



Modelagem geoambiental da vulnerabilidade à desertificação em municípios do Agreste Pernambucano

Geoenvironmental modeling of vulnerability to desertification in municipalities in Agreste Pernambucano

Fernanda Barboza Leal¹, Joás Tomaz Aquino¹, Jamille Gonçalves Araújo¹, Ioná Beltrão Barbosa¹

¹ Instituto Federal de Pernambuco - IFPE Campus Recife, Pernambuco, Brasil

Contato: fernandaclaudiab@gmail.com

Palavras-Chave

desertificação
agreste pernambucano
geoprocessamento
multicritério

RESUMO

A desertificação é um processo que provoca o empobrecimento dos solos, estando atrelado a fatores climáticos e antrópicos, o qual promove a sua suscetibilidade quanto às suas funcionalidades, sendo intensificado em regiões áridas e semiáridas, com balanço hídrico negativo, como é o exemplo do Alto Capibaribe, situado no Agreste pernambucano. Nessas primícias, o presente trabalho teve como objetivo delinear uma análise multicritério utilizando variáveis geoambientais (precipitação, tipo de solo, declividade e uso e ocupação do solo) com auxílio de um SIG (Sistema de Informações Geográficas) e a análise multicritério, através do método Analytic Hierarchy Process (AHP), visando a construção de mapas temáticos que apresentem áreas de vulnerabilidade à desertificação em diferentes níveis para a região do Alto Capibaribe. Os resultados mostraram que o estudo viabilizou a produção de um diagnóstico sólido, identificando, por município, a predominância dos seguintes graus de vulnerabilidade à desertificação: Poção (56,87% - nível fraco), Brejo da Madre de Deus (41,30% - nível médio), Santa Cruz do Capibaribe (51,43% - nível forte), Jataúba (36,66% - nível forte). A análise global para a região mostrou um grau forte de vulnerabilidade à desertificação, revelando a magnitude do problema e a necessidade de políticas públicas estruturadas.

Key-word

desertification
agreste pernambucano
geoprocessing
multicriteria

ABSTRACT

Desertification is a process that causes soil impoverishment, being linked to climatic and anthropic factors, which promotes its susceptibility to its functionalities, being intensified in arid and semi-arid regions, with negative water balance, as is the example of Alto Capibaribe, located in the Agreste of Pernambuco. In these first fruits, the present work aimed to outline a multicriteria analysis using geoenvironmental variables (precipitation, soil type, slope and land use and occupation) with the help of a GIS (Geographic Information System) and multicriteria analysis, through the tool Analytic Hierarchy Process (AHP), aiming at the construction of thematic maps that present areas of vulnerability to desertification at different levels for the Alto Capibaribe region. The results showed that the study enabled the production of a solid diagnosis, identifying, by municipality, the predominance of the following degrees of vulnerability to desertification: Poção (56.87% - weak level), Brejo da Madre de Deus (41.30% - medium level), Santa Cruz do Capibaribe (51.43% - strong level), Jataúba (36.66% - strong level). The global analysis for the region showed a strong degree of vulnerability to desertification, revealing the magnitude of the problem, which requires structured public policies.

Informações do artigo

Recebido: 30 de março, 2020
Aceito: 16 de novembro, 2020
Publicado: 30 de dezembro, 2020

Introdução

De acordo com Araújo et al. (2015), a desertificação pode ser definida como um processo crítico de degradação das terras das regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, que dá margem ao aumento da vulnerabilidade às secas e, conseqüentemente, geram impactos à vida da comunidade local.

O semiárido nordestino vem padecendo dos efeitos do crescente processo global de degradação ambiental em regiões áridas e semiáridas. Segundo Brasil (2005), o semiárido brasileiro apresenta aspectos ambientais propícios ao processo de desertificação, tais como: precipitação média baixa e irregular, evapotranspiração elevada.

O crescente avanço do fenômeno da desertificação se deve aos aspectos naturais, pressão antrópica e mudanças climáticas contribuindo para o aumento da vulnerabilidade ambiental.

Dependendo da resiliência dos sistemas ambientais do semiárido, o estágio da desertificação pode ser irreversível (ARAÚJO et al., 2015).

Em nível global, o processo de desertificação é um dos principais problemas ambientais, favorecido pelas mudanças climáticas e as secas de determinadas regiões, além de sua predisposição geocológica da região ao fenômeno em epígrafe, como é o caso do semiárido brasileiro (TAVARES et al., 2019).

Um estudo realizado pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), baseado no mapeamento de solo exposto derivado de imagens de satélites e calibrado com informações de campo, estimou o nível de degradação e desertificação do Nordeste brasileiro durante o período 2000-2016.

Para tanto foi elaborado um índice que considerou persistência e frequência de solo exposto.

Os resultados constataram o aumento das áreas degradadas ao longo do período, especialmente nas áreas de pastagem e vegetação natural. No período 2007-2016, a área estimada como degradada foi mais de 70 mil km², o que corresponde a cerca de 4% da região Nordeste (CEMADEN, 2018).

No Brasil, as chamadas Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD's) abrangem 1.488 municípios da Região Nordeste bem como alguns trechos dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, totalizando uma área de 1.340.863 km² (UFAL, 2019).

Em um estudo elaborado com base nos dados de satélite mapeados pelo Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (LAPIS) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Pernambuco apresenta 20,8% de áreas em desertificação, assumindo o quarto lugar da lista quando comparado às demais áreas estudadas, a saber, Alagoas, 32,8%; Paraíba, 27,7%; Rio Grande do Norte, 27,6%; Bahia, 16,3%; Sergipe, 14,8%; Ceará, 5,3%; Minas Gerais, 2,0% e Piauí, 1,8% (UFAL, 2019).

No Agreste pernambucano, sobretudo nos municípios que compõem o Alto Capibaribe (Poção, Jataúba, Brejo da Madre de Deus e Santa Cruz do Capibaribe), tem-se uma região que necessita de um estudo consistente do processo de desertificação tendo em vista que é onde um dos principais rios de Pernambuco nasce, o rio Capibaribe, que ainda é a base da economia de subsistência de várias famílias (MACHADO; SOARES, 2018).

Além disso, nessa região são encontrados os depósitos de areia que funcionam como cisternas naturais e nos períodos de estiagem são fonte importante de água para a população, sendo de extrema importância a sua conservação para a sustentabilidade hídrica. Ademais, o município de Santa Cruz do Capibaribe, juntamente com Caruaru, Toritama e mais 14 cidades, faz parte do Polo de Confecções do Agreste Pernambucano. Por existir um aglomerado territorial de agentes econômicos, políticos e sociais orientados para uma atividade econômica principal, esse polo compõe um arranjo produtivo local (APL) que movimenta a economia e favorece a criação de emprego e renda (SEBRAE, 2013). Assim, como essa atividade econômica é muito importante para a região, de igual valia são os insumos utilizados para a produção, sobretudo a água, que é bastante utilizada no processo de tingimento, por exemplo (FERREIRA et al., 2009).

Diante desse cenário e de suas conseqüências para atividade humanas e para o meio ambiente, a avaliação de processos de degradação ambiental relacionados ao processo de desertificação nessa região é complexa.

De acordo com Souza et al. (2009), a utilização da análise multicritério está diretamente relacionada ao fato de que certos problemas não podem ser solucionados considerando-se apenas um único critério, como é o caso do presente estudo. A utilização desse tipo de análise aumenta a probabilidade de decisões tomadas a um nível de certeza. Uma decisão baseada apenas na percepção limitada pode ensejar grandes riscos (PORATH, 2014).

Dada a problemática da vulnerabilidade ao processo de desertificação nos municípios do Alto Capibaribe (bacia hidrográfica do Capibaribe que englobam os municípios de Poção, Jataúba, Brejo da Madre de Deus e Santa Cruz do Capibaribe), este trabalho tem como objetivo avaliar este processo com os subsídios de um SIG (Sistema de Informações Geográficas) e do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), integrando variáveis geoambientais (precipitação, tipo de solo, declividade e uso e ocupação do solo).

Variáveis impactantes no processo de desertificação

A desertificação é um processo complexo no que tange a seleção das variáveis. Guerra et al. (2010) e Matallo Júnior (2001) apontam que fatores ambientais, como o clima e a precipitação, se apresentam como indicadores da predisposição à desertificação.

Tabela 1. Principais variáveis impactantes no processo de desertificação.

Variáveis relevantes no estudo da desertificação	Autores										TOTAL	
	Matallo Júnior (2001)	Sampaio et al. (2005)	Saraiva (2010)	Lima (2010)	Guerra et al. (2010)	Santos e Galvão (2013)	Araújo et al. (2015)	Nascimento et al. (2016)	Teixeira (2018)	Silva (2018)		Costa e Vieira (2018)
Precipitação	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	10
Declividade	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	10
Tipo de Solo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	11
Uso e Ocupação do Solo	■	■	■			■	■	■	■	■	■	9
Vegetação	■	■	■	■		■	■	■	■	■		9
Temperatura					■	■	■	■	■			4
Hipsometria				■							■	2

Fonte: Autores (2020)

Onde uma precipitação escassa e superada pela evapotranspiração potencial influencia e determina a estrutura e funcionamento de um ecossistema, sobretudo àqueles áridos. Além disso, uma maior variabilidade da precipitação tornam os processos erosivos mais intensos, principalmente nos locais de solos rasos, o que, em situações extremas, podem contribuir para o processo de desertificação.

Guerra et al. (2010) também afirmam que o processo de desertificação é resultante da interação homem e natureza, sendo o solo umas das variáveis que impactam nesse processo.

Isso ocorre por que o solo impacta diretamente no potencial produtivo de uma determinada área, colaborando para a desertificação, além de colaborar de forma indireta nesse processo por meio da erosão, mudanças físicas e químicas de seus constituintes, salinização, compactação, entre outros (TEIXEIRA, 2018).

Os locais com maior inclinação, de solos rasos, com textura mais argilosa e baixa fertilidade, são mais susceptíveis à desertificação, pois eles possuem baixa capacidade de retenção de água e deficiências em matéria orgânica e nutrientes, denotando grande perda de potencial produtivo. Enquanto os planos, profundos, arenosos e de alta fertilidade são menos susceptíveis à erosão (SAMPAIO et al., 2005).

Segundo Araújo et al. (2015), Nascimento et al. (2016) e Teixeira (2018) as atividades humanas, que implicam a destruição das coberturas vegetais (desflorestamento, sobrepastoreio, agricultura, incêndios, entre outras), contribuem decisivamente para uma intensa degradação dos solos, sendo a variável uso e ocupação do solo de grande importância no estudo desse fenômeno.

Como várias são as vertentes estudadas por inúmeros pesquisadores, no Tabela 1 está sintetizado um conjunto de autores que estudaram algumas variáveis impactantes na desertificação.

Essa pesquisa bibliográfica foi feita, com o intuito de que, dentro de um universo de estudo envolvendo a temática da desertificação, fossem escolhidos os trabalhos que possuíam qualidade, abrangência e significância no

meio científico. Assim, pautados nesses critérios, foram pesquisados com base nas palavras-chaves “desertificação”, “vulnerabilidade à desertificação”, “modelagem da desertificação”, por exemplo, trabalhos publicados em periódicos, assim como teses e dissertações.

Apesar da grande quantidade de variáveis impactantes no complexo processo de desertificação, conforme apresentado no Tabela 1, neste trabalho foram empregadas aquelas mais utilizadas na revisão de literatura realizada, a saber: precipitação, declividade, tipo e uso de solo e uso e ocupação do solo.

A variável vegetação, apesar de ser bastante utilizadas por alguns autores, a mesma não foi utilizada nesse estudo pois, segundo Becerril-Piña et al. (2015) e Teixeira (2018), a cobertura da vegetação em regiões semiáridas é fortemente dependente da precipitação, temperatura e fertilidade do solo, que possuem variabilidade temporal e espacial.

Assim, a redução da cobertura da vegetação por si só não indica necessariamente a desertificação, uma vez que a cobertura também flui ao longo de um ano e de ano para ano, de acordo com fatores como fenologia, variações naturais nas chuvas e culturas não relacionadas ao processo de desertificação.

Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Segundo Lima et al. (2016), tendo em vista que a desertificação é um processo de abrangência espacial, muitos esforços buscaram agregar a análise de dados de sensoriamento remoto a sistemas de informações geográficas, objetivando a identificação das áreas onde é maior a influência dos diversos fatores, a determinação das regiões mais susceptíveis ao processo de desertificação, assim como os estágios de degradação.

A possibilidade de análise conjunta de um grande número de indicadores vem levando, cada vez mais, a utilização de índices integrados, o que torna o sistema de informação geográfica como a ferramenta principal para a construção de modelos para gestão de terras (DIAS; SILVA, 2014).

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser definido como uma ferramenta do geoprocessamento, que permite o armazenamento, a manipulação e o compartilhamento de dados de um determinado local tendo como base a escala ou o nível de detalhamento geográfico.

O SIG está atrelado a um Banco de Dados Geográficos (BDG), cujo conteúdo reúne um conjunto de informações que possibilitam consultas, modelagem e análises para tomada de decisão (LONGLEY et al., 2013).

Em se tratando de um processo de múltiplas causas, a desertificação deve ser estudada através do cruzamento de diversas variáveis, as quais podem ser incorporadas a um Sistema de Informações Geográficas e, desta forma, permitir uma abordagem multicritério dos riscos de degradação das terras (LIMA, 2010).

O método multicritério Analytic Hierarchy Process (AHP)

Entre os diversos métodos multicritérios, o AHP, que é um método de agregação aditivo (ALMEIDA, 2013), que modela preferências a partir de comparações entre os elementos. Trata-se de um método de apoio à decisão multicritério desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 80, que propõe a estruturação do problema de forma hierárquica. Em suma, este método tem como objetivo definir quantitativamente a relação de dominância entre pares de elementos por meio de uma escala de razão (ENSSLIN et al., 2001; CHOW, 2005).

A estruturação do método AHP possui quatro axiomas propostos por Saaty (1986), a saber: (i) As comparações são recíprocas: todos os critérios são comparados aos pares, partindo do pressuposto de que as comparações são recíprocas, isso é, dada a escala utilizada, se um critério A é 7 vezes mais importante do que o critério B, automaticamente, sabe-se que o critério B é 1/7 mais importante do que o critério A. (ii) Homogeneidade: as preferências estabelecidas pelo decisor são baseadas em uma escala semântica com intervalos homogêneos que possui valores intermediários para o caso de indecisão. No caso dos critérios serem incomparáveis, o decisor pode não fornecer uma resposta. (iii) Independência dos critérios: quando se tem um problema hierarquizado com mais de dois níveis, é assumido que os critérios para um conjunto de alternativas são independentes com relação as demais. Assim, podem ser obtidos os graus de importância para cada conjunto das alternativas. (iv) Expectativa: após a obtenção da hierarquização dos critérios, entende-se que todas as comparações foram realizadas e com isso todos as possibilidades consideradas para a problemática foram consideradas (SAATY, 1986). Se isto não ocorre, então o decisor não está usando todos os critérios avaliáveis ou necessários para encontrar suas expectativas racionais e, desta forma, a decisão está incompleta (PAVANI et al., 2019).

Como forma de verificar se as comparações estabelecidas são consistentes, o método AHP utiliza medidas para verificar a consistência lógica dos julgamentos realizados. Pois esses são feitos de forma comparativa entre os elementos decompostos do problema, baseando-se nas informações disponíveis e experiências do ser humano (SAATY, 1990; SAATY, 1980).

Uma abordagem integrada semelhante a desenvolvida neste trabalho foi realizada por Figueirêdo e Calasans (2008) que utilizaram a técnica de análise multicritério AHP para a elaboração de um mapa de risco de salinização dos solos da bacia hidrográfica do rio Colônia, localizado no sudeste do estado da Bahia. As variáveis utilizadas para composição do mapa foram: clima, tipo de solo, condutividade elétrica da água, malha hídrica, declividade e cobertura vegetal.

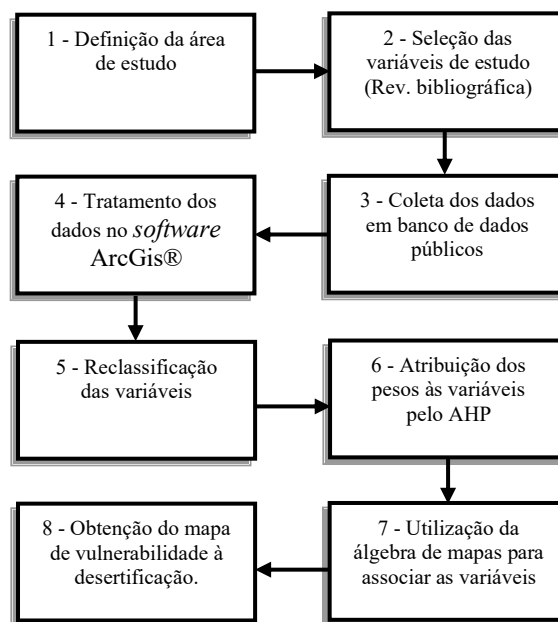
De modo análogo, Tavares et al. (2016) procedeu mapeamento da fragilidade ambiental na bacia do Pratygy em Alagoas, utilizando como variáveis físicas e antrópicas a geomorfologia (declividade), solos (tipo de solo e textura), clima (intensidade pluviométrica), uso da terra e cobertura vegetal.

Outra possibilidade de uso do AHP com geoprocessamento é a escolha de um local para instalação de um aterro sanitário (PAVANI et al., 2019).

Material e métodos

Buscando atingir os objetivos, esse trabalho foi estruturado em um conjunto de etapas, apresentado na Figura 1.

Figura 1. Etapas metodológicas utilizadas neste trabalho



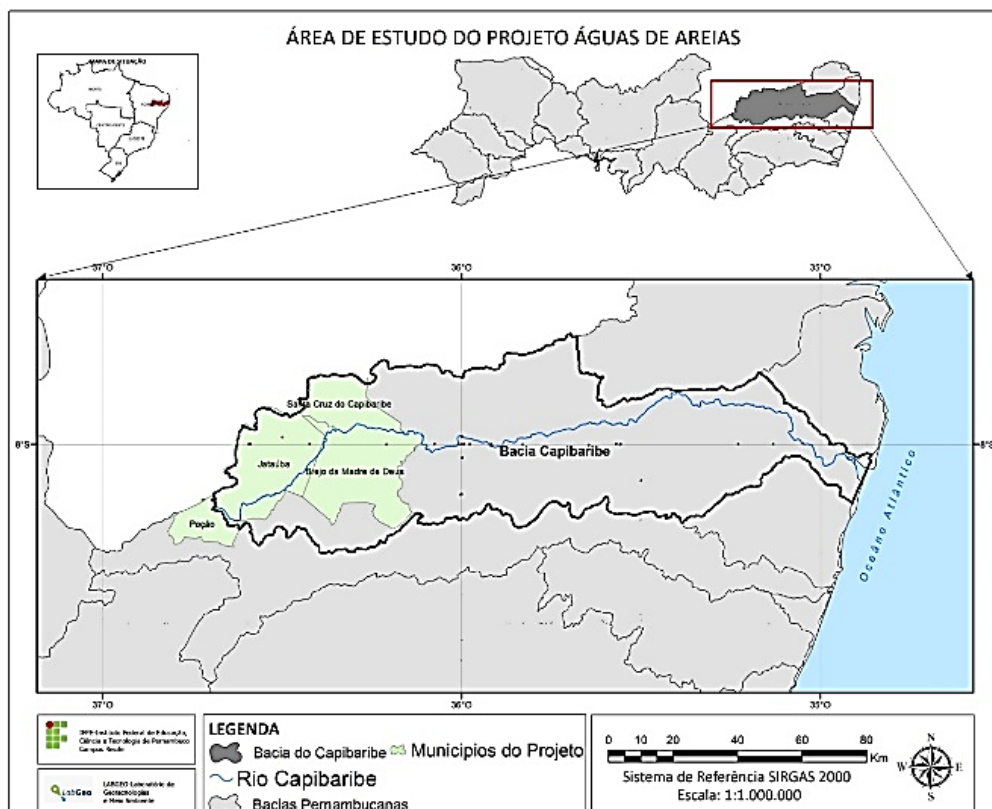
Fonte: Autores (2020)

Etapa 1 - Definição da área de estudo: No estado de Pernambuco/Brasil, segundo o Plano Estadual de Mudanças Climáticas, 135 municípios estão em áreas suscetíveis à desertificação, somando um contingente de mais de 2 milhões de habitantes (PERNAMBUCO, 2011).

A área de estudo deste artigo compreende os municípios de Poção (incluindo apenas a parte contida na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe), Brejo da Madre de Deus, Jataúba e Santa Cruz do Capibaribe (Figura 2), municípios do Agreste pernambucano que, além de estarem inseridos nas Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD), determinadas no Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN - BRASIL), também estão compreendidos no projeto “Águas de Areias”, desenvolvido pela organização não-governamental Associação Águas do Nordeste (ANE).

O projeto Águas de Areia contribuiu para a recuperação ambiental e a gestão dos mananciais de águas de aluvião no alto rio Capibaribe, visando a sustentabilidade hídrica das populações rurais situadas nessa região do semiárido pernambucano e abordou uma questão fundamental no semiárido nordestino, que é a gestão da água em situação de escassez (BRAGA, 2016).

Figura 2. Área de estudo desta pesquisa



Fonte: Autores (2020)

Além disso, os municípios são pertencentes à bacia hidrográfica do Capibaribe, mas especificamente na região do Alto Capibaribe, que apresenta a menor disponibilidade hídrica *per capita* do Brasil, segundo a Agência Nacional de Águas (BRASIL, 2002), o que caracteriza uma região carente de água e que necessita de ações do governo e da sociedade civil organizada para estimular o desenvolvimento econômico e social.

O rio Capibaribe nasce justamente na divisa dos municípios de Jataúba e Poção. Apresenta direção inicial sudeste-nordeste, até as proximidades de Santa Cruz do Capibaribe, quando seu curso toma a direção oeste-leste. A bacia apresenta uma área de 7.454,88 km² (7,58% da área do estado), abrangendo 42 municípios pernambucanos, percorrendo uma extensão total de cerca de 280 km até sua foz, na cidade do Recife. Em vários trechos, serve como divisa entre municípios pernambucanos, como entre Santa Cruz do Capibaribe e Brejo da Madre de Deus. O rio Capibaribe apresenta regime fluvial intermitente nos seus alto e médio cursos, tornando-se perene somente a partir do município de Limoeiro, no seu baixo curso (PERNAMBUCO, 2018).

Etapa 2 - Seleção das variáveis: A seleção das variáveis para o presente estudo se deu com base na revisão de literatura, conforme o Tabela 1, sendo as variáveis mais citadas como propulsoras da desertificação a precipitação, o tipo de solo, o uso e ocupação do solo e a declividade.

Etapa 3 - Coleta dos dados: O mapa de uso e ocupação do solo foi obtido a partir do Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Capibaribe

proveniente da Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos do estado de Pernambuco. O mapa de precipitação foi proveniente da plataforma virtual do Ministério do Meio Ambiente (MMA). O mapa dos municípios foi proveniente do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O mapa de declividade foi obtido do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o mapa com os tipos de solos foi obtido do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), conforme apresentado no Tabela 2.

Tabela 2. Fonte dos dados utilizados nessa pesquisa

Dados	Tipo	Origem	Ano
Municípios	Vetorial (polígono)	IBGE	2010
Bacia Hidrográfica	Vetorial (polígono)	IBGE	2010
Precipitação média anual	Vetorial (polígono)	MMA	2005
Uso e Ocupação do solo	Vetorial (polígono)	PHA Capibaribe (SRHE)	2010
Tipo de Solo	Vetorial (polígono)	IBGE/EMBRAPA	2011
Hidrografia	Vetorial (linha)	IBGE	2010
Declividade	Matricial (Raster)	INPE (TOPODATA)	2008

Fonte: Autores (2020)

Etapa 4 - Tratamento dos dados: Todos os dados foram organizados e tratados no *software* ArcGis® 10.3 for Desktop da empresa americana Esri (*Environmental Systems Research Institute*) e convertidos do tipo de dado vetorial (*shapefile*) para matricial (*raster*).

Etapa 5 - Reclassificação das variáveis: Dentro de um ambiente SIG uma das formas de se realizar uma análise multicritério é através da álgebra de mapas. Para isso, inicialmente foi necessário atribuir novos valores para cada classe das variáveis escolhidas. A metodologia utilizada neste trabalho para a reclassificação das variáveis foi adaptada da proposta por Ross (1994), que definiu uma hierarquia de acordo o grau de vulnerabilidade para cada classe de cada variável, de forma que quanto maior o valor atribuído à classe, maior o grau. Sendo o grau 1 (muito fraca), grau 2 (fraca), grau 3 (média), grau 4 (forte) e grau 5 (muito forte), conforme o Tabela 3.

Tabela 3 - Reclassificação dos valores das classes das variáveis, segundo o grau de vulnerabilidade

Grau	Variáveis			
	Uso e ocupação do solo	Precipitação média (mm/ano)	Declividade	Tipo de solo
0	Interferências	-	Plano (0-3%)	-
1	Água	700-1300	Suave ondulado (3-8%)	Planossolos
2	Vegetação Natural	600-1200	Ondulado (8-20%)	Argissolos
3	-	500-1000	Forte ondulado (20-45%)	-
4	Antropicas agrícolas	400-800	Montanhoso (45-75%)	Neossolos
5	Antropicas não-agrícolas	250-550	Escarpado (>75%)	Luvissolos

Fonte: Autores (2020)

Com base nos estudos realizados por Araújo et al. (2015), Nascimento et al. (2016) e do Atlas das Áreas Susceptíveis à Desertificação do Brasil (BRASIL, 2007), foram realizadas as reclassificações para cada variável escolhida (conforme apresentado no Tabela 3). A atribuição do valor zero a algumas classes se deu para exclusão da mesma da álgebra de mapas.

Etapa 6 - Atribuição de pesos às variáveis com uso do método AHP: para obtenção dos pesos das variáveis, o método AHP foi aplicado junto a um especialista em recursos hídricos, com formação técnica e experiência na área. Como argumentado no referencial teórico desde trabalho, na estruturação do método, a dominância foi medida em termos de importância relativa entre os elementos estudados. Para realização desta comparação foram utilizadas matrizes quadradas de elementos ($n \times n$), como demonstrado na Figura 3, nas quais as linhas e as colunas correspondem aos n critérios analisados. Assim, o valor a_{ij} é a importância relativa obtida pela comparação do critério na linha i com relação ao critério na coluna j .

Figura 3. Elementos e relação estabelecidas em uma matriz de decisão.

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Onde: $a_{ij} > 0 \rightarrow$ positiva
 $a_{ij} = 1 \therefore a_{ji} = 1$
 $a_{ij} = 1/a_{ji} \rightarrow$ recíproca
 $a_{jk} = a_{ij} \times a_{jk} \rightarrow$ consistência

Assim, foi solicitado ao especialista realizar comparação pareada respondendo à seguinte pergunta: “qual o grau de importância da variável A sobre a variável B? E em qual proporção (usando a escala da Tabela 4)?”.

Tabela 4. Escala numérica adotada nesta pesquisa

Escala numérica	Escala Recíproca	Escala Verbal
1	1	Ambos os elementos são de igual importância.
3	1/3	Moderada importância de um elemento sobre o outro.
5	1/5	Forte importância de um elemento sobre o outro.
7	1/7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro.
9	1/9	Extrema importância de um elemento sobre o outro.
2, 4, 6 e 8	1/2, 1/4, 1/6 e 1/8	Valores intermediários.

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Na matriz de comparação, as posições da diagonal serão sempre 1, tendo em vista que um elemento é igualmente importante com relação a si próprio.

Para preencher os demais elementos da matriz, fazem-se os julgamentos e determina-se a intensidade de importância de acordo com a escala adaptada de Saaty (1980) para o método AHP. Para as comparações inversas, isto é, na parte inferior esquerda da matriz, colocam-se os valores recíprocos da parte superior direita da mesma.

Dando continuidade, entre os vários métodos para normalização dos dados, neste estudo realizou-se primeiramente a soma dos elementos de cada coluna das matrizes de julgamento (SAATY, 1980). Posteriormente, dividiu-se cada elemento da matriz pelo somatório dos valores da respectiva coluna. Em seguida, calculou-se a média para cada linha (μ_n), ou seja, para cada critério.

Após calcular o peso de cada critério por meio do autovetor, foi possível verificar a consistência do método aplicado através do somatório do produto de cada elemento deste vetor pelo total da respectiva coluna da matriz comparativa original, conforme o método de Eigen (SAATY, 1980).

Por fim, o método AHP utiliza da análise de consistência lógica para verificar a coerência nas comparações elaboradas pelo especialista. Inconsistências podem surgir quando algumas comparações se contradizem umas com as outras, desta forma, o método AHP se propõe a calcular a taxa ou razão de consistência (RC) dos julgamentos, que é representada pela Equação 1.

$$RC = \frac{IC}{IR} \tag{Eq. 1}$$

Onde IR = índice de consistência randômico, obtido para uma matriz recíproca de ordem n , com elementos não negativos, este fator é gerado randomicamente e está apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Índices de consistência randômico (RI)

<i>n</i>	IR
1	0
2	0
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49

Legenda: *n* = número de elementos da matriz

IR = índice de consistência randômico

Fonte: Saaty (1980)

O índice de consistência (IC) é dado pela Equação 2.

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \tag{Eq. 2}$$

Onde: $\lambda_{m\acute{a}x}$ = maior valor de autovetor da matriz de julgamentos e *n* = número de ordem da matriz.

Segundo Saaty (1980), caso o IC seja menor ou igual a 10% os julgamentos obtidos são consistentes, caso contrário não são. Nesse último caso, pode-se refazer os julgamentos junto ao especialista ou utilizar algoritmos para criação de matrizes filhas, semelhantes às originais, que apresentam grau de consistência menor ou igual a 10%. Assim foi possível a obtenção dos pesos para as quatro variáveis utilizadas nesse trabalho.

Etapa 7 - Utilização da Álgebra de mapas: O método de álgebra de mapas, uma matemática aplicada a *rasters*, consistiu na aplicação de operações aritméticas para associar as variáveis, representadas por camadas de acordo com os pesos estabelecidos pelo método AHP (Etapa 6), conforme exposto na Equação 3.

$$M = \omega_p P + \omega_s S + \omega_d D + \omega_u U \tag{Eq. 3}$$

Onde: *M* = Mapa final; *P* = Precipitação; *S* = Solos; *D* = Declividade; *U* = Uso e ocupação; *W* = Peso da respectiva variável (obtido pelo método AHP).

Etapa 8 - Obtenção do mapa de vulnerabilidade à desertificação: após a execução das etapas anteriores, um mapa de vulnerabilidade à desertificação foi obtido utilizando o ArcGIS 10.3 disponível no Laboratório de Geotecnologias e Meio Ambiente de uma instituição de ensino superior do Recife. Dessa forma, o método utilizado neste trabalho não se limitará à utilização de uma única variável na abordagem, mas buscará englobar fatores intervenientes na geração do processo de degradação, se configurando em uma análise multicritério espacial.

Resultados e discussões

Como resultado da coleta e tratamento de dados, as variáveis foram expressas em camadas de informações e os resultados obtidos das variáveis reclassificadas para a região analisada estão apresentados nas Figuras 4 à Figura 7. Para a variável declividade foi identificado que a região

possui a predominância de um relevo ondulado, com regiões onde essa condição é acentuada.

O município de Brejo da Madre de Deus, por exemplo, apresenta um relevo predominantemente ondulado, cortado por vales estreitos, com vertentes dissecadas, com elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte. Esses relevos isolados testemunham os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte dessa região (CPRM, 2005).

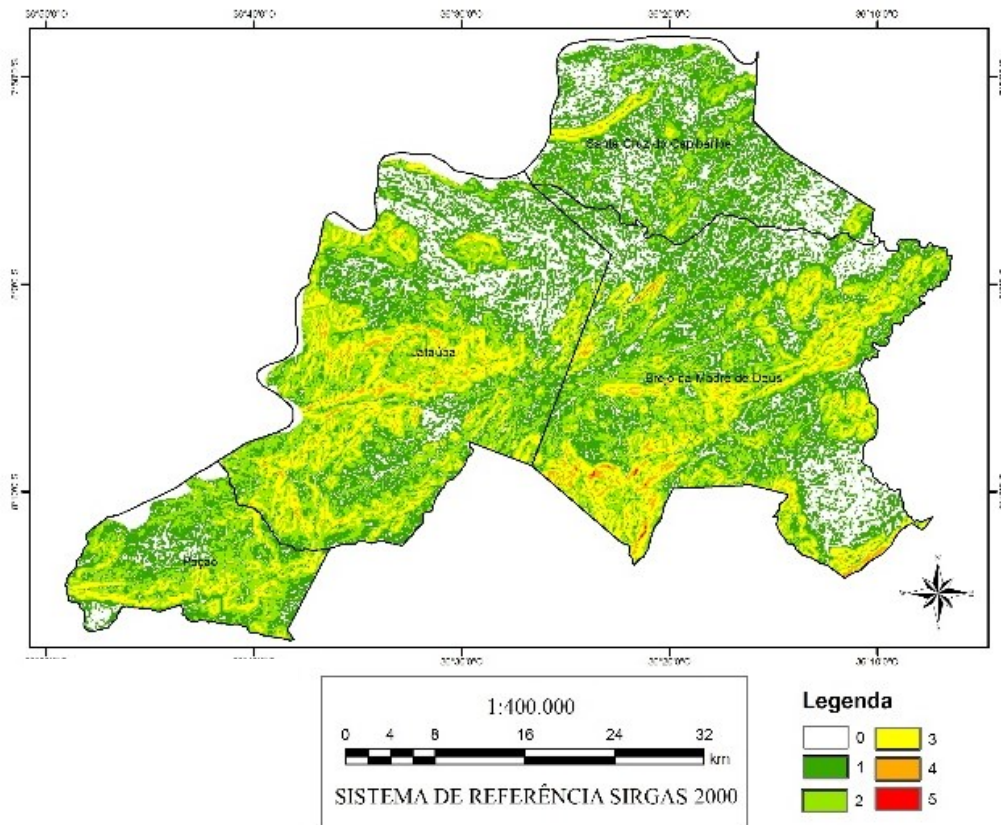
Segundo Araújo et al. (2015), solos com baixa cobertura vegetal e declividade acentuada potencializam a erosão. De acordo com o Atlas das Áreas Susceptíveis à Desertificação do Brasil (BRASIL, 2007), a erosão e a salinização dos solos são dois dos principais processos formadores de áreas desertificadas. Baseado nisso, quanto maior o percentual de declividade, maior a probabilidade à desertificação. Se considerada apenas a variável declividade, o grau 1 que indica vulnerabilidade muito fraca, apresentou maior área ocupada, conforme indicado na Figura 4.

Com relação ao tipo de solo apresentado pela região, identificou-se a grande presença do tipo Neossolo Regolítico, que são solos jovens, medianamente profundos, de textura arenosa e, às vezes, cascalhenta, em todo o seu perfil, possuindo uma baixa retenção de umidade (o que contribui para o processo de desertificação), baixos valores de capacidade de troca catiônica e baixos teores de matéria orgânica, sendo muito utilizado para o cultivo pelos agricultores da região.

O Ministério do Meio Ambiente, por meio do Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil (BRASIL, 2007), estabeleceu níveis de degradação ambiental, segundo os tipos de associações de solos, o relevo, a sensibilidade à erosão e o tempo de ocupação do solo. Foi atribuído aos Planossolos um nível de degradação baixo, ao Argissolos um nível de degradação moderado, ao Neossolos degradação acentuada e ao Luvisolos foi associado um nível de degradação severo.

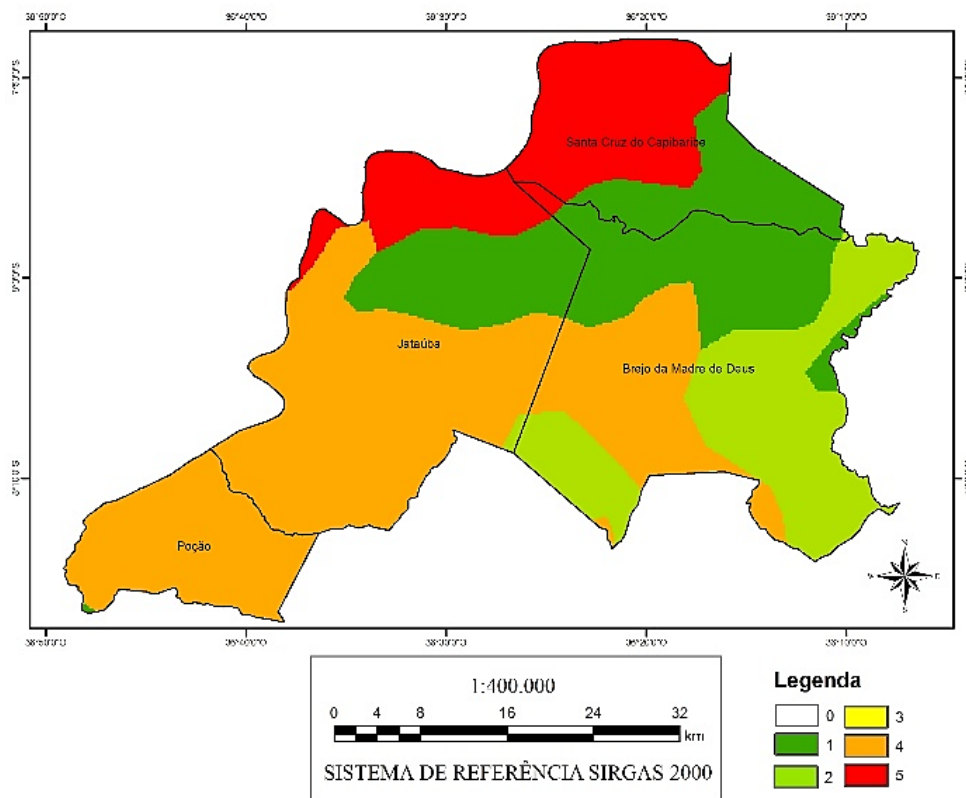
Isso decorre do tipo de solo Luvisolos apresentar um horizonte B textural, sendo não hidromórficos, autóctones, com argila de atividade alta. Possuem elevada capacidade específica de retenção hídrica e infiltração lenta a muito lenta, o que os torna pouco eficiente no aproveitamento das chuvas, sobretudo as torrenciais. São capazes de gerar escoamentos quando das chuvas e, com isso, ensejam a formação de processos erosivos visíveis a cada pequeno talvegue às margens das estradas e riachos onde eles ocorrem. Quanto ao tipo de solo, o grau 4, que indica vulnerabilidade forte, apresentou maior área ocupada, conforme indicado na Figura 5. Para tal variável, os municípios estudados apresentaram tendência muito forte à desertificação na porção noroeste, abrangendo os municípios de Jataúba e Santa Cruz do Capibaribe. Com relação a variável precipitação anual identificou-se que existe a predominância de 500 a 1000 mm de precipitação anual média na maioria da região, com a maior precipitação ocorrendo no sudoeste do município de Jataúba e em grande parte de Poção, nascente do rio Capibaribe, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 4. Mapa de declividade da região estudada (reclassificado)



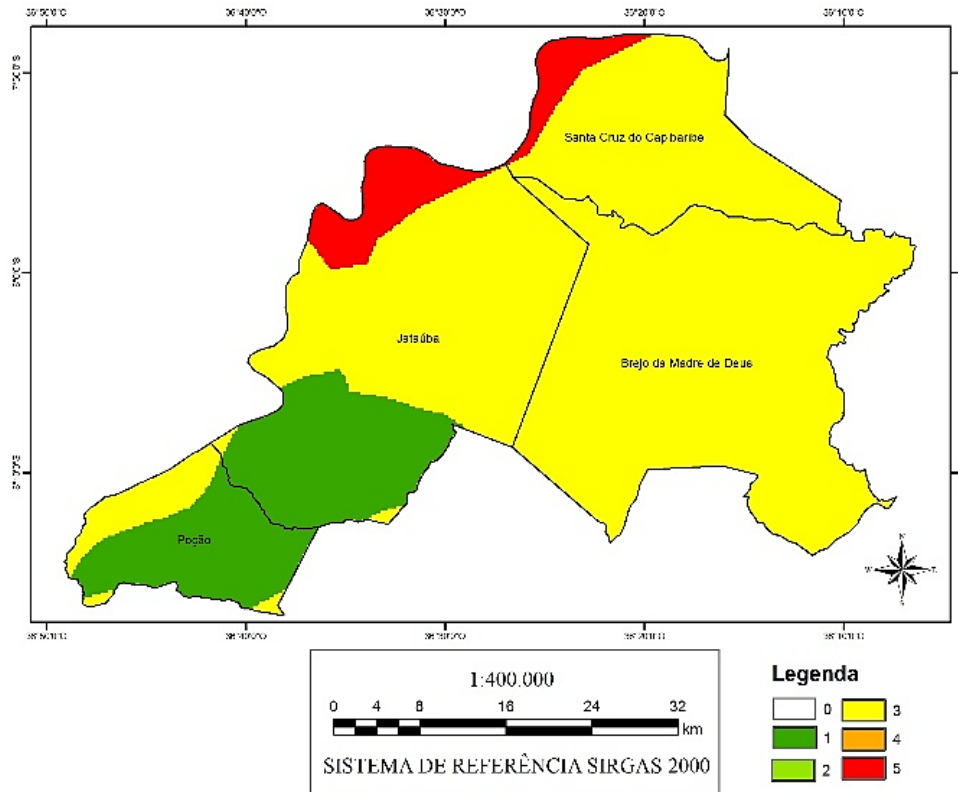
Fonte: Autores (2020)

Figura 5. Mapa do tipo de solo da região estudada (reclassificado)



Fonte: Autores (2020)

Figura 6. Mapa da precipitação anual da região estudada (reclassificado)



Fonte: Autores (2020)

O aumento de temperatura, mudanças e eventos climáticos tendem a influenciar na redução dos níveis de precipitação e na sua regularidade e dessa forma, contribuir para o aumento da vulnerabilidade à desertificação (ARAÚJO et al., 2015). Baseado nisso, pode-se constatar, que quanto menor a precipitação e mais seco o clima for, maior será a probabilidade de ocorrência do fenômeno da desertificação. Considerando-se apenas a variável precipitação, predominou o grau 3, que indica vulnerabilidade média, conforme indicado na Figura 6. Para tal variável, os municípios estudados também apresentaram tendência muito forte à desertificação na porção noroeste, abrangendo os municípios de Jataúba e Santa Cruz do Capibaribe.

Para a variável uso e ocupação do solo (Figura 7), avaliou-se que a presença de recursos hídricos evita as secas e a degradação das terras. Já para as áreas delimitadas como vegetação natural, segundo Nascimento (2016), a cobertura vegetal representa um importante fator na proteção do solo contra processo erosivos, contribuiu para a recarga do aquífero, atuando na amenização do microclima, além de contribuir para a preservação da fauna local. As áreas que compõem a classe antrópicas agrícolas, oferecem uma maior vulnerabilidade quando comparado às áreas de vegetação natural.

Ainda de acordo com Nascimento (2016), as classes de áreas antrópicas não-agrícolas, por sua vez, alteram constantemente as relações de equilíbrio natural de um sistema ambiental.

Quando se consideram as variáveis isoladamente, com relação ao uso e ocupação do solo, há predominância

do grau 2, que indica vulnerabilidade fraca, conforme mostra a Figura 7. Após a obtenção individual dos mapas reclassificados das variáveis (Figuras 4 a 7), a matriz de decisão (Tabela 6) para obtenção dos pesos das variáveis analisadas foi construída junto ao especialista na temática estudada, com base na escala da Tabela 6, e o método AHP foi aplicado.

Tabela 6. Matriz de decisão para obtenção dos pesos das variáveis

Variáveis	Precipitação	Declividade	Tipo de Solo	Uso e Ocupação do solo
Precipitação	1	9	1	7
Declividade	1/9	1	1/9	1/4
Tipo de Solo	1	9	1	7
Uso e Ocupação do solo	1/7	4	1/7	1

Fonte: Autores (2020)

Após a obtenção dos dados, onde foi utilizado o auto vetor de Eingen, obteve-se os seguintes pesos para as variáveis: 0,434411171 para a precipitação, 0,039615813 para a declividade, 0,434411171 para o tipo de solo e 0,091561844 para a variável uso e ocupação do solo. Ademais, obteve-se uma razão de consistência (RC) de 9,8436%, como o valor é menor do que 10%, segundo Saaty (1980) a matriz é consistente e os pesos obtidos são válidos.

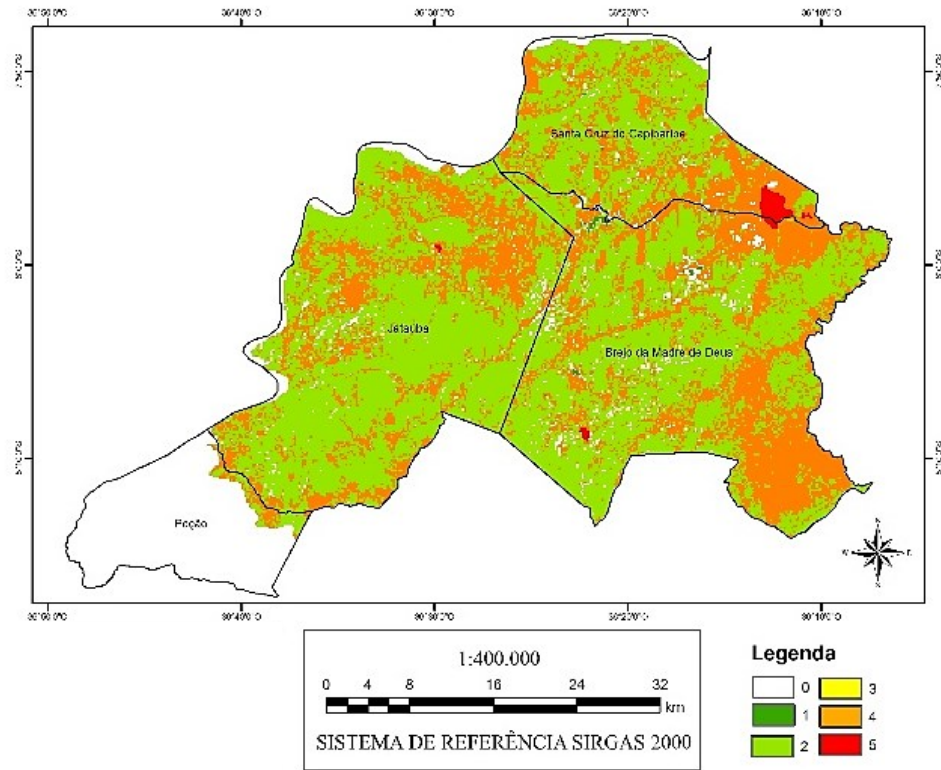
Por meio da obtenção dos pesos, identifica-se que as variáveis de maior impacto no estudo da desertificação, na região estudada, foram dadas para a precipitação e o

tipo de solo, convergindo para a condição de que a desertificação é influenciada pelas condições climáticas e geológicas. Por outro lado, a declividade foi a variável de menor importância relativa no processo.

Ao observar os mapas reclassificados para cada variável, conforme apresentado nas Figuras 4 a 7 e o mapa formado pela álgebra de mapas ponderado com o AHP

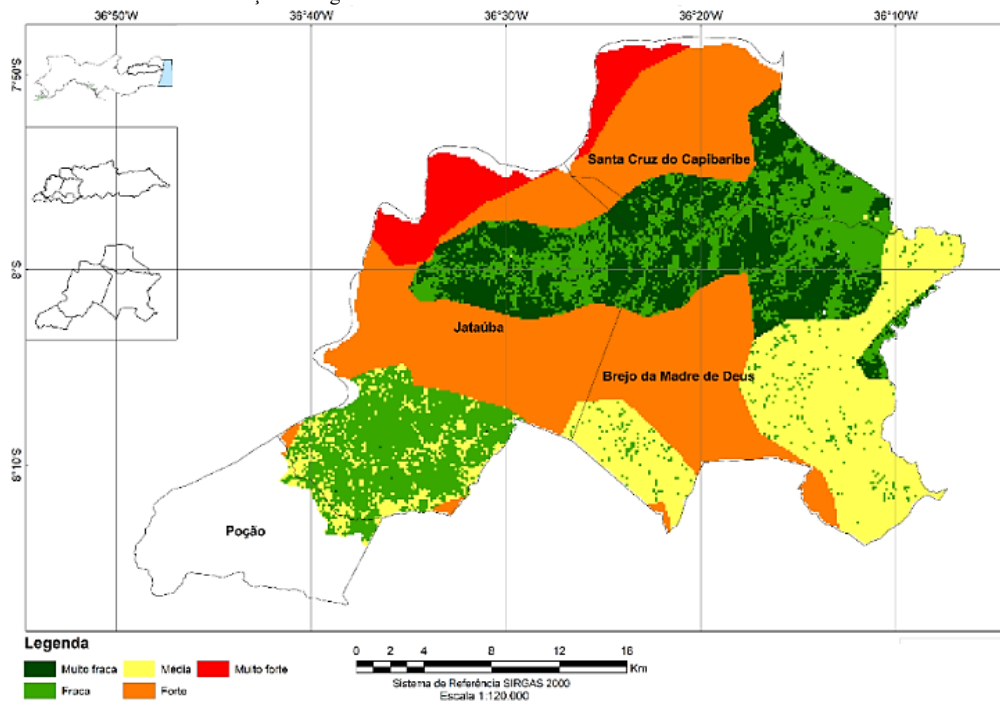
(Figura 8), se compreende que a grande mancha de vulnerabilidade muito forte em Santa Cruz do Capibaribe se deve ao fato de que esse município possui a pior condição climática (influenciada pela precipitação irregular e alta evapotranspiração), de tipo solo e de precipitação média anual para a desertificação entre os municípios estudados.

Figura 7. Mapa de uso e ocupação do solo (reclassificado)



Fonte: Autores (2020)

Figura 8. Mapa de vulnerabilidade à desertificação da região analisada

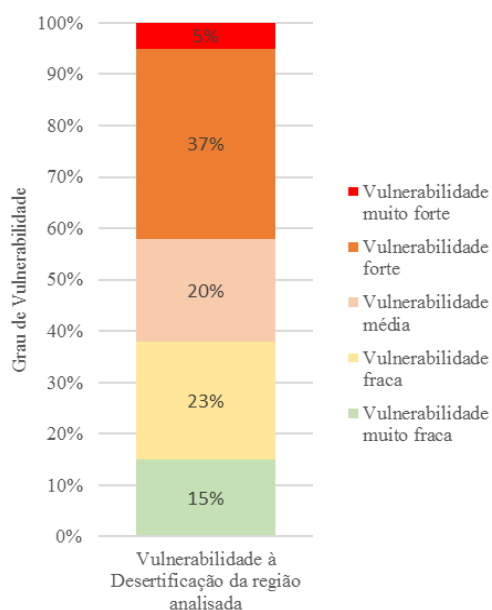


Fonte: Autores (2020)

Analisando a área de estudo como um todo e tomando por base o mapa de vulnerabilidade, pode-se observar que o grau de vulnerabilidade forte (37% da área da região) apresenta-se dominante na área total mapeada como ilustrado na Figura 9.

As faixas contínuas de forte grau de vulnerabilidade observadas na Figura 8 podem ser explicadas em virtude do forte impacto da precipitação irregular recorrentes nessas áreas, o que condiz com os estudos de Wang et al. (2006) acerca da predominância do clima sobre outras variáveis, o qual aponta que apesar da ação antrópica no processo de degradação das terras do semiárido na China, a variabilidade do clima nos últimos cinquenta anos exerceu importante papel no processo de desertificação das terras.

Figura 9. Percentuais das áreas de vulnerabilidade à desertificação



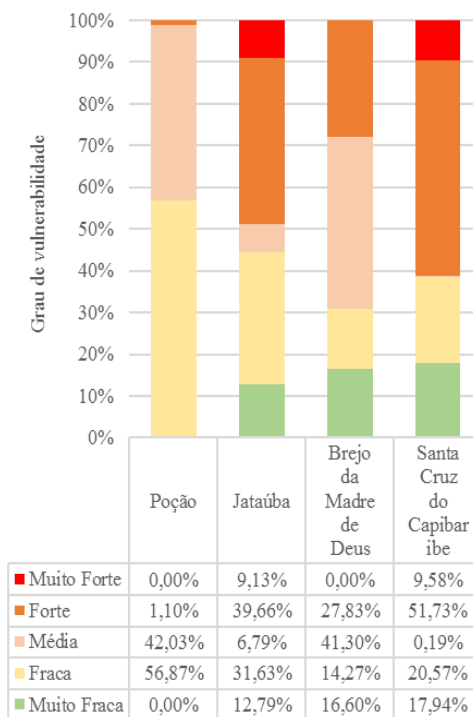
Fonte: Autores (2020)

Por outro lado, procedeu-se a análise estatística para apresentar de forma resumida os percentuais dos graus de vulnerabilidade encontrados por município, que podem ser observados na Figura 10.

Diante dos resultados obtidos na avaliação da desertificação, pode-se identificar que o município de Santa Cruz do Capibaribe está na situação mais desfavorável com cerca de metade da sua área ocupada com vulnerabilidade forte à desertificação, se comparado ao município de Poção (incluindo apenas a parte contida na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe) que não apresentou indícios de vulnerabilidade muito forte.

A situação do município de Santa Cruz do Capibaribe pode ser considerada alarmante (com mais de 60% de seu território com grau de desertificação forte ou muito forte – semelhante ao encontrado por Santos et al. (2017) em seu estudo na Microrregião do Sertão do São Francisco, no estado de Alagoas).

Figura 10. Percentuais dos graus de vulnerabilidade em cada município



Fonte: Autores (2020)

Segundo dados da Prefeitura Municipal (2020), além de uma cidade que possui um arranjo produtivo local importante para Pernambuco, é a maior produtora de confeções do estado e a 2ª maior produtora de confeções do Brasil. Além disso, Santa Cruz do Capibaribe é o principal ponto de escoamento e vendas de confeções de Pernambuco, e juntamente com Toritama e Caruaru formam o destacado triângulo das confeções.

Sendo a zona rural desse município a parte que já vem sofrendo com a escassez de água para atividades domésticas e de subsistência (PREFEITURA MUNICIPAL DO MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DO CAPIBARIBE, 2020). Em Pernambuco, Santos e Galvêncio (2013) procederam o mapeamento da suscetibilidade ambiental ao processo de desertificação em 30 municípios do estado, incluindo o município de Poção e Jataúba, levando em consideração, entre outros, as classes de solos, declividade e uso da terra.

Observa-se que o estudo ora apresentado ratifica o grau de vulnerabilidade observado pelos pesquisadores para esses municípios, apesar de terem sido incorporadas outras variáveis ambientais ao estudo, como erosividade da chuva e índice de aridez.

Especificamente para o município de Jataúba, nos pontos em que foi identificada uma vulnerabilidade forte (cerca de 39% de sua área), as observações em campo, nessa região, confirmaram a classificação efetuada.

Verificou-se a presença de grandes manchas de solo exposto em processo avançado de erosão tanto laminar como em sulcos e voçorocas, solo exposto, pouco profundo, com pedregosidade de média a alta, afloramento de rochas e matacões rolados que confirma o que foi relatado por Braga et al. (2016) e ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Área rural do município de Jataúba-PE



Fonte: Autores (2020)

Diante desse diagnóstico de desertificação, salienta-se que, segundo Braga et al. (2014), muitos reservatórios subterrâneos dessa região foram formados e armazenados durante períodos geológicos anteriores e em condições mais úmidas, que, decorrente de ações antrópicas e/ou naturais, entre elas a desertificação, agora não estão sendo recarregados ou estão sendo reabastecidos a uma velocidade mais baixa do que a de utilização pelo homem.

Assim, os pesquisadores concluem que, neste contexto, a gestão e conservação dos elementos desencadeantes da desertificação é de grande relevância, por ter o potencial de atingir uma fonte de recursos hídricos que é imprescindível à sobrevivência da população local.

Em consonância com isso, diante de um processo de desertificação a nível forte ou muito forte associados a outros processos, poderá ocasionar a exposição do leito seco do rio Capibaribe ao processo de evaporação. Isso inviabiliza não só o uso da água em curto prazo, mas também a possibilidade de armazenamentos futuros, já que esses mantos de areia funcionam como grandes cisternas naturais.

Consequentemente, nas próximas chuvas, as águas já não terão como se infiltrar e ficar guardadas, aumentando os ciclos de estiagem (BRAGA et al., 2014). Outra questão pertinente que se expande para a dimensão social é a possibilidade dos solos tornarem-se improdutivos e não haver a possibilidade dos agricultores realizarem a agricultura familiar.

Com bases nas respostas obtidas neste estudo, entende-se que para as áreas de vulnerabilidade fraca e média terão que ser tomados os devidos cuidados quanto ao seu uso para que esse grau de vulnerabilidade não aumente.

As áreas de forte vulnerabilidade devem ser utilizadas com altíssimas limitações, sendo necessárias a adoção de práticas conservacionistas do solo; enquanto que nas áreas de vulnerabilidade muito forte recomenda-se a recuperação e conservação imediatas tendo como principais objetivos a contenção do processo de desertificação, o uso adequado do solo e a preservação ambiental das áreas em questão.

Conclusão

O uso dos recursos do SIG destacou-se como uma ferramenta eficaz para o desenvolvimento de um mapa de vulnerabilidade como produto final. A análise multicritério permitiu a investigação combinada de variáveis, possibilitou a apresentação potencial de desertificação semelhante e tornou propícia uma visualização menos complexa da realidade.

Aliado a isso, o uso do AHP elencou pesos atribuídos às variáveis e proporcionou uma maior efetividade na ponderação das variáveis na álgebra de mapas. Nesse sentido, o mapa de vulnerabilidade poderá servir de instrumento para eleger áreas prioritárias de investimentos, bem como direcionar ações governamentais de planejamento e gestão ambiental no combate dos fatores naturais e antrópicos os quais ocasionam a desertificação.

Para estudos futuros, espera-se que outras variáveis sejam incorporadas na análise, como por exemplo, a vegetação. Sob o ponto de vista da modelagem, um modelo multicritério *fuzzy* espacial pode ser construído, integrando as técnicas de geoprocessamento com os métodos multicritério, a partir de dados *fuzzyficados* que representam a incerteza inerente aos processos ambientais e antrópicos. Uma outra abordagem pode ser desenvolvida por meio do uso de modelos de regressão espacial.

Agradecimentos

Os pesquisadores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo apoio à pesquisa.

Referências

- ALMEIDA, A. T. **Processo de decisão nas organizações**, São Paulo: Atlas, 2013.
- ARAÚJO, F. T. V.; NUNES, A. B. A.; FILHO, F. A. S.; CAMPOS, V. R. Risco de desertificação no semiárido brasileiro: uma abordagem multicritério. In: XXI Simpósio brasileiro de recursos hídricos. **Anais...** Brasília: ABRH, 2015.
- BECERRIL-PIÑA, R.; MASTACHI-LOZA, C. A.; GONZÁLEZ-SOSA, E.; DÍAZDELGADO, C.; BÀ, K. M. Assessing desertification risk in the semi-arid highlands of central Mexico. **Journal of Arid Environments**, v. 120, p. 4–13, 2015.
- BRAGA, R. A. P.; PAIVA, A. L. R. P.; ARAÚJO FILHO, P. F.; CABRAL, J. J. S. P.; SILVA, A. V.; GUSMÃO, P. T.; CAVALCANTI, E.; FARIAS, C. R.; COSTA, W. D. A sustentabilidade do uso da água subterrânea frente à exploração de areias em leito de rios do semiárido brasileiro. **Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, Natal/RN, 2014.
- BRAGA, R. A. P.; SILVA, S. R.; BARBOSA, I. M. B. R.; PAIVA, A. L. R.; CABRAL, J. J. S. P. **Águas de Areias**. Recife: Editora Clã, 336p, 2016.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas-ANA. **A Evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília. 2002. 68p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2007.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-Brasil**. Brasília - DF: Secretaria de Recursos Hídricos, 2005.
- CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, 2018. **Estudo avalia o avanço da desertificação no nordeste brasileiro e aponta o aumento da degradação**. Disponível em: <https://www.cemaden.gov.br/estudo-avalia-o-avanco-da-desertificacao-no-nordeste-brasileiro-e-aponta-o-aumento-da-degradacao/>. Acesso em: 05 fev. 2020.
- CHOW, C.; LUK, P. A strategic service quality approach using analytic hierarchy process. **Managing Service Quality**, v. 15, n. 3, p. 278-289, 2005.
- COSTA, G. J. A.; VIEIRA, C. I. P. Geotecnologias para análise da vulnerabilidade ambiental do núcleo de desertificação do Piauí. **Caderno Prudentino de Geografia**, n. 40, v. 2, p. 59-76, 2018.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Diagnóstico do município Brejo da Madre de Deus**, estado de Pernambuco. Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Manoel Julio da Trindade G. Galvão, Simeones Neri Pereira, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.
- DIAS, V. S. B.; SILVA, A. AHP na modelagem da vulnerabilidade ambiental do mini corredor ecológico Serra das Onças (BA). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n.6, p. 1363–1377, 2014.
- ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S. M. **Apoio à decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação de alternativas**. Florianópolis: Insular, 2001.
- FERREIRA, D. D. M.; KELLER, J.; SILVA, L. E. A utilização da água pela indústria têxtil: uma pesquisa no município de Brusque, SC. **InterSciencePlace**, v. 2, n. 8, p. 1-19, 2009.
- FIGUEIREDO, A. F. R.; CALASANS, N. A. Risco de salinização dos solos da bacia hidrográfica do rio colônia - sudeste da Bahia/Brasil. **Engvista**, v. 10, n. 1, p. 15-26, 2008.
- GUERRA, M. D. F.; SOUZA, M. J. N.; LUSTOSA, J. P. G. Desertificação em áreas semiáridas do nordeste brasileiro: o caso do município de Jaguaribe, Ceará. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 2, Set. 2010.
- LIMA, R. C. C. **Avaliação do processo de desertificação no semiárido paraibano utilizando geotecnologias**. 2010. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2010.
- LIMA, T. S.; CARDOSO, A. S.; SOUZA, W. M.; GALVÍNCIO, J. D. Analysis of climate variability in semiarid region, Petrolândia, Pernambuco. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v.6, n.2, p. 91–98, 2016.
- LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- MACHADO, L.C.; SOARES, D. B. Caracterização de nascentes da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe em assentamento rural. **Revista GEAMA**, v. 4, n.2, p. 5-12, 2018.
- MATALLO JÚNIOR, H. **Indicadores de Desertificação: Histórico e Perspectiva**. Brasília: UNESCO, 2001.
- NASCIMENTO, N. S.; VIEIRA, E. M.; GONÇALVES, J. A. C.; CUNHA, G. P. Q. Estudo da vulnerabilidade ambiental em uma micro bacia hidrográfica empregando hierarquia nominal e operador local. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.09 n.03 p. 897-916, 2016.
- PAVANI, I. D.; CICERELLI, R. E.; ALMEIDA, T.; MOURA, L. Z.; CONTRERAS, F. Allocation of sanitary landfill in consortium: strategy for the Brazilian municipalities in the State of Amazonas. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 39, p. 1-13, 2019.
- PERNAMBUCO. **Plano Estadual de Mudanças Climáticas**. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Recife, 2011.
- PERNAMBUCO. **Bacias Hidrográficas**. 2018. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=14. Acesso em: 23 mar. 2020.
- PREFEITURA MUNICIPAL DO MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DO CAPIBARIBE. **A cidade**. 2020. Disponível em: <https://www.santacruzdocapibaribe.pe.gov.br/artigos/pagina/id/6>. Acesso em: 23 mar. 2020.
- PORATH, P. H. M. Uso de análise multicritério para identificação de áreas potenciais para construção de marinas. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 3 - 26, 2014.
- ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, n.1, p. 63-74, 1994.
- SAATY, T. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9–26, 1990.
- SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw-Hill, 1980.
- SAATY, T. L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. **Management Science**, v.32, p.841-855, 1986.
- SAMPAIO E. V. S. B.; ARAÚJO M. S. B.; SAMPAIO Y. S. B. Propensão à desertificação no semi-árido brasileiro. **Revista de Geografia**, v. 22, n. 2, 59-76, 2005.
- SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D. Mudanças climáticas e cenários de susceptibilidade ambiental à desertificação em municípios do estado de Pernambuco. Observatorium: **Revista Eletrônica de Geografia**, v.5, n.13, p. 66-83, jun. 2013.
- SANTOS, J. P. O.; SILVA JÚNIOR, J. M.; SILVA FILHO, J. A.; SILVA, J. L. C.; RIBEIRO, J. K. N.; OLIVEIRA, F. I. F. Environmental Degradation and Risk of Desertification in Alto Sertão Region, Alagoas State, Brazil. **Revista GEAMA**, v.3, n. 4, p. 191-195, 2017.
- SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Estudo econômico do arranjo produtivo local de confecção do agreste pernambucano**. Recife, 2013. Disponível em: <https://meuatendimento.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Estudo%20Economico%20do%20APL%20de%20Confecoes%20do%20Agreste%20%202007%20de%20MAIO%202013%20%20docx.pdf>. Acesso em: 6 de maio de 2020.
- SARAIVA, A. G. S.; SOUSA, R. F.; MENESES, L. F. Análise multitemporal do processo de desertificação do município de Boa Vista-PB utilizando dados orbitais. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2010, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2010. p. 1-8.
- SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. Desertificação e seus efeitos na vegetação e solos do Cariri Paraibano. Mercator - **Revista de Geografia da UFC**, v. 08, n. 16, 217-232, 2009.
- SILVA, E. G. B. **Degradação das terras secas nos sertões de Santa Quitéria e Independência – Ceará: contribuições ao monitoramento ambiental**. 2018. 182f. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- UFAL. UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS, 2019. **Lapis utiliza metodologia inédita para monitorar processo de desertificação no Brasil**. Disponível em: <https://ufal.br/ufal/noticias/2019/7/lapis-utiliza-metodologia-inedita-para-monitorar-processo-de-desertificacao-no-brasil>. Acesso em: 04 de fev. 2020.
- TAVARES, K. A. S.; ALMEIDA, A. J. P.; FERREIRA NETO, J. V. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando técnicas de geoprocessamento: o caso da bacia hidrográfica do Pratagy, Alagoas. In: 4º GeoAlagoas – Simpósio sobre as geotecnologias e geoinformação no estado de Alagoas, 2016, Alagoas. **Anais...** Alagoas, 2016, p. 1-14.

TAVARES, V. C.; ARRUDA, I. R. P. de; SILVA, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Revista Geosul**, v.34, n.70, p 385-405, 2019.

TEIXEIRA, C. M. B. **Comportamento e integração de indicadores espectrais da desertificação**. 2018. 152f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

WANG, X.; CHEN, F.; DONG, Z. The relative role of climatic and human factors in desertification in semiarid China. **Global environmental change**, v.16, n.1, p.48-57, 2006.