sup>, tendo como limites os municípios de São João da Serra, Castelo do Piauí e Buriti dos Montes, ao norte; Pimenteiras, Assunção do Piauí e Aroazes, ao sul; São João da Serra, Alto Longá, Prata do Piauí, Aroazes e Santa Cruz dos Milagres, ao oeste, mantendo a sua sede municipal com as coordenadas geográficas de 05° 30'13" de latitude sul e 41° 19'24" de longitude oeste com distância de aproximadamente 227 km da capital piauiense, Teresina (CPRM, 2004).

São Miguel do Tapuio passou à categoria de cidade pelo Decreto nº 52, de 25 de março de 1938, embora existam documentos que comprovam a sua elevação à categoria de município em 1930 (Lei Estadual nº 1113, de 18-10-1930) e extinto em 1931 (Decreto Estadual nº 1279, de 26-06-1931) e, posteriormente, em 1934 (Decreto Estadual nº 1589, de 04-10-1934). Nessa ocasião, assumiu o comando da luta pela emancipação, o cearense Coronel Manuel Evaristo de Paiva que, vitorioso, foi nomeado prefeito.

Neste sentido, este é considerado o fundador da cidade e figura central de sua história, depois de Dona Rosaura. Ainda em 1905, fez parte da comissão que solicitou a doação das terras para a construção da capela, tendo, também, assinado como testemunha da doação. Transferiu-se para o novo povoado onde instalou seu comércio e casou-se com uma neta de Dona Rosaura. Chegou a governar o município por um total de dezenove anos e, além de político e comerciante, foi industrial e pecuarista.

Figura 4 – Localização do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.



### 3.1 Geologia

Do ponto de vista geológico, o município de São Miguel do Tapuio apresenta diferentes litologias que podem ser distinguidas em: rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba e as coberturas colúvio-eluviais, sendo este último caracterizado como os sedimentos mais recentes compostos por areia, argila, cascalho e laterito. O mapa da Figura 5 apresenta a disposição das Formações geológicas do município de São Miguel do Tapuio, Piauí, de acordo com CPRM (2006).

As formações geológicas que se fazem presentes no município são: a Formação Cabeças com 978,2 km<sup>2</sup>, um total de 18,6% da área do município; Formação Longá com 297,7 km<sup>2</sup> fazendo assim uma espacialização de 5,7% da área total; Formação Piauí sendo a de menor representatividade na área estudada com apenas 0,01 km<sup>2</sup> sendo 0,0001%;, Formação Pimenteiras que se estende por 934,3 km<sup>2</sup> com 17,9% da área; Formação Poti que abrange cerca de 301,1 com 5,7 da área estudada; e por último a Formação Serra Grande, sendo esta a com maior representatividade, estendendo-se por 1916,5 km<sup>2</sup>, ou seja, 36,7% da área de estudo. Os depósitos Colúvio-Eluviais que datam da era cenozoica abrangem cerca de 15,1% da área estudada, estendendo-se por cerca de 789,8 km<sup>2</sup> (Quadro 8).

Quadro 8 – Características das unidades geológicas presentes no município de São Miguel do Tapuio, Piauí.

Era	Período	Formação	Litologia	Área (Km <sup>2</sup> )	%
Paleozoica	Devoniano	Cabeças	Siltitos e arenitos	978,2	18,6
		Longá	Siltitos e folhelhos	297,7	5,7
		Pimenteiras	Arenitos, folhelhos e siltitos.	934,3	17,9
	Siluriano	Serra Grande	Conglomerados, arenitos e intercalações de siltitos e folhelhos.	1916,5	36,7
	Carbonífero	Poti	Folhelhos carbonáceos e arenitos	301,1	5,7
		Longá	Folhelhos e siltitos com intercalações de arenitos finos	297,7	5,7
Cenozoica	Neogeno	Depósitos Colúvio-Eluviais	Sedimentos arenosos, areno-argilosos e conglomeráticos.	789,8	15,1

Fonte: CPRM (2006).

### 3.1.1 Formação Cabeças

A Formação Cabeças é datada do período devoniano médio de idade carbonífera. Sua composição é de arenito de cores claras, branco e cinza-amarelados, às vezes, avermelhados, médios e grosseiros, comumente conglomeráticos e com pouca argila. Apresenta características de aspecto maciço em virtude da estratificação espessa possuindo cruzadas bem desenvolvidas (BAPTISTA, 1981).

### 3.1.2 Formação Longá

A referida Formação data do devoniano superior, constituindo-se em folhelhos e siltitos cinza-escuros e pretos, em geral carbonatos com intercalações de arenitos finos de cor branco-amarelada, laminados, apresentando *sills* de diabásio. É responsável pelos folhelhos que possuem um sistema de diaclasamento que dá origem à existência das grandes lajes exploradas em Campo Maior. Possui uma espessura estimada em 100 a 150 m (BAPTISTA, 1981).

### 3.1.3 Formação Pimenteiras

Partindo da foz do rio Longá, esta Formação possui uma datação do período Devoniano inferior, carregando esta denominação devido a presença de folhelhos vermelhos no município de Pimenteiras, Piauí. Como suas características sua sedimentação inicia com cores variadas, com predominância do vermelho e do cinza escuro e intercalações de arenitos e siltitos. Apresenta uma vulnerabilidade à a erosão em face a sua litologia, possuindo uma área de formação bastante pequena, tendo sua espessura chegando a 200 m, diminuindo para 100 em vários lugares (BAPTISTA, 1981).

### 3.1.4 Formação Poti

Representando a parte mais moderna do ciclo de sedimentação marinha, a Formação Poti é constituída de arenito carbonáceo, branco ou amarelo, médio a grosseiro, e arenito fino argiloso intercalado de argilito. Identifica-se uma abundância de falhas, algumas associadas a diques, e, sedimentação continental (BAPTISTA, 1981). Nesta Formação é possível observar a presença de Neossolos Litólicos Distróficos, Plintossolos Argilúvicos Distrófico e Plintossolos Pétricos Concrecionários (IBGE, 2014). Apresenta características de vegetação do tipo Cerrado e Caatinga Arbórea (RADAMBRASIL, 1973).

### 3.1.5 Formação Serra Grande

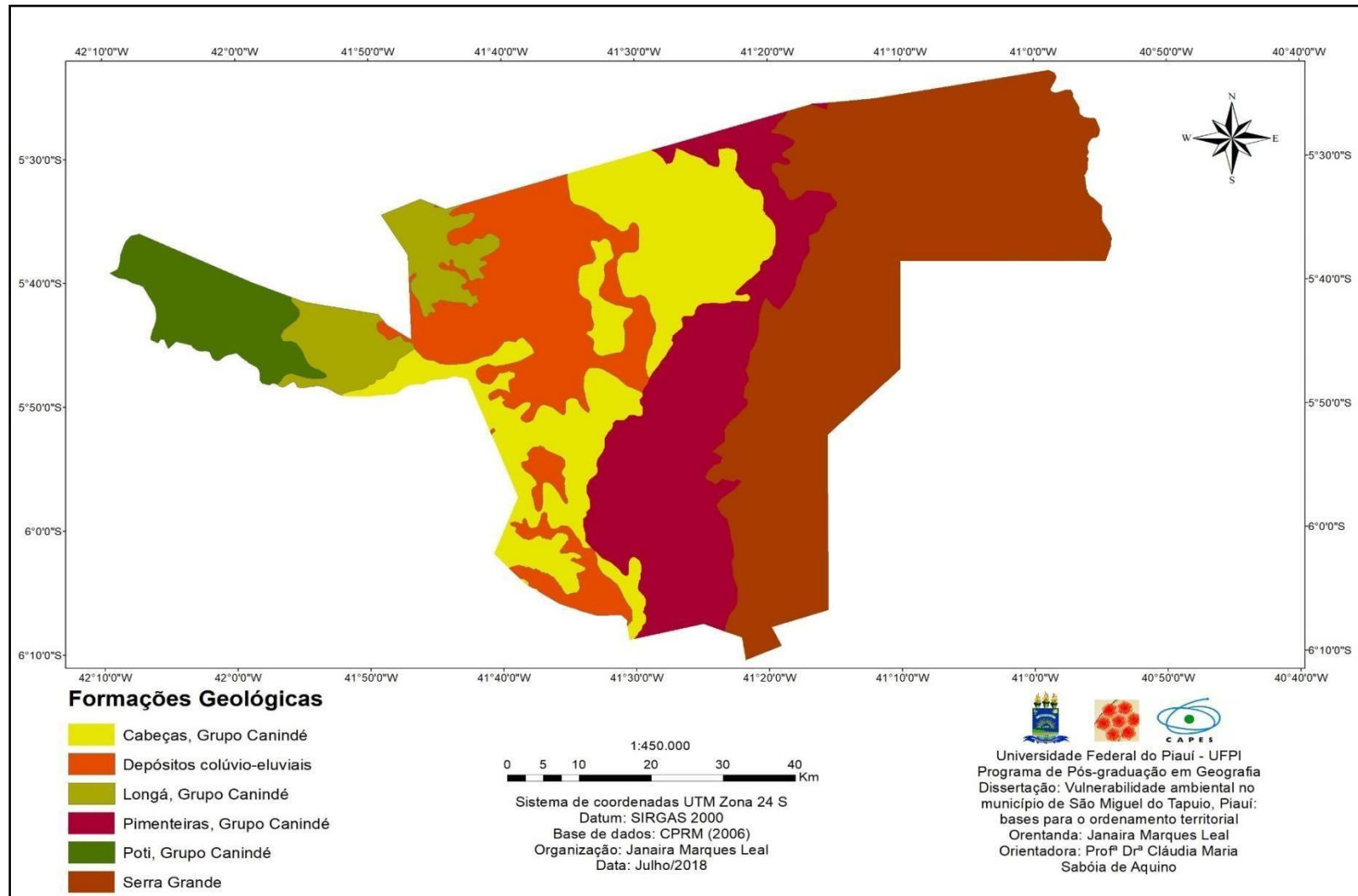
Datada do período Silurino, a Formação Serra Grande é constituída por arenitos grosseiros com leitos de conglomerado oligomítico e intercalações de siltitos e folhelhos. Observa-se que sua sedimentação se inicia com arenitos brancos grosseiros, congloeráticos,

contendo leitos de até 20 m de conglomerados oligomíticos. Marca o início da sedimentação da Bacia do Parnaíba, com a deposição de um pacote de arenitos conglomeráticos e conglomerados na base, passando a arenitos de granulação mais fina no topo, intercalados com siltitos, folhelhos e argilitos (BAPTISTA, 1981). De acordo com IBGE (2014), é possível perceber a presença de Latossolos Amarelos Distróficos, Neossolos Quartzarênicos Órticos e Neossolo Litólico Distrófico. Apresenta ainda características de vegetação de Caatinga com manchas de Cerrado (RADAMBRASIL, 1973).

### 3.1.6 Depósitos Colúvio-Eluviais

Os depósitos colúvio-eluviais apresentam uma formação recente e são constituídos por cascalhos, sedimentos areno-argilosos não consolidados e conglomeráticos, carregados pelos rios, originando lagoas temporárias, ocorrendo em estreitas faixas do rio Parnaíba (BAPTISTA, 1981). Os solos encontrados nos Depósitos Colúvio-eluviais classificam-se como Neossolos Litólicos Distróficos, Latossolos Amarelos Distróficos e Neossolos Quartzarênicos Órticos (IBGE, 2014). A área encontra-se situada em ambiente de transição de Caatinga e Cerrado, podendo-se observar as características fisionômicas de cada tipo vegetacional (RADAMBRASIL, 1973).

Figura 5 – Mapa Geológico do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.



Com base na visita de campo realizada na área de estudo, pode-se constatar a presença da geologia compatível com a literatura supracitada.

### **3.2 Pedologia**

Sabe-se da importância do conhecimento da origem e dinâmica dos solos, bem como da sua composição, pois a partir disso torna-se possível determinar as potencialidades e vulnerabilidades com relação ao uso frente à ocupação de um determinado território.

Neste sentido, para que se fizesse presente o mapeamento pedológico da área de estudo de forma que viesse a subsidiar um ordenamento territorial e de escala compatível, foram indicadas unidades cartográficas compostas por associações de solos que caracterizam assim o município estudado.

De acordo com o IBGE (2007), uma associação de solos é definida como um agrupamento de unidades taxonômicas definidas, associadas geográfica e regularmente num padrão de arranjo definido. As associações dos solos são realizadas pela junção dos nomes de duas ou mais classes que possuem limites nítidos ou pouco nítidos entre si.

Neste sentido, baseando-se pelo mapeamento realizado pelo projeto RADAMBRASIL, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponibilizado no *site* da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), disponível no endereço eletrônico (<http://www.inde.gov.br/>) em sua adaptação afirma que os tipos de solos presentes no município de São Miguel do Tapuio são classificados em Plintossolos Pétricos Concrecionários, Plintossolos Argilúvicos Distróficos, Latossolos Amarelos Distróficos, Neossolos Litólicos Distróficos e Neossolos Quartzarênicos Órticos (Tabela 2).

Tabela 2 – Ocorrência de associações dos solos no município de São Miguel do Tapuio, Piauí.

<b>Símbolo</b>	<b>Associações de solos (IBGE, 2007)</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
<b>LAd1</b>	Latossolo Amarelo Distrófico + Neossolo Litólico Distrófico	854,34	16,54
<b>LAd2</b>	Latossolo Amarelo Distrófico + Plintossolo Pétrico Concrecionário	267,18	5,17
<b>LAd3</b>	Latossolo Amarelo Distrófico + Latossolo Vermelho-amarelo Distrófico	1,01	0,01
<b>RLd1</b>	Neossolo Litólico Distrófico + Neossolo Quartzarênico Órtico	748,88	14,50
<b>RLd2</b>	Neossolo Litólico Distrófico + Argissolo Amarelo Distrófico	547,46	10,60
<b>RLd3</b>	Neossolo Litólico Distrófico + Latossolo Amarelo Distrófico	101,83	1,97
<b>RQo1</b>	Neossolo Quartzarênico Órtico + Latossolo Amarelo Distrófico	492,23	9,53
<b>RQo2</b>	Neossolo Quartzarênico Órtico + Neossolo Litólico Distrófico	377,95	7,32
<b>RQo3</b>	Neossolo Quartzarênico Órtico + Argissolo Amarelo Distrófico	362,76	7,02
<b>Lad</b>	Latossolo Amarelo Distrófico	17,22	0,33
<b>RLd</b>	Neossolo Litólico Distrófico	1019,73	19,75
<b>RQo</b>	Neossolo Quartzarênico Órtico	117,23	2,27
<b>FTd</b>	Plintossolo Argilúvico Distrófico	85,97	1,66
<b>FFc</b>	Plintossolo Pétrico Concrecionário	168,91	3,27
<b>Total</b>	-	<b>5162,7</b>	<b>100</b>

Fonte: IBGE (2014).



Os Plintossolos Pétricos (Solos Concrecionários ou Concrecionários Lateríticos), geralmente de melhor drenagem, caracterizam-se pela presença no perfil dos horizontes diagnósticos concrecionário e/ou litoplíntico, possuindo uma ocorrência comum nas Regiões Centro-Oeste e Norte de alguns platôs da Amazônia, sendo este utilizado para pastoreio extensivo na presença de vegetação campestre ou cerrado (IBGE, 2007).

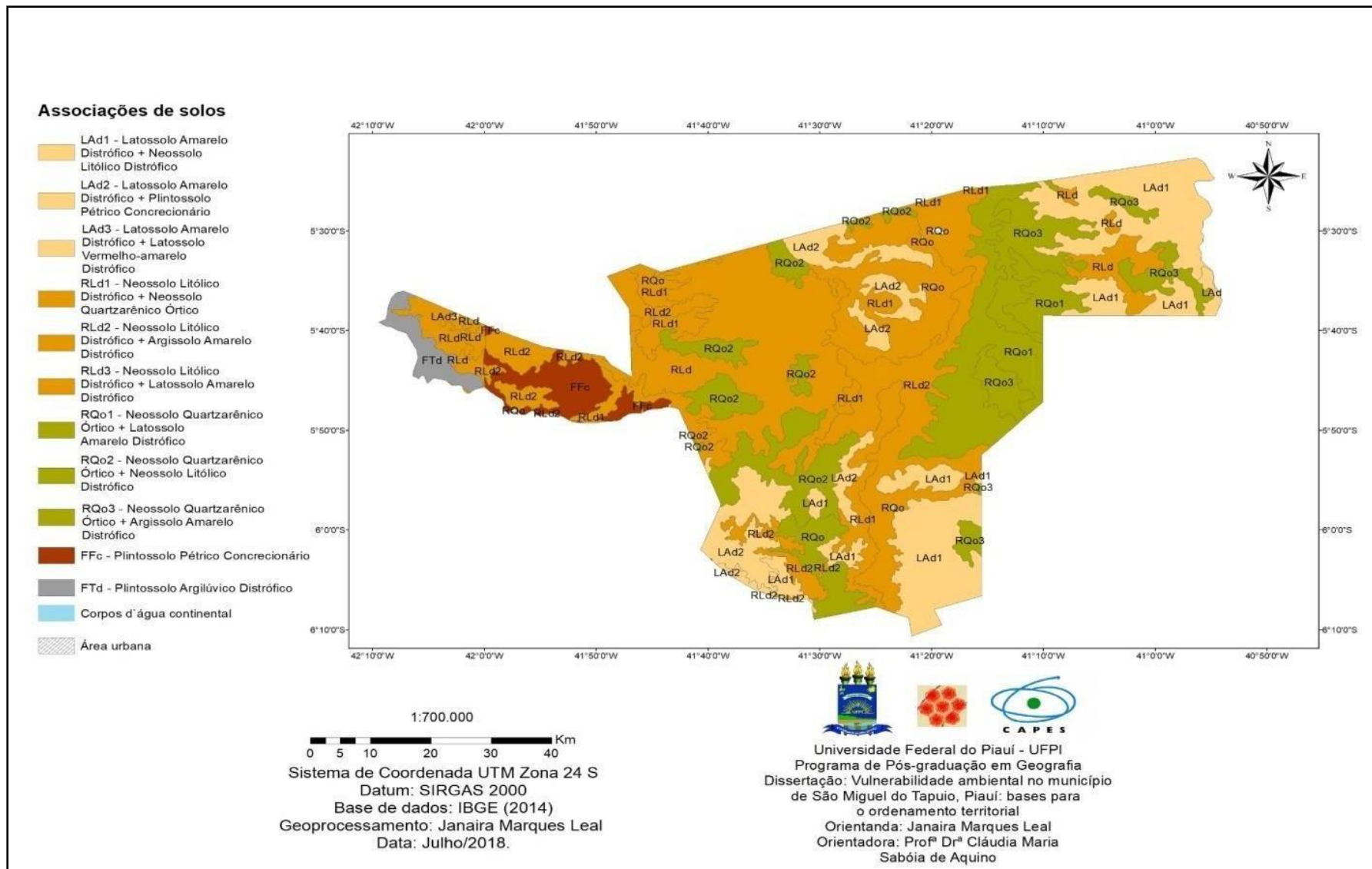
Os Plintossolos Argilúvicos apresentam-se com drenagem restrita, têm como característica diagnóstica a presença do horizonte plíntico que é identificado principalmente por cores mosqueadas ou variegadas, compostas de tons desde vermelhos a acinzentados. Esse tipo de solo caracteriza-se por necessitar de um manejo agrícola delicado, carecendo de um bom controle de sua dinâmica hídrica interna, podendo ter como consequência o endurecimento da plintita (IBGE, 2007).

Outro tipo de solo encontrado no município estudado é referente aos Latossolos Amarelos Distróficos, onde estes se apresentam em solos profundos, de coloração amarelada perfis muito homogêneos, com boa drenagem, baixa fertilidade natural e boas propriedades físicas em sua maioria (IBGE, 2007).

Os Neossolos são solos constituídos de ausência de qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. No município de São Miguel do Tapuio observou-se a presença de Neossolos Litólicos Distróficos, onde este mostra-se como solos rasos, ocorrendo de forma dispersa nos relevos muito acidentados de morrarias e serras, e os Neossolos Quartzarênicos Órticos, que se caracterizam como solos profundos e arenosos (IBGE, 2007), com baixa fertilidade natural e baixa capacidade de retenção de água.

O mapa da Figura 6 a seguir sintetiza as associações de solos observadas no município de São Miguel do Tapuio de acordo com adaptações do IBGE (2014).

Figura 6 – Mapa de solos do município de São Miguel do Tapuí, Piauí.



### 3.3 Clima, recursos hídricos e vegetação

Os processos atmosféricos favorecem uma série de mudanças que ocorrem em outras partes do ambiente, principalmente na biosfera, hidrosfera e litosfera (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002). Por este motivo, os estudos climáticos mostram-se de suma importância nos estudos ambientais, pois os mesmos apresentam-se integrados à maioria dos fenômenos observados nos ecossistemas existentes e, particularmente, nos estudos de bacias hidrográficas. Em outras palavras, o clima influencia na vegetação, à fauna, o solo e às atividades antrópicas, sendo um fator limitante a estes.

No sistema observa-se que a precipitação se apresenta como a principal entrada de água do sistema hídrico, partindo dela as outras variáveis do sistema, a exemplo do escoamento superficial e subsuperficial através da infiltração. Com isso, a precipitação pode ser definida como toda a água proveniente da atmosfera que atinge a superfície terrestre, sendo a sua disponibilidade anual em uma região o fator determinante para quantificar a necessidade de irrigação e abastecimento de água (TUCCI, 2001).

Neste sentido, ao observarem-se as condições climáticas do município de São Miguel do Tapuío através dos dados do *site* Clima Tempo (<https://www.climatempo.com.br/>), pode-se observar o comportamento da temperatura e precipitação no município estudado (Figura 7).

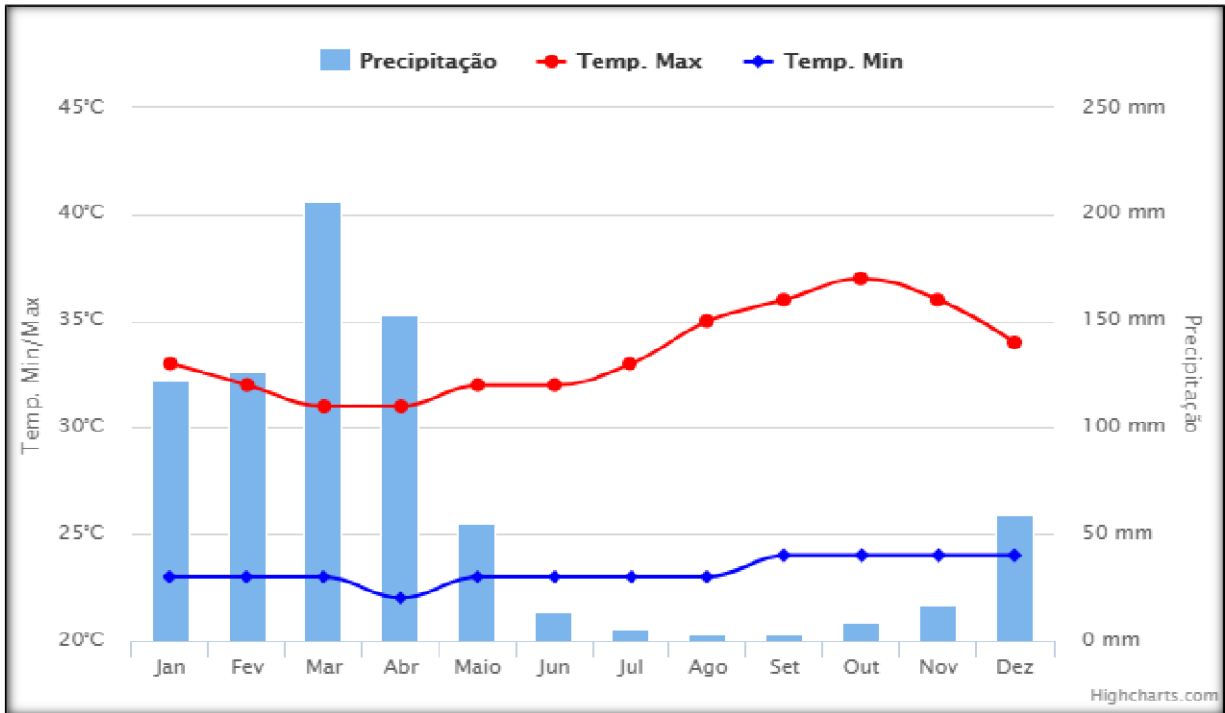
As médias climatológicas observadas mostram os valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos observados através das normais climatológicas das estações do Inmet, no período de 1960 a 1990, sendo possível identificar a variação sazonal da temperatura e das chuvas, podendo assim, identificar as épocas mais chuvosas/secas e mínimas/máximas temperaturas da área de estudo.

No sistema observa-se que a precipitação se apresenta como a principal entrada de água do sistema hídrico, partindo dela as outras variáveis do sistema, a exemplo do escoamento superficial e subsuperficial através da infiltração. Com isso, a precipitação pode ser definida como toda a água proveniente da atmosfera que atinge a superfície terrestre, sendo a sua disponibilidade anual em uma região o fator determinante para quantificar a necessidade de irrigação e abastecimento de água (TUCCI, 2001).

Ao observarem-se as condições climáticas do município de São Miguel do Tapuío, através dos dados obtidos no site aberto denominado de Clima Tempo, evidencia-se o comportamento da temperatura e precipitação no município estudado (Figura 7). As médias climatológicas observadas mostram os valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos observados através das normais climatológicas das estações do Inmet, no período de

1960 a 1990, sendo possível identificar a variação sazonal da temperatura e das chuvas, podendo assim, identificar as épocas mais chuvosas/secas e quentes/frias da área de estudo.

Figura 7 – Comportamento da temperatura e da chuva no município de São Miguel do Tapuio, Piauí, entre os anos de 1960 e 1990.



Fonte: INMET/CFS/Interpolação (2018).

Através dos dados apresentados para o município de São Miguel do Tapuio, observa-se que o período chuvoso do mesmo se estende de dezembro a maio, com temperatura máxima de 37° C durante o mês de outubro e mínima de 22°C, de abril.

De acordo com Aguiar (2004) o município de São Miguel do Tapuio apresenta clima quente tropical, com uma precipitação pluviométrica média anual (com registro de 1.000 mm, na sede do município), cerca de 5 a 6 meses como os mais chuvosos e período restante do ano de estação seca. Os meses de fevereiro, março e abril correspondem ao trimestre mais úmido da região.

São Miguel do Tapuio é drenado pelo rio São Nicolau e os riachos Ingarana, dos Campos, Vitória, Iningá, Tamboril, Esquisito e Bambuzeiro. Além disso, o município possui uma rede de drenagem local composta por pequenos riachos intermitentes, que podem ser observados na Figura 8, onde se apresentam em uma variação no padrão de drenagem, onde é possível observar dois tipos de padrão, sendo estes dentrítico e paralelo.

Com relação aos aspectos de vegetação que predominam no município de São Miguel do Tapuio, de acordo com CEPRO (1990) é composto por campo cerrado e cerradão associado com caatinga arbórea e arbustiva.

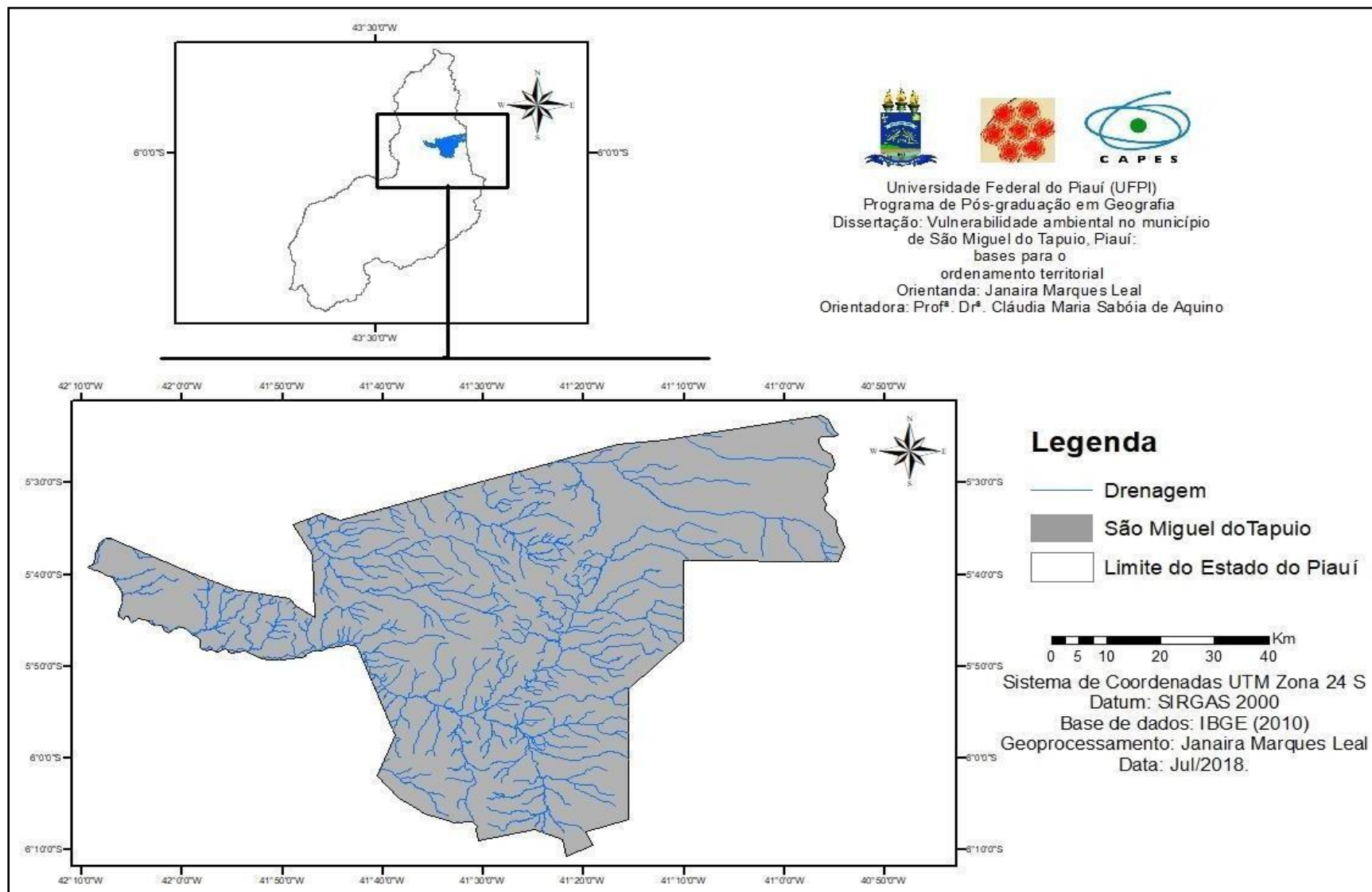
De acordo com RADAMBRASIL (1973) o cerrado é uma formação predominante dos climas quentes e úmidos com chuvas torrenciais bem demarcadas pelos períodos secos, sendo caracterizada, sobretudo por árvores tortuosas com grandes folhas e adaptadas a solos deficientes e ácidos, como os Latossolos, solos estes que se apresentam em cerca de 23,3% da área de estudo.

Os tipos de cerrado encontrados no município estudado compreende o campo cerrado que segundo RADAM (1973) é uma formação subclímax do grupo arbóreo, com a presença de pequenas árvores mais espezas, esgalhadas e bastante tortuosas, intercalado de plantas baixas e outras lenhosas.

Outro tipo de vegetação encontrada na área apresenta-se como cerradão, caracterizado como uma formação do grupo arbóreo com um pouco mais de 5 metros de altura, com árvores densamente dispostas, cujas copas não se tocam, sendo assim, frequentemente intercalado de palmeiras anãs e plantas lenhosas rasteiras (RADAMBRASIL, 1973).

Os tipos de cerrados encontram-se associados à caatinga arbórea e arbustiva, sendo a primeira caracterizada por sua vegetação com poucas folhas e atualmente observada apenas em algumas áreas restritas, sendo ainda dividida em caatinga arbórea densa e caatinga arbórea aberta; a segunda, caatinga arbustiva caracterizada principalmente pela uniformidade do estrato arbustivo, sendo ainda está dividida em caatinga arbustiva densa e caatinga arbustiva aberta (RADAMBRASIL, 1973).

Figura 8 – Drenagem do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.



### 3.4 Aspectos socioeconômicos do município de São Miguel do Tapuio, Piauí

A má apropriação dos recursos naturais por parte da população através dos diversos tipos de atividades pode acarretar grandes danos ao meio ambiente físico, ocasionando modificações por vezes irreversíveis. Desta forma serão abordados a seguir alguns aspectos socioeconômicos que caracterizam o município estudado nesta presente pesquisa.

O município de São Miguel do Tapuio possui uma população total, segundo o Censo IBGE (2010) de 18.134 habitantes sendo destes 6.675 equivalentes a população que reside na zona urbana, totalizando 36,8% da população total, e 11.459 na zona rural, representando cerca de 63,1% da população. A estrutura etária da população da área estudada pode ser observada na Tabela 3.

Tabela 3 – Estrutura etária da população do município de São Miguel do Tapuio, Piauí

<b>Estrutura Etária</b>	<b>População (1991)</b>	<b>% do Total (1991)</b>	<b>População (2000)</b>	<b>% do Total (2000)</b>	<b>População (2010)</b>	<b>% do Total (2010)</b>
<b>Menos de 15 anos</b>	7.975	43,01	6.630	35,25	5.102	28,13
<b>15 a 64 anos</b>	9.717	52,41	11.021	58,60	11.508	63,46
<b>População de 65 anos ou mais</b>	849	4,58	1.157	6,15	1.524	8,41
<b>Razão de dependência</b>	90,79	-	70,66	-	57,58	-
<b>Taxa de envelhecimento</b>	4,58	-	6,15	-	8,40	-
<b>Total</b>	18.636,37	100	18.884,7	100	18.199,98	100

Fonte: PNUD (2013).

No que concerne à densidade demográfica do município de São Miguel do Tapuio, de acordo com pesquisas realizadas pelo PNUD entre 2000 e 2010, a sua população cresceu a uma taxa média anual de -0,36%, enquanto no Brasil foi de 1,17%, no mesmo período. Nesta década, a taxa de urbanização do município passou de 35,06% para 36,81%. Em 2010 viviam, no município, 18.134 pessoas.

Entre 1991 e 2000, a população do município cresceu a uma taxa média anual de 0,16%. Na UF, esta taxa foi de 1,08%, enquanto no Brasil foi de 1,63%, no mesmo período. Na década, a taxa de urbanização do município passou de 33,06% para 35,06% (PNUD, 2010).

De acordo com os dados do PNUD, IPEA e FJP (2010) há uma predominância no número de indivíduos residente em áreas rurais, no qual essa predominância já apresentou

uma totalidade de 12.412 em 1991 em comparação a zona urbana com 6.129 habitantes no mesmo ano. Em 2010 observa-se ainda mais da metade da população residindo em áreas rurais como aponta a Tabela 4.

Tabela 4 – Evolução da população rural e urbana de São Miguel do Tapuio, Piauí (1991 a 2010).

<b>População</b>	<b>População (1991)</b>	<b>% do Total (1991)</b>	<b>População (2000)</b>	<b>% do Total (2000)</b>	<b>População (2010)</b>	<b>% do Total (2010)</b>
<b>População total</b>	18.541	100,00	18.808	100,00	18.134	100,00
<b>População residente masculina</b>	9.319	50,26	9.548	50,77	9.219	50,84
<b>População residente feminina</b>	9.222	49,74	9.260	49,23	8.915	49,16
<b>População urbana</b>	6.129	33,06	6.595	35,06	6.675	36,81
<b>População rural</b>	12.412	66,94	12.213	64,94	11.459	66,19

Fonte: PNUD, IPEA e FJP (2010).

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é uma medida que se constitui de indicadores de três dimensões do desenvolvimento humano: saúde, educação e renda. O índice varia de 0 a 1, sendo este quanto mais próximo de 1, maior o desenvolvimento humano (PNUD, 2010).

Observou-se uma melhoria no IDH-M do município de São Miguel do Tapuio pois no ano de 1991 tinha, respectivamente um IDH-M de 0,197 a 0,268, passando a 0,338 a 0,387 em 2000, e posteriormente para 0,537 a 0,556 em 2010. Esses dados afirmam a colocação de Índice de Desenvolvimento Humano Municipal baixo (IDHM entre 0,500 e 0,599). De acordo com levantamento realizado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), a dimensão que mais contribui para o IDHM do município é Longevidade, com índice de 0,780, seguida de Renda, com índice de 0,508, e de Educação, com índice de 0,434.

Observa-se na Tabela 5 a espacialização dos componentes utilizados no cálculo do IDH-M do município de São Miguel do Tapuio para os anos de 1991, 2000 e 2010.



Tabela 5 – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal e seus componentes (São Miguel do Tapuio, Piauí)

<b>IDHM e componentes</b>	<b>1991</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>
<b>IDHM Educação</b>	0,063	0,144	0,434
<b>% de 18 anos ou mais com fundamental completo</b>	5,53	6,74	23,99
<b>% de 5 a 6 anos na escola</b>	18,27	65,06	97,12
<b>% de 11 a 13 anos nos finais do fundamental REGULAR SERIADO ou com fundamental completo</b>	6,82	11,91	79,80
<b>% de 15 a 17 anos com fundamental completo</b>	1,74	4,88	39,23
<b>% de 18 a 20 anos com médio completo</b>	-	2,40	17,23
<b>IDHM Longevidade</b>	0,540	0,651	0,780
<b>Esperança de vida</b>	57,38	64,08	71,80
<b>IDHM Renda</b>	0,349	0,426	0,508
<b>Renda per capita</b>	70,30	113,58	189,01

Fonte: PNUD, IPEA e FJP (2010).

São Miguel do Tapuio ocupa a 5116<sup>a</sup> posição entre os 5.565 municípios brasileiros segundo o IDH-M. Nesse ranking, o maior IDHM é 0,862 (São Caetano do Sul) e o menor é 0,418 (Melgaço).

De acordo com estudos realizados pelo IBGE (2015) em 2013, os alunos dos anos iniciais da rede pública da cidade tiveram nota média de 5,2 no IDEB. Para os alunos dos anos finais, essa nota foi de 4,8. Na comparação com cidades do mesmo estado, a nota dos alunos dos anos iniciais colocava esta cidade na posição 20 de 224. Considerando a nota dos alunos dos anos finais, a posição passava a 9 de 224. A taxa de escolarização (para pessoas de 6 a 14 anos) foi de 97,5 em 2010. Isso posicionava o município na posição 128 de 224 dentre as cidades do estado e na posição 2904 de 5570 dentre as cidades do Brasil.

No que concerne ao indicador de Expectativa de Anos de Estudo da população de São Miguel do Tapuio, este também sintetiza a frequência escolar da população. Mais especificamente, indica o número de anos de estudo que uma criança que inicia a vida escolar no ano de referência deverá completar ao atingir a idade de 18 anos. Entre 2000 e 2010, ela passou de 4,97 anos para 8,95 anos, no município, enquanto na UF passou de 6,68 anos para

9,23 anos. Em 1991, a expectativa de anos de estudo era de 5,30 anos, no município, e de 5,89 anos, na UF (PNUD, 2010).

No que se refere à economia do município, nota-se que o município de São Miguel do Tapuio tem como principal atividade econômica o setor de serviços, acompanhado pela agropecuária e a indústria (IBGE, 2010). Os principais produtos de cultura permanente são a castanha de caju, a banana, a manga e o coco-da-baía. Em relação às culturas temporárias, destacam-se: feijão, milho, arroz, cana-de-açúcar, mamona e mandioca (Tabela 6). Na área do extrativismo, verifica-se a extração da cera de carnaúba e de madeira para carvão e lenha.

Tabela 6 – Principais produtos de cultura temporária e permanente do município de São Miguel do Tapuio, Piauí (2010).

<b>Produtos de cultura temporária</b>	<b>Quantidade produzida (t)</b>	<b>Área colhida (ha)</b>	<b>Produtos de cultura permanente</b>	<b>Quantidade produzida (t)</b>	<b>Área colhida (ha)</b>
<b>Cana-de-açúcar</b>	7.350	105	Banana	498	39
<b>Milho</b>	1.204	5.016	Castanha de caju	93	821
<b>Feijão</b>	790	5.853	Manga	56	07
<b>Mandioca</b>	365	83	Coco-da-baía	23	05
<b>Arroz</b>	206	1.249	-	-	-
<b>Mamona</b>	120	400	-	-	-

Fonte: IBGE (2013).

No que concerne à atividade pecuária realizada na área estudada destacam-se bovinos, caprinos, ovinos e aves (Tabela 7).

Tabela 7 – Dados pecuários do município de São Miguel do Tapuio, Piauí (2010).

<b>Espécie</b>	<b>Quantidade</b>
<b>Ovinos</b>	18.587
<b>Caprinos</b>	27.096
<b>Bovinos</b>	19.660
<b>Suínos</b>	6.657
<b>Aves</b>	31.370

Fonte: IBGE (2006).

Ainda com relação ao Censo Agropecuário do IBGE (2006) no que se refere ao uso das terras do município, os dados apontam sua distribuição consiste em 26.464 ha com lavouras; 66.037 ha com pastagens naturais; 14.587 ha com matas e florestas; e 120 ha com áreas irrigadas.

Com relação à renda da população de São Miguel do Tapuio, esta cresceu 168,86% nas últimas duas décadas, passando de R\$ 70,30, em 1991, para R\$ 113,58, em 2000, e para R\$ 189,01, em 2010. Isso equivale a uma taxa média anual de crescimento nesse período de 5,34%. Observa-se que a taxa média anual de crescimento foi de 5,48%, entre 1991 e 2000, e 5,22%, entre 2000 e 2010. A proporção de pessoas pobres, ou seja, com renda domiciliar per capita inferior a R\$ 140,00 (a preços de agosto de 2010), passou de 89,01%, em 1991, para 73,25%, em 2000, e para 55,14%, em 2010. A evolução da desigualdade de renda nesses dois períodos pode ser descrita através do Índice de Gini, que passou de 0,55, em 1991, para 0,54, em 2000, e para 0,57, em 2010 (PNUD; IPEA; FJP, 2018). As informações acerca da renda da população da área estudada podem ser observadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Renda, Pobreza e Desigualdade – município de São Miguel do Tapuio, Piauí.

	<b>1991</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>
<b>Renda per capita</b>	70,30	113,58	189,01
<b>% de extremamente pobres</b>	72,44	47,26	40,28
<b>% de pobres</b>	89,01	73,25	55,14
<b>Índice de Gini</b>	0,55	0,54	0,57

Fonte: PNUD, IPEA e FJP (2010).

No que concerne à questão de saneamento básico o município de São Miguel do Tapuio apresenta 19,3% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 98,1% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 0,7% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio). Quando comparado com os outros municípios do estado, fica na posição 72 de 224, 7 de 224 e 48 de 224, respectivamente. Já quando comparado a outras cidades do Brasil, sua posição é 3672 de 5570, 373 de 5570 e 4516 de 5570, respectivamente (IBGE, 2013).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Compartimentação Geomorfológica**

O mapeamento geomorfológico apresenta-se como uma ferramenta de fundamental importância no planejamento ambiental perante a preocupação que se volta ao entendimento de como os fenômenos ambientais se manifestam no espaço, ou como se estabelece a complexidade inerente a tais fenômenos existentes.

Neste sentido, torna-se necessária a elaboração de estudos que busquem diagnosticar tais fenômenos que possam vir a comprometer os sistemas naturais, através da compreensão do comportamento e respostas das variáveis ambientais envolvidas nos fenômenos, além de propor prognósticos.

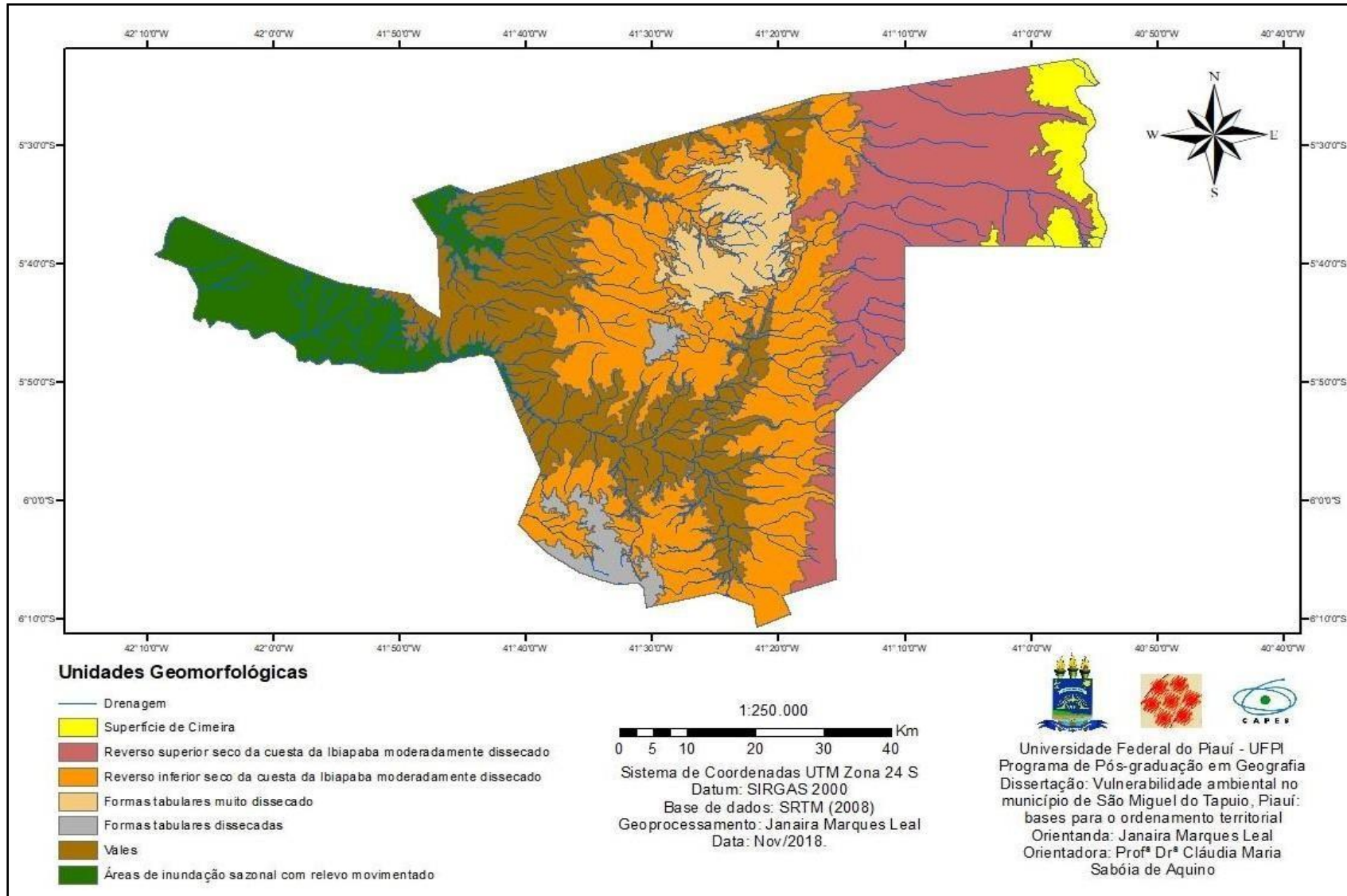
Nesse intuito, nota-se que a Geomorfologia se insere como ramo da ciência geográfica com uma fundamental contribuição no que se refere à elucidação de fenômenos ambientais, apresentando subsídio ao desenvolvimento desses estudos e, conseqüentemente, com uma compreensão holística da paisagem.

Neste capítulo apresenta-se um esboço geomorfológico da área estudada, tendo sido a mesma elaborada de acordo com as indicações apresentadas por Ross (1992).

A definição das unidades geomorfológicas foi definida com base em IBGE (1993), onde o nível de detalhamento dessas unidades presentes no município de São Miguel do Tapuio corresponde ao terceiro táxon de acordo com a metodologia proposta por Ross (1992).

Na Figura 9 apresenta-se a compartimentação geomorfológica do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.

Figura 9 – Compartimentação geomorfológica do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.



Na Tabela 9 apresentam-se as respectivas unidades geomorfológicas identificadas no município de São Miguel do Tapuio, com suas áreas absolutas e porcentagens.

Tabela 9 – Área e porcentagem das unidades geomorfológicas identificadas no município de São Miguel do Tapuio, Piauí.

<b>Feições Geomorfológicas</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
<b>Superfície de Cimeira</b>	172,8	3,7
<b>Reverso superior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado</b>	1094,7	20,86
<b>Reverso inferior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado</b>	1755,5	33,45
<b>Formas tabulares muito dissecadas</b>	301,8	5,75
<b>Formas tabulares dissecadas</b>	138,0	2,62
<b>Vales</b>	1219,3	23,23
<b>Áreas de inundação sazonal com relevo movimentado</b>	563,0	10,02
<b>Total</b>	<b>5.245,1</b>	<b>100</b>

Fonte: Pesquisa direta (2018). Organização: Janaira Marques Leal (2018).

No esboço geomorfológico relativo ao município de São Miguel do Tapuio, na escala de 1:250.000, foram identificadas as seguintes unidades de relevo (Quadro 9).

Quadro 9 – Táxons da compartimentação geomorfológica de São Miguel do Tapuio, Piauí.

<b>1º Táxon</b>	<b>2º Táxon</b>	<b>3º Táxon</b>
<b>Unidade Morfoestrutural</b>	<b>Unidade Morfoescultural</b>	<b>Unidades Morfológicas</b>
Bacia Sedimentar Piauí/Maranhão	Planalto Sedimentar	Superfície de Cimeira
		Reverso superior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado
		Reverso inferior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado
		Formas tabulares muito dissecadas
		Formas tabulares dissecadas
	Depressão	Vales
		Áreas de inundação sazonal com relevo movimentado

Organização: Janaira Marques Leal (2018).

## 4.2 Análise dos indicadores de vulnerabilidade ambiental no município de São Miguel do Tapuio, Piauí

A metodologia de vulnerabilidade ambiental utilizada na presente pesquisa advém da metodologia de Crepani et al. (2001), neste sentido, a partir do mapeamento dos atributos: Geologia (G), Declividade Média (DM), Erodibilidade dos solos (K), Erosividade das chuvas (R), vegetação, neste caso adaptado para a área de estudo através do uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), do município de São Miguel do Tapuio, Piauí, foram atribuídos os valores indicativos do grau de vulnerabilidade à erosão, para se obter o mapa de vulnerabilidade da área total.

### 4.2.1 Vulnerabilidade do fator Geologia (G)

A vulnerabilidade geológica parte do princípio do grau de coesão das rochas, ou seja, a intensidade existente na ligação entre os seus minerais ou partículas que constituem as mesmas. Neste sentido, aplicando-se o conceito de Ecodinâmica no atributo geologia, entende-se que nas rochas pouco coesas irão subsidiar a modificação das formas de relevo, já as mais coesas notam-se a prevalência de processos formadores de solos.

O município de São Miguel do Tapuio exhibe uma diversidade litológica com sua morfoestrutura associada aos terrenos sedimentares da Bacia do rio Parnaíba, no qual cada representante litológico possui propriedades específicas que vão justificar a presença de feições como superfícies de erosão, chapada, cuesta, morros e colinas.

A área de estudo possui seis formações geológicas que revelam diferentes tipos de rochas. Na área do município predomina com valores de vulnerabilidade mais acentuado as Formações denominadas de Pimenteiras e os depósitos Colúvio-eluviais, cujas rochas apresentam um grau menor de coesão devido a sua característica de formação mais suscetível aos processos erosivos, haja vista a grande presença de sedimentos areno-argilosos não consolidados e conglomeráticos, arenitos e siltitos.

Portanto, quando avaliado o atributo Geologia, observaram-se as seguintes formações: Formação Cabeças, que abrange 18,6% da área estudada, possuindo um valor de vulnerabilidade (1); Formação Serra Grande, se estendendo por 36,7% do município, com um valor de vulnerabilidade (2); Formação Longá, abrangendo 5,7% da área, expressando valor de vulnerabilidade (2); Formação Poti, que ocupa 5,7% da área e expressa valor de vulnerabilidade (2); Formação Pimenteiras, a qual ocupa 17,9% da área, manifestando

vulnerabilidade no valor (2,5); por último, tem-se a classe dos depósitos Colúvio-eluviais, a qual abrange 15,1% da área, com valor de vulnerabilidade (3).

#### 4.2.2 Vulnerabilidade do fator Geomorfologia (R)

##### 4.2.2.1 Declividade Média (DM)

O relevo do município de São Miguel do Tapuio caracteriza-se por baixos índices de declividade. Verifica-se que 53,4% da declividade da área estudada caracterizam-se como plana, com declives entre 0 e 3%, seguido pela classe suave ondulado compreendendo 35,8% da área com intervalos de declive entre 3 e 8%; na terceira posição tem-se a classe ondulado referente a 9,8% da área com classe de declive atribuída entre 8 a 20%; os outros dois intervalos referentes a classe forte ondulado e montanhoso somam cerca de 0,702% da área total do município estudado, compreendendo uma área de 39,8 e 0,11 respectivamente (Tabela 10 e Figura 10).

Tabela 10 – Intervalos de Declividade Média com respectivas denominações das classes, áreas e porcentagens correspondentes a cada peso, no município de São Miguel do Tapuio, Piauí.

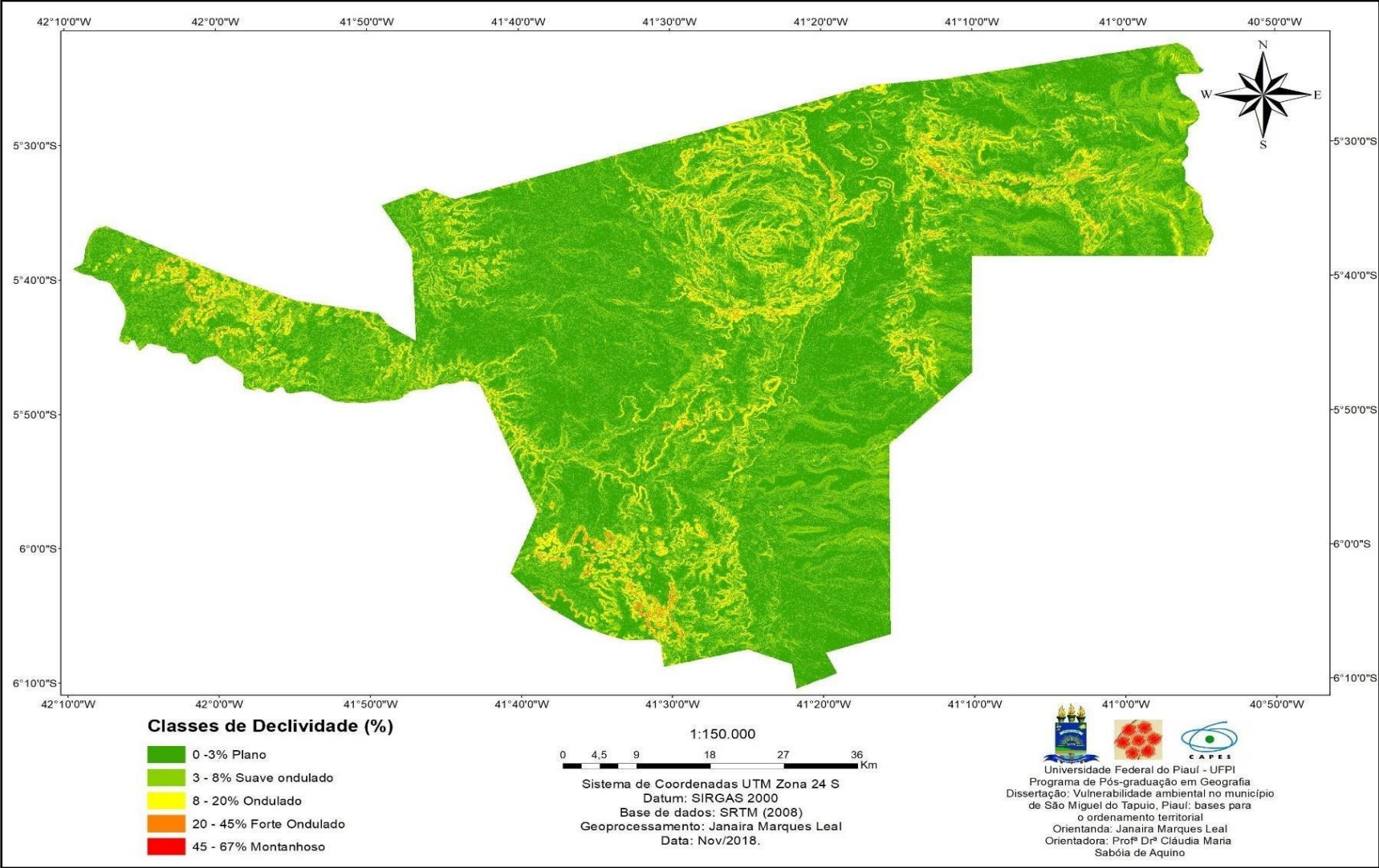
<b>Intervalo de DM (%)</b>	<b>Classe atribuída</b>	<b>Valor de Vulnerabilidade</b>	<b>Área</b>	<b>%</b>
<b>0 a 3</b>	Plano	1,0	2807,2	53,4
<b>3 a 8</b>	Suave Ondulado	1,5	1879,7	35,8
<b>8 a 20</b>	Ondulado	2,0	518,5	9,8
<b>20 a 45</b>	Forte Ondulado	2,5	39,8	0,7
<b>45 a 67</b>	Montanhoso	3,0	0,11	0,002
<b>Total</b>	-	-	<b>5.245,3</b>	<b>100</b>

Fonte: Pesquisa direta (2018). Organização: Janaira Marques Leal (2018).

Depreende-se que as áreas de relevo plano abarcam a maior parte da área de estudo, onde apresentam declividade de 0-3%, atribuindo a estas um valor de vulnerabilidade (1). É importante salientar que as classes definidas como “Forte ondulado” e “Montanhoso” estão diretamente ligadas à estrutura geológica da área, sendo principalmente acentuadas sobre a formação Serra Grande possuindo áreas a sotavento da borda da Ibiapaba, atribuindo-se a essas classes um valor de vulnerabilidade (2,5) e (3), respectivamente. Observa-se também a concentração dessas duas classes citadas nas bordas das feições tabuliformes muito dissecadas pela ação fluvial.



Figura 10 – Classes de declividade do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.



## 4.2.3 Vulnerabilidade do fator Pedologia

### 4.2.3.1 Erodibilidade dos Solos (K)

A vulnerabilidade do atributo pedologia foi adquirida através da Erodibilidade dos solos, que se refere à capacidade de um determinado solo resistir à erosão ocasionada pelas precipitações. A partir da classificação de IBGE (2014), e considerando ainda a metodologia de Crepani et al. (2001), constata-se que 15,03% das médias de associações de solos do município de São Miguel do Tapuio enquadram-se na categoria de baixa Erodibilidade (K), ao passo que 65,16% das associações caracterizam-se por apresentarem média Erodibilidade (K); por fim, correspondendo a 19,75% da área de estudo, têm-se os solos classificados na categoria de alta Erodibilidade (K).

Tabela 11 – Associações de solos de acordo com IBGE (2014) e Classes correspondentes a Erodibilidade dos solos (K), segundo Crepani et al. (2001).

<b>Associações de Solos</b>	<b>Classe atribuída</b>	<b>Valor de vulnerabilidade</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Latossolo Amarelo Distrófico + Neossolo Litólico Distrófico	Média	2	854,34	16,54
Latossolo Amarelo Distrófico + Plintossolo Pétrico Concrecionário	Baixa	1,5	267,18	5,17
Latossolo Amarelo Distrófico + Latossolo Vermelho-amarelo Distrófico	Baixa	1,0	1,01	0,01
Neossolo Litólico Distrófico + Neossolo Quartzarênico Órtico	Média	2,5	748,88	14,50
Neossolo Litólico Distrófico + Argissolo Amarelo Distrófico	Média	2,5	547,46	10,60
Neossolo Litólico Distrófico + Latossolo Amarelo Distrófico	Média	2	101,83	1,97
Neossolo Quartzarênico Órtico + Latossolo Amarelo Distrófico	Baixa	1,5	492,23	9,53
Neossolo Quartzarênico Órtico + Neossolo Litólico Distrófico	Média	2,5	377,95	7,32

Neossolo Quartzarênico Órtico + Argissolo Amarelo Distrófico	Média	2,0	362,76	7,02
Latossolo Amarelo Distrófico	Baixa	1,0	17,22	0,33
Neossolo Litólico Distrófico	Alta	3,0	1019,73	19,75
Neossolo Quartzarênico Órtico	Média	2,5	117,23	2,27
Plintossolo Argilúvico Distrófico	Média	2,0	85,97	1,66
Plintossolo Pétrico Concrecionário	Média	2,0	168,91	3,27
<b>Total</b>			<b>5162,7</b>	<b>100</b>

Fonte: IBGE (2014); Crepani et al. (2001). Organização: Janaira Marques Leal (2018).

A Erodibilidade dos solos do município de São Miguel do Tapuio apresenta 15,06% de sua área situada na classe de Baixa Erodibilidade, enquanto que 66,35% enquadram-se na classe Média, e 19,75% na classe Alta (Tabela 12 e Figura 11).

Tabela 12 – Classes de Erodibilidade dos solos (K) com respectivas áreas em porcentagens, nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí.

Classes de Erodibilidade	Área (Km <sup>2</sup> )	%
Baixa	777,06	15,06
Média	3425,33	66,35
Alta	1019,73	19,75
<b>Total</b>	<b>5162,38</b>	<b>100</b>

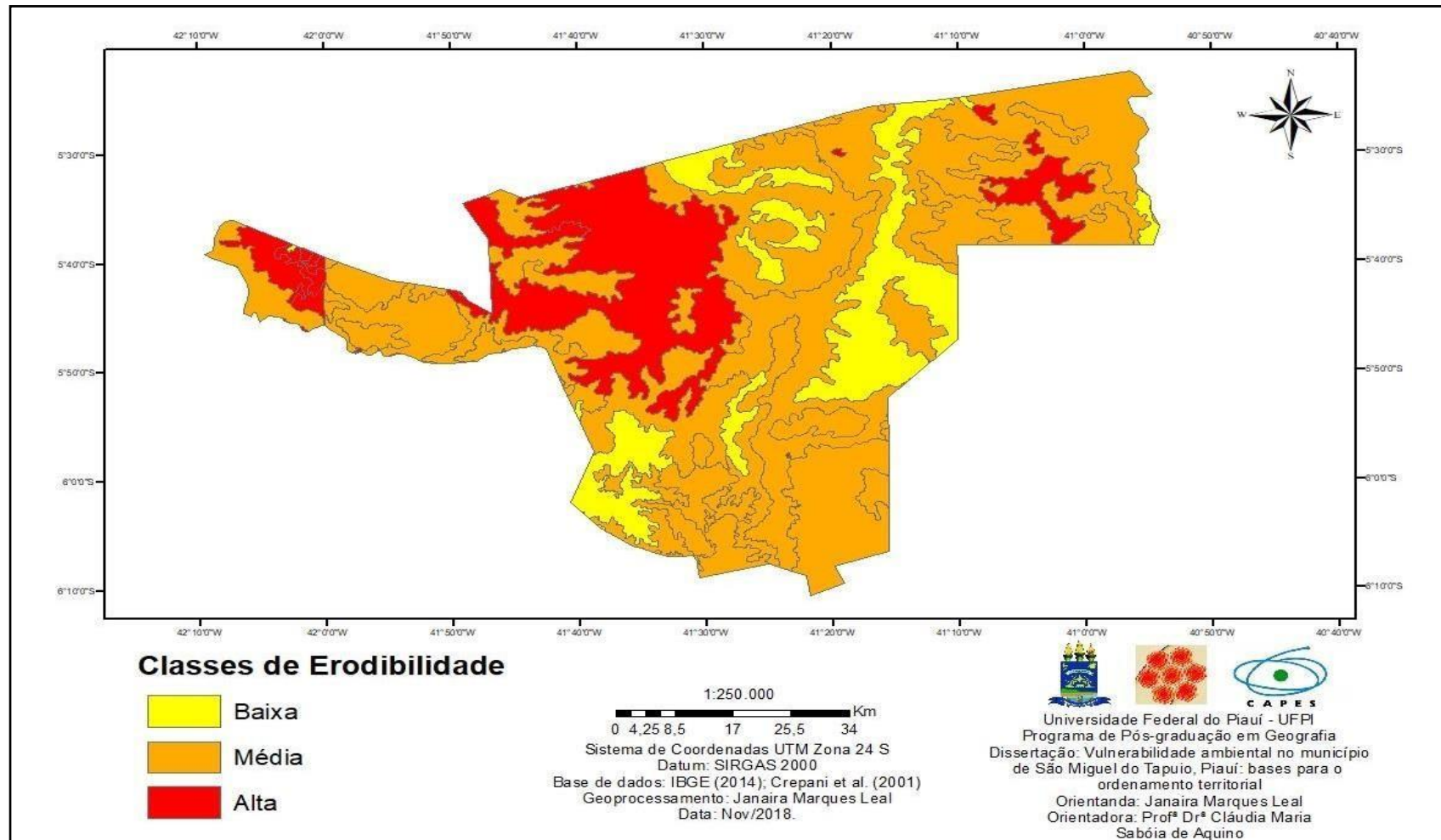
Fonte: Pesquisa direta (2018). Organização: Janaira Marques Leal (2018).

O predomínio da classe Média Erodibilidade dos solos do município estudado justifica-se dado o predomínio de associações de solos do tipo contendo Neossolos Litólicos Distróficos, cujo o valor máximo (3) encontra-se atribuído para esse componente, visto a sua alta suscetibilidade à erosão, principalmente, devido a sua constituição dar-se por material mineral ou material orgânico pouco espesso; e Neossolo Quartzarênico Órtico, o qual foi atribuído o valor de (2,5) na escala de vulnerabilidade por apresentar em sua composição

textural frações de areia grossa e areia fina. Neste sentido, observa-se que a presença desses solos aliados à concentração das precipitações, especificamente de janeiro a maio, e o baixo a moderado potencial de erosividade das chuvas, contribuem para aumentar a vulnerabilidade da área em estudo.

No mapa da Figura 11 observa-se o município de São Miguel do Tapuio e as classes de Erodibilidade dos solos encontrados nessa área de acordo com Crepani et al. (2001).

Figura 11 – Erodibilidade dos solos (K) do município de São Miguel do Tapuio, Piauí



Fonte: IBGE (2014); Crepani et al. (2001).

#### 4.2.4 Vulnerabilidade do fator cobertura vegetal a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Considera-se que o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) varia de (-1) a (1), destaca-se que quanto mais próximo do valor 1 mais densa é a cobertura vegetal e maior a atividade fotossintética, quanto mais próximo de -1 menor é a densidade da vegetação. Neste sentido, os valores de NDVI estimados para a área de estudo foram reclassificados em seis classes: Alta, Moderadamente alta, Moderada, Moderadamente baixa, Baixa e solo exposto/nuvens, representando os diferentes graus de proteção oferecidos pela cobertura vegetal ao solo, em seguida, a atribuição dos níveis de vulnerabilidade para cada classe (Tabela 13).

Tabela 13 – Distribuição dos valores de NDVI no ano de 2017 com suas respectivas áreas e valores de vulnerabilidades no município de São Miguel do Tapuí, Piauí.

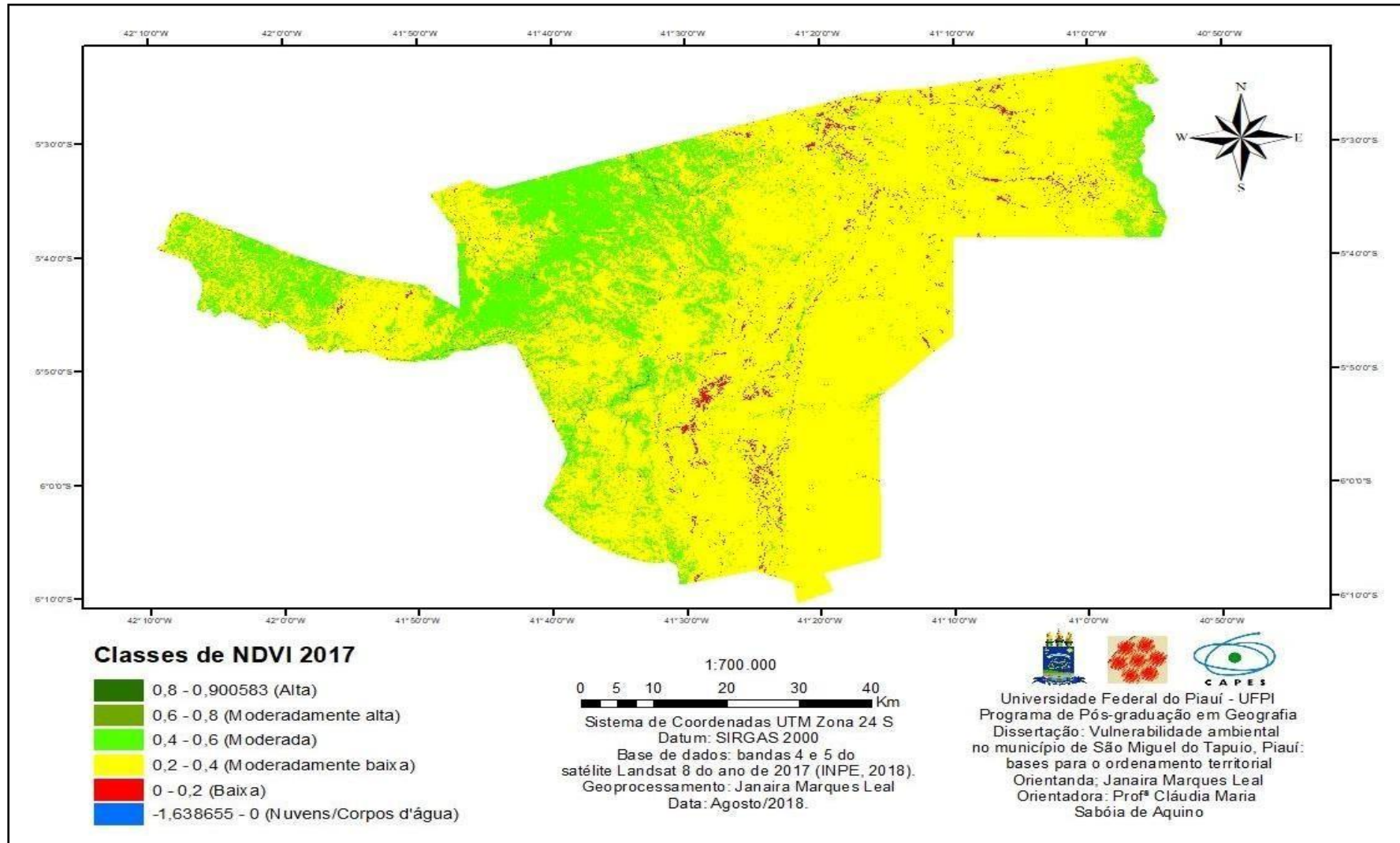
Intervalo de classes do NDVI	Classes de NDVI	Valor de Vulnerabilidade	2017	
			Área (km <sup>2</sup> )	%
0,8 < 1	Alta	1	1,1	0,02
0,6 a < 0,8	Moderadamente alta	1,5	19	0,36
0,4 a < 0,6	Moderada	2	989,8	18,8
0,2 a < 0,4	Moderadamente baixa	2,5	4143,4	78,9
> 0 a < 0,2	Baixa	3	91,7	1,74
< 0	Nuvens/Corpos d'água	-	0,2	0,003
<b>Total</b>	-	-	<b>5.245,2</b>	<b>100</b>

Fonte: Pesquisa direta (2018). Organização: Janaira Marques Leal (2018).

A vulnerabilidade para esse fator está diretamente ligada à proteção que a vegetação oferece ao solo, proporcionando assim a existência de processos morfogenéticos em áreas com uma densidade de cobertura vegetal menos densa atribuindo-se um valor de vulnerabilidade maior, e processos pedogenéticos ocorrendo em situações onde a cobertura vegetal é mais densa, recebendo um valor de vulnerabilidade menor.

Para que se fizesse possível a aplicação do NDVI na área estudada, utilizou-se a imagem do sensor OLI do satélite LANDSAT 8 do ano de 2017 (Figura 12). O mês utilizado foi o de setembro, por se tratar da época com menor ocorrência de nuvens.

Figura 12 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do município de São Miguel do Tapuio, Piauí, do ano de 2017.



Fonte: INPE (2018).

## 4.25 Vulnerabilidade do fator clima

### 4.2.5.1 Erosividade da Chuva

O município de São Miguel do Tapuio apresenta valores de Erosividade das chuvas (R) com potencial de erosão hídrica variando de muito baixa a muito alta, conforme o mapa da Figura 13.

Os valores da Tabela 14 permitem afirmar que São Miguel do Tapuio apresenta a maior parte de seu território situado nas classes baixa a moderada de Erosividade, correspondendo a 90,04% da área, em valores absolutos representa 4723,5 km<sup>2</sup>.

Tabela 14 – Intervalos e classes de Erosividade das chuvas (R) com respectivas áreas em porcentagens, no município de São Miguel do Tapuio, Piauí.

<b>Amplitude de R (MJ.mm/ha.h.ano)</b>	<b>Classe</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
<b>5929,33 &lt; R &lt; 6000</b>	Muito Baixa	35,14	0,66
<b>6000 &lt; R &lt; 6150</b>	Baixa	2471,3	47,11
<b>6150 &lt; R &lt; 6300</b>	Moderada	2252,2	42,93
<b>6300 &lt; R &lt; 6450</b>	Alta	486,7	9,27
<b>Total</b>	-	<b>5245,4</b>	<b>100</b>

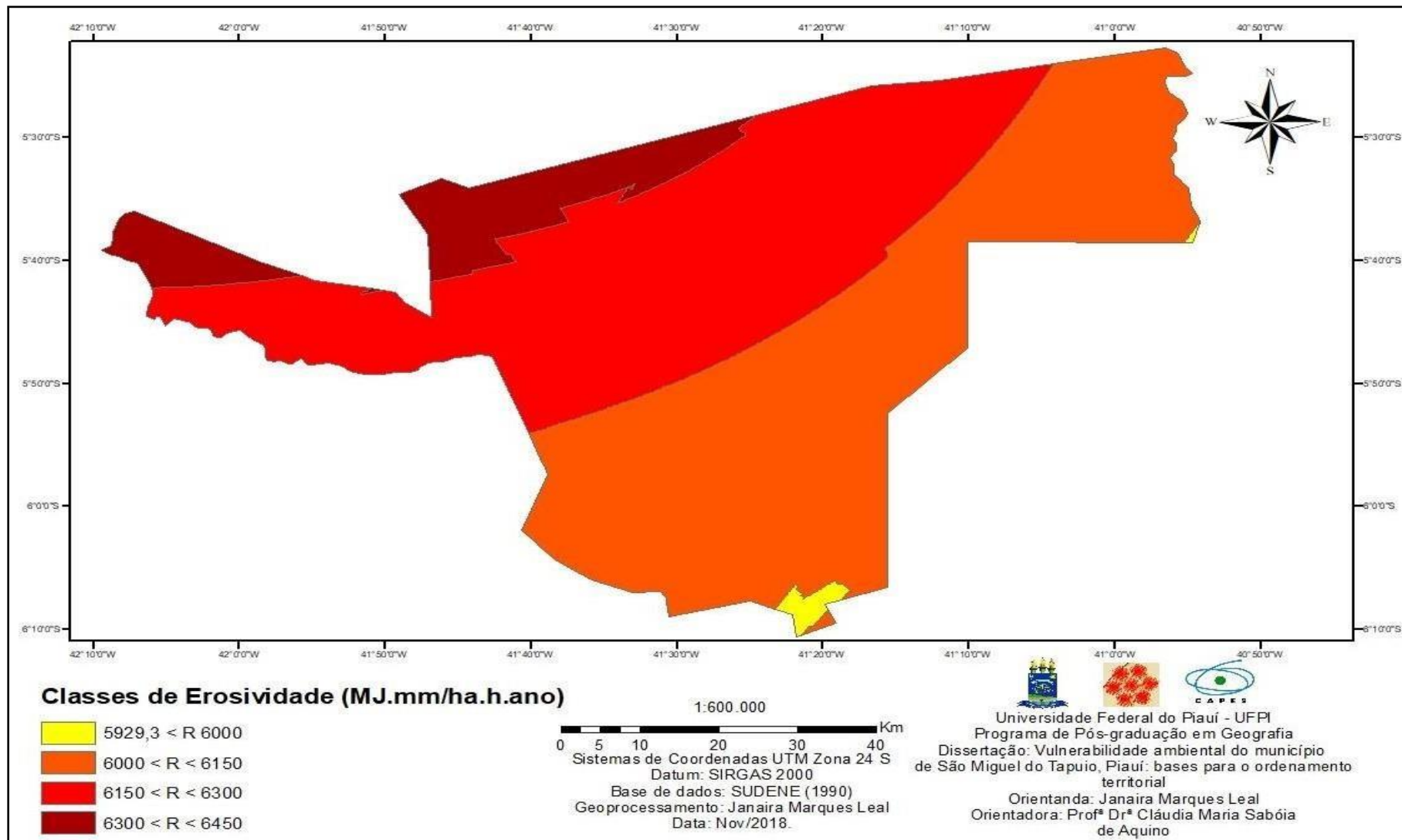
Pesquisa direta (2018). Organização: Janaira Marques Leal (2018).

De acordo com os dados de Erosividade coletados nos postos pluviométricos existentes em São Miguel do Tapuio e entorno, o município em questão apresenta em seu território um maior grau de Erosividade concentrando-se na classe de Baixa e Moderada, com um percentual de 47,11% e 42,93% respectivamente, tal fato se justifica devido uma menor concentração de chuvas nessa região caracterizada como semiárida, com baixíssimos índices de precipitação.

Vale salientar que a Figura 13 apresenta a espacialização dos valores de Erosividade no município de São Miguel do Tapuio, no qual observa-se que tais valores são crescentes de leste para oeste.



Figura 13 – Erosividade das chuvas (R) do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.



A Figura 14 apresenta a síntese do presente trabalho, identificando a distribuição espacial dos diferentes níveis de vulnerabilidade ambiental do município de São Miguel do Tapuio, Piauí, a partir da aplicação da metodológica de Crepani et al. (2001), considerando os indicadores anteriormente abordados.

A partir da análise dos parâmetros utilizados para a realização no referido mapa constatou-se que 0,01% da área apresenta vulnerabilidade Baixa; 26,47% da área apresenta vulnerabilidade Moderada; 63,99% da área apresenta vulnerabilidade Moderadamente alta; e 9,50% da área apresenta vulnerabilidade Alta (Figura 14).

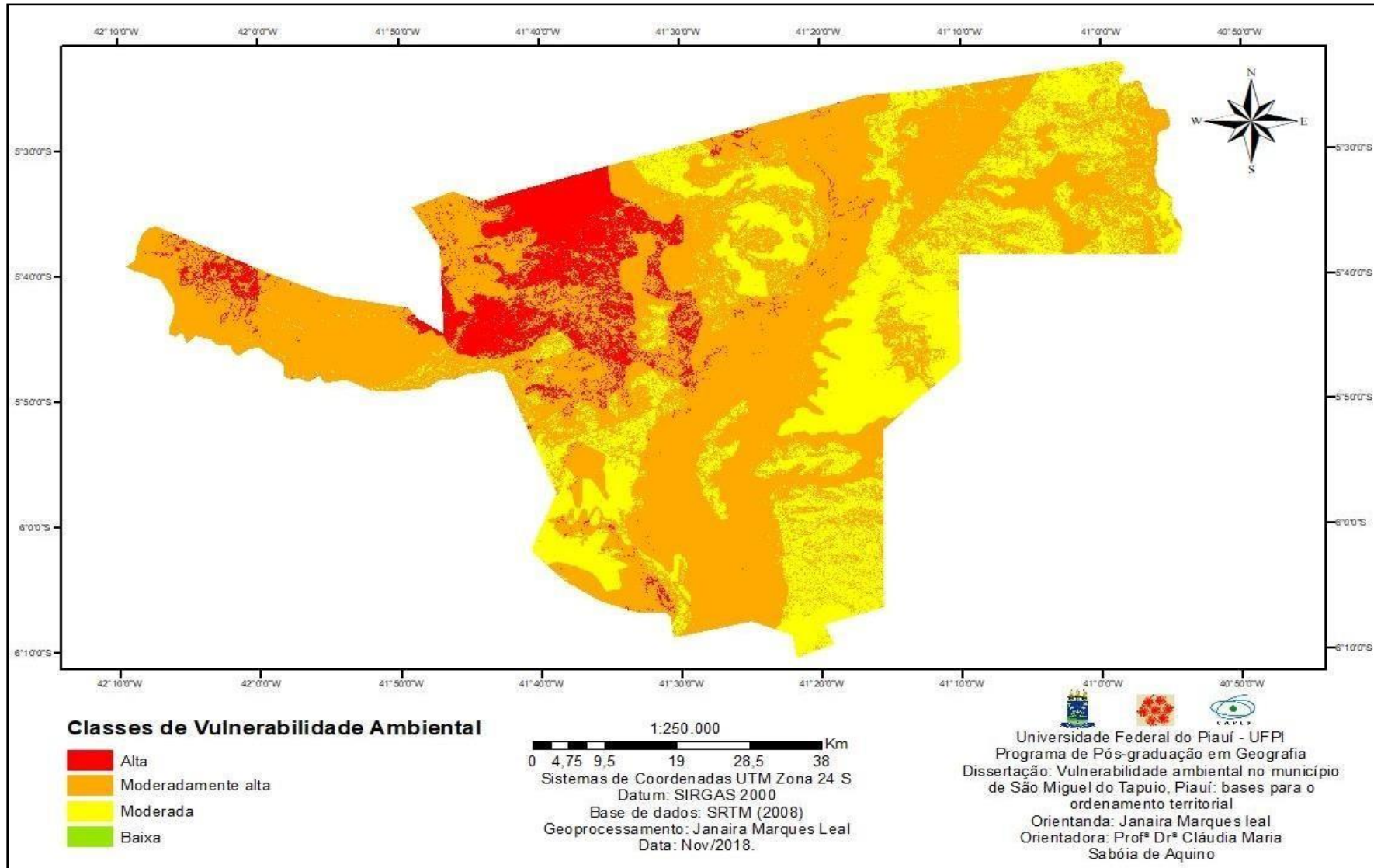
A classe de vulnerabilidade baixa corresponde à menor unidade mapeada no município em questão. É formada por ambientes de vulnerabilidade baixa associadas às áreas com solos bem desenvolvidos e uma elevada presença de vegetação mediana à baixa. Vale salientar que apesar de apresentar baixa vulnerabilidade, essas áreas necessitam de monitoramento por parte do poder público, através de projetos que visem uma boa relação entre sociedade e natureza.

A classe de vulnerabilidade Moderada encontra-se distribuída em manchas em praticamente todo o município estudado, no qual esta classe resulta do equilíbrio entre os indicadores que apresentam índices mais baixos tornando o ambiente mais vulnerável, e outros apresentando índices mais altos, e outros com índices mais baixos apresentando características de menor vulnerabilidade ao ambiente. Neste sentido, os principais fatores que contribuíram foram a presença moderadamente baixa da vegetação, aliada a índices baixos de Erosividade, bem como presença de Latossolo Amarelo Distrófico que foram ponderados com índice baixo de vulnerabilidade.

As áreas com classe Moderadamente alta vulnerabilidade têm maior ocorrência no município, apresentando-se áreas que variam entre alta e moderada Erosividade, com cobertura vegetal apresentando um grau de proteção com índice moderadamente baixo com pontos com presença da classe baixa.

A classe Alta apresenta-se com predominância na porção noroeste do município em questão, caracterizando-se como a área que mais apresenta indícios de altos índices de ambientes vulneráveis. Todos os indicadores contribuíram para o resultado a classe da presente classe de vulnerabilidade nessa área com altos valores, exceto os resultados do NDVI que apresentam-se com índices de proteção presente na classe moderada.

Figura 14 – Mapa de vulnerabilidade ambiental do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.



### **4.3 Análise da vulnerabilidade ambiental nos compartimentos geomorfológicos da área de estudo**

A análise da vulnerabilidade ambiental do município de São Miguel do Tapuio partiu do mapeamento geomorfológico, uma vez que o relevo apresenta-se como âncora em trabalhos desta natureza, sendo assim, a sua análise de forma integrada foi de fundamental importância para a determinação da vulnerabilidade de cada uma das unidades aqui apresentadas.

A seguir caracterizam-se as referidas unidades geomorfológicas, bem como apresenta-se a vulnerabilidade ambiental atribuída a cada uma delas.

#### **4.3.1 Superfícies de Cimeira**

A superfície de cimeira caracteriza-se como as áreas mais elevadas da área de estudo situada na borda da bacia sedimentar Maranhão/Piauí, apresentando classe altimétrica entre 801 a 900 metros, possuindo de acordo com CPRM (2006) como estrutura litológica a formação Serra Grande, ocupando 172,8 km<sup>2</sup>, cerca de 3,29% do município de São Miguel do Tapuio.

No que concerne a declividade, essa unidade apresenta 83,2 km<sup>2</sup> cerca de 48,3% da sua área com uma classe de declividade de 0 – 3% sendo este denominado de plano, apresentando uma estabilidade e probabilidade maior ao processo de pedogênese. Ainda nessa feição geomorfológica encontra-se 80,1 km<sup>2</sup> cerca de 46,5% da sua área correspondendo a classe de 3 – 8% denominada de suave ondulado, onde indeicam, dentre outros parâmetros, a predominância dos processos de acumulação de sedimentos. Observa-se ainda que 5,2% da área apresenta a classe de declividade entre 8 – 20% caracterizando um relevo ondulado favorecendo assim os processos morfogenéticos.

Com relação as associações de solos encontradas na presente unidade pode-se identificar a presença de Latossolo Amarelo Distrófico + Neossolo Litólico Distrófico, sugerindo a presença de solos mais desenvolvidos associados a solos menos desenvolvidos. Com relação aos valores de Erodibilidade da presente unidade, identificou-se uma predominância na classe de média Erodibilidade, com um percentual de 92,3%, seguido pela classe de baixa Erodibilidade, apresentando 7,7% do total da referida unidade.

Quanto ao NDVI constatou-se o predomínio das classes Moderada e Moderadamente baixa com 62,8% e 36,7% respectivamente, seguida pela classe com índice menor, ou seja,

aquela que evidencia menor proteção aos solos identificada como classe Baixa, na qual ocorreu em apenas cerca de 0,2% da área da referida unidade. Vale salientar que esta unidade apresenta ainda uma porcentagem de 0,07% presente na classe de alta Erodibilidade.

Em 99% desta unidade constatou-se a ocorrência da classe de Baixa Erosividade, resultado do baixo índice de precipitação na área. Vale ressaltar que a presente unidade apresenta 1% de seu território inserido na classe Muito baixa Erosividade.

Quanto à vulnerabilidade ambiental considerando os parâmetros acima discutidos, a feição geomorfológica Superfície de Cimeira apresentou 40,9% da sua área inserida na classe Moderada e 58,7% na classe Moderadamente Alta.

#### 4.3.2 Reverso superior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado

O Reverso superior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado representa a unidade onde observa-se a presença de duas unidades geológicas, sendo estas a formação Pimenteiras ocupando 2803 km<sup>2</sup> cerca de 32,8% da área dessa unidade, e a formação Serra Grande com 5749,7 km<sup>2</sup> cerca de 67,2% da área total desta feição.

Essa unidade apresenta um relevo com altitudes variando entre 401 a 700 m, com declividade de 48,3% da área na classe entre 0 – 3% caracterizando-se como Plana, 46,5% na classe de 3 - 8% (Suave Ondulado), 5,2% na classe 8 – 20% (Ondulado) e 0,9% da área na classe de declividade 20 – 45% (Forte Ondulado).

De acordo com IBGE (2014), as associações de solos encontradas nessa feição geomorfológica são Latossolo Amarelo Distrófico + Neossolo Litólico Distrófico; Neossolo Quartzarênico Órtico + Argissolo Amarelo Distrófico; Neossolo Quartzarênico Órtico + Latossolo Amarelo Distrófico. Quanto aos índices de Erodibilidade, a referida unidade apresenta percentuais que variam, porém prevalecendo uma grande parte de sua área contida na classe de média Erodibilidade, com um percentual de 73,9%. A unidade ainda apresenta percentuais nas classes na classe de baixa Erodibilidade, apresentando um percentual de 16,6%, e Alta Erodibilidade representando 9,4% da área total da referida unidade.

As classes de NDVI encontradas na referida unidade, revelam uma grande incidência da classe Moderadamente baixa, apresentando um percentual de 96,6% da área total. A classe Moderadamente alta, Moderada e Baixa, apresentam-se com um percentual bastante baixo, com 2,4%, 1% e 0,01% respectivamente.

No que diz respeito aos valores de Erosividade das chuvas (R), a presente unidade demonstra um destaque para as classes Baixa e Moderada Erosividade, representando

percentuais de 76% e 23,8% respectivamente. Os baixos índices pluviométricos são ainda bastante representativos, uma vez que estes evidenciam uma baixa erosão do solo pela água devido à ausência de precipitações. A relação da intensidade dos valores de Erosividade na classe Baixa podem ser associados aos valores da classe Moderadamente baixa de NDVI, uma vez que a vegetação se apresenta como proteção para os solos impedindo a intensificação da ação erosiva das chuvas.

No que concerne à análise da vulnerabilidade ambiental o referido compartimento geomorfológico, apresentou em sua área total 44,9% inseridos na classe Moderada e 55% na classe Moderadamente Alta. Vale salientar que a referida unidade apresentou 0,1% da sua área inserida na classe de Alta vulnerabilidade.

Na presente unidade geomorfológica a ocorrência de área com uma maior porcentagem de relevo variando entre plano e suavemente ondulado (48,3% e 46,5% respectivamente), favorece a presença de rochas aflorantes em sua paisagem (Figura 15).

Figura 15 – Imagem fotografada na unidade denominada de Reverso Superior Seco da Cuesta da Ibiapaba, apresentando uma vulnerabilidade na classe moderadamente vulnerável.



Fonte: Janaira Marques Leal (2018).

#### 4.3.3 Reverso inferior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado

A presente unidade denominada de Reverso inferior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecada representa a maior feição identificada abrangendo cerca de 1755,5 km<sup>2</sup> da área total do município de São Miguel do Tapuio.

De acordo com CPRM (2006), a maior parte da referida feição coexiste sobre a Formação Serra Grande, com um percentual de 51,3% da área, seguido pela formação

Cabeças, que abrange cerca de 13,1% da área desta unidade, Depósitos Colúvio-eluviais correspondendo a 10,6%, e Pimenteiras com um percentual de 25% da unidade.

Essa unidade apresenta classes altimétricas que variam entre 301 e 400 m. Há uma predominância de áreas planas com um percentual de 59,2% da área da unidade, as áreas suavemente onduladas ocupam 32,6% da área do Reverso inferior seco da cuesta da Ibiapaba. As áreas onduladas ocupam 7,7% da área, já as áreas fortemente onduladas ocupam apenas 0,5% da referida unidade, sendo estas as mais propensas aos processos morfogenéticos,

As associações de solos encontradas nesta feição geomorfológica de acordo com IBGE (2014) são representadas por Neossolo Litólico Distrófico + Neossolo Quartzarênico Órtico; Neossolo Litólico Distrófico + Argissolo Amarelo Distrófico; Neossolo Quartzarênico Órtico + Latossolo Amarelo Distrófico; Neossolo Quartzarênico Órtico + Neossolo Litólico Distrófico; Presença de Plintossolo Pétrico Concrecionário. Essas associações sugerem um agrupamento de solos bem desenvolvidos com pouco desenvolvidos, sendo este último solos que apresentam menor resistência aos processos de degradação. Os valores de Erodibilidade identificados na presente unidade se caracterizam com uma predominância na classe de média Erodibilidade, apresentando um percentual de 58,2%, seguida pela classe de baixa Erodibilidade e alta Erodibilidade, com percentuais de 21,1% e 20,7% respectivamente.

No que concerne as classes de NDVI, constata-se o predomínio das classes Moderadamente baixa e Moderada, estas ocupam 85,8% e 13,4% respectivamente da área da referida unidade geomorfológica. As demais classes obtiveram uma representação irrisória na presente unidade.

Com relação aos valores de Erosividade (R), a referida unidade apresenta uma diversidade maior de classes, uma vez que apresenta 1,7% do seu território na classe Muito baixa, 48,9% Baixa, 46,9% Moderada e 2,4% Alta Erosividade. Essa diversidade justifica as diferentes paisagens observadas na presente unidade, que ora apresentam-se degradadas, ora conservadas.

Quanto à vulnerabilidade ambiental do referido compartimento geomorfológico, constatou-se a ocorrência das seguintes classes: 32% na classe Moderada; 60,6% na classe Moderadamente Alta e 7,5% na classe Alta. A Figura 16 identifica um ponto situado na referida unidade geomorfológica que caracteriza a classe de Alta vulnerabilidade.

Figura 16 – Imagem fotografada na unidade denominada de Reverso Inferior Seco da cuesta da Ibiapaba, apresentando uma vulnerabilidade na classe Alta.



Fonte: Janaira Marques Leal (2018).

#### 4.3.4 Formas tabulares muito dissecadas

A referida unidade identificada no município de São Miguel do Tapuio foram as Formas tabulares muito dissecadas apresenta uma composição litológica diversificada onde a maior parte da sua extensão encontra-se inserida na formação Serra Grande, compondo um percentual de 34,5% do total da área, seguido pela formação Poti com uma extensão de 33,6%, formação Cabeças com 17,6%, e representando sua menor extensão nos Depósitos Colúvio-eluviais, com 14,2% do total da área da referida feição.

Nesta unidade identifica-se uma incisão significativa de canais fluviais, o que intensifica a dissecação do seu relevo. Identificou-se a presença da classe altimétrica variando entre 401 e 600 m, com a predominância de áreas suavemente onduladas com um percentual de 41,7% da área total dessa feição, áreas planas ocupando 34% da área, as áreas onduladas ocupando 23% e áreas fortemente onduladas com percentual de 1,4% da área total.

A unidade de Formas tabulares muito dissecadas encontra-se situada em uma parte da área de estudo onde se concentram pesquisas realizadas acerca das formas de relevo resultante do impacto de meteoros há milhares de anos, indicando sedimentos do siluriano, justificando assim a circularidade do seu relevo. Os estudos abordam a morfologia superficial da estrutura circular de São Miguel do Tapuio (PIAUI-BR) e de casos similares no território brasileiro, uma vez que a ocorrência destes apresentam-se de formas pontuais em todo o globo terrestre. A estrutura circular de presente nesta referida unidade vem sendo estudada desde a década de 1970, com as pesquisas pioneiras tendo sido realizadas por Siqueira Filho (1970), Nunes et al. (1973) e Lima (1978). Os resultados levantados nessa época levaram os autores a propor uma origem endógena para a referida estrutura. Nos trabalhos realizados por Torquato (1981), Crosta (1982) e Castelo Branco (1994), já contemporâneos a publicações sobre



estruturas de impacto em outras regiões do planeta, é aventada a possibilidade da estrutura circular na presente unidade ter sido originada por impacto meteorítico (possível astroblema), datando ainda da pré-abertura do oceano Atlântico, uma vez que concluiu que a estrutura encontra-se afetada por falhas desta idade.

Diante das pesquisas realizadas no referido município, não concretizou-se ainda a afirmativa que a estrutura circular presente em São Miguel do Tapuio possa ser denominado efetivamente de astroblema, são incompatíveis com as apresentadas por outras estruturas de impacto com dimensões semelhantes, porém ainda não se descartou a hipótese.

As associações de solos encontradas nessa unidade segundo IBGE (2014) caracterizam-se como Latossolo Amarelo Distrófico + Plintossolo Pétrico Concrecionário; presença de Neossolo Quartzarênico Órtico. Do ponto de vista de suas vulnerabilidades percebe-se um equilíbrio entre estes solos, uma vez que os Latossolos apresentam-se como solos mais desenvolvidos, sendo atribuídos a este um valor menor de vulnerabilidade em relação aos Neossolos. Os valores de Erodibilidade se apresentam nas três classes, no qual estas são baixa média e alta Erodibilidade, com percentuais de 30,3%, 67,9% e 1,7% respectivamente, observando-se assim a predominância da classe de média Erodibilidade.

No que concerne às classes de NDVI encontradas na presente unidade, as duas classes que mais se destacaram foram a Moderadamente baixa e a Moderada, com percentuais de 86% e 13,5% respectivamente. As demais classes apresentaram baixíssimos valores na presente unidade. Identificou-se nesta área, a presença de vegetação do tipo caatinga arbustiva, com áreas bastante degradadas.

A presente unidade evidencia uma homogeneidade no que diz respeito a atuação das precipitações, uma vez que apresenta 100% de seu território na classe de Moderada Erosividade.

No que diz respeito à vulnerabilidade ambiental do compartimento geomorfológico em análise, observou-se que em 0,03% da área a vulnerabilidade enquadra-se como Baixa; em 39,3% a vulnerabilidade foi Moderada; em 60,2% a vulnerabilidade foi Moderadamente Alta e em 1% foi Alta.

Na Figura 17, identifica-se um ponto observado na unidade geomorfológica em discussão, apresentando uma vegetação de caatinga e solo exposto.

Figura 17 – Imagem fotografada na unidade denominada de Formas tabulares muito dissecadas, apresentando uma vulnerabilidade na classe de vulnerabilidade Alta.



Fonte: Janaira Marques Leal (2018).

#### 4.3.5 Formas tabulares dissecadas

As formas tabulares dissecadas caracterizam a unidade identificada no município de São Miguel do Tapuio inserida na diversidade litológica que engloba a presença das formações Cabeças, cuja qual representa a maior extensão territorial (36,2%), áreas de Depósitos Colúvio-eluviais ocupando cerca de 29,2% da área dessa feição, e formação Pimenteiras representando 34,6% da área dessa feição geomorfológica.

As formas tabulares dissecadas encontram-se numa classe altimétricas entre 401 e 600 m. Nessa feição encontram-se áreas planas ocupando cerca 39% da feição, áreas suavemente onduladas com um percentual de 30,6%, as áreas onduladas totalizando 23,2% da área total da feição, as áreas fortemente onduladas totalizando 7,2% e em pequeno percentual as áreas montanhosas, ocupando cerca de 0,1% da área total.

As associações de solos encontradas nessa unidade identificam-se como Neossolo Litólico Distrófico + Argissolo Amarelo Distrófico; Latossolo Amarelo Distrófico + Plintossolo Pétrico Concrecionário; Latosso Amarelo Distrófico + Neossolo Litólico Distrófico (IBGE, 2014). A maior ocorrência de Neossolo Litólico sugere a presença de áreas com vulnerabilidade moderadamente alta, uma vez que estes se apresentam como solos rasos e com uma maior incidência de afloramentos rochosos. Os valores de Erodibilidade encontrados na unidade indicam a predominância da classe de média Erodibilidade, apresentando um percentual de 66,5%, seguido pela classe de alta Erodibilidade com percentual de 15,7%, e baixa Erodibilidade com 17,9% da área total da referida unidade.

Com relação ao grau de proteção subsidiado pela vegetação, as classes de NDVI que se destacam na presente unidade são as seguintes: Moderadamente baixa e Moderada, possuindo um percentual de 81,6% e 18,4% respectivamente. As demais classes apresentaram

resultados próximos a zero.

No que diz respeito ao potencial de erosão das chuvas representado pelo grau de Erosividade das chuvas (R), a referida unidade apresentou um percentual de 87,9% e 17,1% nas classes Baixa e Moderada Erosividade respectivamente.

Há nessa unidade geomorfológica a predominância da classe de vulnerabilidade Moderadamente alta (61,7%), seguidas pelas áreas inseridas na classe Moderada com 43,2%.

#### 4.3.6 Vales

Os Vales são a apresenta-se como uma geomorfológica identificadas no município estudado, que possui uma expressiva variedade litológica onde predomina a formação Cabeças com 28% da sua área inserido nessa litologia, seguido das formações Longá, Pimenteiras, Serra Grande e os Depósitos Colúvio-eluviais, com um percentual de 8,5%, 13,4%, 27,4% e 22,6%, respectivamente. No que se refere ao relevo dessa unidade, este apresenta 58,7% caracterizados como áreas planas, as áreas suavemente onduladas correspondem a 33,9%, as áreas onduladas representam 7,4%, e as áreas fortemente onduladas registrando um menor percentual de 0,1% da área total da presente feição. Quanto à amplitude altimétricas, a citada feição faz jus ao nome, pois apresenta baixas cotas altimétricas (entre 201 e 300 metros).

As associações de solos nessa unidade são: Neossolo Quartzarênico Órtico + Neossolo Litólico Distrófico; Neossolo Litólico Distrófico + Argissolo Amarelo Distrófico; Neossolo Litólico Distrófico + Neossolo Quartzarênico Órtico; Latossolo Amarelo Distrófico + Neossolo Litólico Distrófico; Latossolo Amarelo Distrófico + Plintossolo Pétrico Concrecionário (IBGE, 2014). A predominância de Neossolos atribui a essa área valores de vulnerabilidade mais elevados, uma vez que esses solos compreendem solos rasos, onde a soma dos horizontes não ultrapassa 50 cm, apresentando bastante afloramentos de rochas. Os valores de Erodibilidade para a presente unidade são identificadas como baixa, média e alta Erodibilidade, apresentando um percentual de 6,8%, 61,9% e 31,3% respectivamente.

No que diz respeito ao grau de proteção do solo fornecido pela vegetação, as classes de NDVI que se destacaram na referida unidade denominam-se de Moderadamente baixa e Moderada, com um percentual de 60,9% e 35,1% respectivamente. A classe Moderadamente alta apresentou um percentual de 3,1%, justificando a presença de áreas com uma intensa cobertura vegetal devido à proximidade dos leitos fluviais, no qual identificou-se a presença de caatinga arbustiva e cerrado, com alguns pontos apresentando capim panaço, bem como a presença de ambiente de veredas (Figura 18).

Com relação aos efeitos da chuva sobre o solo indicados pelo índice de Erosividade das chuvas (R), a referida unidade apresenta classes que denominam-se como Baixa, Moderada e Alta Erosividade, com percentuais de 40,6%, 40,8% e 18,6% respectivamente.

Observou-se a interligação do grau de Erosividade com as classes de NDVI presentes na área, no qual notou-se que as classes de Alta Erosividade estariam relacionadas além do aumento do índice de chuvas, com a diminuição da vegetação na área citada, uma vez que a vegetação fornece subsídios de proteção contra os efeitos potenciais das gotículas de água advindas da precipitação.

Figura 18 – Ambientes de veredas, São Miguel do Tapuí, Piauí.



Fonte: Janaira Marques Leal (2018).

Na feição em destaque observou-se o predomínio da classe Moderadamente Alta vulnerabilidade (64,5%), seguida pelas classes Moderada com 9,9% e Alta com 25,4%.

A Figura 19 é possível observar a presença de grandes afloramentos rochosos cercados por caatinga, caracterizando a classe de Alta vulnerabilidade na unidade em questão.

Figura 19 – Imagem fotografada na unidade denominada de Vales, apresentando uma vulnerabilidade na classe alta.



Fonte: Janaira Marques Leal (2018).

Figura 20 – Imagem fotografada na unidade denominada de Vales, apresentando uma vulnerabilidade na classe Moderada.



Fonte: Janaira Marques Leal (2018).

#### 4.3.7 Áreas de inundação sazonal com relevo movimentado

Há nessa unidade uma composição litológica diversificada, estando as Áreas de inundação sazonal inseridas na formação Cabeças, ocupando a maior extensão com um percentual de 44,1% da área total da presente feição, formação Longá com 13,4%, Depósitos Colúvio-eluviais representando 35,6% da área dessa feição, e formação Poti com um percentual de 6,8% dessa feição geomorfológica.

As Áreas de inundação sazonal com relevo movimentado caracterizam-se por apresentarem uma amplitude altimétrica com valores baixos entre 74 e 200 m. Com relação à declividade, as áreas planas totalizam cerca de 44,9% da área, sendo estas áreas onde em determinada época do ano os terrenos encontram-se inundadas pela água que acumula nessas áreas mais planas. As áreas suavemente onduladas apresentam-se com um percentual de 41,9% da área total desta feição, as áreas onduladas e fortemente onduladas surgem com menor representatividade, ou seja, 12,1 e 1,1%, respectivamente.

As associações de solos encontradas nessa unidade de acordo com IBGE (2014) são denominadas de Neossolo Quartzarênico Órtico + Neossolo Litólico Distrófico; Neossolo Litólico Distrófico + Neossolo Quartzarênico Órtico; Neossolo Litólico Distrófico + Argissolo Amarelo Distrófico; Plintossolo Pétrico Concrecionário; Latossolo Amarelo Distrófico + Plintossolo Pétrico Concrecionário; Latossolo Amarelo Distrófico + Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico; Plintossolo Argilúvico Distrófico. A incidente presença de Neossolos atribuem uma vulnerabilidade mais elevada à presente unidade, visto que suas

características indicam solos mais rasos com elevada quantidade de afloramentos rochosos. Os valores de Erodibilidade indicam uma prevalência da classe de média Erodibilidade, apresentando um percentual de 73,4%, seguido pela classe de alta Erodibilidade, indicando um percentual de 25,7% da área total da referida unidade.

No que diz respeito ao grau de proteção dos solos pela vegetação indicado pelo NDVI, a presente unidade tem como destaque duas classes denominadas de Moderadamente baixa e Moderada, com percentual de 65% e 32,9% respectivamente. A área apresenta uma presença elevada de carnaúbas e pontos com solos expostos com indícios de erosão laminar favorecendo o escoamento superficial. Identificou-se a presença de caatinga arbórea e desenvolvimento de atividades como a caprinicultura.

No que concerne ao grau de Erosividade das chuvas (R), a referida unidade apresenta os maiores valores presentes nas classes que mais identificam o poder erosivo das águas pluviais. As classes aqui identificadas com maiores destaques foram Moderada e Alta Erosividade, com percentuais de 61,4% e 38,6% respectivamente. A unidade encontra-se inserida na área onde identificou-se um maior índice de precipitação, resultando assim em uma maior propensão à erosão pluvial.

Na presente unidade geomorfológica observou-se a presença da classe de vulnerabilidade Moderada (1,4%) ocupando menor proporção espacial, seguida pelas classes Alta (7,5%) e Moderadamente Alta (91%).

A Figura 21 é possível observar a presença de vegetação do tipo Caatinga, e a presença de atividades econômicas sendo exercidas, a exemplo da caprinicultura.

Figura 21 – Imagem fotografada na unidade denominada de Áreas de inundação sazonal com relevo movimentado, apresentando uma vulnerabilidade na classe moderadamente alta.



Fonte: Janaira Marques Leal (2018).

Diante do exposto, observa-se que as unidades que apresentam menores vulnerabilidades identificam-se pela Superfície de Cimeira, Reverso superior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado e Superfície tabulares dissecadas.

As unidades que apresentaram uma maior vulnerabilidade corresponderam às seguintes: Reverso inferior seco a cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado; Formas tabulares muito dissecadas; Vales e Áreas de inundação sazonal com relevo movimentado.

Assim sendo, entende-se que as áreas que apresentaram maiores índices de vulnerabilidade ambiental demandam a elaboração de ações mitigadoras perante a apropriação e uso da natureza pela sociedade, possibilitando um desenvolvimento socioeconômico em bases sustentáveis.

O Quadro 10 apresenta a síntese comparativa das unidades geomorfológicas discutidas, com intuito de organizar e compreender como se encontra compartimentado o ambiente do município de São Miguel do Tapuio, evidenciando, ainda, as potencialidades e as limitações de cada unidade descrita.

Quadro 10 – Quadro comparativo das unidades geomorfológicas.

<b>Unidade Geomorfológica</b>	<b>Extensão territorial (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Geologia</b>	<b>Declividade</b>	<b>Erodibilidade</b>	<b>NDVI</b>	<b>Erosividade</b>	<b>Potencialidades</b>	<b>Limitações</b>
Superfície de Cimeira	172,8	32,8% Pimenteiras; 67,2% Serra Grande;	48,3% áreas planas; 46,5% suave ondulado; 5,2% ondulado; 0,9% forte ondulado	7,7% Baixa; 92,3% Média.	62,8% moderada; 36,7% moderadamente baixa.	99% baixa Erosividade; 1% muito baixa Erosividade.	Predominância de áreas planas que favorecem o cultivo de culturas temporária e permanentes, como melancia, milho e feijão.	Presença de afloramentos rochosos, os solos pouco desenvolvidos e rasos.
Reverso superior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado	1094,7	32,8% Formação Pimenteiras; 67,2% Formação Serra Grande.	48,3% plana; 46,5% suave ondulado; 5,2% ondulado; 0,9% forte ondulado.	16,6% Baixa; 73,9% Média; 9,4% Alta.	96,6% moderadamente baixa; 2,4% moderadamente alta; 1% moderada	76% baixa Erosividade; 23,8% moderada Erosividade;	Presença de Geoformas com potencial geoturístico;	Presença de solos pouco desenvolvidos.
Reverso inferior seco a cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado	1755,5	51,3% Formação Serra Grande; 13,1% Cabeças; 10,6% depósitos Colúvio-eluviais; 25% Pimenteiras.	59,2% áreas planas; 32,6% suave ondulado; 7,7% ondulado; 0,5% forte ondulado.	21,1% Baixa; 58,2% Média; 20,7% Alta.	85,8% moderadamente baixa; 13,4% moderada.	1,7% muito baixa Erosividade; 48,9% baixa Erosividade; 46,9% moderada Erosividade; 2,4% alta Erosividade.	Presença de Geoformas com potencial geoturístico;	Apresenta um baixa índice vegetal.
Formas tabulares muito dissecadas	301,8	34,5% Formação Serra Grande; 33,6% Poti; 17,6% Cabeças; 14,2% depósitos Colúvio-eluviais.	34% áreas planas; 41,7% suavemente ondulado; 23% ondulado; 1,4% fortemente ondulado.	30,3% Baixa; 67,9% Média; 1,7% Alta.	86% moderadamente baixa; 13,5% moderada;	100% moderada Erosividade.	Presença de solos bem desenvolvidos, no qual se apresentam mais resistentes aos processos erosivos.	Presença de afloramentos rochosos em seu relevo fortemente ondulado.
Formas tabulares		36,2% Formação Cabeças; 29,2%	39% áreas planas; 30,6% suavemente	17,9% Baixa; 66,5% Média; 15,7% Alta.	81,6% moderadamente	87,9% baixa Erosividade; 17,1% moderada Erosividade.	Incidência maior de áreas planas que	Presença de solos jovens; baixa proteção



dissecadas	138,0	depósitos Colúvio-eluviais; 34,6% Pimenteiras.	onduladas; 23,2% onduladas; 7,2% fortemente onduladas.		baixa; 18,4% moderada.		favorecem as atividades econômicas.	vegetacional.
Vales	1219,3	8,5% Formação Longá; 13,4% Pimenteiras; 27,4% Serra Grande; 22,6% depósitos Colúvio-eluviais.	58,7% áreas planas; 33,9% suavemente onduladas; 7,4% onduladas;	6,8% Baixa; 61,9% Média; 31,3% Alta.	60,9% moderadamente baixa; 35,1% moderada; 3,1% moderadamente alta;	40,6% baixa Erosividade; 40,8% moderada Erosividade; 18,6% alta Erosividade.	Presença de Geoformas com potencial geoturístico;	Áreas com baixo índice de proteção por parte da vegetação e 18% de alta Erosividade, favorecendo a erosão dos solos;
Áreas de inundação sazonal com relevo movimentado	563,0	44,1% Formação Cabeças; 13,4% Longá; 35,6% depósitos Colúvio-eluviais; 6,8% Poti.	44,9% áreas planas; 41,9% suavemente onduladas; 12,1% onduladas; 1,1% fortemente onduladas.	73,1% Média; 25,7% Alta.	65% moderadamente baixa; 32,9% moderada;	61,4% moderada Erosividade; 38,6% alta Erosividade.	Grande incidência de áreas planas favorecendo atividades agropecuárias;	Presença de pavimentos desérticos favorecendo a desertificação; 38% de alta Erosividade favorecendo erosão laminar.

Organização: Janaira Marques Leal (2018).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O município de São Miguel do Tapuio, Piauí, possui uma diversidade em seu relevo e fatores que atuam em interdependência na formação e dinâmica do mesmo. Estes, ao atuarem em conjunto trazem transformações significativas ao ambiente modificando-o e modelando-o.

Neste sentido, buscou-se na presente pesquisa analisar de maneira integrada a complexidade do meio físico de São Miguel do Tapuio a partir da abordagem sistêmica, considerando para tanto suas vulnerabilidades, potencialidades e limitações.

Com base no que foi exposto, nota-se que o referencial teórico de vulnerabilidade, baseado na análise da paisagem e nos princípios da Ecodinâmica, fundamentou o desenvolvimento da pesquisa, que buscou interpretar as inter-relações dos ambientes naturais, considerando as características do meio físico a partir da fragilidade naturais e da ação antropogênica que pode provocar alterações na qualidade ambiental e, conseqüentemente, causar perdas econômicas e ambientais. É importante salientar do papel norteador do relevo para pesquisas desta natureza, representado pela geomorfologia.

Pontua-se ainda o importante papel dos recursos do geoprocessamento e do sensoriamento remoto, no qual estes contribuíram de forma significativa na elaboração desta pesquisa, possibilitando o levantamento, processamento de informações geoespaciais e a modelagem ambiental, como bem representado no presente trabalho.

Considerando a metodologia de mapeamento geomorfológico proposta por Ross (1992) foi possível identificar seis unidades morfológicas no referido município a saber: Superfície de Cimeira, Reverso superior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado, Reverso inferior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado, Formas tabulares muito dissecadas, Formas tabulares dissecadas, Vales e Superfície de inundação sazonal com relevo movimentado.

A partir da análise dos parâmetros utilizados para a realização da análise da vulnerabilidade ambiental do município de São Miguel do Tapuio, constatou-se que 0,01% da área do município apresenta vulnerabilidade Baixa; 26,47% da área apresenta vulnerabilidade Moderada; 63,99% da área apresenta vulnerabilidade Moderadamente alta; e 9,50% da área apresenta vulnerabilidade Alta.

Os dados relativos à vulnerabilidade ambiental considerando as unidades geomorfológicas se apresentaram da seguinte maneira: Superfície de Cimeira com 40,9% na classe Moderada e 58,7% Moderadamente alta; o Reverso superior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado 44,9% na classe Moderada, 55% Moderadamente alta e 0,1% Alta;

Reverso inferior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado com 32% na classe Moderada, 60,6% Moderadamente alta e 7,5% Alta; Formas tabulares muito dissecadas com 0,03% inseridos na classe de Baixa, 39,3% Moderada, 60,21% Moderadamente Alta e 1% na classe Alta; Formas tabulares dissecadas com 43,2% Moderada, 61,7% Moderadamente alta; Vales apresentou 9,9% na classe Moderada, 64,5% Moderadamente alta e 25,4% na classe Alta; as Áreas de inundação sazonal com relevo movimentado apresentou 1,4% na classe Moderada, 91% Moderadamente alta e 7,5% na classe Alta.

Assim, as unidades que apresentam menores vulnerabilidades identificam-se pela Superfície de Cimeira, Reverso superior seco da cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado e Superfície tabulares dissecadas. As unidades que apresentaram uma maior vulnerabilidade encontram-se identificadas como Reverso inferior seco a cuesta da Ibiapaba moderadamente dissecado, Formas tabulares muito dissecadas, Vales e Áreas de inundação sazonal com relevo movimentado. As áreas classificadas com baixa vulnerabilidade foram favorecidas pelos indicadores físicos que são mais resistentes aos processos morfodinâmicos, bem como os valores mais altos sugerem uma menor atuação de resistência a tal processos.

O município em questão apresenta características que revelam potencialidades e limitações, considerando as particularidades ambientais identificadas. Em geral, as referidas unidades mapeadas apresentam as seguintes potencialidades: (a) predominância de áreas planas que favorecem o cultivo de culturas temporárias e permanentes, como melancia, milho e feijão, presença de geofomas com potencial geoturístico; (b) grande incidência de áreas planas favorecendo atividades pecuárias; (c) presença de solos bem desenvolvidos, no qual se apresentam mais resistentes aos processos erosivos. Como limitações, citam-se: (a) presença de afloramentos rochosos, onde os solos são muito pouco desenvolvidos, rasos e não hidromórficos; (b) presença de solos pouco desenvolvidos; (c) baixo índice vegetacional, favorecendo o processo de erosão e de desertificação; (d) presença de pavimentos desérticos, favorecendo a desertificação; (e) áreas com presença de erosão laminar.

A adaptação e aplicação da metodologia de Crepani et al. (2001) para a análise da vulnerabilidade ambiental da área em estudo, e a eficácia da metodologia comprovada em campo, sugere a aplicação da mesma em outras áreas do Estado do Piauí, inclusive com condições ambientais distintas do município em questão. Os resultados obtidos a partir de uma perspectiva integrada, base dos estudos de Geografia física, almejam contribuir com ações vindouras de planejamento territorial para fins de sustentabilidade no município de São Miguel do Tapuio.

Vale destacar que a presença de uma base cartográfica mais detalhada para o estudo do município em questão seria fundamental para melhorar os resultados obtidos no presente trabalho.

Não obstante, acredita-se ainda que os resultados obtidos na presente pesquisa possam ampliar o arcabouço de conhecimento geográfico acerca do Estado do Piauí, especialmente do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.

## REFERÊNCIAS

ABREU, A. A. de. Significado e propriedades do relevo na organização do espaço. Boletim de Geografia Teorética. n. 15, p. 154-163, 1985.

ADGER, W.N., Winkels, A., 2006. Vulnerability, poverty, and sustaining well-being. In: Atkinson, G., Dietz, S., Neumayer, E. (Eds.), Hand- book of Sustainable Development. Elgar, Cheltenham.

AGUIAR, R. B. de. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí**: diagnóstico do município de São Miguel do Tapuío/ Organização do texto [por] Robério Bôto de Aguiar [e] José Roberto de Carvalho Gomes - Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2004.

ARAGÃO, J. A. S. A vida e obra de Humboldt. **Revista Brasileira de Geografia**, ano XXII, n.3, 465-477, jul./set. 1960.

ARAÚJO, Francisco de A. da S. **Geomorfologia aplicada à fragilidade e ao zoneamento ambiental de Caxias-MA**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista (UNESP). Presidente Prudente, 2012.

AQUINO, C. M. S; OLIVEIRA, J. G. B. **Emprego do método de Thornthwaite&Mather (1955) para cálculo do balanço hídrico climatológico do núcleo de degradação de São Raimundo Nonato-Piauí**. Revista Brasileira de Geografia Física V. 06, N. 01 (2013).

AQUINO, Cláudia M. S. VALLADARES, Gustavo S. Geografia, geotecnologias e planejamento ambiental. **Geografia**, Londrina, v. 22, n.1, p. 117-138, jan/abr, 2013.

BAPTISTA, João Gabriel. **Geografia Física do Piauí**. 2ª edição. Teresina: COMEPI, 1981.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Revista Ra'ega**, Curitiba, v. 8, p. 141-152, mai. 2004.

BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford, Claredon Press. 193 p. 1987.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos - SP. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. p. 1-5. 2001.

CASTRO, G. L. **Mapeamento e análise dos sistemas ambientais na sub-bacia hidrográfica do rio Aracoíaba**: subsídios ao planejamento territorial. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências e Tecnologia, Curso de Mestrado Acadêmico em Geografia, Fortaleza, 2013.

CASSETI, Valter. **Geomorfologia** (Livro digital). 2005. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/index.php>> Acesso em: 08 Ago. 2017.

CARVALHO, Joseane Carina Borges de Carvalho; MATIAS, Lindon Fonseca. **Concepções teóricas e metodológicas do modelo digital do ambiente aplicadas ao zoneamento ambiental**. Simpósio de pós-graduação em Geografia do Estado de São Paulo – SIMPGEO-SP. VIII Seminário de pós-graduação em Geografia da Unesp – Rio Claro, 2008.

CREPANI, E., MEDEIROS, J. S. de., HERNANDEZ FILHO, P. FLORENZANO, T. G., DUARTE, V., BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 124p. Edson et al

CREPANI, E. MEDEIROS, José S.; AZEVEDO, Luis G.; DUARTE, Valdete; FILHO, Pedro H.; FLORENZANO, Teresa G. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. INPE, São José dos Campos, SP, 1996.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In GUERRA, Antonio José Teixeira e CUNHA, Sandra Baptista org. **Geomorfologia uma Atualização de Bases e Conceitos**. 4ª edição. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2001.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. Geomorfologia: definição e classificação. **Boletim de Geografia Teórica**. Rio Claro, v. 3, n. 5, p. 39-45, 1973.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 1998. p. 415 – 443.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. A aplicação da abordagem em sistemas na geografia física. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, v. 52, n. 2, p. 21-35, 1990.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Ministério de Minas e Energia. **Mapa Geológico do Estado do Piauí**. 2ª Versão. Teresina, 2006.

CÂMARA, G.; DAVES, C. **Arquitetura de sistemas de informação geográfica**. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CAZAROTTO, R. T. Leituras de Friedrich Ratzel na produção geográfica brasileira contemporânea. In: **Boletim Gaúcho de Geografia**, N° 30, Porto Alegre, 2006.

DAGNINO, R. A Geografia de Alexander von Humboldt: Diálogos entre Arte e Complexidade. **Caminhos de Geografia** (UFU), v. 9, p. 65-83, 2008.

DIAS, J. e SANTOS, L. **A paisagem e o geossistema como possibilidade de leitura da expressão do espaço sócio-ambiental rural**. *Confins* [Online], 1 | 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. Sistema Brasileiro de classificação de Solos. Riode Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

GREGORY, K. J. **A Natureza da Geografia Física**. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1992.367p.

GRIGIO, A. M. **Aplicação de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. UFRN. Natal/RN, 222 p. 2003.

GUERRA, Antonio J. T.; MARÇAL, Mônica S. (Org.). **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

HUMBOLDT, A. V. Quadros da Natureza. 1º Volume. São Paulo: W. M. Jackson Inc., 1950.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2013). Banco de dados. **Cidades**. Disponível em [www.cidades.ibge.gov.br](http://www.cidades.ibge.gov.br) Acesso em 14 Dez 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de dados. **Censo 2010**. 2012. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em dezembro de 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia**. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2007.

LA BLACHE, V. **Princípios de Geografia Humana**. 2º Edição. Tradução Fernandes Martins. Lisboa, Cosmos, 1954.

LANG, S; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo - SP. Ed. Oficina de Texto. 2009.

LIMA, F. J.; CESTARO, L. A.; ARAÚJO, P. C. Sistemas geoambientais do município do CRATO/CE. **Mercator**, v. 9, n. 19, 2010.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C.. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solos em Campinas - SP. **Bragantina**, Campinas, v. 51, n. 2, 1992.

MENEGUETTE, A. **Introdução ao Geoprocessamento**. Courseware em Ciências Cartográficas. 2000. Última atualização em 16 mai. 2000. Campus de Presidente Prudente. Disponível em:

<[http://www.multimidia.prudente.unesp.br/arlete/hp\\_arlete/courseware/intgeo.htm](http://www.multimidia.prudente.unesp.br/arlete/hp_arlete/courseware/intgeo.htm)>

Acesso em: 08 Ago. 2017.

MONTEIRO, C.A.F. **Geossistema: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000.

PEREIRA, R. C. M; SILVA, E. V. Solos e Vegetação do Ceará: Características Gerais. In: Borzacchiello J; Cavalcante T; Dantas E. (Org.). **Ceará: um novo olhar geográfico**. 1a ed. Fortaleza - CE. Edições Demócrito Rocha. v. 1, p. 189 - 210, 2005.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C.; Meteorologia Agrícola. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, SP 2007.

PINTO, A. L. Riscos Naturais e Carta de Riscos Ambientais: Um Estudo de Caso da Bacia do Córrego Fundo, Aquidauana/MS. **Climatologia e Estudos da Paisagem**. Rio Claro, v. 2, n.1, p. 91-109, jan/jun. 2007.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013**. Disponível em <http://www.pnud.org.br> acesso em 17 Dez 2017.

RAMALHO FILHO, Antonio.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1995.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAS. In: GUERRA. A. T. CUNHA, S. B. da. Geomorfologia e Meio ambiente. Rio de Janeiro: BERTRAND Brasil, 2003. p. 291-336.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do departamento de geografia**. FFLCH/USP, São Paulo, n. 8, 1994.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos Geomórficos e a questão da Taxonomia do relevo. Revista do departamento de Geografia da USP. São Paulo, n. 6, 1992.

ROSS, J. L.S. **Ecogeografia do Brasil**: Subsídios ao Planejamento Ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SANTOS, J.O. do. **Vulnerabilidade Ambiental e Áreas de Risco na Bacia Hidrográfica do Rio Cocó – RMF**, (Dissertação de Mestrado) UECE, 2006. p.212.

SANTOS, R. F; CALDEYRO, V. S. **Paisagens, condicionantes e mudanças**. In: SANTOS, R. F. (Org.). **Vulnerabilidade Ambiental: desastres ambientais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007. Disponível em: <[http://fld.com.br/uploads/documentos/pdf/Vulnerabilidade\\_Ambiental\\_Desastres\\_Naturais\\_ou\\_Fenomenos\\_Induzidos.pdf](http://fld.com.br/uploads/documentos/pdf/Vulnerabilidade_Ambiental_Desastres_Naturais_ou_Fenomenos_Induzidos.pdf)> Acesso em: 05 ago. 2017.

SANTOS, F. de A. dos. **Mapeamento das unidades geoambientais e estudo do risco de degradação/desertificação nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí**. 2015. 187 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.

SANTOS, I; VITTE, A. C. Proposta de mapeamento da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Palmital, Região Metropolitana de Curitiba. In: 10 Fórum Geo-Bio-Hidrologia: estudos em vertentes e microbacias hidrográficas. **Anais...** Curitiba, 1998.

SEPLAN. **Projeto Áridas**. Fortaleza: 1994. 221p. v.2.

SILVA, Sandro Damião Ribeiro da. **Delimitação de unidades da paisagem do litoral setentrional potiguar e adjacências**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia. Natal, RN, 2018.



SOARES, J. P. R. S. **Vulnerabilidade das unidades de paisagem do município de Milton Brandão - PI**: subsídio para o ordenamento territorial. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia – PPGGEO, UFPI, 2016.

SOUZA, M. J.N. de. Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará. In. SOUZA, M. J. N. de. et. al (Orgs.) **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE,2000. p. 13-98.

SOUZA, M. J. N. de. **Compartimentação Geoambiental do Ceará**. In: SILVA, J. B. (Org.). Ceará: um novo olhar geográfico. Edições Demócrito Rocha, Fortaleza – CE, 2005.

SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. **Métodos em questão**, IG/USP, n.16, p. 2-52. São Paulo, 1977.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas**: teorias e aplicações. Ilhéus- BA. Editus, 2002.

SPANHOL, F. A., LEAL, L. L., DALLABRIDA, R. M., PEREIRA, S. A. R., KISSULA, S. R. Princípios básicos de geoprocessamento. In: WORKSHOP DE APLICATIVOS DO NÚCLEO DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS, 2, 1999, Unioeste, Campus de Cascavel, 1999. 33 p.

LI, A.; WANG, A.; LIANG, S.; ZHOU, W. Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS – a case study in the upper reaches of Minjiang River, China. **Ecological Modeling**, v. 192, p. 175–187, 2006.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R.. **The Water Balance** - Publications in Climatology. N. Jersey: Centerton, v. 8, n. 1, 1955.

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

TRICART. J. geomorfologia nos estudos integrados de ordenação do meio natural. **Boletim geográfico**, Rio de Janeiro, ano 34, n. 251, p. 15-42, 1976.

TUCCI, C. E.M. **Hidrologia**: ciência e aplicação- 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidades/UFRGS: ABRH, 2001.

VERSTAPPEN, H. T. Applied Geomorphology: Geomorphological Surveys for Environment. Amsterdam: Elsevier, 1983.

XAVIER, F. V. et al. Análise da suscetibilidade à erosão laminar na bacia do rio Manso, Chapada dos Guimarães, MT, utilizando Sistemas de Informações Geográficas. In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Porto Alegre, RS, v. 11, n. 2. p. 51-60. 2010.

XU, C. Y.; SINGH, V. P. A Review on Monthly Water Balance Models for Water Resources Investigations. **Water Resources Management**, vol. 12, p.31-50. 1998.

ZANELLA, M. E; COSTA, M. C. D; PANIZZA A. C; ROSA, M. V.  
Vulnerabilidade socioambiental de Fortaleza. In: DANTAS, E. W. C; COSTA, M. C. L.  
(Orgs.). **Vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Fortaleza.**  
Fortaleza: Edições UFC, p. 191-215. 2009.

ZANELLA, M.E; OLIMPIO, J. L. S; COSTA, M. C. L; DANTAS, E.W.C. Vulnerabilidade socioambiental do Baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Cocó, Fortaleza-CE. **Revista Sociedade e Natureza**, n. 25, v. 2, p. 317-332. 2013.