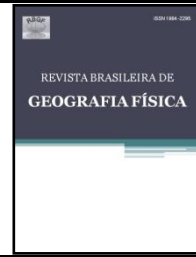




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Vulnerabilidade ambiental no município de São Miguel do Tapuio, Piauí: Bases para o ordenamento territorial

Janaira Marques Leal¹, Cláudia Maria Sabóia de Aquino², Renê Pedro de Aquino³, Gustavo Souza Valladares⁴

¹Mestra em Geografia, Universidade Federal do Piauí – UFPI, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, s/n - Ininga, Teresina – PI, CEP: 64049-550, Autor correspondente: e-mail: jografiauufpi@gmail.com. ²Professora Doutora do Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Piauí – UFPI, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, s/n - Ininga, Teresina – PI, CEP: 64049-550, e-mail: cmsaboia@gmail.com. ³Professor Mestre do curso de Licenciatura em Geografia – UESPI, R. Des. Berilo Mota, s/n - Itararé, Teresina - PI, CEP: 64001-280, e-mail: rene.uespi@hotmail.com. ⁴Professor Doutor do Programa de Pós-graduação em Geografia – UFPI, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, s/n - Ininga, Teresina – PI, CEP: 64049-550, e-mail: valladares@ufpi.edu.br.

Artigo recebido em 19/01/2019 e aceito em 15/03/2019

RESUMO

Nos últimos anos, a preocupação com a preservação dos recursos naturais tem aumentado significativamente. Nesta perspectiva, o presente trabalho visa avaliar a vulnerabilidade ambiental do município de São Miguel do Tapuio, Piauí. Para a aplicação da metodologia de Vulnerabilidade Ambiental de Crepani et al. (2001), utilizou-se a soma dos parâmetros: índice de vegetação por diferença normalizada, geologia, geologia, geomorfologia, pedologia e clima. Foi utilizado o sistema de informação geográfica Arcgis, versão 10.2. Os resultados apontam 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. Os dados alcançados pela presente pesquisa permitem aferir que o município estudado apresenta condições ambientais que necessitam de medidas de ordenamento territorial posto que 73,4% da área apresentou vulnerabilidade Moderadamente alta a alta considerando os fatores físicos utilizados para a sua análise.

Palavras-chave: Vulnerabilidade ambiental; Ordenamento territorial; Mapeamento.

Environmental vulnerability in the municipality of São Miguel do Tapuio, Piauí: Bases for territorial planning

ABSTRACT

In recent years, the concern with the preservation of natural resources has increased significantly. In this perspective, the present work aims to evaluate the environmental vulnerability of the municipality of São Miguel do Tapuio, Piauí. For the application of the environmental vulnerability methodology of Crepani et al. (2001), we used the sum of the parameters: Vegetation index by normalized difference, geology, geology, geomorphology, pedology and climate. These parameters were created using a geographic information system that used Arcgis, version 10.2. The results indicate that the municipality presented 0.01% in the class of low vulnerability, 26.4% in the class moderate vulnerability, 63.9% in the class moderately high vulnerability and 9.5% in the class high vulnerability. 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.

Keywords: Vulnerabilidade ambiental; Ordenamento territorial; Mapeamento.

Introdução

Os ambientes naturais estão em constante transformação, sendo as atividades antrópicas, uma das principais responsáveis por esse processo que se iniciou com a ocupação do território e a utilização dos recursos naturais (Lopes, 2008).

Neste sentido, observar-se que de acordo com Bursztyn, 2001, as ações humanas com intuito de desenvolvimento econômico resultam em impactos que afetam tanto o funcionamento dos

ecossistemas quanto para os seres humanos (Corrêa, 2003).

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. Essa intensificação do uso e seus resultados negativos no decorrer dos anos acabou resultando no surgimento de debates acerca da preservação dos recursos naturais.

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 sociedade e natureza poderiam ser apreendidos em suas múltiplas interações, favorecendo a compreensão da complexidade do espaço (Belato et al., 2018).

Essa realidade que se apresenta como o uso intensivo dos recursos naturais revela a importância de um planejamento adequado do território, visando a melhoria da qualidade ambiental e urbana, no qual as funcionalidades ambientais sejam valorizadas de forma significativa (Pickett et al., 2001).

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).

Entre os diversos métodos de análise que contribuem para o planejamento ambiental e urbano, a modelagem ambiental vem se firmando como um excelente método para a obtenção de conhecimento, geração de hipóteses e análise das paisagens, através da análise da vulnerabilidade ambiental (Trevisan et al., 2018).

Neste íterim, os estudos relacionados a vulnerabilidade ambiental tornam-se necessários, pois permitem obter em curto espaço de tempo uma estrutura da paisagem tendo em vista, suas características e diferenças espaciais ao longo do tempo, sendo um elemento chave para a elaboração

de estratégias de manejo de paisagens (Ritters et al., 1995, p.25).

Sabe-se que o uso desordenado da terra é hoje um dos grandes responsáveis por agravos ambientais nos ambientes naturais (Milanezi e Pereira, 2016).

Assim, o objetivo deste trabalho consiste em analisar a vulnerabilidade ambiental do município de São Miguel do Tapuio, PI, a partir da abordagem sistêmica.

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.

Acerca da vulnerabilidade ambiental Tominaga, 2009, a define 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 (Leal, 2019).

Atualmente, é possível encontrar o conceito de vulnerabilidade ambiental como o grau em que um sistema é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas. Estas interações podem ser de origem natural ou antrópica (Aquino, 2017).

Assim, os estudos de vulnerabilidade com uso de suportes geotecnológicos principalmente com geoprocessamento, são de suma importância para tomadas de decisão referente ao zoneamento ambiental das paisagens, ou seja, um relevante subsídio para o planejamento e gerenciamento ambiental, tendo em vista a vulnerabilidade ambiental associada ao uso e cobertura da terra como um dado referente à probabilidade de degradação ambiental (Ferreira, 2016).

A utilização de *softwares* de geoprocessamento garante uma visão integrada dos diversos componentes de um ambiente e permite o cruzamento de informações para avaliação de condições ambientais (Cardoso et al., 2015). Assim, essas tecnologias atreladas ao conhecimento da área, podem fornecer um poderoso subsídio para o planejamento ambiental.

Compreende-se que para que o planejamento ambiental possa incorporar a análise da vulnerabilidade ambiental é necessário um estudo integrado de seus elementos, objetivando

definir as áreas que requerem maior proteção ou que apresentam maiores restrições e, sobretudo, que necessitam de ações diferenciadas para a gestão por parte dos órgãos públicos (Trombetta et al., 2014).

Para ponderar as variáveis no estudo de vulnerabilidade ambiental, adotam-se critérios para estabelecimento da importância relativa de cada variável. Com isso, entende-se que é relevante e primordial entender a função de cada variável, uma vez que cada uma delas apresenta um grau de influência no ambiente, interferindo com maior ou menor intensidade (Ferreira, 2016).

O estudo da vulnerabilidade ambiental permite classificar o nível de exposição do ambiente à erosão hídrica, compatibilizando as características naturais à utilização do solo (Ribeiro, 2014). Mas, para tanto, é necessário considerar os principais componentes ambientais envolvidos neste processo (Santos, 2014).

Com a evolução das pesquisas buscou-se entender um pouco mais a respeito não somente das características isoladas do meio, mas das inter-relações entre componentes de um mesmo ecossistema, a fim de investigar o nível de degradação ou o grau de impacto que pode ser suportado em determinada área (Leite, 2018).

No Brasil, Crepani et al., 1996, 2001, Souza, 1999, Ribeiro e Campos, 2007, Carvalho et al. 2003, Nascimento e Dominguez, 2009 estudaram a vulnerabilidade natural à erosão, utilizando índices que permitissem avaliar as condições das áreas estudadas através da junção de várias informações sobre a mesma área. Essas informações são expressas através de mapas de geologia, geomorfologia, declividade, vegetação, uso e cobertura da terra, e etc. (Santos, 2015b).

Assim, denota-se a relevância dos estudo da vulnerabilidade ambiental, visando contribuir para a avaliação das condições restritivas do meio físico.

Através do mapeamento das áreas de vulnerabilidade, as medidas de prevenção e mitigação tornam-se mais fáceis de serem projetadas, conseqüentemente, o planejamento se torna mais eficaz, e a resposta disto é a melhoria da qualidade de vida da população que se encontra nestas áreas (Veroneze; Macedo; Pereira, 2017).

O Índice de Vulnerabilidade Ambiental é uma ferramenta primordial na investigação e identificação dos fatores que podem gerar degradação ambiental em ecossistemas (Assis et al., 2017).

Observa-se assim, que trabalhos dessa natureza apresentam o intuito de facilitar o planejamento nas ações de manejo, na atuação sobre a qualidade ambiental e na minimização dos impactos das diferentes atividades nos ambientes (Santos; Trevisan e Moschini, 2018).

Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo escolhida para a realização da presente pesquisa foi o município de São Miguel do Tapuio, Piauí, que está localizado na microrregião de Campo Maior (Ver Figura 1), compreendendo uma área irregular de 5.283 km².

A sede municipal localiza-se nas coordenadas geográficas de 05° 30' 13" de latitude sul e 41° 19' 24" de longitude oeste com distância de cerca de 227 Km da capital piauiense, Teresina - IBGE, 2016.

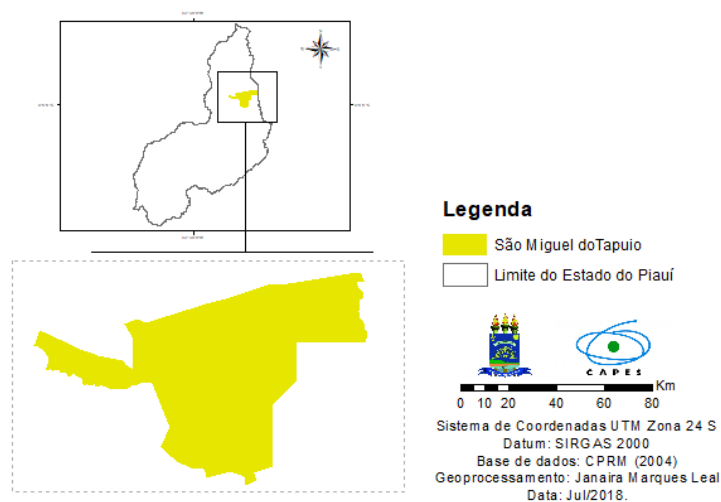


Figura 1. Área de estudo – município de São Miguel do Tapuio, Piauí.

As unidades geológicas presentes no município de São Miguel do Tapuio podem ser observada na Tabela 1 a seguir.

Unidade Geológica	Área (Km)	%
Cabeças	978,2	18,6
Longá	297,7	5,7
Pimenteiras	934,3	17,9
Poti	301,1	5,7
Serra Grande	1916,5	36,7
Depósitos Colúvio-eluviais	789,8	15,1

Tabela 1. Unidades geológicas do município de São Miguel do Tapuio, Piauí
Fonte: CPRM (2006).

De acordo com Jacomine et al. 1986, citado por Aguiar e Gomes, 2004, as formas de relevo do município de São Miguel do Tapuio compreendem, principalmente, superfícies tabulares reelaboradas (chapadas baixas), relevo plano com partes suavemente onduladas e altitudes variando de 150 a 300 metros; superfícies tabulares cimeiras (chapadas altas), com relevo plano, altitudes entre 400 a 500 metros, com grandes mesas recortadas e superfícies onduladas com relevo movimentado, encostas e prolongamentos residuais de chapadas, desníveis e encostas mais acentuadas de vales, elevações (serras, morros e colinas), com altitudes de 150 a 500 metros.

Com relação as características climáticas, 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.

Baseando-se no mapeamento realizado pelo projeto RADAMBRASIL, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponibilizado no site do INDE, 2014, em sua adaptação afirma que os tipos de solos presentes no município de São Miguel do Tapuio são classificados em Plintossolos Pétricos Concrecionários, com características de boa drenagem; Plintossolos Argilúvicos Distróficos, que carece de um controle delicado no seu manejo; Latossolos Amarelos Distróficos, com características de solos profundos, de coloração amarelada perfis muito homogêneos, com boa drenagem, baixa fertilidade natural; Neossolos Litólicos Distróficos, apresentando-se como solos rasos; e Neossolos Quartzarênicos Órticos se caracterizam como solos profundos e arenosos.

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 cerrado associado com caatinga arbórea e arbustiva.

Procedimentos metodológicos e operacionais

Para a confecção do banco de dados geocartográficos da área de estudo, utilizou-se os arquivos presentes na plataforma digital do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que podem ser encontrados no site (www.ibge.com.br) bem como como da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), presentes no site (www.cprm.com.br) onde tais arquivos foram trabalhados no *software* Arcgis 10.2, sendo executados em uma escala de 1:250.000, com licença oferecida pelo Laboratório de Geomática (LABGEO) da Universidade Federal do Piauí – UFPI.

A análise da Vulnerabilidade ambiental baseou-se na metodologia proposta por Crepani et al. 2001, a qual estabelece uma escala de valores relativos e empíricos de acordo com a relação morfogênese/pedogênese. Ao final foi elaborado um mapa síntese considerando a correlação dos seguintes parâmetros conforme Equação 1 abaixo e Quadro 1.

$$V = \frac{G + R + S + NDVI + C}{5} \quad (\text{Equação 1})$$

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 1. Avaliação da estabilidade das categorias Morfodinâmicas associado às condições de vulnerabilidade ambiental. Fonte: adaptado de Crepani et al., 2001. Organização: Janaira Marques Leal, 2019.

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

A referida proposta metodológica de Crepani et al. 2001, utilizada na presente pesquisa consiste na correlação de mapas temáticos através da álgebra de mapas 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 parâmetros utilizados para a aplicação da referida metodologia podem ser observados a seguir.

Vulnerabilidade do fator Geologia (G)

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.

A partir dessa caracterização, procedeu-se a aplicação da metodologia de Crepani et al. 2001, levando em consideração o grau de coesão das rochas, caracterizando-as assim seu grau de vulnerabilidade.

Vulnerabilidade do Fator Relevo

Declividade

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, como apresenta a Tabela 2.

Tabela 2. Classes de declividade de acordo com EMBRAPA, 2009.

Classe Morfométrica	Declividade atribuída %
Muito baixa	0 - 8
Baixa	3 - 8
Média	8 - 20
Alta	20 - 45
Muito Alta	45 - 75

Vulnerabilidade do fator Solos

Erodibilidade dos solos

Para identificação das associações de solos no trecho em estudo utilizou-se os dados disponíveis no site 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 como apresenta a Tabela 3.

Tabela 3. Associações de solos de acordo com IBGE, 2014 e Classes correspondentes a Erodibilidade dos solos (K), segundo Crepani et al. 2001. Fonte: IBGE, 2014; Crepani et al. 2001.

Associações de Solos	Classe atribuída	Valor de vulnerabilidade	Área (km ²)	%
Latossolo Amarelo Distrófico + Neosso 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
Total			5162,7	100

Vulnerabilidade do fator Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O levantamento da biomassa da vegetação do município de São Miguel do Tapuio, Piauí, foi subsidiado por imagens do satélite LANDSAT 8, estas foram utilizadas para elaboração do mapa de NDVI.

Para elaboração do mapa de NDVI foram adquiridas imagens (Ver Quadro 2) do

Quadro 2. Características das Imagens do LANDSAT 8 do município de São Miguel do Tapuio, Piauí. Fonte: Pesquisa direta (Org.) Leal, 2019.

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

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. Os valores para cada classe de NDVI podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4. 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. Fonte: Pesquisa direta. Leal (Org.), 2019.

Intervalo de classes do NDVI	Classes de NDVI	Valor de Vulnerabilidade	2017	
			Área (km ²)	%
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
Total	-	-	5.245,2	100

Vulnerabilidade do fator Clima

$$E = 67,355 (r^2 \div P) 0,85 \text{ (Equação 2)}$$

Erosividade da Chuva

Analisou-se clima a partir do parâmetro erosividade das chuvas (R). Um fator da Equação Universal de Perdas de Solos 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 2. 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.

Onde:

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

r² = precipitação média mensal em mm

P = precipitação média anual em mm

Os dados de “R” foram obtidos das planilhas de dados pluviométricos de 11 estações da rede hidrogeológica da SUDENE, 1990, presentes no Estado do Piauí e 2 no Estado do Ceará, sendo estas últimas identificadas com Crateús e Novo Oriente.

A partir dos dados pluviométricos obtidos das 13 estações foram estabelecidas as seguintes classes de Erosividade das chuvas, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5. Intervalos de Erosividade das chuvas (R) com respectivas denominações das classes correspondentes a cada intervalo. Fonte: Pesquisa direta. Org. autores, 2019.

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

Resultados e discussão

A partir do mapeamento dos atributos: Geologia (G), Declividade Média (DM),

Leal, J. M.; Aquino, C. M. S. de.; Aquino, R. P. de.; Valladares, G. S.;

Erodibilidade dos solos (K), vegetação, neste caso adaptado para a área de estudo através do uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) E Erosividade das chuvas (R), do

município de São Miguel do Tapuio, Piauí, foram atribuídos os valores indicativos do grau de vulnerabilidade a erosão da área de estudo.

A área de estudo possui seis formações geológicas que revelam diferentes tipos de rochas. Na área do município predomina valores de

vulnerabilidade mais acentuado na Formação Pimenteiras e nos depósitos Colúvio-eluviais, nestas as rochas apresentam um grau menor de coesão, caracterizando-se como mais suscetível aos processos erosivos, haja visto a presença de sedimentos areno-argilosos não consolidados e conglomerativos, arenitos e siltitos (Figura 2).

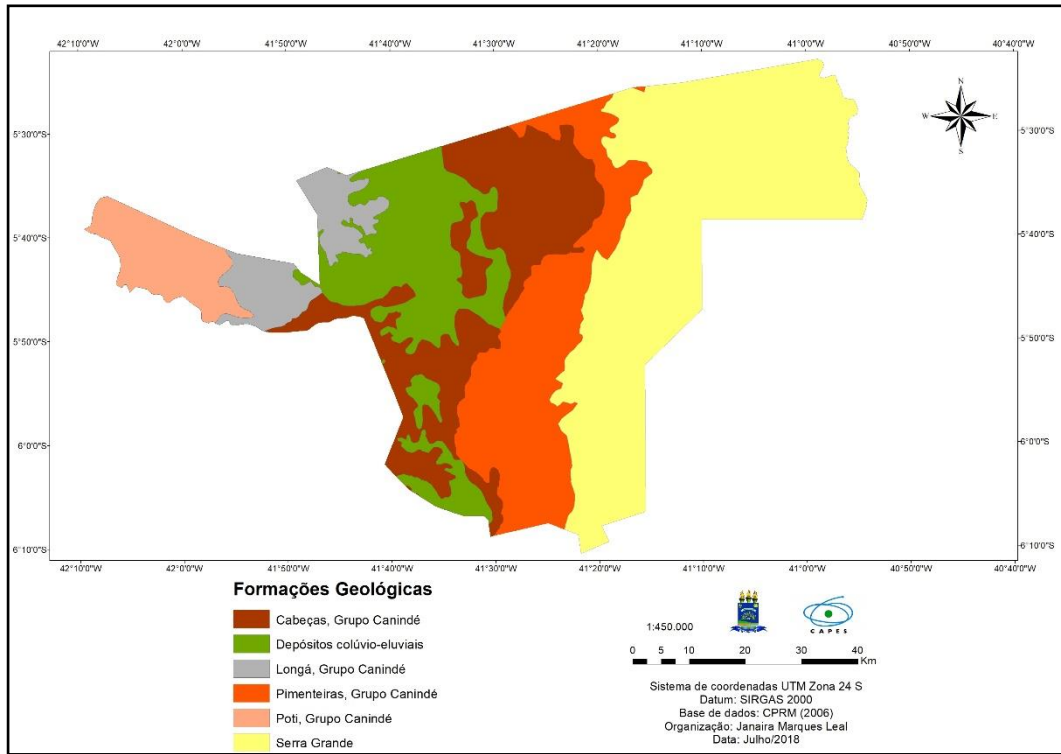


Figura 2. Unidades geológicas do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.

Portanto, quando avaliado o atributo Geologia observou-se as formações com suas

respectivas classificações de vulnerabilidade (Ver Quadro 3).

Unidade Geológica	Valor de Vulnerabilidade
Cabeças	1
Longá	2
Pimenteiras	2,5
Poti	2
Serra Grande	1
Depósitos Colúvio-eluviais	3

Quadro 3. Formações geológicas e respectivos valores de vulnerabilidade no município de São Miguel do Tapuio, Piauí. Fonte: CPRM (2006; Crepani et al. (2001).

O relevo do município de São Miguel do Tapuio é marcado por baixos índices de

declividade, como é apresentado no mapa da Figura 3.

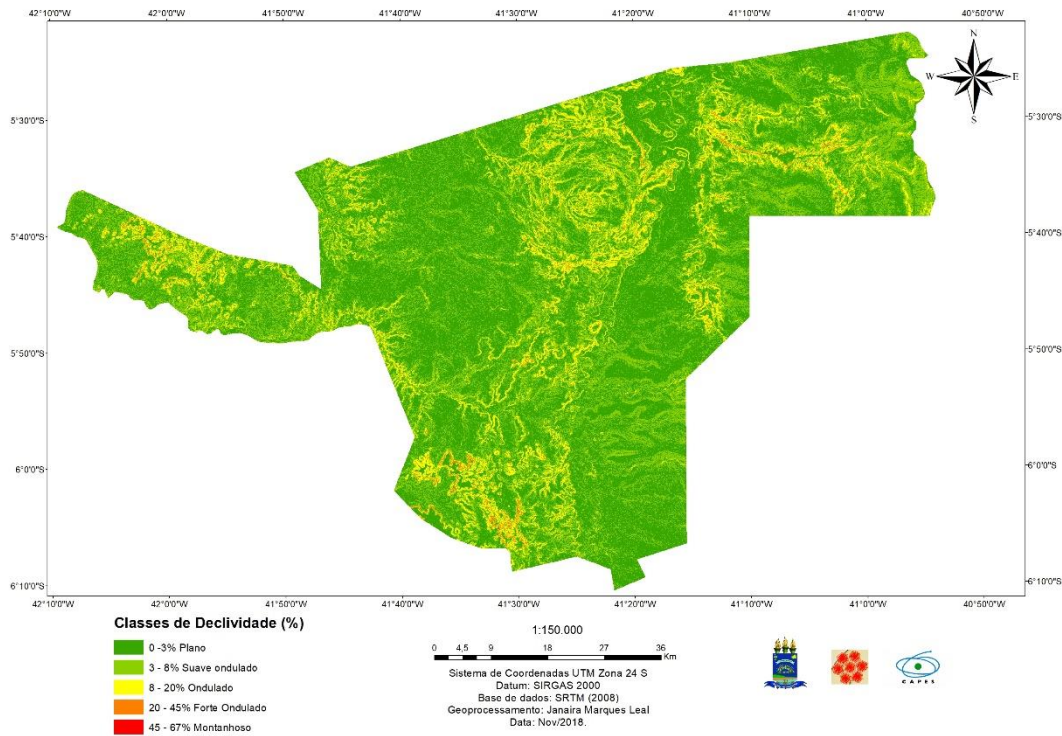


Figura 3. Classes de declividade do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.

É possível notar através da Tabela 6 que 53,4% da área é 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%; em 9,8% da área a declividade varia de 8 a 20% caracterizando o relevo do tipo

ondulado; 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 6. Intervalos de Declividade Média com respectivas denominações das classes, áreas e porcentagens correspondentes a cada peso, no município de São Miguel do Tapuio, Piauí. Fonte: Pesquisa direta, (Org.) Leal, 2019.

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

As áreas de relevo plano compreendem a maior parte da área de estudo, com declividade de 0-3%, com valor de vulnerabilidade (1). As classes definidas como “Forte ondulado” e “Montanhoso” estão diretamente ligadas a 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.

Para a vulnerabilidade do atributo pedologia considerou-se à capacidade de um determinado solo resistir a erosão ocasionada pelas ocorrentes precipitações. A partir da Tabela 4 é possível concluir que 15% da média de associações de solos identificados através do mapeamento realizado pelo IBGE, 2014, apresenta baixa Erodibilidade (K); enquanto que 65,1% das associações caracterizam-se por apresentar uma

média Erodibilidade (K); e correspondendo a 19,7% das associações de solos da área de estudo, apresentam alta Erodibilidade (K).

A Erodibilidade dos solos do município de São Miguel do Tapuí, como observados na Figura 4, identificados pelo mapeamento realizado pelo

IBGE 2014, apresenta 15,06% de sua área situada na classe de Baixa Erodibilidade, enquanto que 66,35% enquadra-se na classe Média e 19,75% na classe Alta (Ver Tabela 7).

Tabela 7. Classes de Erodibilidade dos solos (K) com respectivas áreas em porcentagens, nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí. Fonte: Pesquisa direta, 2018.

Classes de Erodibilidade	Área (Km ²)	%
Baixa	777,06	15
Média	3425,33	66,3
Alta	1019,73	19,7
Total	5162,38	100

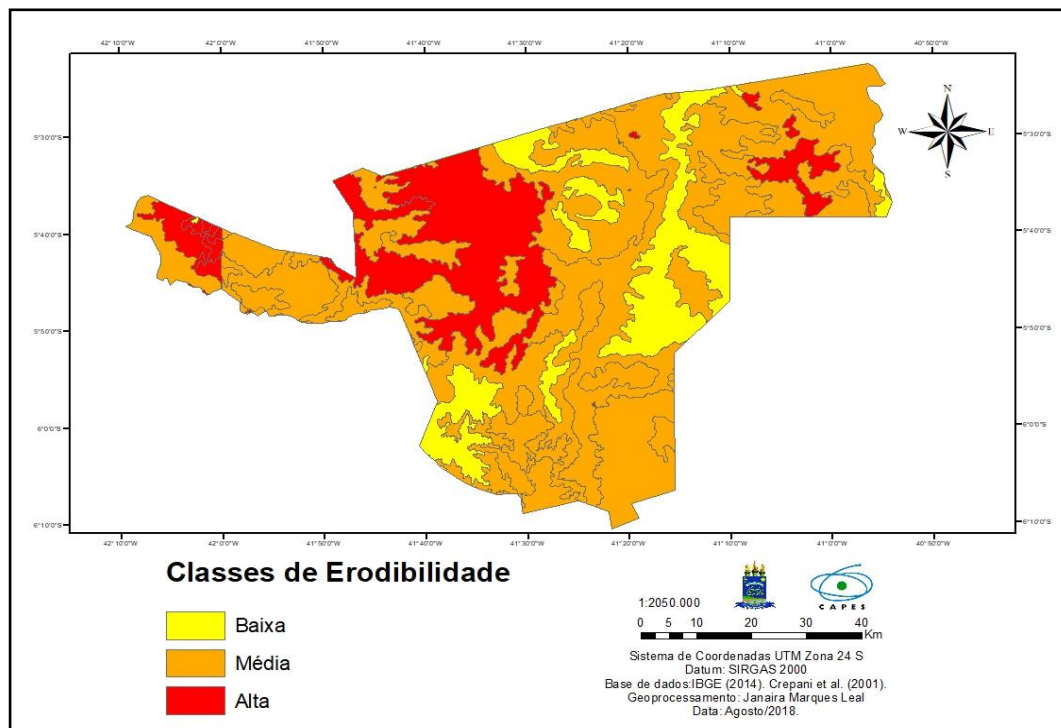


Figura 4. Erodibilidade dos solos (K) do município de São Miguel do Tapuí, Piauí.

O predomínio da classe Média Erodibilidade dos solos do município estudado justifica-se pelo fato de que as mais expressivas associações de solos ocorrem com os Neossolos Litólicos Distróficos, cujo valor máximo (3) na escala de vulnerabilidade e Neossolo Quartzarênico Órtico recebendo o valor de (2,5).

Considera-se que o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) varia de (-1) a (1), sabendo 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 reclassificados em seis classes, resultaram em valores de 0,02% presentes na classe Alta; 0,3% Moderadamente alta; 18,8% Moderada; 78,9% Moderadamente baixa e 1,7% na classe Baixa, representados assim pelos diferentes graus de proteção oferecidos pela cobertura vegetal ao solo.

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. A Figura 5 apresenta a espacialização das classes de NDVI para a área de estudo.

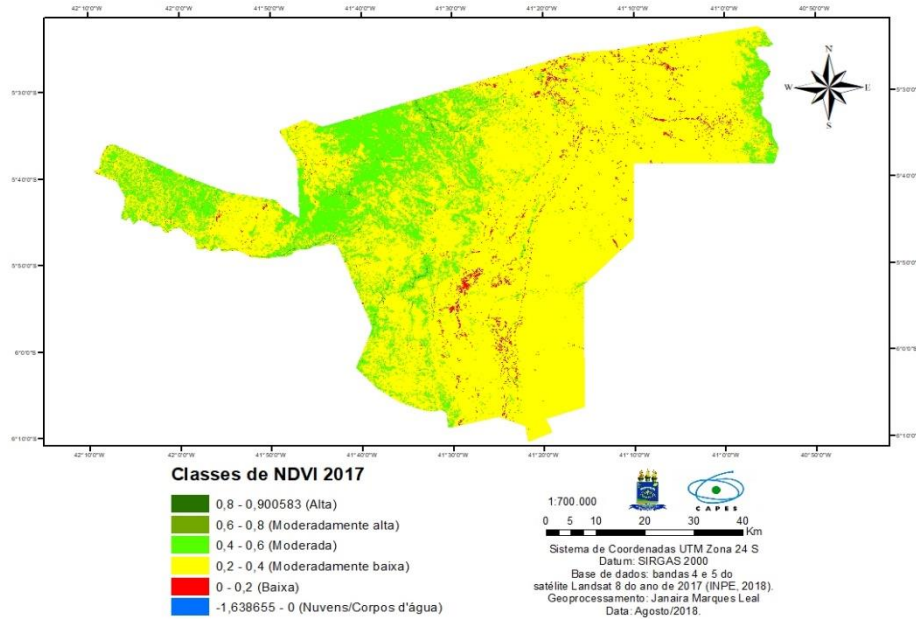


Figura 5. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do município de São Miguel do Tapuio, Piauí, do ano de 2017.

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 6.

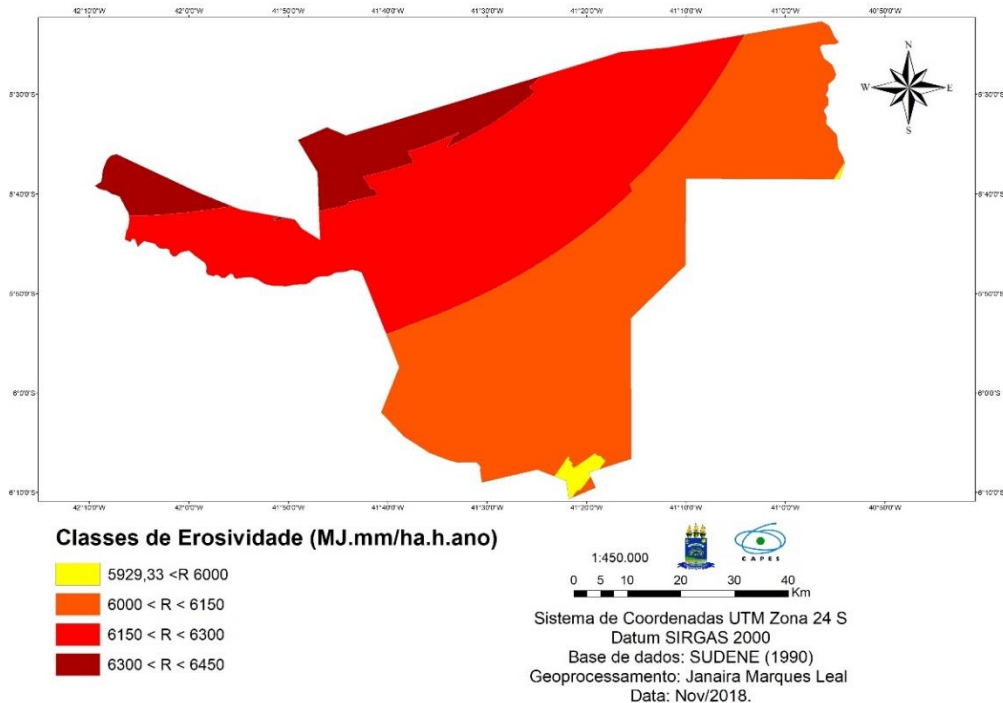


Figura 6. Mapa de Erosividade do município de São Miguel do Tapuio, Piauí.

Os valores da Tabela 7 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 km².

Tabela 7. Intervalos e classes de Erosividade das chuvas (R) com respectivas áreas em porcentagens, no município de São Miguel do Tapuí, Piauí. Fonte: Pesquisa direta, 2019.

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

De acordo com os dados de Erosividade coletados nos postos pluviométricos em existentes em São Miguel e no seu entorno o município em questão apresenta predomínio das classes de classe de Baixa e Moderada, com um percentual de 47,1% e 42,9%.

A partir do emprego da álgebra de mapas e apoiados na metodologia de Crepani et al. (2001) considerando os parâmetros geologia, declividade, solos, NDVI e clima pode se inferir conforme Figura 7 diferentes níveis de vulnerabilidade.

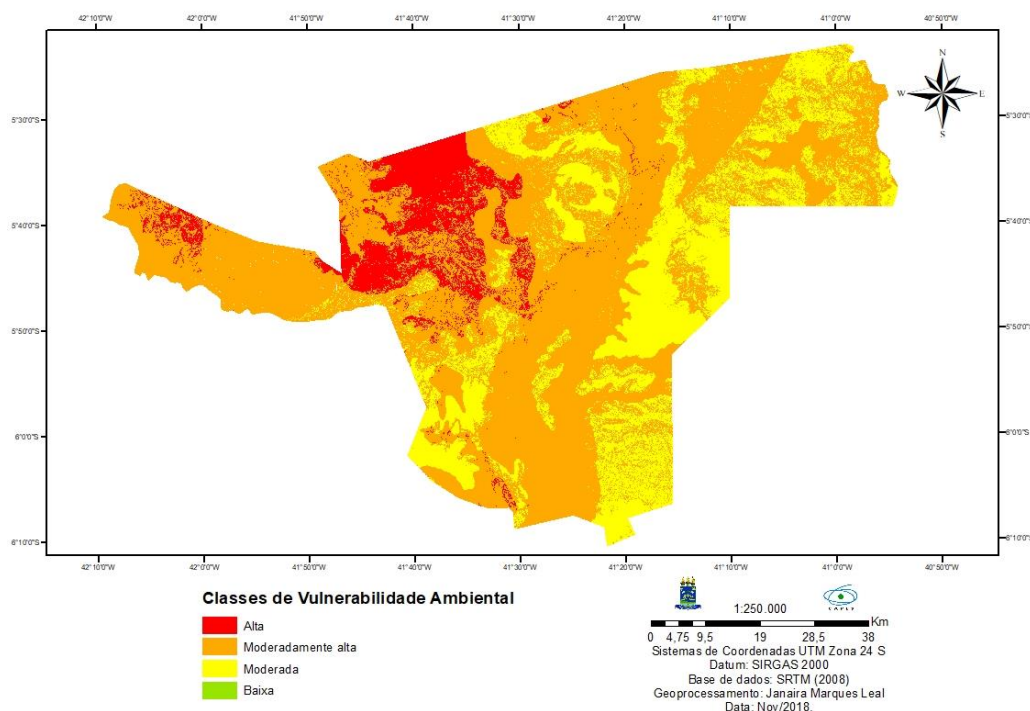


Figura 7. Mapa de Vulnerabilidade ambiental do município de São Miguel do Tapuí, Piauí.

A partir da análise do mapa da Figura 7 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.

A classe de vulnerabilidade baixa corresponde à menor unidade mapeada no município em questão. De modo geral ocorre em às áreas com solos bem desenvolvidos e presença de

vegetação que oferece uma proteção moderada aos solos contra os processos erosivos. Vale salientar que apesar de apresentar baixa vulnerabilidade, essas áreas necessitam ainda 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 de modo descontínuo em praticamente todo o município. Os principais fatores que explicam a ocorrência desta classe é 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 nas áreas onde a erosividade variou de alta a moderada, com cobertura vegetal enquadrando-se predominantemente na classe baixa.

A classe Alta apresentou predominância na porção noroeste do município em questão. A maioria dos parâmetros empregados apresentaram altos valores, a exceção do NDVI que se enquadrou na classe moderada proteção.

Considerações finais

Buscou-se na presente pesquisa 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 ambientais.

A partir da análise dos parâmetros utilizados para a realização da análise da vulnerabilidade ambiental do município de São Miguel do Tapuio, Piauí, 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.

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 em São Miguel do Tapuio, Piauí.

Acredita-se que os dados encontradas para o município estudado, possa subsidiar meios para a realização de medidas públicas que possam vir a resultar no ordenamento territorial para a área de estudo.

Agradecimentos

A primeira autora agradece ao acordo CAPES-FAPEPI pela concessão de bolsa de mestrado. Os autores agradecem à Universidade Estadual do Piauí (UESPI) pelo fornecimento do

carro para a realização do campo para a concretização da referida pesquisa.

Referências

- Aguiar, R. B. de, 2004. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: diagnóstico do município de São Miguel do Tapuio/ Organização do texto [por] Robério Bôto de Aguiar [e] José Roberto de Carvalho Gomes - Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil.
- Assis, F. R. V.; Lima, J. R. de. Silva, J. E. R.; Mendonça, I. F. C., 2017. Índice de Vulnerabilidade Ambiental na Microbacia do Talhado, Santa Luzia, Paraíba. Acta Brasiliensis, [S.l.], 3, 8-16.
- Aquino, A. R, 2017 Vulnerabilidade Ambiental / Afonso Rodrigues de Aquino, Francisco Carlos Paletta, Josimar Ribeiro de Almeida, organizadores. São Paulo: Blucher. 112.
- Belato, L. de. S.; Serrão, S. L. C.; Gandra, A. L. F.; Amorim, I. L. de. S., 2018. Aplicação da vulnerabilidade ambiental do município de Moju, Estado do Pará. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais 9, 5.
- Bursztyn, M., 2001. A difícil sustentabilidade: política energética e conflitos ambientais. Editora Garamond, 1.ed, 107-111.
- Câmara, G.; Davis, C. Introdução. In: Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, a.M.V., 2001. (Org.). Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos - SP. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais 1-5.
- Cardoso, O. R. et al., 2015. Análise da fragilidade ambiental na bacia do rio Pardo – RS, frente à instalação de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). Revista Brasileira de recursos Hídricos 20, 507-522.
- Corrêa, R. L., 2003. O espaço Urbano. São Paulo: Ática, 4. ed.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil, 2018. Mapa Geodiversidade do Piauí. Brasília: CPRM, 2004. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/14708> Acesso em 23 Ago. 2018.
- Crepani, E., Medeiros, J. S. de., Hernandez FILHO, P. Florenzano, T. G., Duarte, V., Barbosa, C.C.F., 2001. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE. 124. Edson el al.
- Ferreira, Cesar Cardoso., 2016. Proposta de zoneamento ambiental das paisagens para o alto curso da bacia hidrográfica do rio sucuriú, Mato Grosso do Sul - Brasil. Presidente Prudente.

- IBGE, Instituto Brasileiro Geografia Estatística. 2019. Cidades, São Miguel do Tapuio – PI. Disponível em: <www.ibge.gov.br/cidadesat/saomigueldotapuio.com> Acesso em Jan. 2019.
- Lima, F. J.; Cestaro, L. A.; Araújo, P. C., 2010. Sistemas geoambientais do município do CRATO/CE. Mercator, pp19.
- Leal, J. M., Vulnerabilidade ambiental no município de São Miguel do Tapuio, Piauí : bases para o ordenamento territorial. Dissertação (Mestrado). Teresina, PI, UFPI.
- Leite, C. C., 2018. Avaliação da vulnerabilidade ambiental em assentamento rural do estado de Alagoas. Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Maceió.
- Lopes, J. R. B. L., 2008. O Processo de Urbanização. Disponível em <<http://books.scielo.org/id/df6bv/pdf/lopes-9788599662823-03.pdf>> Acesso em 08 Dez. 2018.
- Milanezi, C. H. da S., Pereira, J. G., 2016. Caracterização da Vulnerabilidade Ambiental na Microbacia Do Córrego Azul, Ivinhema – MS. Geografia (Londrina) 25. 43-63.
- Pickett, S. T. A.; Cadenasso, M. L.; Grove, J. M.; Nilon, C. H.; Pouyat, R. V.; Zipperer, W. C.; Costanza, R., 2001. Urban ecological systems: linking terrestrial ecological, physical and socioeconomic components of metropolitan areas. Annual Review of Ecology and Systematics 32, 127-157.
- Pons, N. A. D., Pejon, O. J. 2008. Aplicação do SIG em estudos de degradação ambiental: o caso de São Carlos (SP). Revista Brasileira de Geociências 295-302.
- Ribeiro, A. dos S., 2014. Vulnerabilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu, sul de Minas Gerais Dissertação (Mestrado em Ecologia e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG.
- Ribeiro, F. L.; Campos, S.; Piroli, E. L; Santos, T. G.; CARDOSO, L. G., 1999. Uso da terra do Alto rio pardo, obtido a partir da análise visual IN: Anais... I Ciclo de Atualização Florestal do Conesul Santa Maria: UFSM., v. único, 75 – 81.
- Ritters, K. H.; O'NEIL, R. V.; Hunsaker, C. T.; Wickham, J. D.; Yankee, D. H. Timmins, S. P., 1995. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. Landscape Ecology 10, 23-39.
- Ross, J. L.S., 2006. Ecogeografia do Brasil: Subsídios ao Planejamento Ambiental. São Paulo: Oficina de Textos.
- Santos, B. F dos; Trevisan, D. P.; Moschini, L. E., 2018. Avaliação da vulnerabilidade ambiental do município de Itirapina – SP. – Revista Geotemas. Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil, 8, 42-59.
- Santos, F. de A. dos., 2015a. 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, PI.
- Santos, B. A. Q. dos., 2015b. Análise da Vulnerabilidade Ambiental da Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca, entre as pontas de Itapirubá e do Gi, Laguna, SC. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia.
- Soares, J. P R., 2016. Vulnerabilidade ambiental das unidades de paisagem do município de Milton Brandão – PI: subsídio para o ordenamento territorial. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Piauí. Teresina, PI.
- Trevisan, D. P.; Moschini, L. E.; Dias, L. C. C.; Gonçalves, J. C., 2018. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de são carlos – SP. Revista Ra'eGa 44, 272 -288.
- Trombeta, L.R.; Garcia, R.M.; Nunes, R.S.; Gouveia, I.C.M.C.; LEAL, A. C., 2014. Análise da fragilidade potencial e emergente do relevo da unidade de gerenciamento de recursos hídricos pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil. Caderno de Prudentino de Geografia 36, 159-173.
- Veroneze, O. M. S.; Macedo, G. Z.; Pereira, J. G., 2017. Identificação das áreas de vulnerabilidade ambiental na cidade de Ponta Porã – MS. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental 6 553 – 566.