

PKS

PUBLIC
KNOWLEDGE
PROJECT

REVISTA DE
GEOGRAFIA

Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE

OJS

OPEN
JOURNAL
SYSTEMS

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia>

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE EUNÁPOLIS-BA

George Luis Martins de Oliveira¹ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4897-0244>

João Batista Lopes da Silva² - Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8202-4812>

Sebastião Pinheiro Gonçalves de Cerqueira Neto³ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7358-8958>

¹ Secretaria de Educação do Estado da Bahia (SEC), Eunápolis, BA, Brasil*

² Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Teixeira de Freitas, Bahia, Brasil**

³ Instituto Federal da Bahia (IFBA), Porto Seguro, Bahia, Brasil***

Artigo recebido em 27/03/2022 e aceito em 19/06/2022

RESUMO

O artigo tem como objetivo realizar o mapeamento da vulnerabilidade ambiental do município de Eunápolis, situado no Território de Identidade da Costa do Descobrimento, no sul do estado da Bahia. Para elaboração do índice de vulnerabilidade ambiental de Eunápolis foi aplicado, individualmente, o modelo para os temas geologia, solo, uso e ocupação do solo, clima e geomorfologia referente a unidade territorial básica do município e, em seguida, realizado o procedimento de união desses temas para a definição do mapa síntese de vulnerabilidade ambiental do município. Os índices apresentados nesta pesquisa variaram de 1 a 3, sendo que os valores mais próximos a 1 são menos vulneráveis e os mais próximos a 3 os mais vulneráveis. O processamento dos dados foi feito no software QGIS e todo o plano de informação foi georreferenciado no sistema de projeção geográfica Universal Transversa de Mercator (UTM) Fuso 24 Sul, Datum SIRGAS 2000. A análise do mapa mostrou que 94,97% do território encontra-se em área moderadamente estável ou medianamente estável vulnerável, enquanto que 3,4% do território encontra-se em área moderadamente vulnerável. A espacialização das classes de vulnerabilidade ambiental em Eunápolis mostrou que os maiores índices correspondem as áreas urbanas do município.

Palavras-chave: Espacialização; QGIS; processamento de dados.

* Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Estado e Sociedade da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). Mestre em Ciências e Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). Professor na Secretaria de Educação do Estado da Bahia. E-mail: george.oliveira@enova.educacao.ba.gov.br

** Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professor da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). E-mail: silvajbl@ufsb.edu.br

*** Doutor em Geografia com ênfase em Análise Regional pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Professor do Instituto Federal da Bahia. E-mail: sebastiaocneto@ifba.edu.br

ENVIRONMENTAL VULNERABILITY INDEX OF THE MUNICIPALITY OF EUNÁPOLIS-BA

ABSTRACT

The article aims to map the environmental vulnerability of the municipality of Eunápolis, located in the Identity Territory of Costa do Descobrimento, in the south of the state of Bahia. For the elaboration of the environmental vulnerability index of Eunápolis, the model was applied individually for the themes geology, soil, land use and occupation, climate and geomorphology referring to the basic territorial unit of the municipality and, then, the procedure of joining these themes for the definition of the municipal environmental vulnerability synthesis map. The indices presented in this research ranged from 1 to 3, with values closer to 1 being the least vulnerable and those closer to 3 being the most vulnerable. Data processing was carried out in QGIS software and the entire information plane was georeferenced using the Universal Transverse Mercator (UTM) Fuso 24 Sul geographic projection system, Datum SIRGAS 2000. The analysis of the map showed that 94.97% of the territory is in a moderately stable or moderately stable vulnerable area, while 3.4% of the territory is in a moderately vulnerable area. The spatialization of environmental vulnerability classes in Eunápolis showed that the highest rates correspond to the urban areas of the municipality.

Keywords: Spatialization; QGIS; data processing.

INTRODUÇÃO

O conceito de vulnerabilidade ambiental tem despertado o interesse em diversas áreas do conhecimento. Isso porque, o mapeamento criterioso de áreas permite avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições. Segundo Aquino et al. (2017), a vulnerabilidade ambiental pode ser definida como o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas. Pode ser decorrente de características ambientais naturais ou de pressão causada por atividade antrópica; ou ainda de sistemas frágeis de baixa resiliência, isto é, a capacidade concreta do meio ambiente em retornar ao estado natural de excelência, superando uma situação crítica.

Ao tratar de vulnerabilidade ambiental, Santos (2007) define sistemas como um conjunto de elementos que mantêm relações entre si e onde residem os seres vivos. Elementos como solo, recursos hídricos, vegetação, campos agrícolas, são estruturas do meio que se relacionam através de fluxos e ciclos. Se ocorre uma perturbação no equilíbrio desses sistemas, as relações do meio podem ser bastante diferentes considerando as características locais naturais e da ocupação humana.

A vulnerabilidade ambiental pode ser traduzida na maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado pela ação antrópica (SOUZA, 2013). Dessa forma, o conhecimento desta dinâmica auxilia na priorização de investimentos públicos, normalmente escassos, em diferentes regiões do país (FIGUEIREDO et al., 2007). A priorização de investimentos deve levar em conta estudos relacionados à sensibilidade dos ambientes a mudanças, que abordem

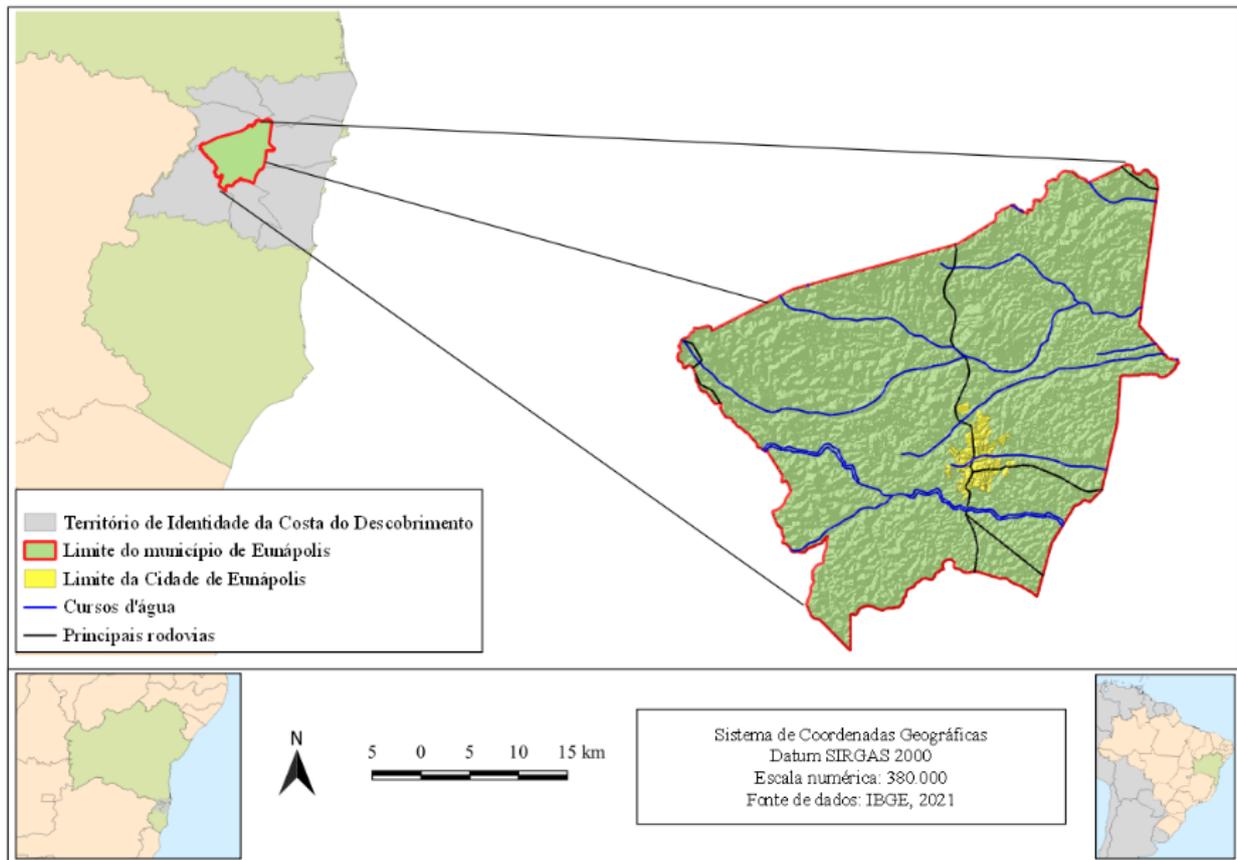
aspectos da vulnerabilidade, considerados importantes para a sustentabilidade e promoção da melhoria da qualidade ambiental (RIBEIRO et al., 2016).

Para definição do Índice de Vulnerabilidade no município de Eunápolis, adaptou-se a metodologia utilizada por Crepani et al. (2001), que apresentou uma proposta para capacitar técnicos dos estados que compõem a Amazônia Legal para elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico da região. Além disso, este trabalho, também utilizou o conceito de Ecodinâmica, que segundo Tricart (1977), consiste na detecção do grau de vulnerabilidade de uma região resultante da análise sistêmica dos componentes do meio físico local, considerando a relação entre os processos de morfogênese e pedogênese, bem como da intervenção humana. Assim, a partir dessa metodologia, foi possível gerar cartas de vulnerabilidade natural dos fatores isolados que posteriormente foram somados para geração da carta síntese de vulnerabilidade do município.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo compreende o município de Eunápolis, localizado no Território de Identidade Costa do Descobrimento (Figura 1), circunscrito entre as coordenadas geográficas 16° 04' 44" S e 16° 32' 32" S e 39° 51' 52" W e 39° 22' 58" W. O município possui área de 1424,97 km² (IBGE, 2019) e, em 2010, contava com uma população de 100.196 habitantes (IBGE 2010), sendo que, cerca de 93.413 (93,2%) residiam na área urbana. A população estimada, em 2020, era de 115.360 habitantes (IBGE, 2021).

Figura 1: Mapa de localização do município de Eunápolis

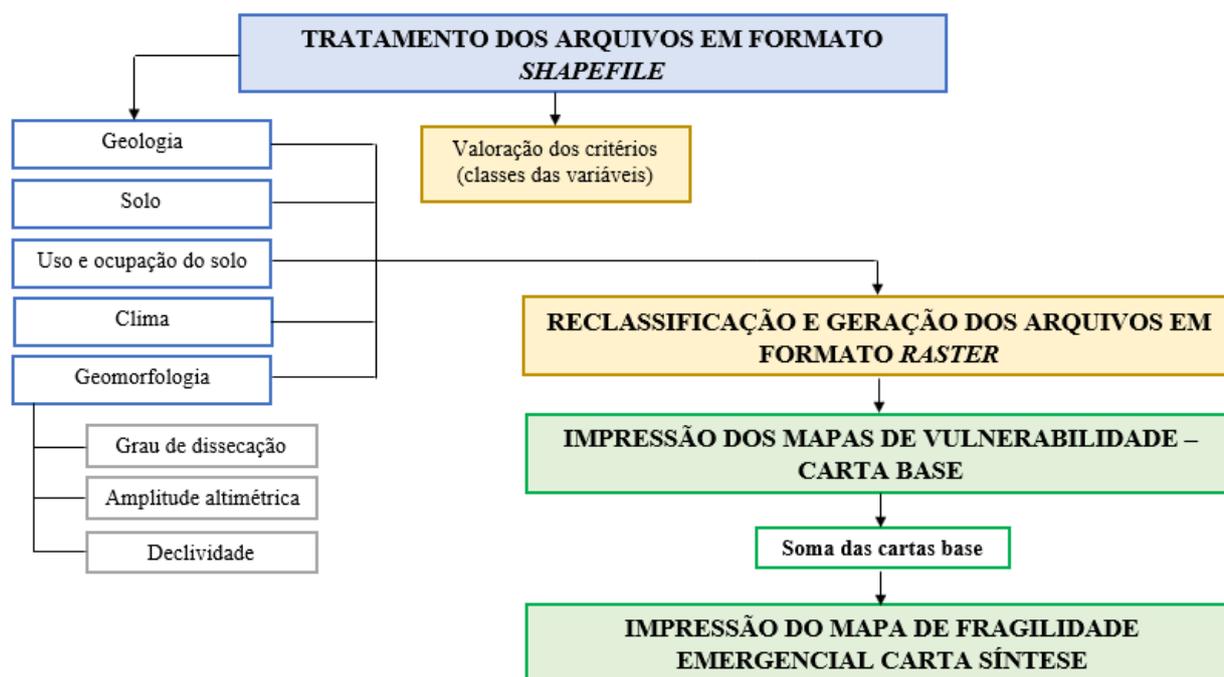


Fonte: Elaborado pelos autores

A metodologia desta pesquisa usou como referência os estudos de Crepani et al. (2001) utilizando dados temáticos preexistentes e reclassificando-os de acordo com a escala de vulnerabilidade proposta pelo próprio autor. A vulnerabilidade das unidades de paisagem é estabelecida por meio de uma escala de valores relativos e empíricos de acordo com a relação morfogênese/pedogênese analisando-se individualmente cada um dos temas: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso da terra e clima (CREPANI et al., 2001).

Dessa forma, para elaboração do índice de vulnerabilidade ambiental do município de Eunápolis foi aplicado, individualmente, o modelo para cada um dos temas referente a unidade territorial básica do município (Figura 2 e Tabela 1).

Figura 2: Fluxograma do tratamento e elaboração das cartas-base e síntese.



Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 1: Variáveis utilizadas na determinação da vulnerabilidade ambiental

Variável	Critério
Geologia	Evolução geológica e grau de coesão das rochas
Solo	Desenvolvimento e maturidade pedogenética
Uso e ocupação do solo	Proteção da paisagem e biodiversidade da biota
Climatologia	Precipitação pluviométrica e temperatura da região
Geomorfologia	Dissecação do relevo pela drenagem, amplitude altimétrica e declividade.

Fonte: Elaborado pelos autores

Os índices de vulnerabilidade apresentados nesta pesquisa variaram de 1 a 3 para cada unidade de paisagem. Dentro da escala de vulnerabilidade produzida, as unidades que apresentam maior estabilidade são representadas por valores mais próximos de 1,0, as unidades de estabilidade intermediária são representadas por valores ao redor de 2,0 enquanto que as unidades territoriais básicas mais vulneráveis apresentam valores mais próximos de 3,0.

O processamento dos dados foi feito no software QGis versão 3.10 e todo o plano de informação foi georreferenciado no sistema de projeção geográfica Universal Transversa de Mercator (UTM) Fuso 24 Sul, Datum SIRGAS 2000. Para delimitação do município de Eunápolis, foi utilizada

a malha digital dos municípios brasileiros, adquirida da base de dados digitais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Mapa Geológico

Para criação do mapa geológico, foram utilizados os dados em formato *shapefile* disponíveis no site da Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM, 2003), elaborados em escala 1:1.000.000. Às classes encontradas, no arquivo vetorial, foram atribuídos os valores de vulnerabilidade (Tabela 2) a partir da criação de um novo campo na tabela de atributos no software Qgis. Em seguida, o arquivo vetorial foi transformado em um arquivo *raster*. Para definição das classes de vulnerabilidade, Crepani et al. (2001), atribuiu valores com base na idade das formações (tempo geológico) e fragilidade (tipo litológico e classe rochosa).

Tabela 2: Valores de vulnerabilidade ambiental atribuídos as classes de litologia (geologia) de Eunápolis-BA

Tipo litológico	Classe rochosa	Valor de vulnerabilidade
Argila, Areia, Cascalho	Rocha Sedimentar ou sedimentos	2,7
Argilito, Arenito, Conglomerado, Siltito	Rocha Sedimentar (ou sedimentos)	2,7
Biotitito, Migmatito, Ortognaisse	Rocha Metamórfica	1,3
Kinzigito, Rocha calcissilicática, Biotita gnaisse, Metaultramafito, Metamáfica	Rocha Metamórfica	1,7
Metadiamictito, Rocha calcissilicática, Quartzo xisto, Grafita xisto	Rocha Metamórfica	1,7
Metarcóseo, Formação ferrífera bandada, Rocha calcissilicática, Metaultramafito, Metamáfica	Rocha Ígnea / Rocha Metamórfica	1,7
Monzogranito, Sienogranito	Rocha Ígnea	1,1
Silte, Cascalho, Argila	Rocha Sedimentar (ou sedimentos)	2,7

Fonte: Crepani, et al (2001).

Mapa Pedológico

Na metodologia proposta, a principal característica considerada para estabelecer as classes de vulnerabilidade do tema solos é o grau de desenvolvimento ou maturidade do solo. A partir de dados bibliográficos, associados à interpretação da imagem, são atribuídos valores de vulnerabilidade ao solo ou a associação de solos.

Nas unidades de paisagem natural consideradas estáveis o valor atribuído aos solos na escala de vulnerabilidade é 1 e são representados pela classe de solos do tipo Latossolos. Nas unidades de paisagem natural consideradas intermediárias o valor atribuído aos solos na escala de vulnerabilidade é 2, e são representados pela classe de solos do tipo Podzólicos / Argissolos. Nas unidades de paisagem natural consideradas vulneráveis ocorrem solos aos quais é atribuído o valor 3, e estes solos são jovens e pouco desenvolvidos, isto é, sua característica principal é a pequena evolução dos perfis, como os Regossolos, por exemplo.

Dessa forma, foram consideradas apenas as classes de solo encontradas no município de Eunápolis (Tabela 3). O mapa de solos do município foi gerado a partir de um arquivo em formato *shapefile* na escala 1: 5.000.000 disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA, 2006).

Assim como ocorreu com o fator geologia, os valores de vulnerabilidade do solo foram atribuídos através da adição de um novo campo na tabela de atributos do arquivo vetorial, que posteriormente, foi transformado em um arquivo *raster* (rasterização).

Tabela 3: Valores de vulnerabilidade ambiental atribuídos as classes pedológicas de Eunápolis-BA

Classe predominante de solo	Legenda	Valor de vulnerabilidade
Argissolo amarelo	PA	2,0
Latossolo amarelo	LA	1,0
Latossolo vermelho-amarelo	LVA	1,0

Fonte: Crepani, et al (2001).

Mapa de Uso e Ocupação do Solo

Os valores de vulnerabilidade para o tema uso e ocupação do solo consideraram o papel da vegetação como manto protetor da paisagem. A falta de vegetação ao mesmo tempo em que favorece a erosão, lixiviação e compactação, implica na perda da biodiversidade (ALMEIDA; SILVA; NEVES, 2020). Dessa forma, a densidade de cobertura vegetal da unidade de paisagem natural (cobertura do terreno) é um fator de proteção da unidade contra os processos morfogênicos que se traduzem na forma de erosão, por isso, para as altas densidades de cobertura os valores atribuídos na escala de vulnerabilidade se aproximam da estabilidade (1,0), para as densidades médias atribuem-se valores intermediários (ao redor de 2,0), e para baixas densidades de cobertura vegetal valores próximos da vulnerabilidade (3,0).

O mapeamento de uso e ocupação do solo, foi obtido na plataforma de monitoramento de cobertura do solo subsidiada pelo Fórum Florestal do Extremo Sul da Bahia (2018) em escala de 1:25.000, no qual as informações mapeadas encontram-se disponíveis em arquivos vetoriais. Assim como ocorreu com as variáveis anteriores – geologia e pedologia – os dados vetoriais foram transformados em um arquivo *raster*.

Tabela 4: Valores de vulnerabilidade ambiental atribuídos as classes de Uso e Ocupação do Solo em Eunápolis-BA

Uso e ocupação do solo	Valor de vulnerabilidade
Afloramento rochoso	1,0
Área degradada	3,0
Área urbana	3,0
Campo úmido degradado	3,0
Cultivos temporários e permanentes	2,0
Cursos d'água	3,0
Desmatamento recente e queimadas	3,0
Eucalipto	1,0
Floresta em estágio inicial	1,0
Floresta em estágio médio e avançado	1,0
Instalações rurais	3,0
Mineração	3,0
Mussununga / Campinarana	1,0
Pasto limpo	2,0
Pasto sujo	2,0

Fonte: Crepani, et al (2001).

Mapa de Clima

A vulnerabilidade aplicada ao tema clima também foi elaborada seguindo a proposta de Crepani et al. (2001), definida através do valor da intensidade pluviométrica, que é obtida dividindo-se o valor da pluviosidade média anual (em mm) pela duração do período chuvoso (em meses), expressa pela seguinte equação:

$$IP = \frac{PmA}{NDC/30}$$

Onde:

IP = Intensidade Pluviométrica

PmA = Precipitação média Anual (mm/mês)

NDC/30 = Número de dias com chuva (dias/30)

Assim, as unidades de paisagem natural localizadas em regiões que apresentem menores índices pluviométricos anuais e maior duração para o período chuvoso receberão valores próximos à estabilidade (1,0), aos valores intermediários associam-se os valores de vulnerabilidade / estabilidade ao redor de 2,0, e às unidades de paisagem natural localizadas em regiões de maiores índices de pluviosidade anual e menor duração do período chuvoso, atribuem-se valores próximos da vulnerabilidade (3,0) (Tabela 5).

Tabela 5: Valores de vulnerabilidade para intensidade pluviométrica

Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Valor de vulnerabilidade	Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Valor de vulnerabilidade
< 50	1,0	300 – 325	2,1
50 – 75	1,1	325 – 350	2,2
75 – 100	1,2	350 – 375	2,3
100 – 125	1,3	375 – 400	2,4
125 – 150	1,4	400 – 425	2,5
150 – 175	1,5	425 – 450	2,6
175 – 200	1,6	450 – 475	2,7
200 – 225	1,7	475 – 500	2,8
225 – 250	1,8	500 – 525	2,9
250 – 275	1,9	> 525	3,0
275 – 300	2,0		

Fonte: Crepani, et al (2001).

Utilizando dados de precipitação disponibilizados pela série histórica da Agência Nacional das Águas (ANA, 2018), foi possível a elaboração do mapa pluviométrico. Para construção da variável clima no município de Eunápolis, foram levados em consideração os dados de cinco estações pluviométricas. Foram obtidos dados dos últimos 30 anos, de 1988 a 2018, tendo sido coletados os valores de precipitação média para cada mês e, posteriormente, somadas as médias para cada ano. Com os dados do somatório dessas médias, foi feita a média dos 30 anos.

O número de dias com chuva foi transformado em meses dividindo-se seu total por 30 (Tabela 6). A partir dos dados foi possível gerar o mapa de intensidade pluviométrica para o município.

Tabela 6: Valores de precipitação anual e média do número de dias com chuva calculados para cada estação pluviométrica

Código da estação	Latitude	Longitude	Precipitação anual (mm)	NDC	NDC/30	IP
1639019	16° 39' 41" S	39° 30' 23" W	1246,40	90	3	415,46
1639020	16° 05' 14" S	39° 12' 57" W	1581,09	235	7.83	201,85
1639000	16° 15' 49" S	39° 34' 59" W	844,50	119	3.96	212,88
1639026	16° 34' 54" S	39° 46' 54" W	711,50	128	4.26	166,74
1639021	16° 23' 24" S	39° 10' 54" W	1516,70	234	7.8	194,55

Fonte: Elaborado pelos autores

Mapa de Geomorfologia

Para elaboração dos índices de vulnerabilidade para a variável geomorfologia, foram analisados os seguintes índices morfométricos do terreno: dissecação do relevo pela drenagem, amplitude altimétrica e declividade.

O tema de Geomorfologia também foi trabalhado segundo o modelo proposto por Crepani et al. (2001).

$$R = \frac{G + A + D}{3}$$

Onde:

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia.

G = Vulnerabilidade atribuída ao Grau de Dissecação.

A = Vulnerabilidade atribuída à Amplitude Altimétrica.

D = Vulnerabilidade atribuída à Declividade.

A variável morfométrica dissecação do relevo, também denominada de dissecação interfluvial média, é a medição do tamanho dos interflúvios em determinada porção da superfície terrestre. Segundo Guerra (2003), os interflúvios são pequenas ondulações que separam os vales por área amostral, que tem relação com o aprofundamento da drenagem. A intensidade de dissecação do relevo pela drenagem está diretamente ligada à porosidade e à permeabilidade do solo e da rocha. Rochas e solos impermeáveis dificultam a infiltração das águas pluviais e, conseqüentemente, apresentam maior quantidade de água em superfície para ser drenada em direção às partes mais baixas do terreno.

Quanto maiores forem os interflúvios (ou menor for a intensidade de dissecação) menores são os valores atribuídos às unidades de paisagem natural na escala de vulnerabilidade (Tabela 7), ou seja, valores mais próximos à estabilidade (valores próximos a 1,0), da mesma forma as unidades de

paisagem natural que apresentem os menores interflúvios (ou maiores intensidades de dissecação) recebem valores da escala de vulnerabilidade mais próximos de 3,0 (próximos da vulnerabilidade).

Tabela 7: Valores de vulnerabilidade para intensidade de dissecação do relevo

Amplitude do interflúvio (m)	Valor de vulnerabilidade	Amplitude do interflúvio (m)	Valor de vulnerabilidade
> 5000	1,0	2250 - 2500	2,1
4750 - 5000	1,1	2000 - 2250	2,2
4500 - 4750	1,2	1750 - 2000	2,3
4250 - 4500	1,3	1500 - 1750	2,4
4000 - 4250	1,4	1250 - 1500	2,5
3750 - 4000	1,5	1000 - 1250	2,6
3500 - 3750	1,6	750 - 1000	2,7
3250 - 3500	1,7	500 - 750	2,8
3000 - 3250	1,8	250 - 500	2,9
2750 - 3000	1,9	< 250	3,0
2500 - 2750	2,0		

Fonte: Crepani, et al (2001).

A amplitude altimétrica do relevo é representada pelo grau de entalhamento dos vales e gerada através da diferença entre os pontos mais altos e mais baixos, considerando um nível relativo (GUERRA, 2003). A amplitude altimétrica, que está relacionada com o aprofundamento da dissecação, é um indicador da energia potencial disponível para o escoamento superficial “runoff”. Quanto maior a amplitude altimétrica maior é a energia potencial, pois as águas das precipitações pluviais que caem sobre os pontos mais altos do terreno adquirirão maior energia cinética no seu percurso em direção às partes mais baixas e, conseqüentemente, apresentarão maior capacidade de erosão ou de morfogênese (CREPANI et al., 2001).

Aos maiores valores de amplitude altimétrica estão associados os valores mais próximos de 3,0 na escala de vulnerabilidade e, portanto, as situações de maior vulnerabilidade; por outro lado, aos menores valores de amplitude altimétrica estão associados os menores valores da escala de vulnerabilidade (próximos de 1,0), que traduzem situações de maior estabilidade das unidades de paisagem natural, onde prevalecem os processos pedogenéticos (Tabela 8).

Tabela 8: Valores de vulnerabilidade para amplitude altimétrica

Amplitude altimétrica (m)	Valor de vulnerabilidade	Amplitude altimétrica (m)	Valor de vulnerabilidade
< 20	1,0	113 – 122,5	2,1
20 – 29,5	1,1	122,5 – 132	2,2
29,5 – 39	1,2	132 – 141,5	2,3
39 – 48,5	1,3	141,5 – 151	2,4
48,5 – 58	1,4	151 – 160,5	2,5
58 – 67,5	1,5	160,5 – 170	2,6
67,5 – 77	1,6	170 – 179,5	2,7
77 – 84,5	1,7	179,5 – 189	2,8
84,5 – 94	1,8	189 – 200	2,9
94 – 103,5	1,9	> 200	3,0
103,5 – 113	2,0		

Fonte: Crepani, et al (2001).

O termo declividade refere-se à inclinação do relevo em relação ao horizonte. A declividade guarda relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética e, portanto, com a velocidade das massas de água em movimento responsáveis pelo “runoff” (CREPANI, et al., 2001). Quanto maior a declividade mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais transforma-se em energia cinética e maior é, também, a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte, responsáveis pela erosão que esculpe as formas de relevo e, portanto, prevalece a morfogênese.

Os valores próximos de 1,0 da escala de vulnerabilidade estão associados a pequenos ângulos de inclinação das encostas, situação em que prevalecem os processos formadores de solo da pedogênese e os valores mais próximos de 3,0 estão associados a situações de maior declividade, onde prevalecem os processos erosivos da morfogênese (Tabela 9).

Tabela 9: Valores de vulnerabilidade ambiental atribuídos aos intervalos de declividade

Declividade (%)	Valor de vulnerabilidade	Declividade (%)	Valor de vulnerabilidade
< 3,5	1,0	27,2 – 29,6	2,1
3,5 – 5,8	1,1	29,6 – 32,1	2,2
5,8 – 8,2	1,2	32,1 – 34,6	2,3
8,2 – 10,3	1,3	34,6 – 37,2	2,4
10,3 – 12,9	1,4	37,2 – 39,8	2,5
12,9 – 15,1	1,5	39,8 – 42,4	2,6
15,1 – 17,4	1,6	42,4 – 45,3	2,7
17,4 – 19,8	1,7	45,3 – 48,1	2,8
19,8 – 22,2	1,8	48,1 – 50	2,9
22,2 – 24,5	1,9	> 50	3,0
24,5 – 27,2	2,0		

Fonte: Crepani, et al (2001).

Para calcular os índices de dissecação do relevo, amplitude altimétrica e declividade foram utilizados como base os trabalhos de Santos et al. (2018). Para elaboração de cada um dos mapas que compõem a variável geomorfologia, foi gerado um Modelo Digital de Elevação (MDE) produzido a partir de imagens de satélite Alos Palsar, que possui uma resolução espacial de 12,5 m. As imagens foram obtidas por meio do acesso à página da *Alaska Satellite Facility's*, tendo sido delimitada a área de estudos para posterior realização do download das respectivas cartas.

Aplicando a metodologia proposta por Lima (2018), foram realizadas as seguintes etapas no software QGis: i) aquisição da imagem de altimetria da região de estudo no formato *raster* oriundas do satélite ALOS PALSAR; ii) a partir da imagem, foi realizado um *buffer* com uma área de influência de 10 km do limite do município de Eunápolis; iii) utilização do comando “*r.fill.dir*” para preenchimento dos pixels defeituosos, ou seja, criação de um MDE sem depressão; iv) realização da inversão do MDE trazendo as bases para o topo, utilizando a ferramenta “calculadora *raster*” multiplicando o arquivo MDE sem depressão por -1; v) no MDE invertido foi utilizado o comando “*r.fill.dir*” para gerar o mapa de direção de fluxo; vi) no arquivo *raster* direção de fluxo, foi utilizado a ferramenta “preencher sem dados” para correção das áreas e, em seguida, gerado um novo arquivo; vii) no arquivo *raster* preenchido foi aplicado o comando “*r.watershed*” para definição das bacias hidrográficas habilitando a função “meias bacias”; viii) com os dados de meias bacias foi realizada a transformação do arquivo *raster* para *vetor* (vetorização); ix) no arquivo vetorial, foi atribuído as informações de altimetria do MDE na função “estatísticas zonais”, gerando a informação da amplitude altimétrica; x) na “calculadora de campo” foram calculadas as áreas, o perímetro e o comprimento da bacia; xi) a partir dos dados gerados, foi possível gerar a largura média da bacia que representa a dissecação do relevo.

Mapa de Vulnerabilidade ambiental

Após a geração do índice de vulnerabilidade de cada uma das variáveis, foi realizada uma álgebra de mapas resultante da média aritmética dos valores individuais adaptada de Crepani et al. (2001).

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

Onde:

V = Vulnerabilidade

G = vulnerabilidade para o tema Geologia

S = vulnerabilidade para o tema Solos

Us = vulnerabilidade para o tema Uso e ocupação do solo

C = vulnerabilidade para o tema Clima

R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

Em seguida, os valores de vulnerabilidade ambiental do município foram agrupados de acordo com o intervalo de classes (Tabela 10).

Tabela 10: Intervalos de classes de vulnerabilidade

Grau de vulnerabilidade	Intervalo de classe
Muito baixa	1,0 – 1,4
Baixa	1,4 – 1,8
Média	1,8 – 2,2
Alta	2,2 – 2,6
Muito alta	2,6 – 3,0

Fonte: Crepani, et al (2001).

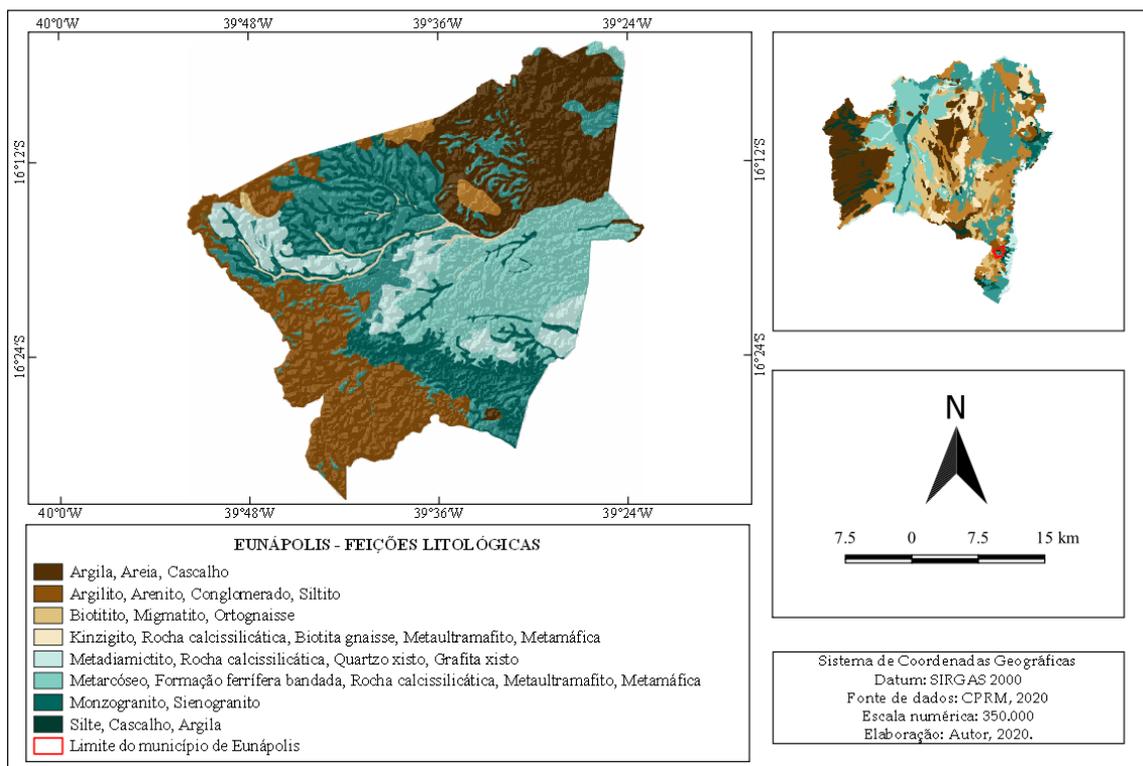
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Geologia

O mapa geológico apresentado a seguir foi elaborado considerando os tipos litológicos presentes no município. As feições correspondentes aos depósitos de argila, areia, cascalho, silte e suas variações: argilito, arenito, siltito e conglomerados, encontrados em terrenos sedimentares (Figura 3), apresentam comportamento mais instável e são mais suscetíveis à erosão. As formações litológicas mais antigas, encontradas em rochas ígneas – monzogranito e sienogranito – e rochas metamórficas – biotitito, migmatito e ortognaisse – apresentam maior grau de estabilidade do ponto de vista erosivo e dos movimentos de massa porque essas rochas têm maior resistência aos processos de intemperismo devido à maior coesão dos minerais que as constituem (CREPANI et al., 2001).

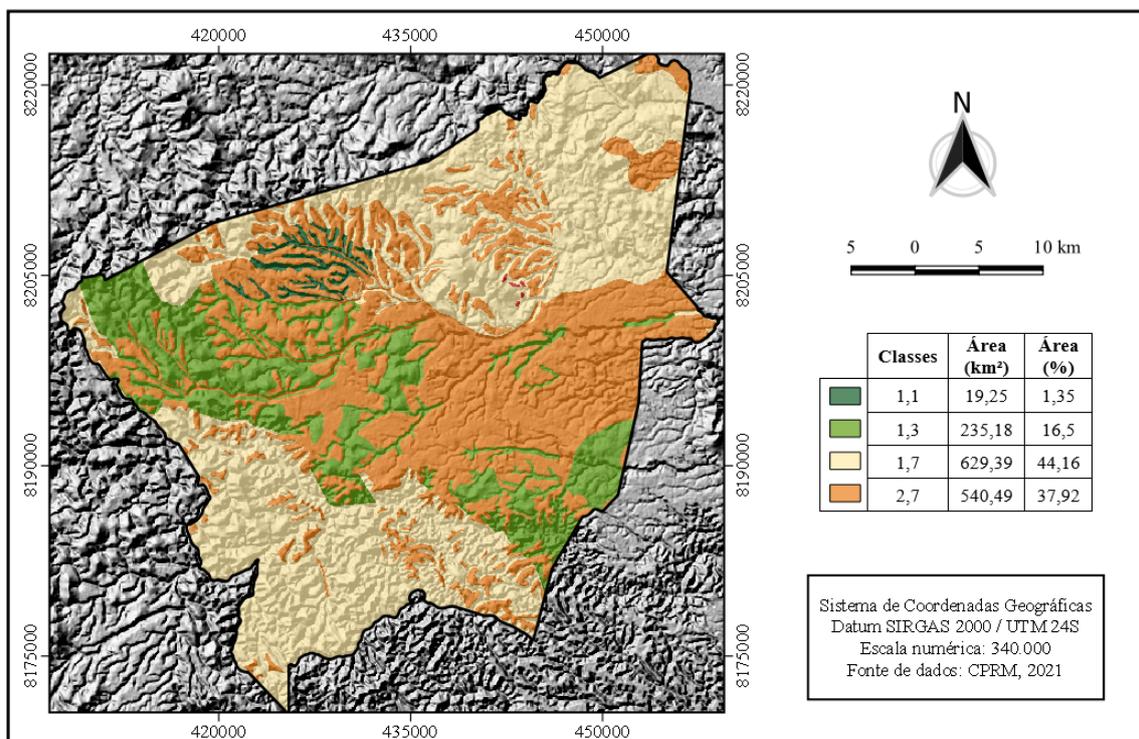
O mapa da vulnerabilidade atribuída às unidades geológicas (Figura 4), resultou em valores de vulnerabilidade predominantemente médios e altos. As classes de menor vulnerabilidade (1,1 e 1,3), ocupadas por feições litológicas mais antigas, formada por rochas ígneas e metamórficas, representam 17,85% do território do município. As classes intermediárias de vulnerabilidades (1,7 e 2,0), também ocupadas pelas feições litológicas oriundas de rochas ígneas e metamórficas, representam uma área de 44,16% do território. Já as feições com maior grau de vulnerabilidade (2,7) representam 27,92% da área municipal.

Figura 3: Feições litológicas predominantes no município de Eunápolis-BA.



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 4: Vulnerabilidade das unidades geológicas no município de Eunápolis-BA.



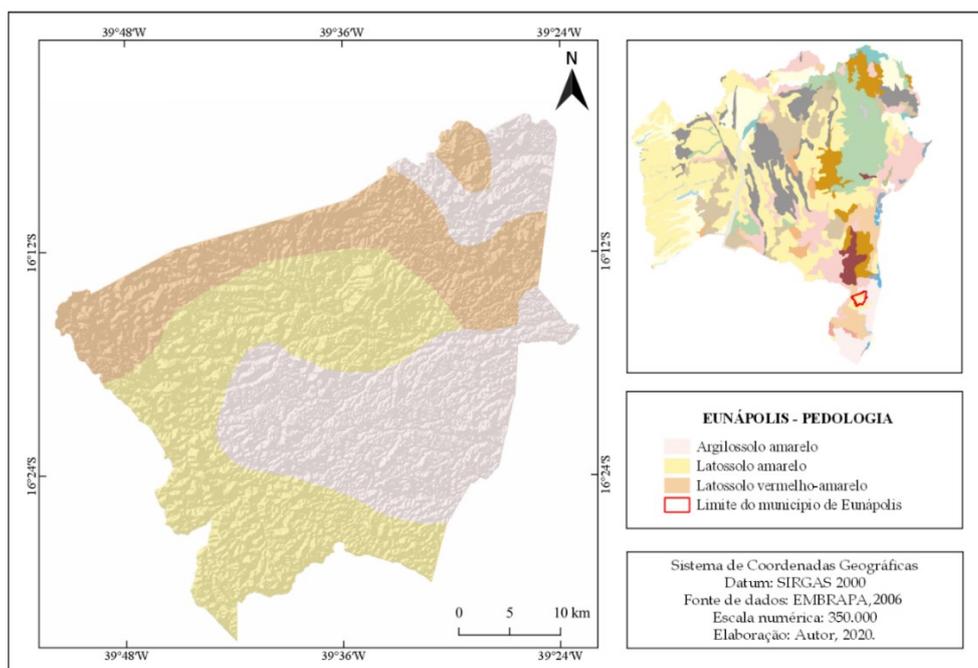
Fonte: Elaborado pelos autores

Solo

O município de Eunápolis apresenta em seu território três tipologias de solos: argilossolo amarelo, latossolo amarelo e latossolo vermelho-amarelo (Figura 5). Os argilossolos amarelos são solos desenvolvidos principalmente de sedimentos do Grupo Barreiras, mas, são também desenvolvidos de rochas cristalinas ou sob influência destas. Esses solos apresentam baixa fertilidade natural e são predominantemente ácidos. Os latossolos amarelos são desenvolvidos de materiais argilosos ou areno-argilosos sedimentares da formação Barreiras na região litorânea do Brasil, apresentam boas condições físicas de retenção de umidade e boa permeabilidade, sendo intensivamente utilizados para agricultura e pastagens. Os latossolos vermelho-amarelos estão associados aos relevos, plano, suave ondulado ou ondulado, são muito utilizados para agropecuária apresentando limitações de ordem química (EMBRAPA, 2020).

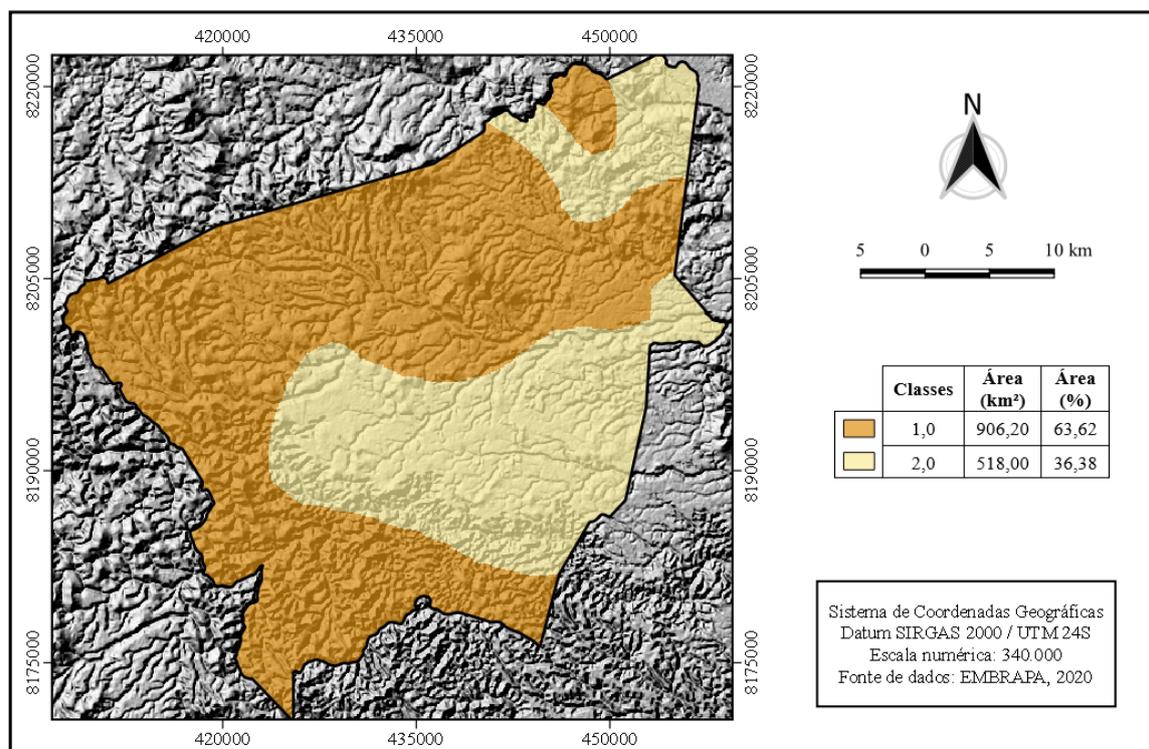
De maneira geral, os solos encontrados no município são bastante intemperizados, profundos, bem drenados, pobres em minerais primários, os quais são fornecedores de nutrientes, e com altos teores de concreções ferruginosas, desenvolvidos principalmente a partir de sedimentos da Formação Barreiras. De acordo com os valores de vulnerabilidade atribuídos na pesquisa (Figura 6), todos os latossolos recebem valor 1,0 e argilossolos valor 2,0 (CREPANI et al., 2001; SPANGHERO, 2018). O mesmo ocorre em relação a outros tipos de solos, variações de um mesmo tipo recebem valores iguais.

Figura 5: Solos predominantes no município de Eunápolis-BA.



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 6: Vulnerabilidade das classes de solos no município de Eunápolis-BA.

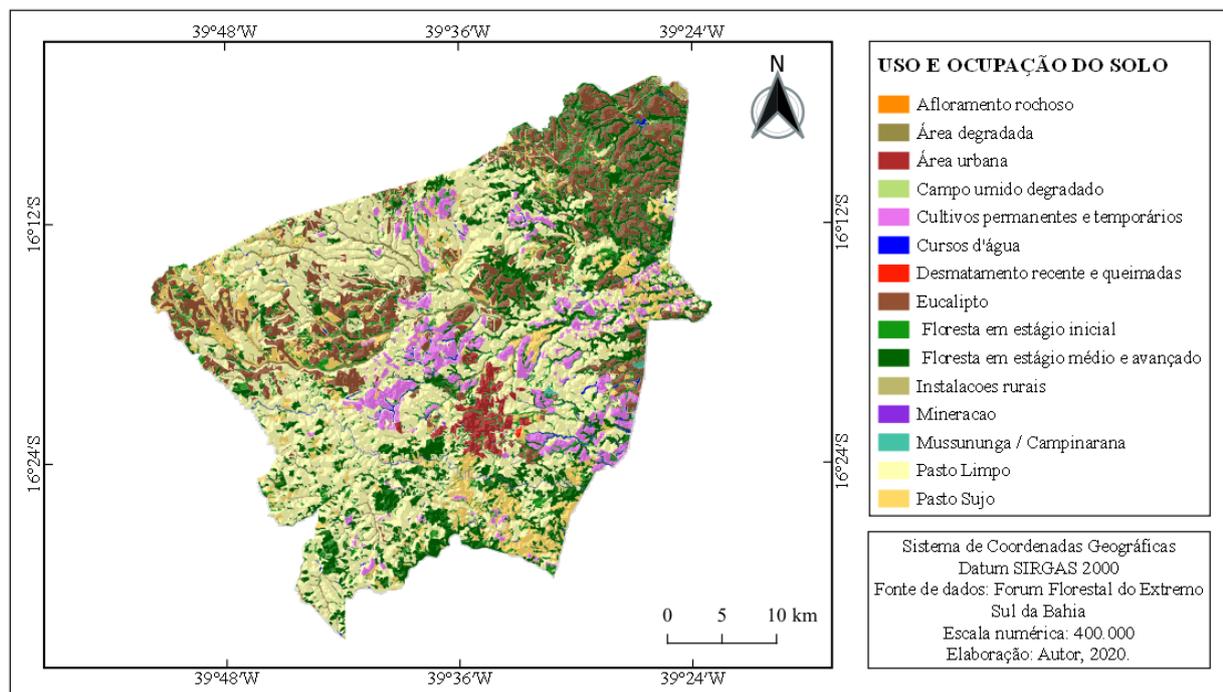


Fonte: Elaborado pelos autores

Uso e ocupação do solo

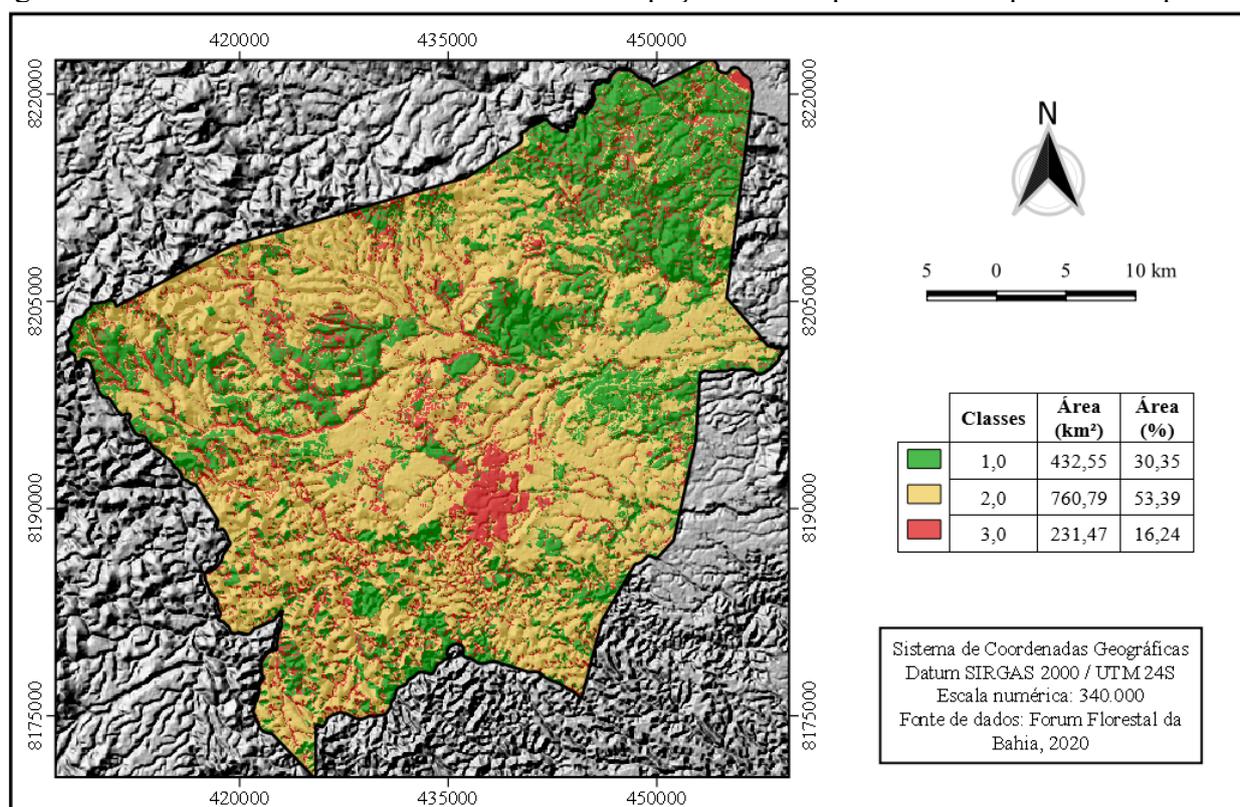
As classes de uso do solo delimitadas neste estudo foram: afloramento rochoso; área degradada; área urbana; campo úmido degradado; cultivos temporários e permanentes; cursos d'água; desmatamento recente e queimadas; eucalipto; floresta em estágio inicial; floresta em estágio médio / avançado; instalações rurais; mineração; mussununga / campinarana; pasto limpo; pasto sujo. Em Eunápolis, as pastagens (pasto limpo e sujo) ocupam as maiores áreas no município, como essas áreas possuem índice de vulnerabilidade intermediário, mais da metade do território possui índice de vulnerabilidade 2,0. As áreas urbanas, áreas degradadas, desmatamentos recentes e queimadas possuem elevado índice de vulnerabilidade e ocupam mais de 16% do território. Já as áreas florestais (estágio inicial, médio e avançado) juntamente com as áreas de silvicultura de eucalipto, ocupam cerca de 30% do território e apresentam baixo índice de vulnerabilidade.

Figura 7. Mapa de uso e ocupação do solo no município de Eunápolis-BA em 2018



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 8: Vulnerabilidade dos diferentes usos e ocupação do solo para o município de Eunápolis-BA



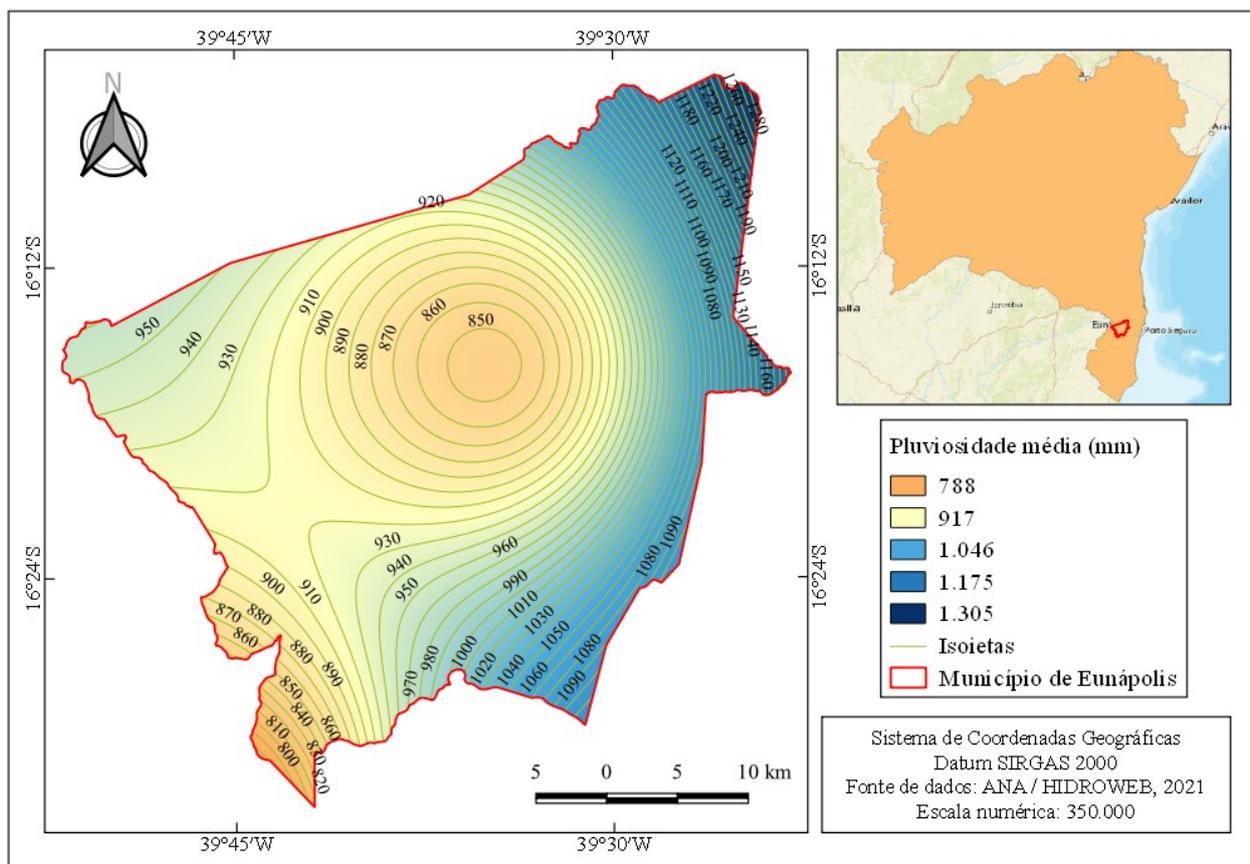
Fonte: Elaborado pelos autores

Clima

A vulnerabilidade aplicada ao tema clima, elaborada com base na série histórica da Agência Nacional das Águas (ANA, 2018) é definida através do valor da intensidade pluviométrica, que é obtida através da divisão do valor da pluviosidade média anual (em mm) pela duração do período chuvoso (em meses). Dessa forma, as áreas de maior intensidade pluviométrica possuem maiores índices de vulnerabilidade.

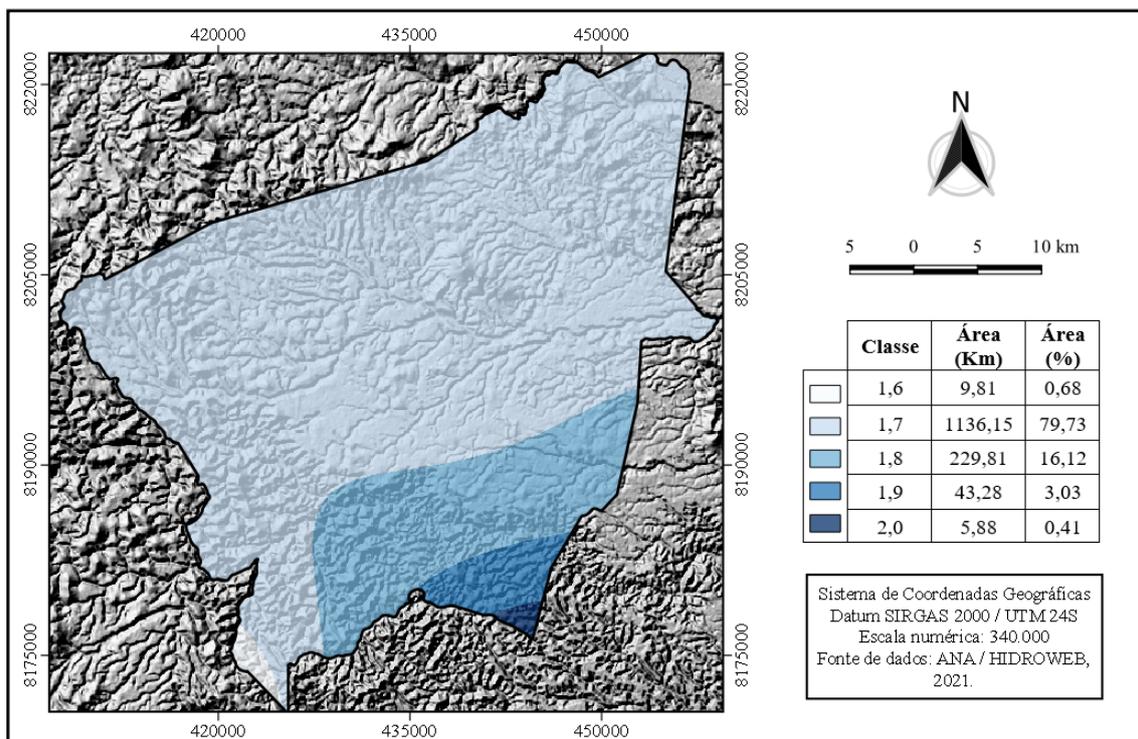
Devido a sua localização geográfica, o município de Eunápolis encontra-se em uma área com regular distribuição de chuvas, com índice de vulnerabilidade que varia de 1,6 a 2,0. Para construção da variável clima, foram levados em consideração os dados de cinco estações pluviométricas e, mesmo com valores próximos de precipitação, os resultados obtidos demonstram que na porção sul do município encontram-se as áreas com maiores índices de vulnerabilidade (Figuras 9 e 10).

Figura 9: Mapa de isoietas do município de Eunápolis-BA



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 10: Vulnerabilidade relacionada a intensidade pluviométrica para o município de Eunápolis-BA.



Fonte: Elaborado pelos autores

Geomorfologia

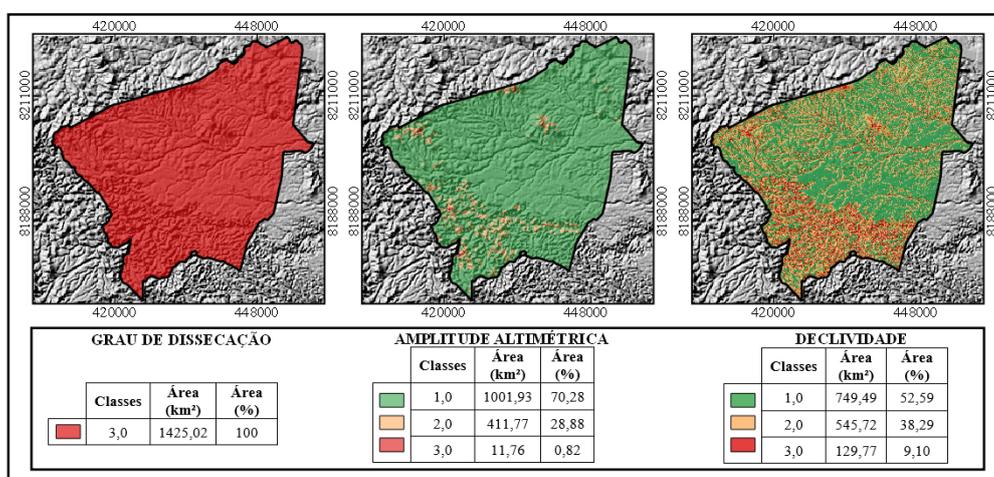
Os mapas dessa categoria foram gerados a partir de imagens de satélite Alos Palsar, que possui uma resolução espacial de 12,5 m. As imagens foram obtidas por meio do acesso à página da *Alaska Satellite Facility's*, tendo sido delimitada a área de estudos para posterior realização do download das respectivas cartas.

Para criação do mapa geomorfológico, foram utilizados como base os índices morfométricos do terreno: dissecação do relevo pela drenagem, amplitude altimétrica e declividade (Figura 11). A variável morfométrica dissecação do relevo, leva em consideração o tamanho dos interflúvios, como em Eunápolis as rochas são porosas e os solos mais permeáveis, os interflúvios são menores, apresentando, assim, maior intensidade de dissecação. A amplitude altimétrica do relevo é representada pelo grau de entalhamento dos vales e gerada através da diferença entre os pontos mais altos e mais baixos. No município, a diferença entre esses pontos é pequena, fazendo com que cerca de 70% do território apresente baixo índice de vulnerabilidade. O termo declividade refere-se à inclinação do relevo em relação ao horizonte, mesmo encontrando correspondência em diferentes

espaços no território, em Eunápolis, as áreas de maior declividade estão concentradas nas porções sul e sudoeste do município.

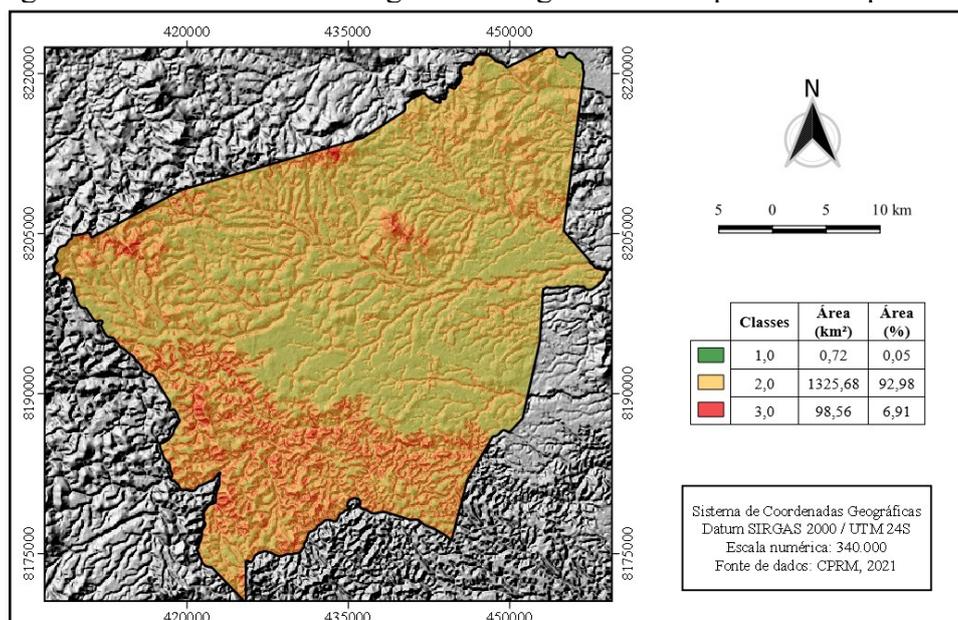
O mapa de vulnerabilidade da geomorfologia (Figura 12) foi criado através da associação dos mapas do grau de dissecação, amplitude altimétrica e declividade. O seu resultado, demonstra que aproximadamente 93% do território possui vulnerabilidade intermediária e cerca de 7% possui alta vulnerabilidade.

Figura 11: Definição do índice de vulnerabilidade da geomorfologia através da composição dos índices morfométricos do terreno: dissecação do relevo pela drenagem, amplitude altimétrica e declividade.



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 12: Vulnerabilidade da geomorfologia no município de Eunápolis-BA.

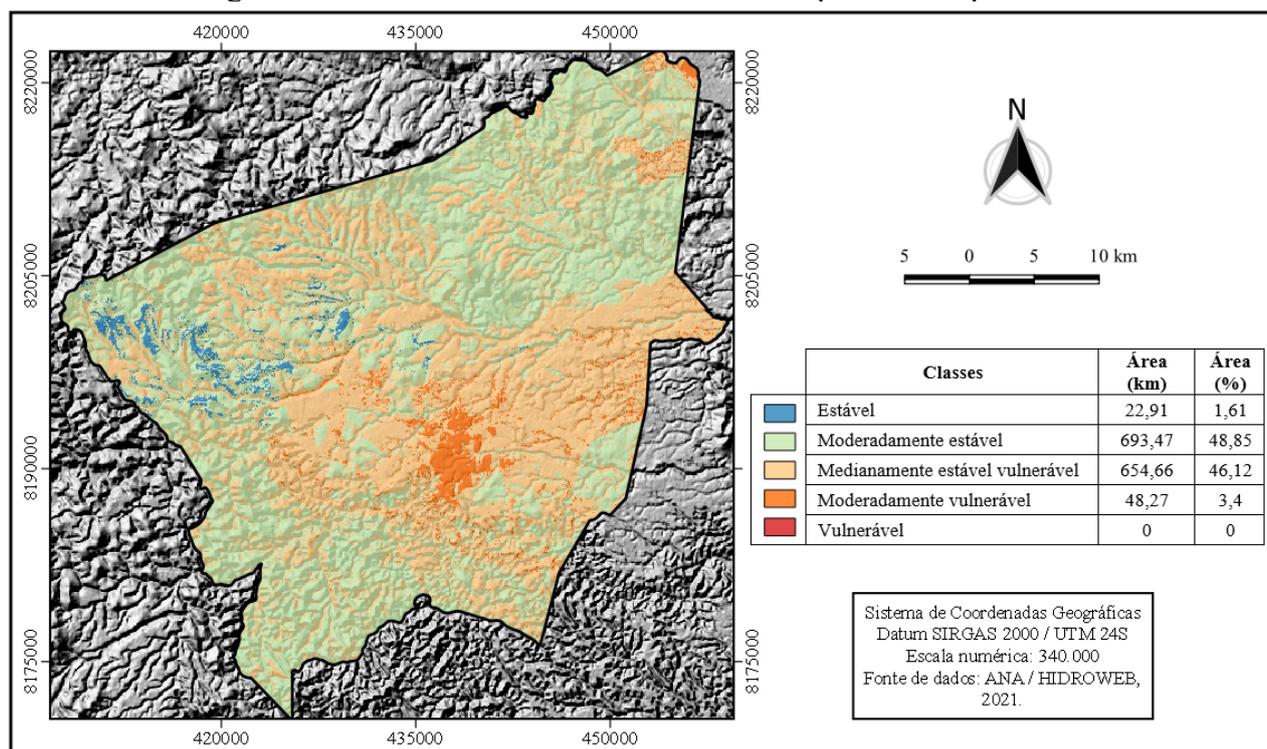


Fonte: Elaborado pelos autores

Vulnerabilidade ambiental

A partir da vulnerabilidade de cada tema foi produzido o mapa de vulnerabilidade ambiental final para o município de Eunápolis em 5 classes agrupados em área e porcentagem de acordo com o intervalo de classes em: estável (1,0 – 1,4), moderadamente estável (1,4 – 1,8), medianamente estável vulnerável (1,8 – 2,2), moderadamente vulnerável (2,2 – 2,6) e vulnerável (2,6 – 3,0).

Figura 13. Vulnerabilidade ambiental do município de Eunápolis-BA



Fonte: Elaborado pelos autores

A análise do mapa mostrou que 94,97% do território encontra-se em área moderadamente estável ou medianamente estável vulnerável, tendo variação de 1,4 a 2,2 de acordo com a escala de vulnerabilidade proposta. Além disso, a pesquisa demonstrou que não existem áreas denominadas vulneráveis, ou seja, com vulnerabilidade acima de 2,6. Entretanto, 3,4% do território encontra-se em área moderadamente vulnerável, o que sinaliza um alerta para as políticas de gestão municipal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A espacialização das classes de vulnerabilidade ambiental em Eunápolis mostrou que a região que corresponde a área urbana do município, apesar de apresentar pluviosidade mediana, baixa declividade e baixa amplitude altimétrica, apresentou os maiores índices de vulnerabilidade dentre as

outras áreas analisadas. Isso ocorreu não somente por conta da vulnerabilidade verificada no uso e ocupação do solo, mas também por que nessa área é possível encontrar o argissolo amarelo, solo menos estável e mais vulnerável, além de feições litológicas com elevado grau de vulnerabilidade, como silte, cascalho e argila.

As áreas menos vulneráveis em Eunápolis estão localizadas na porção noroeste do município, porém, representam apenas 1,61% da área total. Essa estabilidade ocorre por conta da associação dos diferentes elementos analisados. Nessa área, há o predomínio do latossolo, um solo mais estável e evoluído. Além disso, a menor declividade e a presença de remanescentes florestais contribuem para o baixo índice de vulnerabilidade na região.

Um estudo como este, se torna importante na medida em que possa ser utilizado como um norteador das políticas de gestão identificando espacialmente as áreas mais vulneráveis e guiando a alocação de recursos. Dessa forma, através da formulação e implementação de políticas públicas mais adequadas é possível fazer com que o desenvolvimento econômico e social ocorra em consonância com a preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. F.; SILVA, J. B. L.; NEVES, F. M. Vulnerabilidade Ambiental do Município de Teixeira de Freitas – BA. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.13, n.04, p. 1587-1609, 2020. Disponível em: [file:///C:/Users/ADM/Downloads/243912-175159-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ADM/Downloads/243912-175159-1-PB%20(1).pdf). Acesso em: 28 jan. 2021.

ALOS PALSAR. 2011. **Imagens de Altimetria**. Resolução Espacial 12,5 m (raster). Disponível em: <<https://search.asf.alaska.edu/#/>>. Acesso em: 15 fev. 2021.

AQUINO, A. R. de; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. de (Org.). **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017. 112.

CREPANI, E., MEDEIROS, J. D., 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**. INPE, São José dos Campos.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006. **Mapa de Solos Brasileiros**. Escala 1:5.000.000 (shapefile). Disponível em: http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3ABrasil_solos_5m_20201104. Acesso em: 04 dez. 2020.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2020. **Solos Brasileiros**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>. Acesso em: 15 out. 2020.

FIGUEIREDO, M. C. B., TEIXEIRA, A. S., ARAÚJO, L. F. P., ROSA, M. F., PAULINO, W. D., MOTA, S., ARAÚJO, J. C., 2007. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Engenharia Sanitária e Ambiental** [online] 12(4), 399-409. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/f79cyd4q9VpyCzTLhgFkfVR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 fev. 2021.

FÓRUM FLORESTAL DO EXTREMO SUL DA BAHIA, 2018. **Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Município de Eunápolis-BA**. Escala: 1: 25.000, (shapefile). Fórum Florestal Regional. Diálogos Florestais do Extremo Sul da Bahia.

GUERRA, A.J.T. E CUNHA, S.B. **Geomorfologia e meio ambiente** (Orgs.). 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/25089-censo-1991-6.html?=&t=downloads>. Acesso em: 15 mai. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **IBGE cidades 2021**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/eunapolis/panorama> > <http://www.censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 18 out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. 2020. **Malha Territorial 2020**. Disponível em: <http://ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15774malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 04 dez. 2020.

LIMA, J. S. **Estudo integrado da paisagem, geomorfologia e geotecnologias**: proposta de automatização dos índices de dissecação do relevo. Monografia (Bacharelado em Geografia). Salvador, UFBA, 2018. Disponível em: http://www.geografia.ufba.br/TCC_Juarez_Souza_Lima_2018_1.pdf. Acesso em: 04 dez. 2020.

RIBEIRO, A., MINCATO, R., CURI, N., KAWAKUBO, F., 2016. Vulnerabilidade Ambiental à Erosão Hídrica em uma Sub-Bacia Hidrográfica pelo Processo Analítico Hierárquico. **Revista Brasileira de Geografia Física** [online] 9(1), 16-31. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/view/232956/26925>. Acesso em: 04 dez. 2021.

SANTOS, R. F. (org.) **Vulnerabilidade Ambiental desastres naturais ou fenômenos induzidos**. MMA, Brasília, 2007.

SANTOS, L. A., SOUSA, T. M., LIMA, I. M. M. F. Hydrogeomorphological characterization of the riacho Riachão do Natal River Basin, Piauí, Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.11, n.01, p.357-370, 2018. Disponível em: <file:///C:/Users/ADM/Downloads/234177-112707-1-PB.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2021.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. CPRM. 2003. **Cartas Geológicas**. Escala 1:1.000.000 (shapefile). Disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso em: 04 dez. 2020.

SOUZA, S. O. **Vulnerabilidade Ambiental da Planície Costeira da de Caravelas**: Uma Proposta Geossistêmica. Dissertação (Mestrado). Vitória, UFES, 2013.

SPANGHERO, P. E. S. F. **Proposta de zoneamento geoambiental do município de Alcobaça-BA**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas, São Paulo, 2018.

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