



GEOTECNOLOGIAS PARA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DO PIAUÍ

Grenda Juara Alves Costa

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Engenharia Cartográfica Recife,
Pernambuco, Brasil

E-mail: grendajuara@hotmail.com

Carla Iamara de Passos Vieira

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Engenharia Cartográfica Recife,
Pernambuco, Brasil

E-mail: iamarapassos@gmail.com

Resumo

O uso e ocupação da terra é um dos grandes responsáveis por uma série de problemas ambientais. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a vulnerabilidade ambiental na área do Núcleo de Pesquisa de Recuperação de Áreas Degradadas e Combate à Desertificação (NUPERADE), que envolve 15 municípios do sul do estado do Piauí, através do mapeamento temático das características físicas da área, buscando identificar os locais com maiores probabilidades de sofrerem com a desertificação. Para isso, foram usadas técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e dados para caracterização da área. Para integração dos dados foi realizada uma análise multicritério e uma de aplicação de álgebra de mapas por meio do QGIS. Como resultado, verificou-se que 12% da área possui alta vulnerabilidade ambiental. Com o presente trabalho, pôde-se concluir que é de extrema importância a verificação dessas áreas do NUPERADE.

Palavras-chave: Desertificação; SIG; Análise multicritério.

GEOTECHNOLOGIES FOR ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL VULNERABILITY OF THE PIAUÍ DESERTIFICATION NUCLEUS

Abstract

The use and occupation of the land is one of the main responsible for a series of environmental problems. In this sense, the present work had the objective of evaluating the environmental vulnerability in the area of the Research Center for the Recovery of Degraded Areas and Combating Desertification (NUPERADE), which involves 15 municipalities in the south of the state of Piauí, through thematic mapping of physical characteristics of the area, seeking to identify the sites most likely to suffer from desertification. For this, geoprocessing techniques, remote sensing and data were used to characterize the area. For the integration of the data, a multicriteria analysis and an application of map algebra through the QGIS were performed. As a result, it was verified that 12% of the area has high environmental vulnerability. With the present work, it can be concluded that it is extremely important to verify these areas of NUPERADE.

Key words: Desertification; SIG; Multi-criteria analysis.

GEOTECNOLOGÍAS PARA ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD AMBIENTAL DEL NÚCLEO DE DESERTIFICACIÓN DEL PIAUÍ

Resumen

El uso y ocupación de la tierra es uno de los grandes responsables de una serie de problemas ambientales. En este sentido, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la vulnerabilidad ambiental en el área del Núcleo de Investigación de Recuperación de Áreas Degradadas y Combate a la Desertificación (NUPERADE), que involucra a 15 municipios del sur del estado de Piauí, a través del mapeamiento temático de las características físicas del área, buscando identificar los locales con mayores probabilidades de sufrir con la desertificación. Para ello, se utilizaron técnicas de geoprocésamiento, sensoriamiento remoto y datos para caracterización del área. Para la integración de los datos se realizó un análisis multicriterio y una de aplicación de álgebra de mapas por medio del QGIS. Como resultado, se verificó que el 12% del área posee alta vulnerabilidad ambiental. Con el presente trabajo, se pudo concluir que es de extrema importancia a la verificación de esas áreas del NUPERADE.

Palabras-clave: Desertificación; SIG; Análisis multicriterio.

Introdução

As irregularidades e crescimentos desordenados das cidades geram inúmeras consequências como exploração dos recursos naturais, aumento dos desmatamentos, ocupações urbanas em áreas inadequadas, dentre outros. Estas consequências, atreladas às características físicas, podem acelerar os processos de degradação ambiental das áreas. Estes processos ocorrem principalmente quando as atividades agropecuárias são executadas em solos com baixa aptidão, acelerando a degradação.

A desertificação é um complexo grau de degradação de solos, é um problema de debate global, que afeta as regiões de clima árido, semiárido e sub-úmido seco da Terra, decorrente de fatores climáticos, muitas vezes associado a atividades antropogênicas (FRANÇA; PIUZANA; ROSS,2017).

De acordo com Perez Marin et. al. (2012), no Brasil as áreas susceptíveis à desertificação compreendem 1.340.863 km², englobando 1.488 municípios de nove Estados da região Nordeste. O núcleo de Gilbués é considerado o maior do país, com extensão a cerca de 6.000 km² e abrange, além desse, os municípios de Monte Alegre do Piauí, Barreiras do Piauí, São Gonçalo do Gurgueia, Santa Filomena, Alto Parnaíba.

Inúmeras ações de combate á desertificação no Brasil vêm sendo adotadas. Combater a desertificação implica no desenvolvimento de ações voltadas ao controle e prevenção deste processo e, quando possível, recuperar as áreas degradadas, assim como é importante também suprimir as causas que provocam estas consequências (LOPES; SOARES, 2016).

No núcleo de desertificação do Piauí, os principais causadores deste processo são: uso inadequado dos solos, sobrepastoreio, cultivo excessivo, processos físicos e químicos como a erosão e salinização do solo respectivamente e atividades extrativistas o que em boa parte da área é irreversível.

Em 2003 foi implantado o Núcleo de Pesquisa de Recuperação de Áreas Degradadas e Combate à Desertificação (NUPERADE) no município de Gilbués. O NUPERADE envolve áreas propensas à desertificação e inclui municípios de Gilbués, Bom Jesus, Redenção do Gurguéia, Curimatá, Avelino Lopes, Júlio Borges, Morro Cabeça no Tempo, Parnaguá, Corrente, Cristalândia, São Gonçalo do Gurguéia, Sebastião Barros, Barreiras do Piauí, Riacho Frio e Monte Alegre.

O núcleo de pesquisa tem o intuito de apoiar estudos sobre o fenômeno da desertificação, testar tecnologias para o controle do processo de degradação de terras e promover a recuperação de áreas degradadas da região. Ele tem o objetivo de combater não somente a erosão, a salinização dos solos e demais consequências, mas também eliminar as causas analisando a vulnerabilidade ambiental das áreas.

A análise da vulnerabilidade ambiental se torna relevante e leva em consideração diversos elementos que constituem o ambiente, seja ele natural ou antropizado, pois as consequências da desertificação comprometem os recursos hídricos, o solo, a cobertura vegetal e a qualidade de vida da população nas áreas afetadas. Quanto maior a degradação maior será a vulnerabilidade para desertificação.

A vulnerabilidade ambiental de uma determinada área é encontrada a partir do cruzamento de informações geoespaciais de vulnerabilidade natural com informações de uso e ocupação de solos e cobertura vegetal. Esse cruzamento tem como objetivo a análise de estabilidade dessas áreas e seu comportamento após ações externas (GOMES, 2014).

Neste sentido as geotecnologias possibilitam a execução destes estudos ambientais, pois o mapeamento da vulnerabilidade ambiental auxilia no processo de prevenção e/ou recuperação de áreas degradadas. Essa constatação mostra a importância e a necessidade do desenvolvimento de estudos em áreas com suscetibilidade à desertificação.

Tomando como área de estudo o NUPERADE, que corresponde a 15 municípios susceptíveis a desertificação no Piauí, o artigo tem como objetivo analisar a vulnerabilidade ambiental à desertificação em áreas deste núcleo, através do mapeamento temático das

características físicas da área e da aplicação da metodologia de indicadores da análise multicritério em ambiente SIG.

Embasamento Teórico

Aspectos geoambientais

No Brasil, as áreas desertificadas mais críticas estão localizadas no semiárido nordestino. O clima, o tipo de solo, a geologia, a vegetação, os fatores socioeconômicos e a gestão destas áreas são os aspectos importantes considerados neste processo (VIERA et al., 2015).

Conforme estabelece a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, esse fenômeno é definido como sendo a degradação das terras nas zonas áridas, semi-áridas e subúmidas secas resultantes da ação de fatores diversos tais como as variações climáticas e as atividades humanas. Na mesma linha, a degradação da terra é equivalente à degradação dos solos, dos recursos hídricos, da vegetação e da biodiversidade.

Na Conferência das Nações Unidas Sobre Desertificação em Nairóbi na África, em 1977, foi elaborado um plano de ação de combate à desertificação além da elaboração de um mapa mundial com a localização dos desertos e das áreas de risco à desertificação. No Brasil, somente o nordeste se inclui neste processo.

As condições ambientais das áreas susceptíveis à desertificação associadas à pressão exercida sobre os recursos naturais pela ação antrópica, vêm contribuindo para a deflagração de processos de desertificação em algumas de suas sub-regiões (BRASIL, 2005).

Ainda de acordo com Brasil (2005) são áreas suscetíveis à desertificação as que apresentam Índice de Aridez entre 0,21 até 0,65, no qual esse grau de susceptibilidade pode variar de “muito alto” a “moderado”. Assim, quanto mais seca uma dada área, mais susceptível à desertificação. Esse critério não é suficiente para caracterizar as áreas de risco, pois o risco envolve outros fatores além do critério climático.

De acordo com Guerra (2013), no nordeste brasileiro, existem quatro áreas que são chamadas núcleos de desertificação, onde é intensa a degradação. Elas somam 18,7 mil km² e se localizam nos municípios de Gilbués, no Piauí; Seridó, no Rio Grande do Norte; Irauçuba, no Ceará e Cabrobó, em Pernambuco.

As diferenças do núcleo de Gilbués com os demais se refere às características climáticas com pluviosidade média anual em torno de 200 mm, ausência de extensos períodos de estiagem e aspectos geoambientais como a litologia, pedológicos, geomorfológicos, hidrológicos e Cerrados como cobertura vegetal predominante (SILVA, 2014).

De acordo com Vieira et. al. (2015), a exploração excessiva dos recursos naturais em regiões extremamente vulneráveis pode acelerar o processo de degradação e desertificação da terra afetando as funções dos ecossistemas e prejudicando a produtividade, a biodiversidade e a heterogeneidade da paisagem, representando uma grande ameaça para o meio ambiente e o bem-estar humano.

O clima predominante na região é o semiúmido com 4 a 5 meses de estiagem e temperaturas que variam de 25° a 36°C. A precipitação pluviométrica média anual é definida no regime equatorial e continental, com regime pluviométrico bastante heterogêneo caracterizado por alta amplitude pluviométrica durante o ano, que pode variar de 820 a 1840 mm (SILVA, 2013; 2014).

No estudo realizado por Crepani (2009), o Núcleo de Desertificação de Gilbués, constitui-se em caso especial de degradação do solo, relacionado diretamente ao Grupo Areado da Bacia Sanfranciscana que ocorre apenas no extremo sul do Estado do Piauí e não se repetirá fora dessa circunscrição.

Vulnerabilidade ambiental

A vulnerabilidade ambiental, de maneira geral, inclui o grau ao qual o homem ou um ecossistema está em contato com um risco, onde a unidade é afetada pela exposição e a capacidade de resistir ou recuperar-se dos danos (SALAZAR, 2015). Para reduzir a vulnerabilidade é importante primeiro fazer uma avaliação focalizando não só na exposição e sensibilidade das características físicas, mas também na medição dos aspectos físicos e impactos (CHAUDHURY, 2017).

Villa e McLeod (2002) relacionam a vulnerabilidade a processos intrínsecos que ocorrem em um sistema decorrente do seu grau de conservação e resiliência ou capacidade de recuperação após um dano, e a processos extrínsecos, relacionados à pressões ambientais atuais e futuras. A análise da vulnerabilidade ambiental é fundamental para o planejamento ambiental, pois indica as reações de um determinado ambiente e dá subsídios para criação de ações de preservação ou melhoria ambiental de uma área.

De acordo com Trombeta (2015), a fragilidade ambiental permite avaliar as áreas que sofrem mais impactos, principalmente, da ação antrópica sem considerar o uso racional dos recursos naturais, e que, portanto, necessitam de proteção e recuperação ambiental, sendo importantes indicativos do planejamento ambiental.

Para o entendimento da fragilidade ambiental destaca-se a metodologia de Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados (ROSS, 1994), que está baseada na aplicação das concepções de ecodinâmica e ecossistema em projetos de planejamento ambientais associados a meios instáveis, caracterizados por intervenção antrópica e meios estáveis, caracterizadas pelo estado natural, sem intervenção do homem (TRICART, 1977).

Esterhuysen (2017) argumenta sobre a grande importância do desenvolvimento dos mapas e avaliações de vulnerabilidade para o monitoramento e proteção adequada dos recursos naturais para fornecer uma contribuição direta no gerenciamento adequado. O uso e ocupação da terra é uma das avaliações que permitem avaliar o grau de proteção e fragilidade para cada uma das classes identificadas no terreno, por meio da classificação de imagens de satélite e verificação em campo (TROMBETA et al., 2014).

A proposta metodológica baseia-se na interpretação dos componentes como o relevo, carta hipsométrica, intensidade pluviométrica, tipos de solos e o uso e ocupação da terra e a integração destes elementos com a atribuição de valores de acordo com o grau de vulnerabilidade. O uso da metodologia do mapeamento de vulnerabilidade ambiental com a associação e combinação multicriterial visando caracterização dos diferentes níveis de vulnerabilidade da área de estudo.

De acordo com Miranda (2015), a análise multicritério exige a definições de valores de critérios, que representam o grau com que uma alternativa se relaciona a certo critério a ser avaliado. Para esta pesquisa a alternativa refere-se à caracterização da vulnerabilidade ambiental e os critérios são o uso do solo e declividade. Uma análise multicritério requer uma série de procedimentos que, como regra, visa apoiar o processo de tomada de decisão em situações complexas (ALVES et al., 2018).

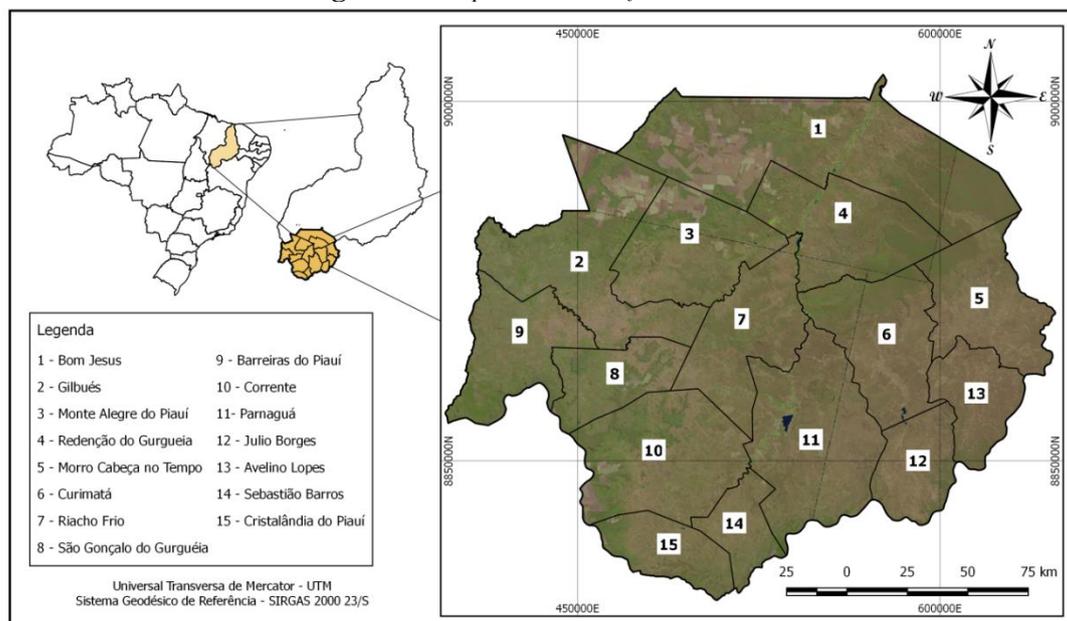
Os SIG podem fornecer valiosas contribuições no apoio às tarefas e aos projetos de planejamento cada vez mais complexos. Obtenção, arquivo, gestão, manipulação, análise e difusão de dados são as tarefas de um SIG. Portanto, são utilizados para a documentação e visualização, bem como para a análise de fenômenos (LANG & BLASCHKE, 2009).

Metodologia

O NUPERADE fica localizado na região Sul do Estado do Piauí, mais especificamente no município de Gilbués e é composto pelas áreas propícias a ocorrência de desertificação, possui uma área com área de 35. 565 km², que são os municípios de Gilbués, Bom Jesus, Redenção do Gurgueia, Curimatá, Avelino Lopes, Júlio Borges, Morro Cabeça no Tempo, Parnaguá, Corrente, Cristalândia, São Gonçalo do Gurgueia, Sebastião Barros, Barreiras do Piauí, Riacho Frio e Monte Alegre do Piauí (Figura 01). Dentro desta área, na grande região de Gilbués, a degradação se encontra em um processo muito acelerado e já alcançam uma área de 7.694 km² distribuídos entre os 15 municípios.

A metodologia utilizada para o cálculo da vulnerabilidade foi de Crepani et.al. (2001) onde os riscos recebem pesos de 1 a 3 e a mesma foi adaptada características físicas escolhidas no núcleo de desertificação do Piauí. A metodologia de análise de multicritério consiste na atribuição de pesos para as variáveis que representam riscos vulneráveis à erosão (SILVA & MACHADO, 2014). Sendo a metodologia aplicada na área de estudo, através da relação entre as atividades de uso e ocupação do solo presentes no núcleo de desertificação do Piauí.

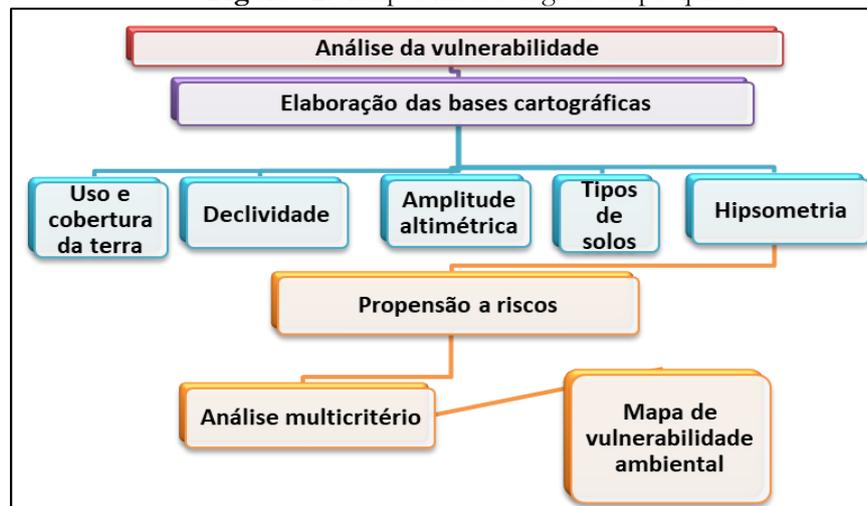
Figura 01. Mapa de localização do NUPERADE.



Fonte. Autores, 2018.

A partir dos mapas gerados na caracterização fisiográfica, é elaborado o mapa final por meio do método de álgebra dos mapas, ou seja, a aplicação de operações aritméticas, dos mapas de litologia, classes do solo, declividade, intensidade de chuva, índice de vegetação, proximidade de vias e uso do solo (ASSIS et al., 2017).

Figura 02. Etapas metodológicas da pesquisa.



Elaborado. autores, 2018.

Para a elaboração das bases cartográficas, primeiro foi feita a determinação e delimitação de toda a área de estudo. Como mostra a Figura 02, a elaboração de bases cartográficas necessárias para a pesquisa foram uso e cobertura da terra, declividade, hipsometria, tipos de solos e intensidade pluviométrica, após esta etapa foi feita a classificação das características de acordo com suas propensões a riscos para obtenção do mapa final.

O uso e cobertura da terra na área de estudo foi gerado utilizando três cenas adquiridas pelo site da *United States Geological Survey* (USGS) datadas entre os dias 2 e 12 de agosto de 2017, órbitas 219 e 220, cenas 67 e 66. Através do *software* QGIS foi feito o mosaico das imagens e o *software* Spring foi utilizado para a classificação supervisionada, onde foram usadas utilizadas as bandas 3, 4 e 5 através do classificador *Maxver*. Na classificação supervisionada foram usadas as classes de água, vegetação, cultivo agrícola e solo exposto.

Para a declividade e elaboração da carta hipsométrica os maiores riscos foram atribuídos aos locais mais elevados. Na declividade foram utilizados os dados disponibilizados pela EMPRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária, a partir

de padrão estabelecido, em plano (< 3%), suave ondulado (3-8%), ondulado (8-20%), forte ondulado (20 - 45%), montanhoso (45 – 75%) e escarpado (>75%). A carta hipsométrica foi feita a partir do modelo digital de elevação (MDE) das imagens SRTM, obtidas no *United States Geological Survey* (USGS), com resolução espacial de 30 metros.

Os tipos de solos utilizados foram os disponibilizados pelo site da EMBRAPA com escala de 1:5.000.000 onde a classificação é feita a partir da avaliação dos dados morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos da área.

Os dados utilizados para intensidade pluviométrica foram os disponíveis pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico Brasileiro), que são os dados de precipitações médias mensais de 1977 a 2006. Esses dados são obtidos através da operação da rede de hidrometeorológica nacional, onde são coletadas as informações das estações distribuídas no Brasil.

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade foi usada a calculadora *raster* do QGIS, onde todas as características foram multiplicadas por seus determinados riscos (Tabela 01) e a partir destas classificações geradas outras imagens.

Tabela 01. Riscos para as características no núcleo de desertificação do Piauí.

Uso do solo	Peso	Declividade	Peso	Intensidade pluviométrica	Peso	Solos	Peso	Hipsometria	Peso
Água	1	Plano	0	700	1	Latosso lo	1	300	1
		Suave ondulado	1					350	1
		Ondulado	1,5	800	1,5			400	1,5
Vegetação	1,5	Forte ondulado	2	900	2	Argissol o	2	450	1,5
								500	2
								550	2
Cultivo agrícola	2	Montanhoso	2,5	1000	2,5	Luvissol o	2	600	2
								650	2,5
Solo exposto	3	Escarpado	3	1100	3	Neossol o	3	700	2,5
								750	3
								800	3

Os riscos foram classificados em vulnerabilidade Muito baixa, Baixa, Média, Alta e Muito alta. O cálculo foi feito através da análise multicritério onde foi realizado o cruzamento de cada classe com seus respectivos pesos e para o cálculo final foi feita uma média das características conforme a Equação 01.

$$V = \frac{Vd + Vus + Vip + Vh + Vs}{5}$$

[Equação 01]

Onde: V = Vulnerabilidade;

Vd = Variável para declividade;

Vus = Variável para uso do solo;

Vip = Variável para intensidade pluviométrica;

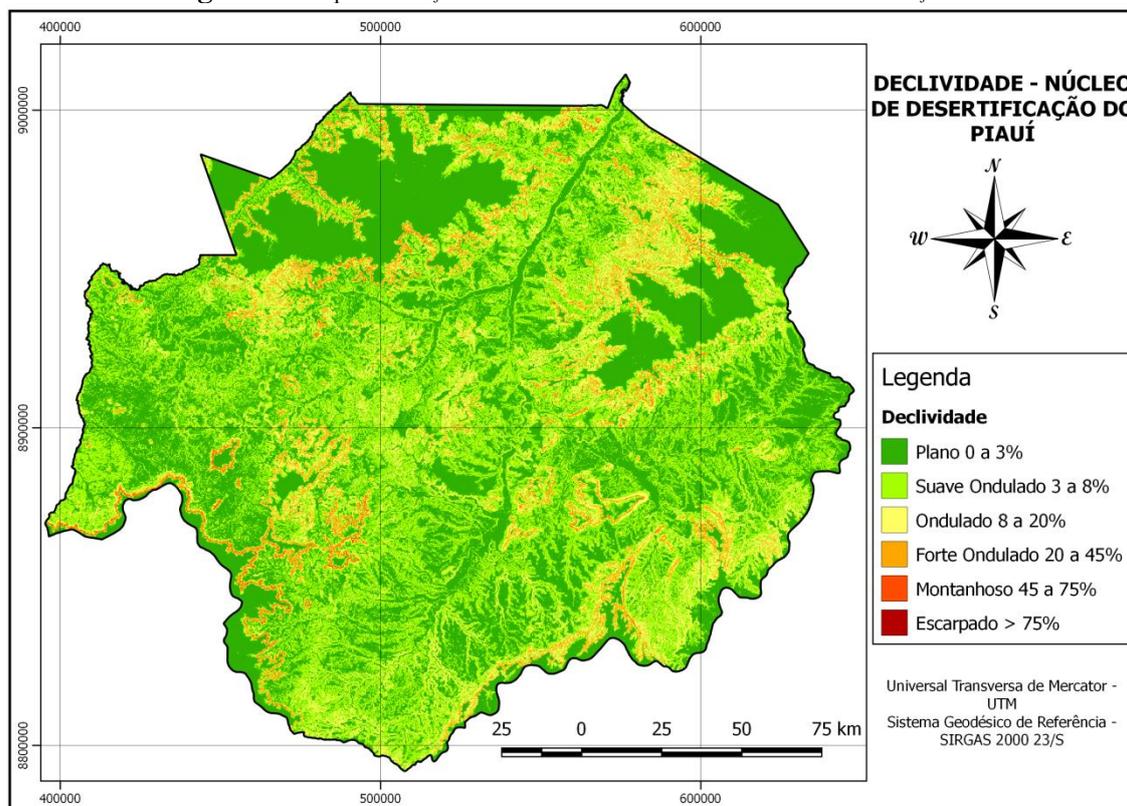
Vh = Variável para hipsometria;

Vs = Variável para os tipos de solos.

Resultados e discussões

Neste estudo foi levada em consideração a inclinação do relevo e, quanto maior a declividade maior a sua vulnerabilidade. De acordo com Dias (2012) dessa forma, a maior capacidade de erosão que esculpe as formas de relevo faz prevalecer à morfogênese. O conhecimento da declividade do município é de extrema importância para o planejamento e intervenções das ações do homem, pois a declividade influencia diretamente na susceptibilidade à perda de solo e erosões o que pode intensificar a desertificação.

Figura 03. Representação da declividade no núcleo de desertificação do Piauí.



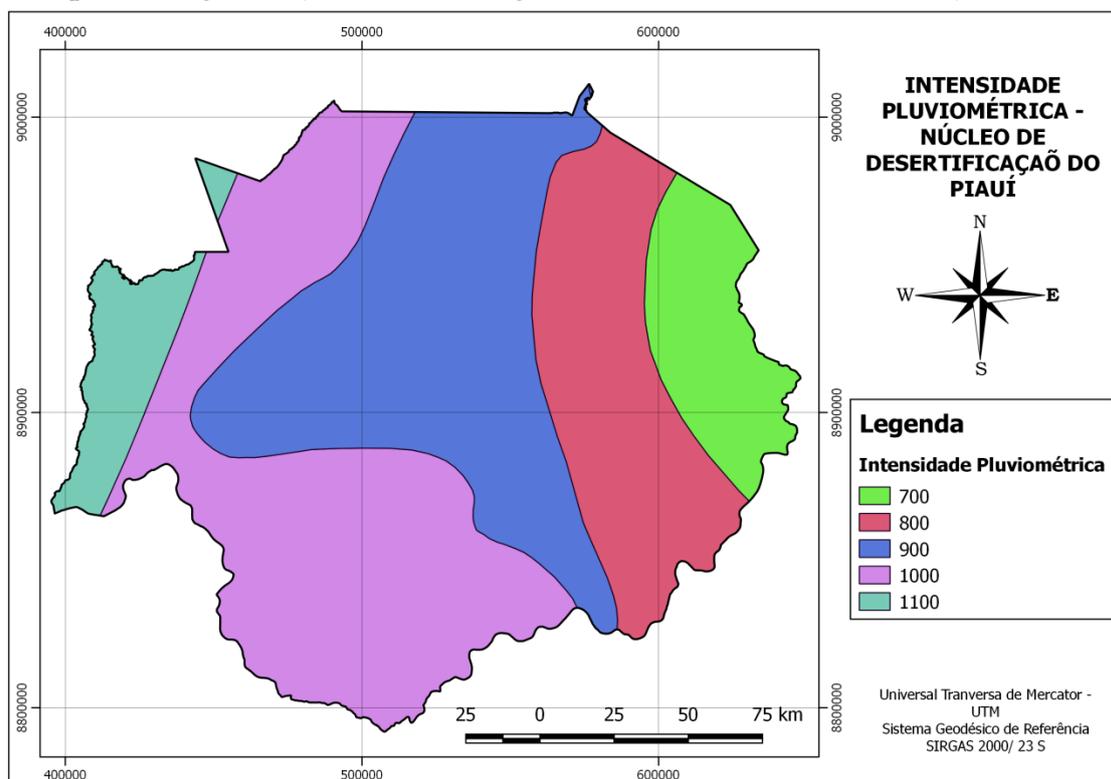
Fonte. Embrapa. Elaborado pelos autores, 2018.

A declividade foi classificada de acordo com as classes padrões da EMBRAPA, o que corresponde a um relevo plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado. De acordo com a Figura 03, o valor médio da declividade encontrada no município foi de 3 a 20% , o que corresponde a um relevo Suave Ondulado e Ondulado e alguns pontos onde o relevo é montanhoso a escarpado, de acordo com a classificação sugerida pela Embrapa.

Na região é possível notar que praticamente não tem áreas com valores acima de 75% de declividade, boa parte da área teve declividade plana, suave ondulado e ondulado, com alguns pequenos casos de forte ondulado e montanhoso.

Como é possível visualizar na Figura 04, a intensidade pluviométrica na área de estudo foi de 700 mm a 1100 mm ao mês. Estes dados foram as médias mensais obtidas entre os anos de 1997 a 2006. Para o núcleo de desertificação do Piauí é possível notar que a intensidade que ocupam maior área são 900mm e 1000 mm.

Figura 04. Representação da intensidade pluviométrica no núcleo de desertificação do Piauí.



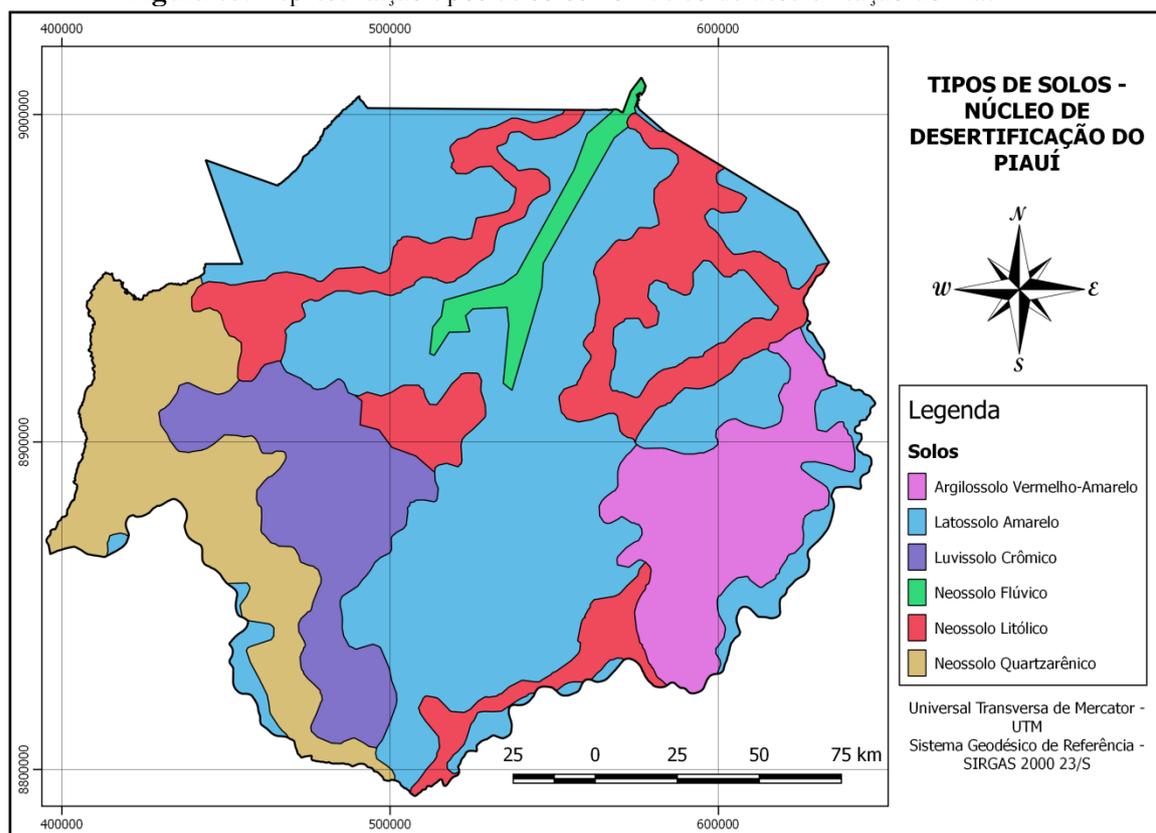
Fonte. CPRM. Elaborado pelos autores, 2018.

Os tipos de solos identificados na área de acordo com os dados disponibilizados pela EMBRAPA foram seis: argissolo vermelho-amarelo, latossolo amarelo, luvisolo

crômico, neossolo flúvico, neossolo litólico, e neossolo quartzarênico. A maior parte da área é composta por latossolo amarelo, sendo o neossolo flúvico o tipo de solo com menor verificação na área.

Para a classificação dos tipos de solos mais vulneráveis foi feita a união das áreas com os tipos de solos iguais, como é o caso dos neossolos, adequando assim a metodologia de Crepani et al. (2001).

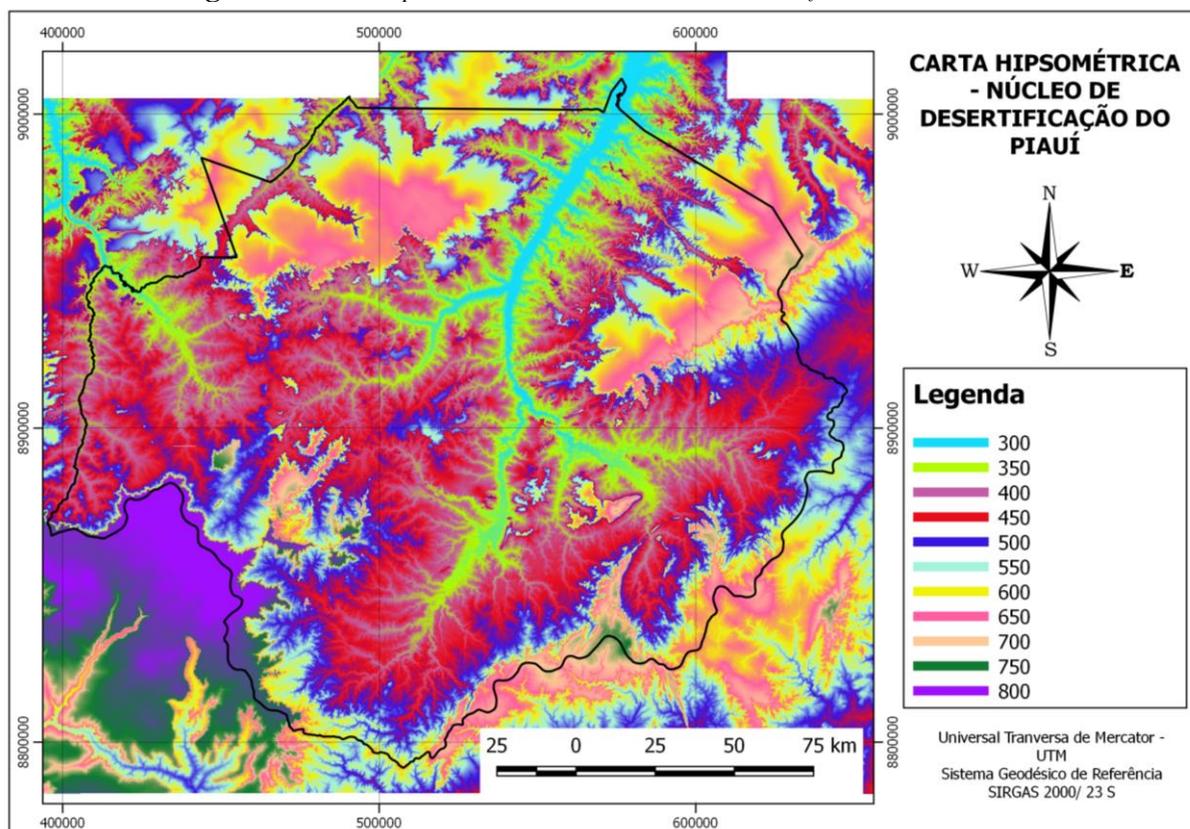
Figura 05. Representação tipos de solos no núcleo de desertificação do Piauí.



Fonte. Embrapa. Elaborado pelos autores, 2018.

A hipsometria do núcleo de desertificação do Piauí apresenta características bem distintas de acordo com as formas de uso e cobertura da terra, na área as altitudes variam de 300 a 800 metros, o que equivale a terrenos bem instáveis. A Figura 06 mostra as elevações da área de 50 em 50 metros onde, a classificação foi feita em cores distintas indicando o início e término das mesmas.

Figura 06. Carta hipsométrica do núcleo de desertificação do Piauí.



Fonte: Dados obtidos a partir do processamento das imagens SRTM. Elaborado: Autores, 2018.

Os principais usos do solo identificados na área de estudo foram água, vegetação, cultivo agrícola e solo exposto (Tabela 02).

Tabela 02. Áreas para o Uso da terra no núcleo de desertificação do Piauí.

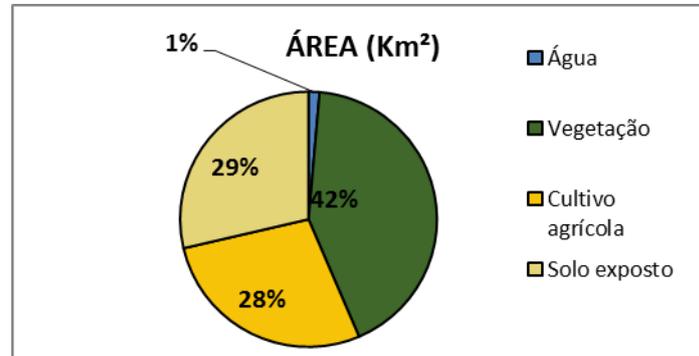
CLASSES	ÁREA (Km ²)
Água	489,360
Vegetação	15.006,308
Cultivo agrícola	9.880,047
Solo exposto	10.189,898
TOTAL	35.565,613

Fonte: Dados obtidos a partir do processamento das imagens Landsat 8.

Analisando o Tabela 02 e Gráfico 01 é possível visualizar que uso predominante da área de estudo é de vegetação e solo exposto com 15.006,308 e 10.189,898 km² respectivamente, o que equivale a 42 e 29 % da área de estudo. Em seguida aparecem as

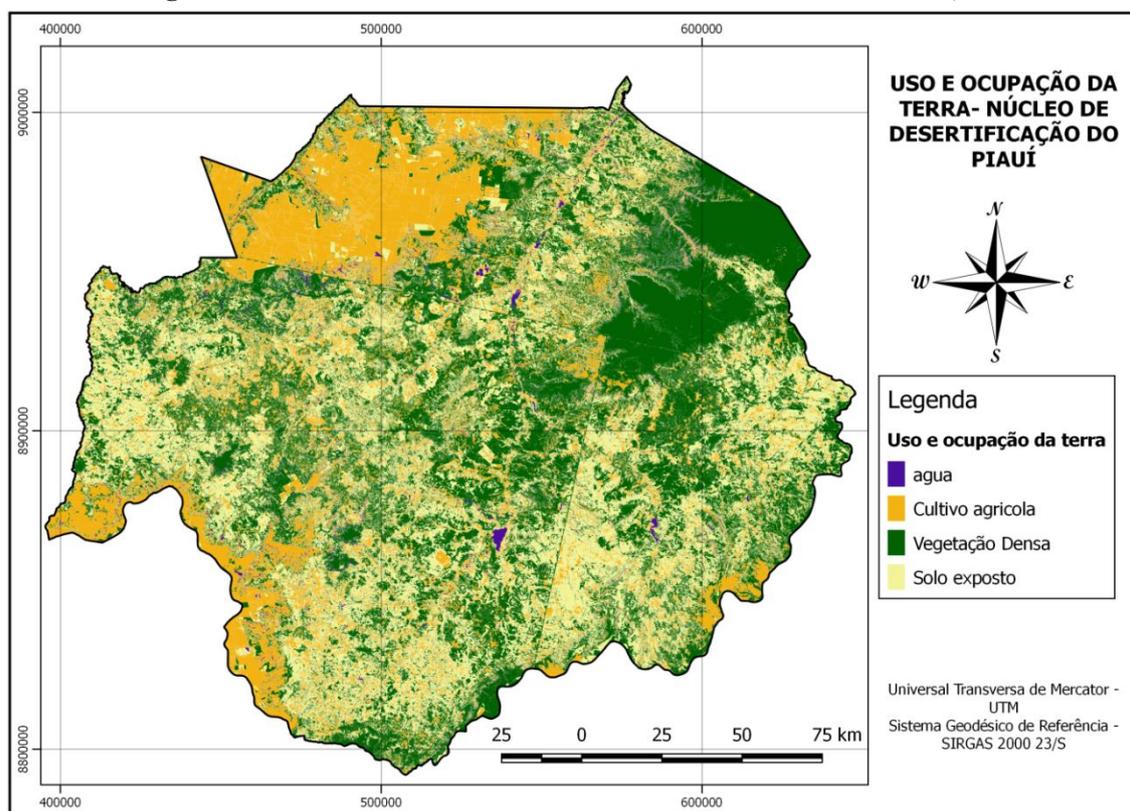
áreas de cultivo agrícola com 9.880,047 km², correspondendo a 28 % e água com somente 1% da área.

Gráfico 01. Análise do uso e cobertura da terra.



Elaborado. Autores 2018.

Figura 07. Análise do uso e cobertura da terra no núcleo de desertificação do Piauí.

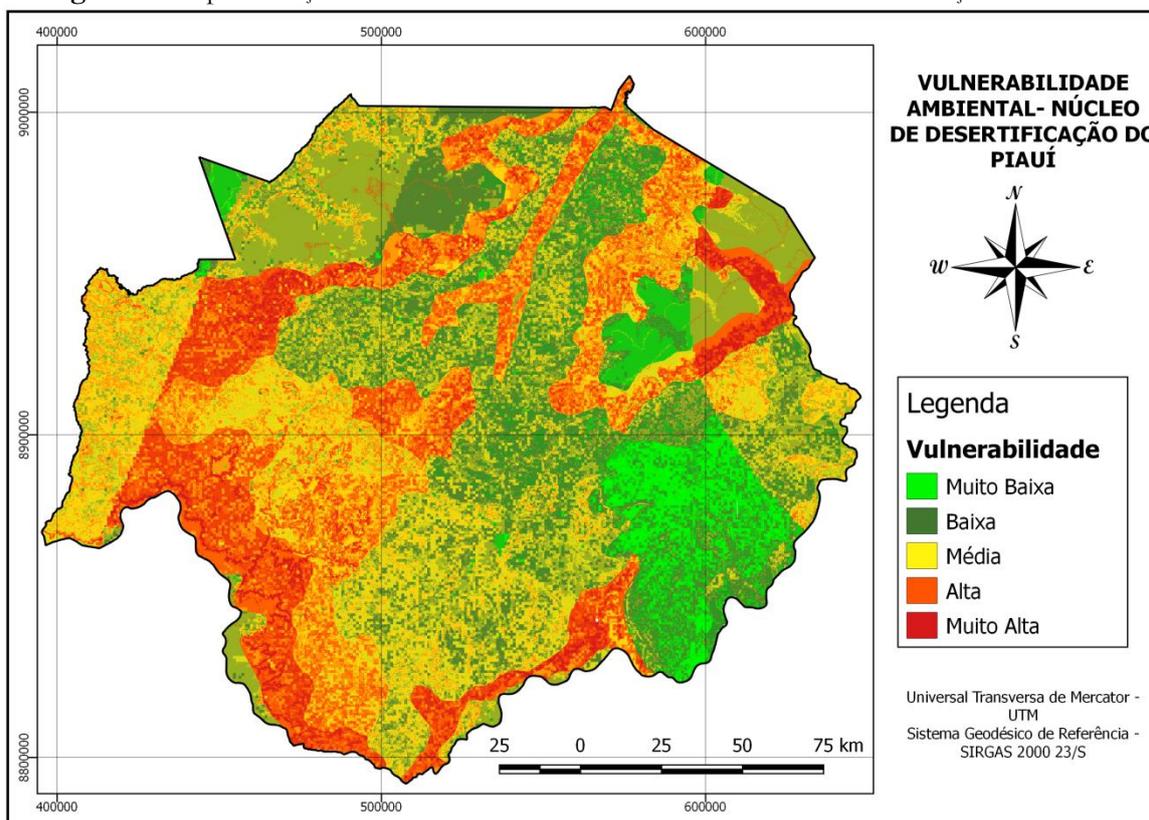


Fonte. Dados obtidos a partir do processamento de imagem Landsat 8. Elaborado: Autores, 2018.

A Figura 08 mostra o resultado final, onde é possível visualizar os locais estáveis e instáveis da área. Na cor verde claro são os locais com vulnerabilidade muito baixa, consideravelmente planos e áreas de cultivo agrícola, a cor verde escuro significa baixa

vulnerabilidade, amarelo indica vulnerabilidade mediana, laranja os locais com alta vulnerabilidade e em vermelho os locais mais instáveis.

Figura 08. Representação da vulnerabilidade ambiental no núcleo de desertificação do Piauí.



Fonte. Autores, 2018.

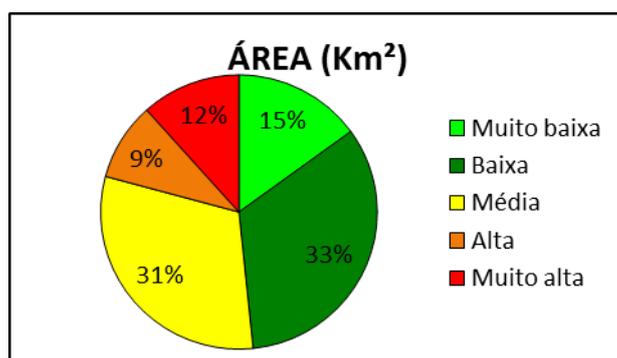
É possível notar que as áreas com vulnerabilidade muito alta são os locais que já sofrem um processo intenso de erosão o que conseqüentemente causa a desertificação, que é o caso do município de Gilbués e as cidades ao seu redor. Em alguns locais essas erosões estão em estágio bem avançado o que provoca voçorocas, ameaçando assim inúmeras propriedades da região, impossibilitando o cultivo agrícola (apesar de ser uma área fértil) e causando também o assoreamento dos rios, riachos, dentre outros.

De acordo com os cálculos da vulnerabilidade do núcleo de desertificação do Piauí como mostra a Tabela 03, somente 5.335,274 km² possui vulnerabilidade muito baixa, 11.867,238 km² tem vulnerabilidade baixa, 10.961,399 km² com média, 3.264,416 km² são considerados com alta vulnerabilidade e 4.137,685 km² com vulnerabilidade muito alta.

Tabela 03. Áreas para a vulnerabilidade ambiental no núcleo de desertificação do Piauí.

CLASSES	ÁREA (Km ²)
Muito baixa	5.335,274
Baixa	11.867,238
Média	10.961,399
Alta	3.264,416
Muito alta	4.137,685

Gráfico 01. Análise da vulnerabilidade ambiental.



Elaborado: Autores 2018.

Conforme o Gráfico 01, as porcentagens correspondem às áreas referentes à Tabela 03. O município pode ser consideravelmente vulnerável, pois além de já sofrer com os danos e os intensos processos da desertificação a análise multicritério mostrou que 52% da área tem vulnerabilidade de média a alta.

Conclusões

O núcleo de desertificação do Piauí é um dos mais graves do mundo, devido as grandes voçorocas, consequência tanto das erosões eólicas quanto das hídricas. O objetivo principal desta pesquisa foi analisar as condições da vulnerabilidade ambiental (principal causador das erosões) do núcleo de desertificação do Piauí através de suas características físicas com o uso de tecnologias da geoinformação.

Desta forma, a classificação do uso da terra junto à suas características de declividade, hipsometria, solos e intensidade pluviométrica resultaram em uma espacialização dos locais com maiores vulnerabilidades. Contudo se os fatores ambientais não forem levados em consideração no processo de uso da terra, a modificação do terreno pode ocorrer de forma desequilibrada aumentando assim as áreas de solo exposto podendo acarretar no aumento da desertificação na área o que pode ser irreversível.

A área pode ser considerada de alta vulnerabilidade ambiental, pois de acordo a análise multicritério possui uma grande parte de solos instáveis. O mapeamento mostrou-se eficiente do ponto de vista da dinâmica natural. Foi possível observar que a área apresenta uma tendência à degradação ambiental com locais com taxas de médias e elevadas de instabilidade.

Referências

- ALVES, P. B. R., et al. Mapping of flood susceptibility in Campina Grande county – PB: a spatial multicriteria approach. **Bulletin of Geodetic Sciences**, Vol. 24, issue 1, 28-43, Jan-Mar, 2018.
- BLASCHKE, T; LANG, S. **Análise da paisagem com SIG**. Tradução de Hermann Kux. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 423p.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil**,2005.
- CHAUDHURY, M. **Strategies for reducing vulnerability and building resilience to environmental and natural disasters in developing countries**, 2017. Disponível em <https://www.un.org/development/desa/dspd/wp-content/uploads/sites/22/2017/04/Moushumi-Chaudhury-Strategies-to-Reduce-Vulnerability-Paper_WRI_Final.pdf> Acesso em 26,abr.2018.
- CPRM-Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: diagnóstico do município de São Gonçalo do Gurguéia**. Organização do texto Robério Bôto de Aguiar e José Roberto de Carvalho Gomes. Fortaleza, 2004.
- CREPANI, E. O. Núcleo de Desertificação de Gilbués observado pelo Sensoamento Remoto e pelo Geoprocessamento. In: **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5185-5192. Disponível em:<<http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.13.18.39/doc/5185-5192.pdf>> Acesso em 20 abr. 2018.
- CREPANI, E; MEDEIROS, J. S; AZEVEDO, L. G; HERNANDEZ FILHO, P; FLORENZANO, T. G; DUARTE, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.
- DIAS, V. S. B. **Análise Hierárquica Processual (AHP) na Modelagem da Vulnerabilidade Ambiental do Microcorredor Ecológico Serra das Onças (BA)**. 2012. 76 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012.
- ESTERHUYSE, S et al. Vulnerability mapping as a tool to manage the environmental impacts of oil and gas extraction. **Royal Society Open Science**.. 4: 171044.2017.
- 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**, Vol. 38,nº 31.Pág. 21,2017.
- GOMES, M. *et al.* Análise preliminar dos mapas de vulnerabilidade do patrimônio espeleológico para as áreas cársticas prioritárias da região de abrangência do pan cavernas do São Francisco. **Revista Brasileira de Espeleologia – RBEsp**, v. 1, n. 4, 2014.
- GUERRA, S. Crise Ecológica na Sociedade de Risco. **Revista de Direito da Cidade**, vol.05, nº02. ISSN 2317-7721 p. 77-105, 2013.

- JACQUES, *et al.* Environmental vulnerability assessment in the vicinity of an industrial site in the frame of ARAMIS European project. **Journal of Hazardous Materials**, v. 130, p. 251-264, 2005.
- LOPES, L. S. de O; SOARES, R. C. Suscetibilidade à desertificação das terras secas de Gilbués (Estado do Piauí) e Cabrobó (Estado do Pernambuco), nordeste do Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, v. 1, n° 56. p. 307–323.2016.
- METZGER, M. J; *et al.* The vulnerability of ecosystem services to land use change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 114, p. 69-85, 2006.
- PEREZ-MARIN, A. M; CAVALCANTE, A. M. B; MEDEIROS, S. S; TINÔCO, L. B; SALCEDO, I. H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? **Parc.Estrat.** Brasília-DF, v.17, n.34, p.87-106, 2012.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. V.8, 1994.
- SALAZAR, J. P. C. **Determinação de cenários futuros de uso e cobertura do solo e sua influência na vulnerabilidade ambiental: o caso do Município de Formosa – Goiás, Brasil**, 2015.127f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília. Faculdade Tecnologia. 2015.
- SCHOTER, D. *et al.* Vulnerability assessment - analysing the human-environment system in the face of global environmental change. **The ESS Bulletin**, v. 2, p. 11-17, 2004.
- SILVA, I. A. S. **Clima e arenização em Gilbués-Piauí: dinâmica das precipitações e a vulnerabilidade da paisagem aos eventos pluviiais intensos**. Goiás, Brasil, 2014. 184f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Goiás. Instituto de Estudos Socioambientais. 2014.
- SILVA, I. A. S. Degradação ambiental em Gilbués-PI: bases conceituais, condicionantes geoambientais e impactos na paisagem. **Revista Equador**, Vol.1, n.1, p. 14-29, 2013.
- TRAN, L. T. *et al.* Fuzzy Decision Analysis for Integrated Environmental Vulnerability Assessment of the Mid-Atlantic Region. **Environmental Management**, v. 29, p. 845-859, 2002.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.
- TROMBETA, L. R.; GARCIA, R. M; NUNES, R. S; GOUVEIA, I. C. M. C.; LEAL, A. C. 2014. Análise da fragilidade potencial e emergente do relevo da unidade de gerenciamento de recursos hídricos pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil. **Caderno de prudentino de geografia**, n°36, p.159-173,2014.
- TROMBETA, L. R. **Planejamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Guaiaçarinha, Município de Álvares Machado, São Paulo, Brasil**. 2015. 205f. Dissertação (mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Geografia, campus de Presidente Prudente. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia.2015.
- VIEIRA, R. M. S. P; TOMASELLA, J; ALVALÁ, R. C. S; SESTINI, M. F; AFFONSO, A. G; RODRIGUEZ, D. A; BARBOSA, A. A; CUNHA, A. P. M; VALLES, G. F; CREPANI, E; OLIVEIRA, S. B. P; SOUZA, M. S. B; CALIL, P. M; CARVALHO, M. A; VALERIANO, D. M; CAMPELLO, F. C. B; SANTANA, M. O. (2015). Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian Northeast. **Soid Eart**, 6, p.347.
- VILLA, F; McLEOD, H. Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision-Making: Guidelines and Applications. **Environmental management**, v. 29, p. 335-348, 2002.