

Proposta Metodológica de Avaliação da Suscetibilidade à Degradação Ambiental

Methodological proposal for evaluation of susceptibility to environmental degradation

*Erickson Melo de Albuquerque*¹

*Eduardo Rodrigues Viana de Lima*²

*Maria de Fátima Barroso de Sousa*³

Palavras-chave:

Análise ambiental
Geoprocessamento
Recursos naturais
Uso e ocupação da terra

Resumo

O uso e ocupação da terra é um tema de pesquisa que contribui para a análise das dinâmicas existentes no território, refletidas nas relações entre a sociedade e a natureza que modificam a paisagem. Nessas relações estão intrincados fatores ambientais, espaciais, culturais e socioeconômicos que integram o meio ambiente do ponto de vista sistêmico, desempenham funções e realizam atividades capazes de manter ou perturbar o equilíbrio natural do ambiente. Desse modo, conhecer os limites dos sistemas ambientais é uma forma de conviver racionalmente com a exploração de recursos naturais para o desenvolvimento das diversas atividades humanas. Por isso, o objetivo deste trabalho foi propor uma metodologia para avaliar o grau de suscetibilidade à degradação ambiental na Região Geográfica Imediata de Princesa Isabel (RGIPI), que se localiza no semiárido paraibano, utilizando técnicas de geoprocessamento. No sistema de informações geográficas foram integrados dados de geologia, pedologia, geomorfologia, pluviosidade, cobertura vegetal e uso e ocupação da terra para computar o Índice Biofísico de Suscetibilidade à Degradação Ambiental (IBSDA) da RGIPI. Os fatores analisados se mostraram mais frágeis nas zonas rurais, por fatores naturais, do que nas zonas urbanas, onde há atividades antrópicas mais intensas, e o IBSDA encontrado variou de baixo a alto, especialmente nas sedes municipais, indicando que a região, mesmo sendo pouco desenvolvida, tem a oportunidade de planejar o ambiente para um futuro com exploração sustentável.

Keywords

Environmental analysis
Geoprocessing
Natural resources
Land use and occupation

Abstract

Land use and occupation is a research theme that contributes to the analysis of the territory dynamics, reflected in the relationships between society and nature that modify the landscape. These relationships include environmental, spatial, cultural, and socioeconomic factors that integrate the environment from a systemic point of view and perform functions and activities capable of maintaining or disturbing the natural balance of the environment. Thus, knowing the limits of environmental systems is a way to live rationally with the exploitation of natural resources for the development of the various human activities. Therefore, this study aimed to propose a method to assess the degree of susceptibility to environmental degradation, using geoprocessing techniques, in the Immediate Geographical Region of "Princesa Isabel" (IGRPI), located in the semi-arid region of Paraíba. Geology, pedology, geomorphology, rainfall, vegetation cover, and land use and occupation data were integrated into the Geographic Information System to compute the Biophysical Index of Susceptibility to Environmental Degradation (BISED) in the IGRPI. The analyzed factors were more fragile in rural areas because of natural factors, since in urban areas there are more intense anthropogenic activities, and the BISED ranged from low to high, especially in municipal seats, indicating that the region, even being little developed, has the opportunity to plan the environment for a future with sustainable exploitation.

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB, Princesa Isabel, IFPB, Brasil. erickson.melo@gmail.com

² Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, PB, Brasil. eduvianalima@gmail.com

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB, Princesa Isabel, IFPB, Brasil. fatimasolza@outlook.com

INTRODUÇÃO

O uso e ocupação da terra é um tema de pesquisa da geografia que contribui para análises precisas do espaço e dos processos social, econômico, cultural, político e ambiental de um território, e que foi construído ao longo das diferentes fases do pensamento geográfico, destacando-se: os conceitos de área e integração formulados por Hartshorne na chamada escola corológica, no início do século XX; a revolução quantitativa na geografia no pós Segunda Guerra Mundial, que evoluíram o estudo do espaço na direção da delimitação conceitual e geométrica dos espaços e diferenciação das áreas, de acordo com a integração de elementos heterogêneos da superfície terrestre, contribuindo fortemente para o surgimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e de técnicas que melhoraram o processo de produção de mapas e de análises da dinâmica no uso e ocupação da terra; e a geografia pós-moderna, que deriva da geografia radical e busca discutir a produção do meio social a partir das relações espaciais (IBGE, 2013).

Entendendo-se que o uso e ocupação da terra é apreendido a partir dos elementos que constituem a paisagem, essa pode ser compreendida como uma síntese dos aspectos e processos físicos e sociais de um território, e estudada a partir de uma abordagem sistêmica, possibilitando analisá-la a partir da integração dos seus componentes. As variáveis que estruturam a paisagem e formam os subsistemas biogeofísicos são passíveis de diagnóstico, conferem um caráter interdisciplinar à análise ambiental que busca compreender a interconectividade dessas variáveis, que são intrínsecas aos aspectos geológicos, pedológicos, geomorfológicos, climáticos, fitogeográficos e de uso e ocupação da terra (TEIXEIRA *et al.*, 2021).

Uma possibilidade de análise ambiental se dá sobre a fragilidade do ambiente, que pode ser entendida como a facilidade com que os sistemas ambientais podem ser destruídos ou pouco duráveis à medida que as intervenções humanas se intensificam (fragilidade emergente) ou por processos naturais (fragilidade potencial) (TEIXEIRA *et al.*, 2021; MACEDO *et al.*, 2021).

A intensificação de atividades antrópicas de modo não planejado sobre sistemas ambientais frágeis compromete a estabilidade desses sistemas e esse desequilíbrio desencadeia, por exemplo, processos de degradação ambiental e desertificação, o que compromete a subsistência

da própria comunidade que depende dos recursos naturais. Portanto, avaliar a suscetibilidade à degradação ambiental de um território é produzir informações capazes de subsidiar um planejamento ambiental direcionado para a sustentabilidade nos processos de exploração dos recursos, respeitando os limites ambientais.

Nesse sentido, as geotecnologias se apresentam como um importante recurso técnico e tecnológico para o estudo de fenômenos espaciais, com as vantagens de cobrir grandes escalas geográficas, integrar dados de diferentes disciplinas do conhecimento e automatizar a produção de mapas, que são uma forma de comunicar a informação geográfica.

A avaliação da suscetibilidade à degradação ambiental ou fragilidade ambiental com o uso de produtos de sensoriamento remoto (imagens de satélite e índices de vegetação) e técnicas de análise geoespacial implementadas nos SIG tem sido uma estratégia recorrente na literatura científica (CREPANI *et al.*, 2001; SANTOS *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2021; MACEDO *et al.*, 2021; TEIXEIRA *et al.*, 2021), com destaque para a aplicação da Análise de Processos Hierárquicos (APH), a qual considera múltiplos critérios ponderados pelo grau de contribuição das variáveis aos processos analisados.

Sendo assim, sobretudo no meio rural, é elementar que a exploração dos recursos naturais se traduza em atividades de interferência antrópica para a transformação ou aprofundamento de um espaço geográfico tecnificado, ainda que se apresente com características mais rudimentares do que nos espaços urbanizados, e para a sua sustentabilidade futura é necessário que essas atividades estejam calcadas no respeito aos limites dos sistemas ambientais, especialmente se esse território se apresenta com potencial turístico e almeja o desenvolvimento de atividades turísticas, como é o caso da Região Geográfica Imediata de Princesa Isabel. Portanto, é preciso conhecer quais são esses limites e avaliá-los, de modo que seja possível produzir informações subsidiárias ao planejamento e gestão ambientais, embasando a criação de instrumentos como o zoneamento ambiental.

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi propor uma metodologia para avaliar o grau de suscetibilidade à degradação ambiental na Região Geográfica Imediata de Princesa Isabel baseando-se em indicadores biofísicos espacializados.

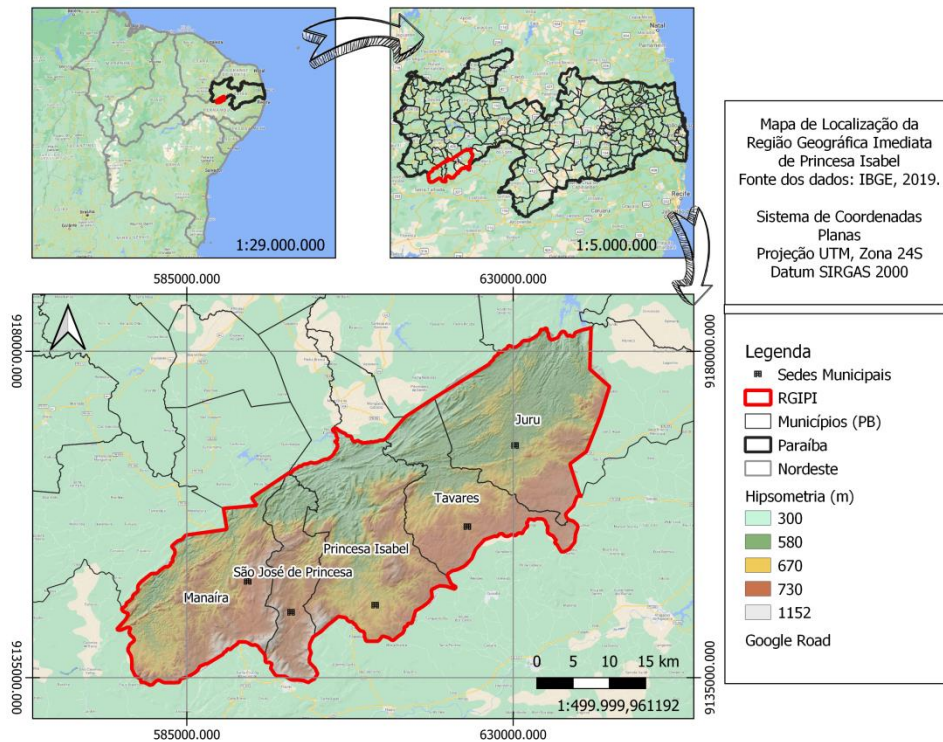
METODOLOGIA

Área de estudos

Na porção sudoeste do estado da Paraíba, inserida na microrregião da Serra de Teixeira, fica localizada a Região Geográfica de Princesa Isabel (RGIPI), que é composta por 5 municípios (do leste para o oeste): Juru, Tavares, Princesa Isabel, São José de Princesa e Manaíra. A sul faz divisa com o estado de Pernambuco e a norte, leste e oeste, limita-se com municípios

paraibanos (Figura 1). A altitude média na RGIPI é de 690 metros, sendo São José de Princesa o município mais alto, com 720 metros. A presença de serras é muito comum na região, que se localiza sobre o planalto da Borborema e atinge temperaturas entre 12°C, na estação chuvosa, e 35°C na estação seca. O regime pluviométrico se caracteriza pelo total anual de aproximadamente 789 mm, distribuídos majoritariamente entre março e julho, típico da região semiárida do Brasil. A vegetação presente na região é predominantemente de pequeno porte, do tipo xerófito, típica do bioma caatinga.

Figura 1 - Localização da Região Geográfica Imediata de Princesa Isabel.



Fonte: Os autores (2021).

Os dados referentes à população total, urbana, rural (IBGE, 2010) e estimada para 2021 (IBGE, 2017), incluindo a densidade

demográfica, e IDHM (PNUD BRASIL *et al.*, 2010) dos municípios da RGIPI podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo de dados sobre população, IDHM e densidade demográfica na RGIPI.

Município	População Total (2010)	População Urbana (2010)	População Rural (2010)	População Total Estimada (2021)	Densidade Demográfica (2010)	IDHM (2010)
Juru	9.826	4.359	5.467	9.831	24,57	0,570
Tavares	14.759	6.616	7.487	14.791	59,42	0,586
Princesa Isabel	21.283	14.528	6.755	23.749	57,84	0,606
São José de Princesa	4.219	695	3.524	3.898	26,70	0,565
Manaíra	10.759	6.027	4.732	10.988	30,52	0,543
RGIPI (Total)	60.846	32.2255	27.965	63.257	Média 39,8	0,574

Fonte: IBGE (2010), IBGE (2017) e PNUD Brasil *et al.* (2010).

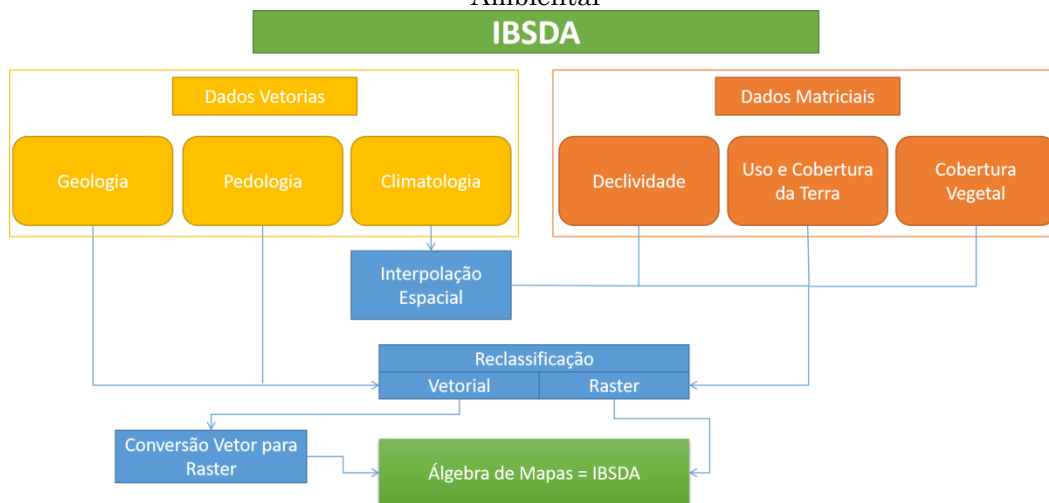
Desses, Princesa Isabel é o mais desenvolvido, o mais populoso e o que possui maior renda per capita (R\$ 334,74) se comparado a Tavares (R\$ 260,75), Juru (R\$ 247,78), Manaíra (R\$ 225,93) e São José de Princesa (R\$ 221,16), sendo, portanto, considerado o polo da região (IBGE, 2010). É interessante observar também que em 2010 os municípios de Juru, Tavares e São José de Princesa possuíam população rural maior que a população urbana, o que indica que a ocupação daquele espaço propicia a predominância no desenvolvimento de atividades relacionadas àquele contexto geográfico, como a agricultura e a criação de animais.

Sobre a ocupação do território, fica evidente as baixíssimas densidades demográficas em todos os municípios, especialmente se comparadas aos municípios mais populosos do estado, como João Pessoa (3.421,28 hab./km²) e Campina Grande (648,31 hab./km²). Além disso, a região é dotada de potencial turístico inexplorado, baseado principalmente em aspectos naturais e históricos.

Metodologia

Para verificar o grau de suscetibilidade à degradação ambiental na RGIPI, propôs-se utilizar uma metodologia combinada a partir daquelas desenvolvidas por Crepani et al. (2001), Oliveira (2011), Franco et al. (2012), Santos et al. (2016), Valle et al. (2016), França et al. (2017) e Silva e Souza (2020). Para isto, fez-se uso de indicadores da geologia (resistência ao intemperismo físico), pedologia (vulnerabilidade à erosão), geomorfologia (declividade do relevo), clima (intensidade pluviométrica), cobertura vegetal (índice de vegetação) e uso e ocupação da terra, os quais receberam pontuações de 1 até 6, do mais leve para o mais grave, de acordo com o seu grau de contribuição para a degradação ambiental. Por fim, foi calculada uma soma simples desses indicadores (Figura 2).

Figura 2 - Fluxograma para a obtenção do Índice Biofísico de Suscetibilidade à Degradação Ambiental



Fonte: Os autores (2021).

Indicador da geologia (litotipos)

Os dados da geologia, cujo tema é a geodiversidade, foram obtidos por meio do GeoSGB, o banco de dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2021). Um dos atributos presentes é a resistência ao intemperismo físico de cada tipo ou conjunto de rochas, sendo as classes existentes na RGIPI: baixa a alta e

moderada a alta. Considerando-se que a alta resistência tem peso 1 na contribuição para a degradação ambiental, a baixa resistência tem peso 5, isto é, maior chance de sofrer degradação. Então, foram calculadas médias simples para representar o peso das classes, resultando no peso 2 para a classe de moderada (3) a alta (1) e peso 3 para a classe de baixa (5) a alta (1) (Quadro 1).

Quadro 1 - Litotipos e os respectivos pesos para o cômputo da suscetibilidade à degradação ambiental.

Litotipos	Resistência ao Intemperismo Físico	Peso
Diorito, Granito, Granodiorito, Monzonito	Moderada a alta	2
Granito, Granito pórfiro	Moderada a alta	2
Álcali-feldspato granito, Quartzo álcali-feldspato sienito	Moderada a alta	2
Metabasalto, Metadacito, Metagabro, Metagrauvaca, Metarriodacito, Metavulcanoclástica, Paragnaisse, Metachert	Baixa a alta	3
Metarritmito, Metagrauvaca, Metachert, Formação ferrífera bandada, Metatufo, Rocha metavulcânica félsica, Xisto carbonítico, Metavulcânica intermediária a mafica, Metavulcanoclástica, Xisto e Filito.	Baixa a alta	3
Migmatito, Metagranito, Metamonzogranito, Metassienito, Metassienogranito	Baixa a alta	3
Rocha metavulcânica máfica, Rocha metavulcânica félsica, Metaconglomerado, Metagrauvaca, Metapiroclástica, Metarenito lítico, Metarritmito	Baixa a alta	3
Metaconglomerado polimítico, Metagrauvaca, Metarenito	Moderada a alta	2

Fonte: Os autores (2021).

Indicador da geomorfologia (declividade)

Os dados da geomorfologia da região estudada foram adquiridos no formato matricial, especificamente do satélite ALOS DEM (ASF Alaska/NASA), que se constitui em um Modelo Digital de Elevação com resolução espacial de 12,5 m, cujos pixels apresentam valores da altitude do relevo. Sobre esses dados foram

aplicadas operações de pré-processamento em SIG, utilizando o QGIS, como o recorte geográfico à área de estudo e a aplicação de filtro para a remoção de pixels ruidosos (algoritmo *fill sinks*); e de processamento, para a obtenção da declividade (em porcentagem) e para a reclassificação dos pixels, atribuindo-lhes os pesos correspondentes, mostrados no Quadro 2.

Quadro 2 - Pesos atribuídos às classes de declividade do relevo.

Relevo	Faixa	Peso
Plano	0 - 3 %	1
Suave ondulado	3 - 8 %	2
Ondulado	8 - 20 %	3
Forte ondulado	20 - 45 %	4
Montanhoso	45 - 75 %	5
Escarpado	> 75%	6

Fonte: Os autores (2021).

A escala adotada tem referência em Embrapa (2018) e considera que quanto mais íngreme o terreno, ou seja, quanto maior a declividade, maior a chance de degradação ambiental, especialmente se combinada com outros fatores, a exemplo da ausência de cobertura vegetal, do tipo de solo ou do tipo de atividade desenvolvida naquele local, como área destinada à pastagem, área desmatada ou destinada à exploração de minérios.

Indicador de clima (intensidade das chuvas)

A pluviometria mensal foi adquirida no portal de dados meteorológicos da Agência Executiva de

Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA, s.d), em formato alfanumérico, disposta em várias planilhas. O período compreendido foi de 2009 a 2019. Não foram identificadas lacunas.

A partir desses dados foi calculada a intensidade pluviométrica mensal incidente na região, sendo essa a divisão entre a média mensal de cada ano, considerando apenas os meses em que a chuva foi superior a 50 mm – considerado por Crepani *et al.* (2001) como um valor mínimo contributivo para a degradação ambiental – e a média anual de precipitação acumulada. Desse modo, nas regiões onde a concentração de chuvas se dá em períodos curtos, a exemplo do semiárido brasileiro, a intensidade de chuvas é maior e proporciona

mais suscetibilidade à degradação ambiental. As classes utilizadas por esses autores foram adaptadas nesta pesquisa à área de estudo, atribuindo-lhe pesos apenas às classes

existentes no conjunto de dados para os municípios da RGIPI, reclassificando-se os valores para o intervalo de 1 a 6 (Quadro 3).

Quadro 3 - Atribuição de pesos à intensidade pluviométrica na RGIPI.

Intensidade Pluviométrica/mês	Peso
< 50 mm	1
50 - 75 mm	2
75 - 100 mm	3
100 - 125 mm	4
125 - 150 mm	5
> 150 mm	6

Fonte: Os autores (2021).

Os valores de intensidade pluviométrica mensal foram incorporados aos dados geográficos dos limites territoriais da RGIPI, por meio de uma junção simples de tabelas, permitindo assim espacializar esse indicador. Em seguida, os dados vetoriais produzidos foram convertidos para o formato matricial, no qual cada pixel continha o peso atribuído à sua respectiva classe de intensidade mensal da chuva.

Indicador de solo (vulnerabilidade à erosão)

Os dados geográficos dos tipos de solo, de estrutura vetorial (polígonos), compatíveis com um nível de detalhamento na escala de 1:5.000.000, produzidos em 2006, foram adquiridos no portal de geociências do IBGE (s.d). O campo contendo o nome dos solos foi observado para identificar e ponderar os diferentes tipos existentes na região (Quadro 4). Tal ponderação foi realizada tomando por base a escala de vulnerabilidade de solos de Crepani et al. (2001), convertendo-se os valores para uma escala de 1 a 5, por meio de regra de três simples.

Quadro 4 - Tipos de solo e seus respectivos pesos de acordo com a sua vulnerabilidade.

Tipo de Solo	Peso
Argissolo Vermelho-Amarelo	3
Luvisolo Crômico	3
Cambissolo Háptico	4
Neossolo Lítico	5

Fonte: Os autores (2021).

No SIG, esses dados, que abrangiam todo o território nacional, foram recortados geograficamente à área de estudos e reclassificados para que cada tipo de solo recebesse o peso correspondente e em seguida foram convertidos para o formato matricial, no qual os pixels continham os valores dos pesos.

Indicador de cobertura vegetal (NDVI)

Os dados de cobertura vegetal foram produzidos computando-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN ou NDVI, do acrônimo em inglês) a partir de imagens do satélite Landsat-8 (NASA), cuja resolução espacial é de 30 m. As imagens foram adquiridas utilizando o Google Earth Engine, por meio de comandos escritos na linguagem de programação JavaScript, e nessa plataforma foi criado um algoritmo para selecionar imagens

das faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo, com percentual de cobertura de nuvens menor que 10%, com correção atmosférica e conversão da radiância para reflectância de superfície já aplicadas, e gerar imagens da mediana de cada pixel do ano de 2019, visando à minimização da influência da sazonalidade, típica do semiárido, sobre o comportamento da vegetação. Por fim, as imagens da mediana foram utilizadas para computar o NDVI.

Os pesos aplicados às classes de cobertura vegetal foram definidos com base em Oliveira (2011), então a imagem do NDVI foi reclassificada para que cada pixel apresentasse o valor do peso seguindo a lógica de que quanto maior a cobertura vegetal, menor a suscetibilidade à degradação ambiental (Quadro 5).

Quadro 5 - Pesos correspondentes aos níveis de cobertura vegetal na região.

NDVI	Cobertura do Solo	Peso
< 0,0	Água	0
0,0 - 0,2	Solo Exposto	5
0,2 - 0,4	Vegetação Arbustiva Baixa	4
0,4 - 0,6	Vegetação Arbustiva Média	3
0,6 - 0,8	Vegetação Arbórea Médio-Alta	2
0,8 - 1,0	Vegetação Arbórea	1

Fonte: Os autores (2021).

Uso e ocupação da terra

O uso e ocupação da terra também foi considerado como fator que contribui para a degradação ambiental. Por meio das imagens classificadas pela plataforma MapBiomias (2019) foram identificadas as classes de uso da terra nos municípios da RGIPI. Ao todo, os produtos

apresentam 6 macro-classes: floresta, formação natural não florestal, agropecuária, área não vegetada, corpo d'água e não observado; então, aplicou-se uma generalização nessas macro-classes para diretamente inclui-las no IBSDA, ou seja, dois grandes grupos foram estabelecidos: ação antrópica e cobertura natural (Quadro 6).

Quadro 6 - Classes e pesos atribuídos ao uso e ocupação da terra

Nova Classe	Macro-Classes	Peso
Ação antrópica	Agropecuária (agricultura e pastagem) e Área não vegetada (infraestrutura urbana).	3
Cobertura natural	Florestas, Formações naturais e Corpos d'água.	0

Fonte: Os autores (2021).

Por fim, foi realizada uma álgebra de mapas no QGIS, por meio da ferramenta raster calculator, alimentada pelos dados matriciais resultantes do processamento de cada indicador e calculada a soma simples como representativa do IBSDA, conforme a Equação 1. O valor mínimo possível para esse índice na RGIPI foi 7 e o máximo, 28.

$$IBSDA = \sum_{i=1}^{n=6} Indicador_i$$

(Eq. 1)

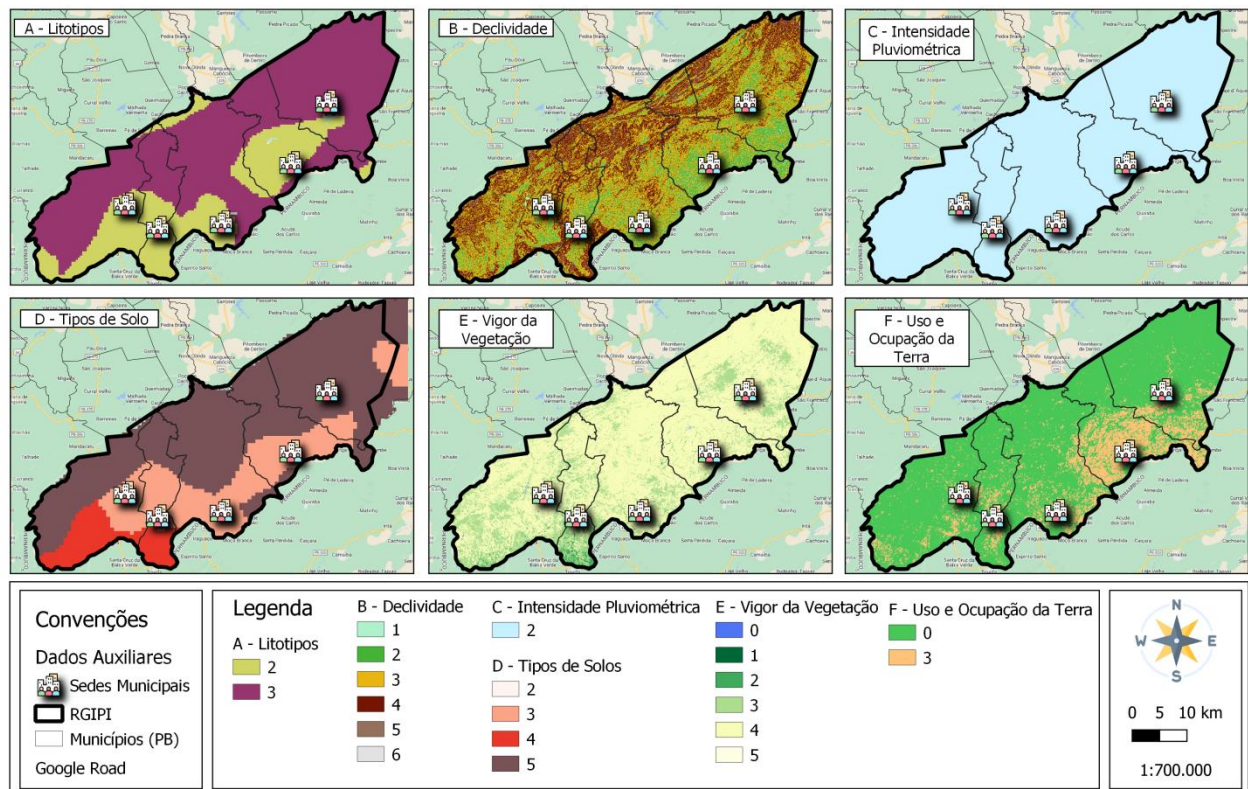
Em que: Indicador 1 = litotipo; Indicador 2 = declividade; Indicador 3 = intensidade

de chuva; Indicador 4 = vulnerabilidade do solo à erosão; Indicador 5 = cobertura vegetal; Indicador 6 = uso da terra; n = número de indicadores, igual a 6.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas temáticos de litotipos, declividade do relevo, intensidade pluviométrica, tipos de solo, vigor da vegetação e uso e ocupação da terra (Figura 3) fornecem uma visão espacial da variabilidade dessas variáveis na RGIPI.

Figura 3 - Contribuição das variáveis biofísicas à suscetibilidade à degradação ambiental



Fonte: Os autores (2021).

Da maneira como os mapas estão postos no Mapa 2 é possível analisá-los separadamente por variável, mas também fazendo associações entre mapas, e por localidade, identificando previamente os municípios com maior suscetibilidade à degradação ambiental a partir dos valores das variáveis reclassificadas apresentados nas legendas (quanto maior o valor, maior a sua contribuição).

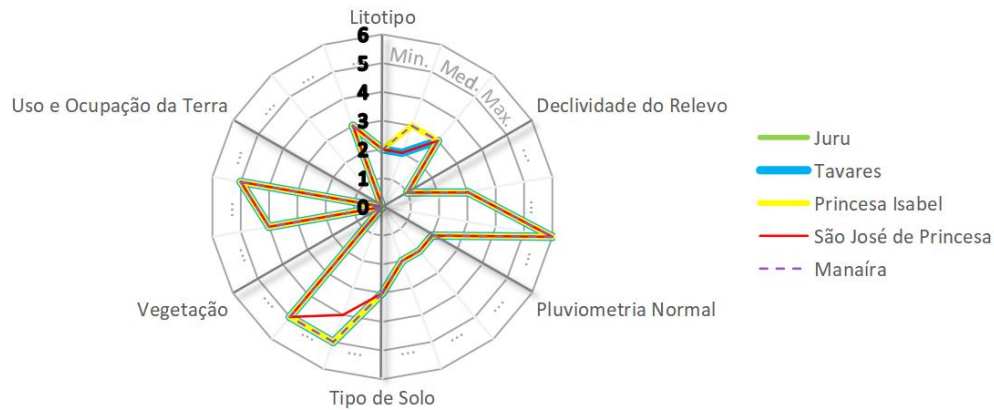
Com relação aos litotipos, percebe-se que predomina na RGIPI a ocorrência de rochas com resistência 'baixa a alta' ao intemperismo físico (valor 3), sobretudo na zona rural dos municípios. Sob as sedes municipais há a ocorrência de rochas menos suscetíveis à degradação ambiental (valor 2), à exceção de Juru. O relevo se apresenta com declividades mais altas (valores 4 e 5) na extensão de oeste a nordeste e nas divisas com o estado de Pernambuco, ou seja, predominantemente na zona rural.

Nas sedes municipais o relevo se apresenta

mais próximo de plano e, portanto, menos suscetível à degradação ambiental nesse aspecto. Cabe destacar que nessa mesma faixa o tipo de solo presente possui alta suscetibilidade à degradação ambiental (valor 5) e que no município de Tavares a visível extensiva faixa de terra com uso e ocupação por interferência antrópica se localiza sobre os aspectos litológicos, geomorfológicos e pedológicos de baixa suscetibilidade à degradação. Sobre a intensidade pluviométrica, toda a região apresenta incidência homogênea de chuvas, em média entre 50 e 75 mm/mês.

Quantitativamente os municípios da RGIPI apresentaram comportamento semelhante com relação aos parâmetros de valores mínimos, máximo e mediana para todas as variáveis (Figura 4), mas é importante ressaltar que com relação aos litotipos e tipos de solo, Tavares e São José de Princesa apresentaram menor suscetibilidade à degradação ambiental do que os demais municípios estudados.

Figura 4 - Apresentação dos indicadores de suscetibilidade à degradação ambiental por município.



Fonte: Os autores (2021).

A mediana das variáveis indica homogeneidade na região, mas as ocorrências distribuídas no espaço revelam a variabilidade espacial dessas variáveis, que é importante para se perceber onde estão as zonas que precisam de maior atenção com relação à conservação ambiental. De maneira geral, as variáveis analisadas mostram que os tipos de rocha e de solos juntamente com a declividade foram os fatores que alcançaram os maiores pesos dentre as possibilidades de ocorrência na RGIPI.

As áreas com cobertura natural (uso e cobertura da terra de valor 0), em sua maioria, se sobrepõem às ocorrências de solo, rocha e declividade com os maiores pesos. Portanto, nesses locais não foram encontradas ações de intervenção antrópica significativas no ambiente e a existência de algum processo de degradação ambiental pode ser considerado natural (degradação ambiental potencial) (MACEDO et al., 2021). No município de Juru a proporção de cobertura da terra com fatores naturais que propiciam maior suscetibilidade à degradação ambiental é visivelmente maior do que nos demais municípios da RGIPI.

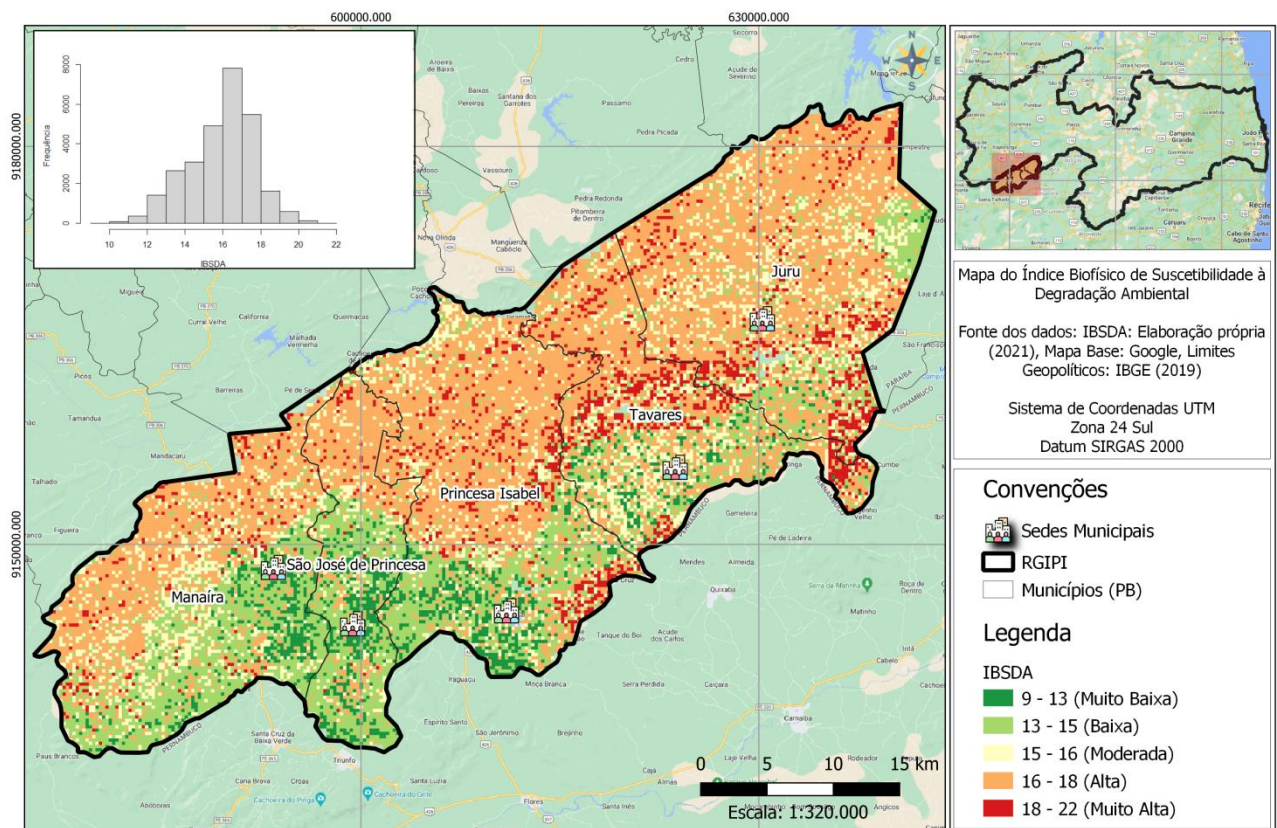
No entanto, essa degradação potencial oscila de acordo com a intensidade pluviométrica concentrada em poucos meses do ano, característica da região semiárida do Brasil, e a resposta fisiológica da vegetação típica da caatinga às chuvas. Esses fatores atenuam a degradação na estação seca, uma vez que a escassez de chuvas evita os impactos da incidência das gotículas nos ambientes mais frágeis, ao mesmo tempo em que a vegetação armazena água internamente para sobreviver

ao período, e intensifica a degradação ambiental no início da estação chuvosa, enquanto a cobertura vegetal se revigora e oferece proteção ao solo, seguindo-se um ciclo de equilíbrio ecológico.

Por sua vez, as áreas identificadas com usos antrópicos se mostraram majoritariamente sobrepostas às áreas com os menores pesos das demais variáveis. Os espaços destinados à infraestrutura urbana, à agricultura e à pastagem, por exemplo, estão localizados sobre rochas com alta a moderada resistência ao intemperismo físico, de relevo plano ou suave ondulado e sobre um tipo de solo com baixa vulnerabilidade à erosão. O monitoramento dessas atividades se faz importante, dentre outros motivos, para prevenir que a sua expansão afete o equilíbrio ecológico natural mencionado anteriormente.

À exceção do município de Juru, o IBSDA apresentado no Mapa 3 corrobora a análise de que as zonas rurais dos municípios da RGIPI possuem maior suscetibilidade à degradação ambiental do que as zonas urbanas (Figura 5). Entretanto, essa suscetibilidade variou, em sua maioria, entre os graus 'moderado a alto' na região, mas indicando uma exploração incipiente dos recursos naturais onde há urbanização e maior intensidade de atividades antrópicas, apresentando assim maior resistência natural à degradação ambiental e oportunizando a utilização de instrumentos de gestão ambiental para prevenir futuros impactos que venham a ser causados durante o processo de evolução temporal no uso e ocupação da terra.

Figura 5 - Índice Biofísico de Suscetibilidade à Degradação Ambiental na Região Geográfica Imediata de Princesa Isabel



Fonte: Os autores (2021).

Por outro lado, a degradação ambiental natural verificada sobretudo na zona rural dos municípios demanda que aquelas áreas recebam uma análise e atenção mais cuidadosas. Por se tratarem de áreas declivosas, com vegetação sensível ao clima e com muito pouca atividade antrópica, a conservação dos seus elementos (biótico, como a fauna e a flora, e abióticos, como as rochas) deve perpassar pela instalação de unidades legais para o controle dos impactos naturais - servindo os presentes dados para subsidiar um zoneamento ambiental na região -, se for perceptível a existência de um desequilíbrio dinâmico ao longo do tempo, que pode ser detectado por meio de um monitoramento frequente.

Os valores de IBSDA variaram de 9 a 22 na RGIPI, não atingindo nem o mínimo (7) nem o máximo possível (28). A menor mediana (15) foi encontrada em São José de Princesa, sendo, portanto, o município com menor suscetibilidade à degradação ambiental na região, seguido por Manaíra (16), enquanto Juru, Tavares e Princesa Isabel apresentaram a maior mediana, 17.

Conforme se percebe no histograma presente no Mapa 3, o pico na região foi de suscetibilidade alta à degradação ambiental. No entanto, os

municípios de Tavares e Juru apresentaram situações mais críticas de suscetibilidade relacionada a atividades antrópicas, de grau muito alto.

CONCLUSÕES

Diante do exposto, é possível concluir que a integração de fatores ambientais utilizando um SIG fomenta uma análise geoespacial valiosa para a identificação e monitoramento da suscetibilidade à degradação ambiental e constitui uma metodologia voltada para a avaliação da suscetibilidade à degradação ambiental, como também para a produção de informações que são fundamentais para o planejamento e gestão ambientais, sobretudo na perseguição da sustentabilidade. Isto permite a afirmação de que o objetivo da pesquisa foi alcançado.

A RGIPI apresenta um baixo desenvolvimento humano e econômico, o que dificulta o acesso a instrumentos de intensificação da exploração dos recursos naturais, de modernização da agricultura e expansão das fronteiras agropecuárias e do

crescimento acelerado das áreas urbanizadas. Isso tudo contribui significativamente para estagnar a degradação ambiental na região, embora também não se traduza diretamente em melhoria da qualidade de vida da população pela industrialização incipiente na região.

Entretanto, o monitoramento e o controle das atividades antrópicas, que elevam o potencial da degradação ambiental emergente, se fazem fundamentais, especialmente com relação à expansão futura das cidades e considerando que se trata de uma região alvo da seca, fenômeno que tem a capacidade de agudizar esse tipo de degradação pelo desencadeamento e potencialização de problemas socioespaciais.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal da Paraíba pela oportunidade do desenvolvimento deste trabalho mediante o compartilhamento de conhecimento e estrutura; ao IFPB Campus Princesa Isabel, pelo apoio financeiro e material.

FINANCIAMENTO

O IFPB Campus Princesa Isabel destinou o valor de R\$ 3.000,00 para a aquisição de materiais de consumo e R\$ 3.600,00 para o pagamento de bolsa de pesquisa à discente bolsista.

REFERÊNCIAS

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. AESA-Website: Meteorologia - Chuvas, s.d. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>. Acesso em: 18 out. 2022.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. GEOSGB: dados, informações e produtos do serviço geológico do Brasil, 2021. Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/>. Acesso em: 18 out. 2022.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de.; HERNANDES FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. Online. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://sap.cst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf>
- f. Acesso em: 18 out. 2022.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed. rev. e ampl. - Brasília: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1107206/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 18 out. 2022.
- FRANCO, G. B.; BETIM, L. S.; MARQUES, E. A. G.; GOMES, R. L.; CHAGAS, C. da S. Relação da qualidade da água e fragilidade ambiental na Bacia do Rio Almada, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 42, s. 1, p. 114-127. Online, 2012. <http://dx.doi.org/10.5327/Z0375-75362012000500010>.
- FRANÇA, L. C. J.; PIUZANA, D.; ROSS, J. L. S. Fragilidade ambiental potencial e emergente em núcleo de desertificação no semiárido brasileiro (Gilbués, Piauí). **Revista Espacios**. v. 38, n. 31, p. 21. Online, 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n31/a17v38n31p21.pdf>. Acesso em: 18 out. 2022.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Portal de Geociências: Solos 1:5.000.000 | Solos - 1:5.000.000, s.d. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/15829-solos.html?=&t=downloads>. Acesso em: 18 out. 2022.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico. Online: 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 18 out. 2022.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Paraíba - limites municipais - 2019. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 1 dado geográfico vetorial, formato *shapefile*. Escala: 1:250.000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/download-s-geociencias.html>. Acesso em: 10. mar. 2023.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manuais técnicos em geociências: manual técnico de uso da terra. n. 7, 3ª ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 18 out. 2022.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE Cidades, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 18 out. 2022.
- MACEDO, M. A.; RIBEIRO, A. J. A.; SILVA, M. L. G. da. Diagnóstico da fragilidade física de Parque Natural utilizando ferramentas de geoprocessamento. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 14, n. 4, p. 2059-2070. Online, 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p2059-2070>

- MAPBIOMAS. MapBiomias Brasil, 2019. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 18 out. 2022.
- OLIVEIRA, V. P. V. de. Indicadores biofísicos de desertificação, Cabo Verde/África. **Mercator. Fortaleza**, v. 10, n. 22, p.147-168, 2011. <https://doi.org/10.4215/RM2011.1022.0010>
- PNUD BRASIL; IPEA; FJP. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. 2010. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- SANTOS, F.A.; PACIÊNCIA, L. G. M.; MENDES, J. M.; AQUINO, C. M. S. Indicadores biofísicos de degradação ambiental no Parque Nacional de Sete Cidades, Nordeste do Brasil. **REGNE**. v. 2, n. Especial, p. 670-680. Online, 2016. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10515>
- SANTOS, A. P. dos; SANTIL, F. L. de P.; OLIVEIRA, P. S. de.; ROVEDA, J. A. F. Utilização da Lógica Fuzzy como suporte ao Zoneamento Ambiental: um estudo de caso em Paracatu – MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 14, n. 4, p. 2352-2368. Online, 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p2352-2368>
- SILVA, L. F. da; SOUZA, B. I. de. Fragilidade ambiental na APA das Onças, município de São João do Tigre - PB no semiárido brasileiro. **Revista Continentes (UFRRJ)**. a. 9, n. 2017, p. 120-148, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://www.revistacontinentes.com.br/index.php/continentes/article/view/269/228>. Acesso em: 18 out. 2022.
- TEIXEIRA, T. M. de A.; OLIVERIRA, V. P. V. de; TEIXEIRA, A. C. de O. Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio São João de Tiba, Extremo Sul da Bahia. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 14, n. 4, p. 1941-1956. Online, 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p1941-1956>
- VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. K. Mapeamento da fragilidade ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e ambiente**. v. 23, n. 2, p. 295-308. Online, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.107714>.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Eduardo Rodrigues Viana de Lima orientou a metodologia adotada, idealizou a exploração do tema por diferentes pontos de vista e também colaborou na revisão do texto. Erickson Melo de Albuquerque analisou e selecionou as técnicas e ferramentas adequadas ao estudo e redigiu o texto inicial. Maria de Fátima Barroso de Sousa operacionalizou a obtenção e processamento de dados geográficos e a elaboração de mapas, e contribuiu com a redação do texto.



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