


ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PENTECOSTE-CE


ANALYSIS OF SUSCEPTIBILITY TO DESERTIFICATION IN THE MUNICIPALITY OF PENTECOSTE-CE

ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A LA DESERTIFICACIÓN EN EL MUNICIPIO DE PENTECOSTE-CE


Nagila Fernanda Furtado Teixeira¹

 0000-0003-2413-5543
fernandaf92@gmail.com

Pedro Edson Face Moura²

 0000-0003-3693-1280
pedroedson18@gmail.com

Iana Bárbara Oliveira Viana Lima³

 0000-0002-0351-7190
iana.barbara0@gmail.com

1 Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará - Fortaleza, Ceará, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2413-5543>. E-mail: fernandaf92@gmail.com.

2 Doutor em Geografia, Universidade Federal do Ceará - Fortaleza, Ceará, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3693-1280>. E-mail: pedroedson18@gmail.com.

3 Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará - Fortaleza, Ceará, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0351-7190>. E-mail: iana.barbara0@gmail.com.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro para a realização da presente pesquisa e pelo projeto CAPES/FUNCAP 88887.123947/2016-00-Sistemas Ambientais Costeiros e ocupação econômica do Nordeste, CAPES PRINT Proc 88887.3212019/2018-00-Integrated socio-environmental technologies and methods for territorial sustainability alternatives for local comities in thecontext of climatechange.

Artigo recebido em abril de 2024 e aceito para publicação em julho de 2024.



Este artigo está licenciado sob uma Licença
Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

RESUMO: O presente trabalho objetiva realizar uma análise da suscetibilidade à desertificação do município de Pentecoste, a partir da aplicação de cinco indicadores geobiofísicos de desertificação: permoporosidade dos litotipos; declividade; espessura do solo; erosão do solo e cobertura da vegetação, baseados na metodologia de Oliveira, Semedo e Oliveira (2014) e Oliveira (2011). A pesquisa se dividiu em três etapas: levantamentos dos dados, diagnóstico e trabalhos de campo. Os resultados demonstram que o predomínio de relevos com topografia pouco acidentada, como no caso das unidades das planícies e depressão sertaneja, permite o desenvolvimento de práticas de uso e ocupação, como a expansão urbana, atividades agropecuárias e extrativistas. A associação de Luvisolos, Planossolos e Argissolos se enquadram como moderadamente rasos, apresentam limitações moderada a forte ao uso agrícola e estão relacionadas a ocorrência de processos erosivos na área de estudo. A degradação do solo é mais perceptível nas áreas de solo pouco espesso que tem seus horizontes removidos pela influência direta das ações antrópicas e exibem áreas de solo desnudo com presença de pedregosidade e pavimento detrítico. Destaca-se que o chão pedregoso comumente encontrado na Depressão Sertaneja de Pentecoste evidencia a remoção do material fino pela erosão expondo a perda de horizontes e as marcas nítidas de forte degradação e desertificação. A área também demonstra impactos ambientais, principalmente voltados ao desmatamento, queimadas e descaracterização da paisagem, ocasionados pela pressão antrópica sobre a vegetação de Pentecoste.

Palavras-chave: Diagnóstico. Semiárido. Degradação.

ABSTRACT: The present work aims to carry out an analysis of the susceptibility to desertification in the municipality of Pentecoste, based on the application of five geobiophysical indicators of desertification: permoporosity of lithotypes; slope; soil thickness; soil erosion and vegetation cover, based on the methodology of Oliveira, Semedo and Oliveira (2014) and Oliveira (2011). The research was divided into three stages: data collection, diagnosis and fieldwork. The results demonstrate that the predominance of reliefs with less rugged topography, as in the case of the plains and sertaneja depression units, allows the development of use and occupation practices, such as urban expansion, agricultural and extractive activities. The association of Luvisols, Planosols and Argisols are classified as moderately shallow, present moderate to strong limitations to agricultural use and are related to the occurrence of erosion processes in the study area. Soil degradation is most noticeable in areas with thin soil that have had their horizons removed by the direct influence of anthropogenic actions and exhibit areas of bare soil with the presence of rockiness and detrital pavement. It is noteworthy that the stony floor commonly found in the Pentecoste Sertaneja Depression shows the removal of fine material by erosion, exposing the loss of horizons and clear marks of strong degradation and desertification. The area also demonstrates environmental impacts, mainly related to deforestation, fires and disfigurement of the landscape, caused by human pressure on the vegetation of Pentecoste.

Keywords: Diagnosis. Semi-arid. Degradation.

RESUMEN: El presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis de la susceptibilidad a la desertificación en el municipio de Pentecoste, basado en la aplicación de cinco indicadores geobiofísicos de desertificación: permoporosidad de litotipos; pendiente; espesor del suelo; erosión del suelo y cobertura vegetal, con base en la metodología de Oliveira, Semedo y Oliveira (2014) y Oliveira (2011). La investigación se dividió en tres etapas: recolección de datos, diagnóstico y trabajo de campo. Los resultados demuestran que el predominio de relieves con topografía menos accidentada, como es el caso de las unidades de llanura y depresión sertaneja, permite el desarrollo de prácticas de uso y ocupación, como la expansión urbana, actividades agrícolas y extractivas. La asociación de Luvisoles, Planosoles y Argisoles se clasifican como moderadamente someros, presentan limitaciones de moderadas a fuertes para el uso agrícola y están relacionados con la ocurrencia de procesos erosivos en el área de estudio. La degradación del suelo es más notoria en áreas con suelos delgados a los que se les han removido los horizontes por la influencia directa de la acción humana y exhiben áreas de suelo desnudo con presencia de rocosidad y pavimento detrítico. Es de destacar que el piso pedregoso comúnmente encontrado en la Depresión Pentecostés Sertaneja muestra la remoción de material fino por erosión, exponiendo la pérdida de horizontes y claras marcas de fuerte degradación y desertificación. El área también presenta impactos ambientales, principalmente relacionados con deforestación, incendios y desfiguración del paisaje, provocados por la presión humana sobre la vegetación de Pentecostés.

Palabras clave: Diagnóstico. Semi árido. Degradación.

INTRODUÇÃO

A região semiárida apresenta vocação agropastoril que aliada as características climáticas desfavoráveis e uso e ocupação inadequados aceleram e agravam a degradação ambiental, provocando descaracterização nas paisagens e graves consequências socioambientais. Segundo Nascimento (2013), os problemas ambientais como a redução da biodiversidade, a erosão dos solos, a diminuição espaço-temporal e quali-quantitativa das águas, bem como dos recursos do solo e da cobertura vegetal em uma determinada área demonstram sinais de profunda degradação ambiental que podem culminar com a desertificação.

Nessa perspectiva, a desertificação é um problema ambiental que se agrava através de fatores socioeconômicos nas áreas semiáridas, como o sistema de propriedade da terra, a racionalidades dos atores e agentes sociais envolvidos, a intensa pressão sobre os recursos naturais, a tecnologia inadequada, a carência de infraestrutura ambiental e social e a insuficiente integração regional (Nascimento, 2011).

O quadro socioeconômico do semiárido se caracteriza pelo desenvolvimento tardio, que não se adaptou as condições ambientais locais e promove mais as limitações do que as potencialidades, ocasionando graves desequilíbrios e problemas ambientais (Farias; Silva; Nascimento, 2015). Segundo Santos, Silva e Srinivasan (2007) a ocupação do semiárido brasileiro sempre se fundamentou na exploração excessiva, levando inclusive a exaustão de parte dos recursos naturais, bem como estando associada a uma estrutura social concentradora de renda e de poder, responsável pela relativa estagnação dos baixos índices socioeconômicos presentes na região.

No Brasil, o problema da desertificação atinge 1.482 municípios, onde vivem 31.663.671 pessoas, em uma superfície de 1.338.076 km². Os estados da Paraíba, Bahia e Ceará são os mais afetados pela problemática da desertificação. O Ceará concentra 136.328 km² de áreas suscetíveis à desertificação, estando delimitada mais expressivamente em três núcleos: Irauçuba com 9.706,42 km², no Sertão Norte; Jaguaribe, no Sertão do Médio Jaguaribe, com 8.422,77 km² e Tauá, no Sertão dos Inhamuns, com 8.303,46 km² (Brasil, 2004; Ceará, 2010).

Segundo a FUNCEME (2016) que cartografou as áreas susceptíveis à desertificação e as áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no Ceará, o município de Pentecoste, área de estudo do presente artigo, situa-se na área de entorno do Núcleo de Desertificação de Irauçuba/Centro Norte, é um município susceptível a desertificação e apresenta, na porção sul, áreas fortemente degradadas em processo de desertificação.

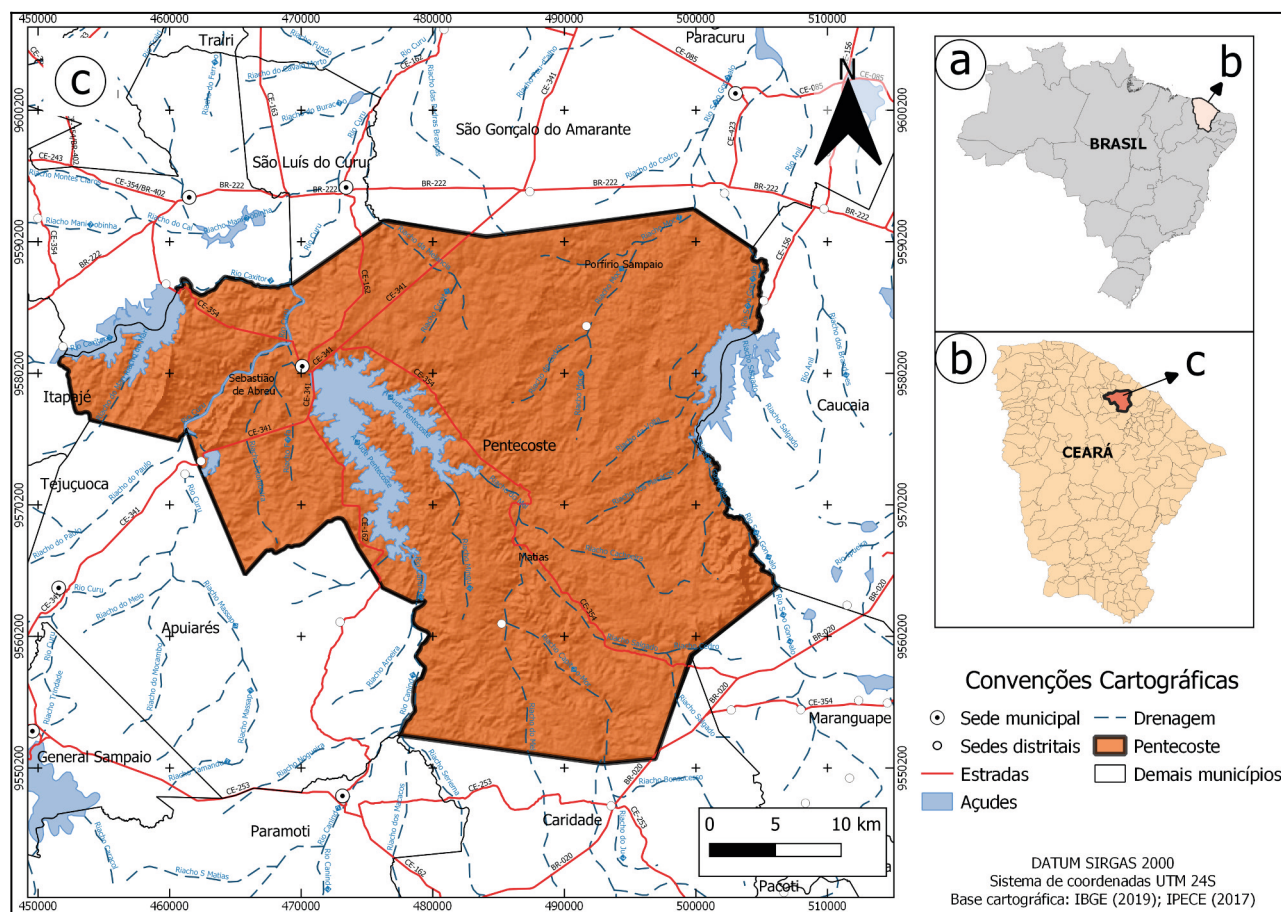
Nesse ínterim, destaca-se a necessidade de se conhecer adequadamente o meio ambiente e a dinâmica ambiental do semiárido a partir de um prisma mais próximo, o lócus investigativo, a fim de determinar os problemas e propor soluções compatíveis com a realidade e resiliência de cada ambiente, voltadas à convivência com o semiárido e o desenvolvimento sustentável.

O presente artigo objetiva realizar uma análise da suscetibilidade à desertificação do município de Pentecoste, a partir da aplicação de cinco indicadores geobiofísicos de desertificação: permoporosidade dos litotipos; declividade; espessura do solo; erosão do solo e cobertura da vegetação. Ademais, realizou-se também uma discussão sobre a degradação ambiental diagnosticada na área.

METODOLOGIA

Área de estudo

O município de Pentecoste se localiza no setor centro-norte do estado do Ceará e apresenta uma população de 37.813 habitantes, sendo 60,44% na zona urbana e 39,56% na zona rural. A economia, baseia-se predominantemente no setor primário e secundário, com empregos formais na indústria de transformação, comércio e serviços na zona urbana, bem como na zona rural destaca-se a agricultura de subsistência, de baixa produtividade, a pecuária extensiva e o extrativismo vegetal, animal e mineral (Ceará, 2009; IBGE, 2022).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).
Figura 1. Localização do município de Pentecoste.

Procedimentos metodológicos

A pesquisa se dividiu em três etapas: levantamentos dos dados, diagnóstico e trabalhos de campo. O levantamento das informações foi realizado por meio da consulta às bibliográficas e dos trabalhos de campo através de observação direta e conversas com os moradores das localidades, detalhados com o registro fotográfico e marcação de pontos no GPS.

Na fase de diagnóstico, inicialmente, realizou-se a divisão das unidades geoecológicas de Pentecoste a partir de critérios geomorfológico, pois sintetiza o conjunto dos componentes geoambientais, individualizando os aspectos próprios de drenagem superficial, associações de solos e vegetação de cada unidade, assim como as formas de uso e ocupação dos solos. Cada unidades geoecológicas foi descrita quanto às características geoambientais; as formas de uso do solo, através das atividades econômicas e pluriatividades não agrícolas desenvolvidas; as limitações ambientais e potencialidades naturais.

Para o diagnóstico da degradação ambiental e avaliação da suscetibilidade à desertificação utilizou-se os Indicadores Geobiofísicos de Desertificação (IGBD) baseados na metodologia de Oliveira, Smedo e Oliveira (2014) e Oliveira (2011). A aplicação dos indicadores geobiofísicos objetiva analisar o processo de desertificação em uma perspectiva ambiental, ou seja, a inter-relação entre componentes naturais da paisagem, podendo auxiliar na identificação dos processos de perdas de capacidade produtiva da terra (Oliveira; Smedo; Oliveira, 2014).

Para esta pesquisa foram realizadas adaptações levando em consideração as características das unidades geoecológicas do município de Pentecoste e a disponibilidade de dados primários e secundários, assim foi selecionado os seguintes indicadores: permoporosidade dos litotipos; declividade; espessura do solo; erosão e cobertura da vegetação.

A avaliação de cada indicador foi executada segundo parâmetro qualitativo, subdividido em cinco classes, escalonadas em valores de referência de 1 a 5. Os valores mais próximos a 5 correspondem às melhores condições de conservação ambiental, enquanto os valores próximos a 1 apresentam condições de degradação dos recursos naturais (Oliveira; Smedo; Oliveira, 2014; Oliveira, 2011).

O indicador permoporosidade dos litotipos analisará a composição geológica presente na área de estudo e a capacidade de permeabilidade que favorece o armazenamento de água (Oliveira; Smedo; Oliveira, 2014). Esse indicador será investigado a partir dos dados bibliográficos com consulta detalhada das obras de Sousa (2000), CPRM

(2003), Vasconcelos e Gomes (2003), Hasui *et al.* (2012) e Brandão e Freitas (2014) e o mapa de geologia de Pentecoste, com a investigação das características das unidades geológicas presentes na área de estudo.

O indicador declividade do terreno impõe limitações a algumas atividades humanas, assim como pode interferir também nos processos de formação dos solos e no escoamento superficial. A declividade será avaliada pelos atributos das diferentes classes de declividade do município, aspecto de topografia disponíveis na EMBRAPA (2013), mapa de declividade e características do modelado do relevo presente em Pentecoste.

Os indicadores espessura e erosão analisam as características dos solos do município e determinaram os fatores limitantes dos diferentes usos desse recurso, principalmente quanto à suscetibilidade a erosão e o estado atual de uso do solo (Oliveira; Semedo; Oliveira, 2014). Esses indicadores foram investigados a partir dos dados bibliográficos acerca das classes de solo predominantes no município, com a consulta detalhada das obras de Jacomine, Almeida e Medeiros (1973), IBGE (2007), Pereira e Silva (2007) e EMBRAPA (2013), bem como o mapa de solo da área de estudo e os dados coletados nas pesquisas de campo em Pentecoste.

O indicador cobertura da vegetação investiga os aspectos fisionômicos das formações vegetacionais presentes na área de estudo e o seu recobrimento natural ou introduzido que demonstrará o atual estado de conservação da vegetação e o panorama da pressão das atividades antrópicas sobre esse recurso (Oliveira; Semedo; Oliveira, 2014; Oliveira, 2011). A avaliação da cobertura da vegetação foi realizada através da verificação dos dados bibliográficos, mapa de vegetação e observação nos trabalhos de campo.

A descrição dos indicadores, parâmetros e valores utilizados na pesquisa estão presentes no Quadro 1.

Quadro 1. Indicadores Geobiofísicos de Desertificação utilizados na pesquisa.

IGBD 1 - PERMOPOROSIDADE DOS LITOTIPOS		
CARACTERÍSTICA	PARÂMETRO	VALOR
Cobertura não coesas	-	5
Depósitos sedimentares aluviais/colúviais	-	4
Rochas sedimentares	-	3
Rochas metamórficas (Níveis distintos)	-	2
Rochas ígneas, granitos e granitos migmatizados	-	1
IGBD 2 - DECLIVIDADE		
CARACTERÍSTICA	PARÂMETRO	VALOR
Plano	0 – 3%	5
Suave ondulado	3 – 8%	4
Ondulado	8 – 15%	3
Forte ondulado	15 – 20%	2
Escarpado/montanhoso	>20%	1
IGBD 3 – ESPESSURA DO SOLO		
CARACTERÍSTICA	PARÂMETRO	VALOR
Muito profundo	>200 cm	5
Profundo	100 – 200 cm	4
Moderadamente raso	50 – 100 cm	3
Raso	25 – 50 cm	2
Muito raso e com afloramentos	Sem solo < 25 cm	1
IGBD 4 – EROSÃO DO SOLO		
CARACTERÍSTICA	PARÂMETRO	VALOR
Susceptibilidade baixa	-	5
Sulcos	Profundidade > 60 cm	4
Ravinas	Profundidade 60 - 100 cm	3
Ravinas profundas	Profundidade entre 100 - 200 cm	2
Voçorocas	> 200 cm	1
IGBD 5 – COBERTURA DA VEGETAÇÃO		
CARACTERÍSTICA	PARÂMETRO	VALOR
Alta	> 75%	5
Média-Alta	54 – 75%	4
Média	32 – 53%	3
Média-Baixa	10 – 31%	2
Baixa	< 10%	1

Fonte: Adaptado de Oliveira; Semedo; Oliveira (2014); Oliveira (2011).

Para tabulação dos dados, cálculos da média e desvio padrão para cada uma das 6 unidades geológicas do município, utilizou-se o *software Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS), versão 21. O grau de suscetibilidade à desertificação será verificado pela comparação dos índices de cada unidade geológica aos intervalos de suscetibilidade à desertificação elaborados por Oliveira (2011) classificados em 4 graus (Tabela 1).

Tabela 1. Índice de suscetibilidade à desertificação.

SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO	INTERVALO
Muito Baixo	> 3,50
Baixo	3,01 – 3,50
Moderado	2,64 – 3,00
Alto	2,39 – 2,63

Fonte: Adaptado de Oliveira, Semedo e Oliveira (2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

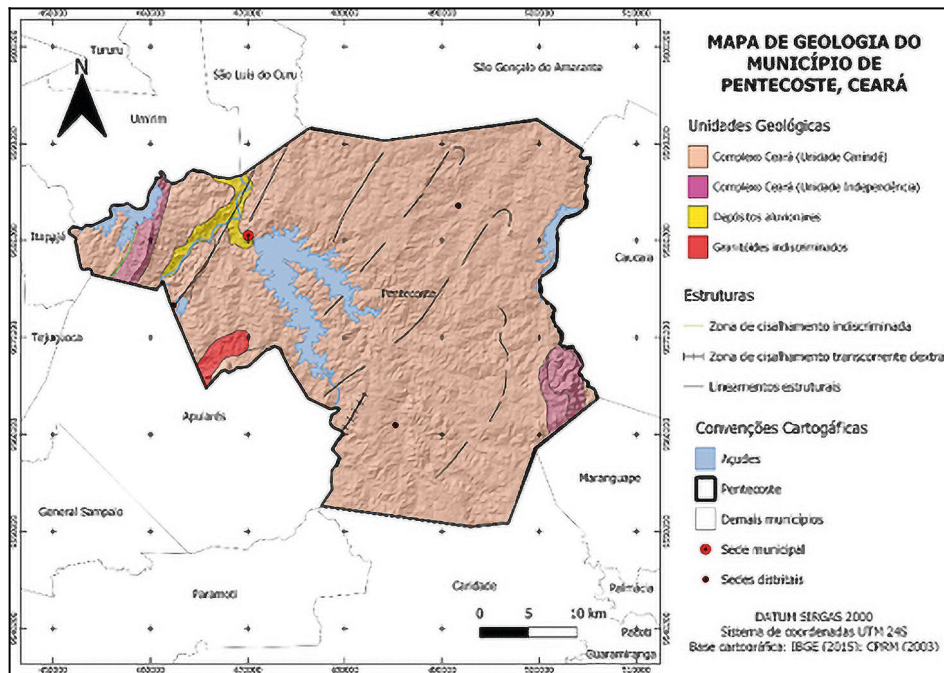
A suscetibilidade à desertificação do município de Pentecoste foi avaliado com a aplicação dos indicadores: permoporosidade dos litotipos (IGBD 1); declividade (IGBD 2); espessura do solo (IGBD 3); erosão do solo (IGBD 4) e cobertura da vegetação (IGBD 5) para cada uma das seis unidades geológicas: Depressão Sertaneja de Pentecoste; Planície Fluvial do Rio Curu; Planície Fluvial do Canindé; Conjunto de Cristas da Serra do Maracajá; Conjunto de Pequenos Maciços da Serra Santa Luzia e Conjunto de Pequenos Maciços da Serrinha (Tabela 2).

Tabela 2. Indicadores Geobiofísicos de Desertificação do município de Pentecoste.

UNIDADES GEOECOLÓGICAS	INDICADORES					ÍNDICE
	IGBD 1	IGBD 2	IGBD 3	IGBD 4	IGBD 5	
Depressão Sertaneja de Pentecoste	2	4	3	3	2	2,8
Planície Fluvial do Rio Curu	4	5	4	5	3	4,2
Planície Fluvial do Rio Canindé	4	5	4	5	3	4,2
Conjunto de Cristas da Serra Maracajá	2	2	1	4	3	2,4
Pequeno Maciço da Serra Santa Luzia	2	2	2	4	4	2,8
Pequeno Maciço da Serrinha	2	2	2	4	4	2,8
Média (M)	2,66	3,33	2,66	4,16	3,16	–
Desvio Padrão (DP)	1,03	1,50	1,21	0,75	0,75	–

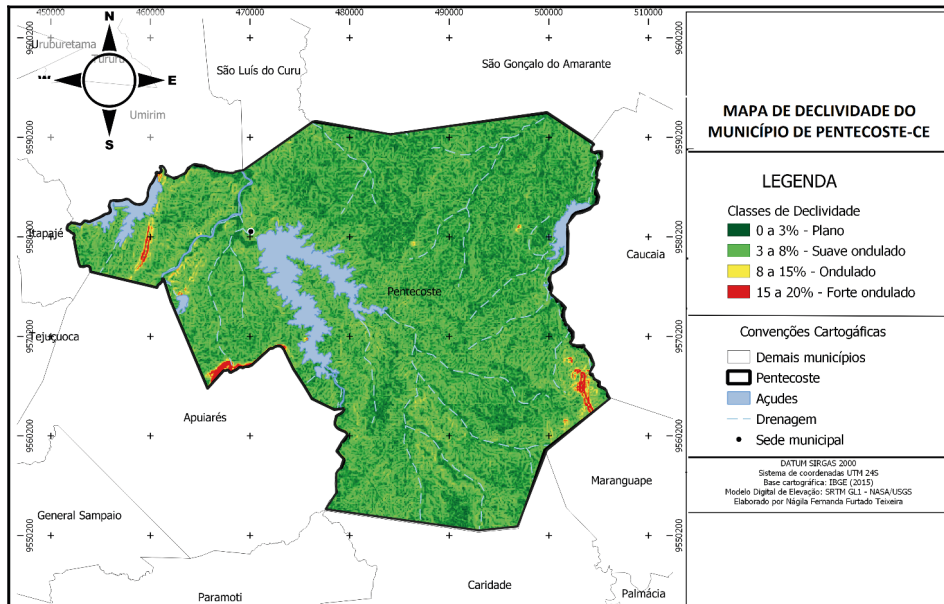
Fonte: Adaptado de Oliveira; Semedo; Oliveira (2014); Oliveira (2011).

O IGBD 1 que se refere a permeabilidade e porosidade dos litotipos, obteve média 2,66. O maior valor, 4, corresponde as unidades: Planície Fluvial do Rio Curu e Canindé, pois são depósitos aluviais formados por sedimentos que permitem o armazenamento da água. As demais 4 unidades geológicas de Pentecoste obtiveram o valor 2 por serem formadas por rochas metamórficas (Figura 2), com pouca tendência a permitir o acúmulo de água o que influencia diretamente na pouca disponibilidade de água subterrânea, no aumento do escoamento superficial e consequentemente os processos erosivos em áreas de declive acentuado.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).
Figura 2. Mapa geológico de Pentecoste.

O IGBD 2 que se refere a declividade obteve média 3,33. As classes de declividade (Figura 3) determinam as condições, comprimento de encostas e configuração superficial do terreno, fatores que configuram o modelado do relevo. O maior valor, 5, foi atribuído as unidades: Planície Fluvial do Rio Curu e Canindé por apresentarem declividade plana, 0 a 3%, onde os desnivelamentos são muito pequenos correspondendo as áreas mais estáveis, pois não sofrem com deslizamentos e apresentam de baixa a média suscetibilidade à erosão.



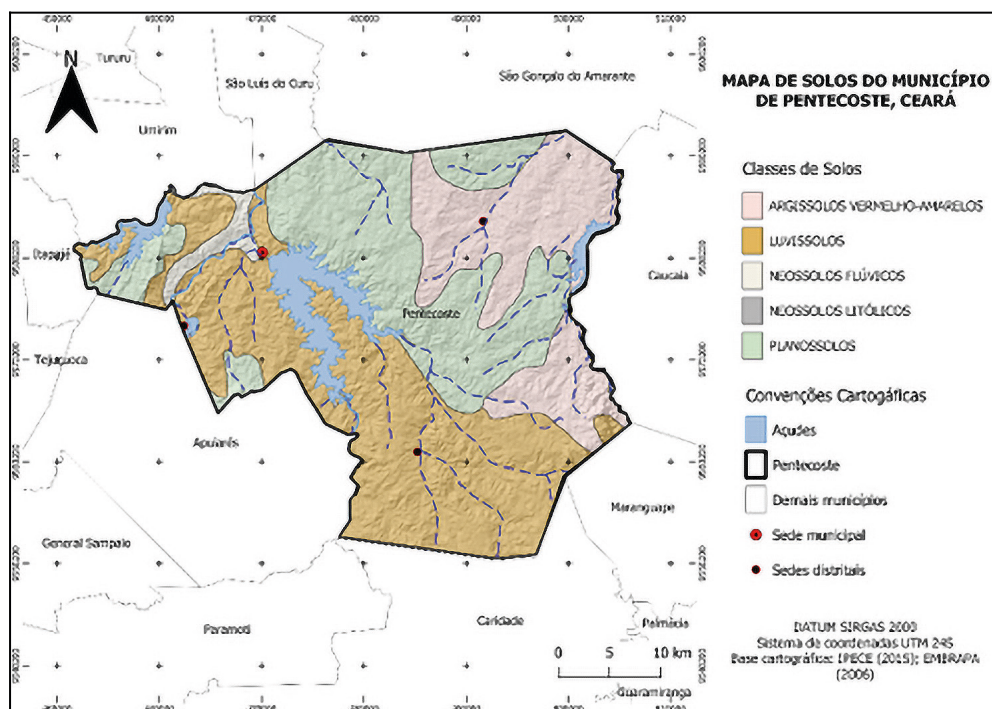
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).
Figura 3. Mapa de declividade de Pentecoste.

A Depressão Sertaneja de Pentecoste obteve valor 4, pois se enquadra como suave ondulada com declividade de 3 a 8%, correspondendo a superfície de topografia pouco movimentada e declives suaves por apresentar altitudes modesta, geralmente 90 metros e não ultrapassando os 200 metros. A topografia pouco acidentada, como no caso das unidades das planícies e depressão sertaneja, permite o desenvolvimento de práticas de uso e ocupação, como a expansão urbana, atividades agropecuárias e extrativistas.

O Conjunto de Cristas da Serra Maracajá, o Pequeno Maciço da Serra Santa Luzia e o Pequeno Maciço da Serrinha obtiveram valor 2, por se enquadrarem como forte ondulados, 15 a 20% de declividade. Essas unidades apresentam superfície de topografia movimentada, formada por morros com elevações de altitudes relativas acima de

255 metros e declives fortes se configurando em ambientes frágeis que somada a práticas inadequadas, como o desmatamento para o cultivo agrícola, acabam potencializando alterações no escoamento superficial e consequentemente nos processos erosivos.

O IGBD 3 refere-se a espessura dos solos presentes nas unidades geocológicas de Pentecoste e obteve média 2,66. O maior valor, 4, foi atribuído as unidades: Planície Fluvial do Rio Curu e Canindé por apresentarem os solos mais profundos (Figura 4), de 100 a 200 cm, representando as áreas mais propícias para a agricultura de subsistência e irrigada, pois são mais férteis e sujeitas a inundações frequentes no período das chuvas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 4. Mapa de classes de solos do município de Pentecoste.

O Pequeno Maciço da Serra Santa Luzia e o Pequeno Maciço da Serrinha obtiveram valor 2 por se enquadrarem como áreas de solo raso, entre 25 e 50 cm, composta por associações de Luvisolos e Planossolos com fortes limitações ao desenvolvimento de práticas agrícolas. O Conjunto de Cristas da Serra Maracajá recebeu o menor valor, 1, pois enquadra-se como área de solo muito raso com presença de afloramentos sendo formadas por rochas migmatíticas e quartzíticas e tendo fortes limitações ao uso agrícola.

A Depressão Sertaneja de Pentecoste, superfície aplainada e moderadamente dissecada, apresenta uma associação de Luvisolos, Planossolos e Argissolos que apresentam características próprias, mas se enquadram como moderadamente rasos, obtendo o valor 3. As áreas de Luvisolos e Planossolos apresentam limitações moderada a forte ao uso agrícola e comumente são encontradas associadas a pedregosidade, rochosidade e pavimento detrítico a nível de superfície.

Destaca-se que na Depressão Sertaneja de Pentecoste também são encontradas áreas de solos rasos e muito rasos que sofreram ação antrópica relacionada a exploração dos recursos naturais, principalmente solo e vegetação para o desenvolvimento de atividades agropecuárias e extrativistas. A pouca profundidade dos solos não permite a formação de estratos arbóreos. Esses estratos, em contrapartida, não protegem o solo da ação do clima e da precipitação, o que ocasiona a potencialização da ação do intemperismo físico com alto potencial de erosividade sobre o solo.

O IGBD 4 que mede a erosão dos solos de Pentecoste obteve média 4,16. A erosão dos solos identificada no município de Pentecoste relaciona-se ao processo de erosão hídrica. Segundo Sá e Angelotti (2009), os processos erosivos são os indícios mais marcantes da desertificação no semiárido nordestino, produto da interferência antrópica nos solos desse ambiente, o que promove, também, uma série de processos negativos sobre a flora e a fauna silvestre.

O principal agente da erosão hídrica é a água que ao atingir o solo através das chuvas na superfície desagrega e permite o transporte de substâncias menores ou na subsuperfície afetando a massa de material inconsolidado. No primeiro caso, relaciona-se ao escoamento superficial gerando formas erosivas relacionadas aos fluxos de escoamento difuso e concentrado, principalmente a erosão em lençol (*sheet erosion*), ravinas (*rill erosion*) e voçorocas (*gully erosion*) (IBGE, 2007).

O escoamento superficial difuso é o processo erosivo mais atuante no semiárido, pois em episódios de chuva intensa e em curto período, promove o transporte de material de granulometria grosseira, como seixos e cascalho, gerando pavimentos detríticos. Esse processo pode ser agravado pelas características da geologia e do tipo de solo, bem como da ausência de cobertura vegetal e topografia (Corrêa, 2006).

De acordo com a FUNCEME (2015) o escoamento superficial difuso arrasta os detritos derivados da desagregação mecânica deixando o material grosseiro na periferia e carregando os clásticos finos para áreas mais distantes. Em áreas com declive topográfico mais acentuado a ação desses dois processos morfodinâmicos expõe o chão pedregoso na Depressão Sertaneja, marca nítida de degradação dos solos.

A vegetação é o principal responsável pela diminuição do escoamento superficial e perda de solo decorrente de processos erosivos, pois esta intercepta a chuva e protege o solo desde a sua copa até a serapilheira. A retirada da vegetação altera o equilíbrio natural, deixando a superfície do solo exposta aos agentes erosivos e interrompendo o aporte de restos vegetais ao solo. Assim, inicia-se a diminuição progressiva da matéria orgânica que provoca rápida deterioração da fertilidade e estrutura do solo seguida pela diminuição da infiltração e aumento do escoamento e consequente crescimento da erosão (Boluda; Carrasco; Oliveira, 2005).

O impacto das gotas de água da precipitação ao tocarem o solo desnudo provoca o “desmanche” de partículas do solo que afeta a capacidade de infiltração e consequentemente acumula água que escoar em nível de superfície carregando mais partículas e formando os sulcos de erosão e ravinas. Estes tendem, a evoluir com o agravamento do escoamento superficial gerando as voçorocas.

Em áreas com maior declividade esse processo é intensificado pela ação da gravidade e a camada superficial do solo, primeiros horizontes e mais férteis, podem ser carregados, ocasionando perda de nutrientes, elementos minerais e de fertilidade, tornam-se solos degradados (Souza, 2000; Guerra; Souza; Lustosa, 2012).

O aumento do desmatamento, da queimada, as chuvas concentradas e muitas vezes torrenciais típicas do semiárido bem como a maior declividade de algumas feições geoecológicas e os solos rasos provocam o aumento da erosão, formando ravinas de diferentes dimensões e deixando as rochas expostas, descaracterizando a paisagem sertaneja do município de Pentecoste.

Os Planossolos, Luvisolos e Argissolos são naturalmente susceptíveis à erosão por serem rasos e apresentarem grande concentração de silte e granulometrias facilmente carregadas pelo escoamento superficial em áreas com ausência de cobertura vegetal. É comum encontrar sinais perceptíveis de erosão laminar e em sulcos rasos provocado pelas formas de uso da terra para agricultura e pecuária na zona rural de Pentecoste. As unidades Conjunto de Cristas da Serra do Maracajá, Pequeno Maciço da Serra Santa Luzia e Pequeno Maciço da Serrinha obtiveram valor 4 por apresentarem predominância de sulcos de erosão com profundidades que não ultrapassavam os 60cm.

Segundo Guerra, Souza e Lustosa (2012) o processo de formação das ravinas inicia-se na saturação do solo e formação de poças de águas que rompem obstáculos e escoam superficialmente, sendo inicialmente difuso, sob a forma de um lençol (*sheeflow*) que evolui para uma ravina quando o fluxo de água passa a ser linear (*flowline*) e depois torna-se microrravinas (*microrills*) e posteriormente para microrravinas com cabeceiras (*headcuts*). Simultaneamente a essa evolução, podem se estabelecer também bifurcações, através dos pontos de ruptura (*knickpoints*) das ravinas, criando uma rede de ravinas (*rill network*) no terreno.

As unidades Planície Fluvial do Rio Curu e Canindé obtiveram o valor 5, por serem áreas planas, apresentarem os solos mais profundos e menos susceptíveis à erosão. A unidade com áreas mais perceptíveis de degradação, valor 3, através de marcas nítidas de erosão e ravinas de profundidades variadas, até 100 cm, é a Depressão Sertaneja de Pentecoste. As ravinas profundas são menos frequentes, mas são encontradas nas porções sul e sudeste do município.

A degradação do solo (Figura 5) é mais perceptível nas áreas de solo pouco espesso que tem seus horizontes removidos pela influência direta das ações antrópicas e exibem áreas de solo desnudo com presença de pedregosidade e pavimento detrítico. Destaca-se que o chão pedregoso comumente encontrado na Depressão Sertaneja de Pentecoste evidencia a remoção do material fino pela erosão expondo a perda de horizontes e as marcas nítidas de forte degradação e desertificação da área.

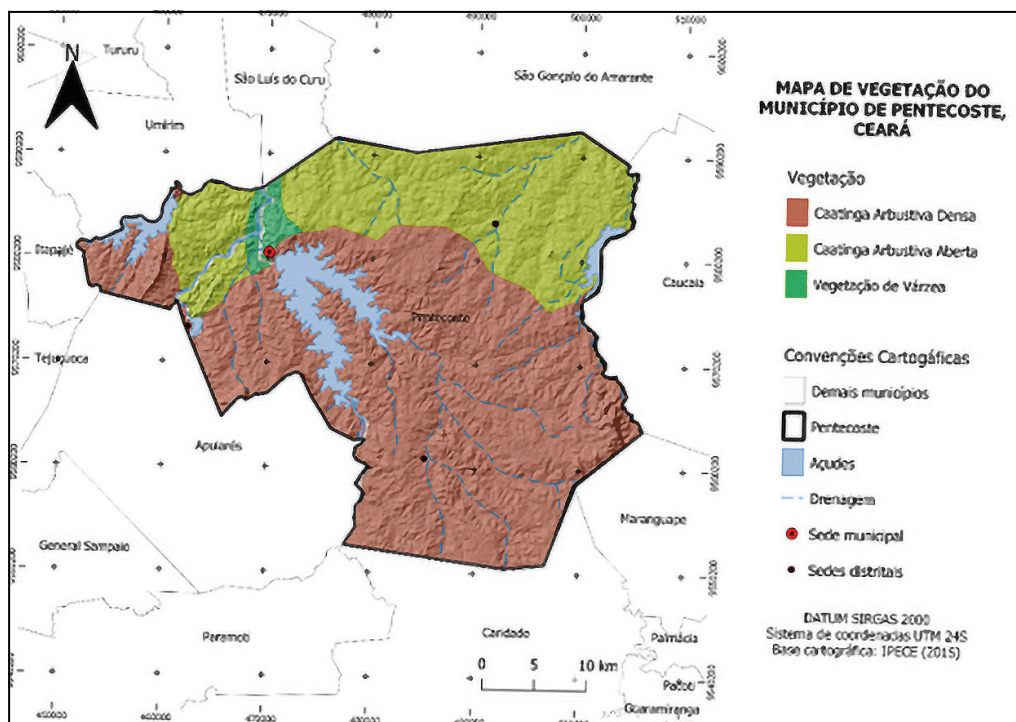


Fonte: Autores (2023).

Figura 5. Área fortemente degradada e compactada pela pecuária.

A pressão por superpastoreio impacta negativamente o solo e a vegetação de Pentecoste, conforme salienta Araújo, Almeida e Guerra (2010, p. 37) “o superpastoreio pode ser o fator principal na degradação ambiental, pois quando grandes rebanhos competem pelas mesmas pastagens eles podem ultrapassar a produtividade natural da área e remover a cobertura vegetal e compactar o solo, acelerando a erosão”.

O IGBD 5 refere-se a cobertura vegetal (Figura 6) presente nas unidades geológicas de Pentecoste e obteve média 3,16. Esse índice variou de média-alta a média baixa, em que o maior valor, 4, que representa a maior cobertura vegetal no município está presente nas unidades: Pequeno Maciço da Serra Santa Luzia e Pequeno Maciço da Serrinha. Nessas áreas, a vegetação de caatinga arbustiva densa se encontra mais conservada embora também sofra pressão antrópica.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 6. Mapa de vegetação de Pentecoste.

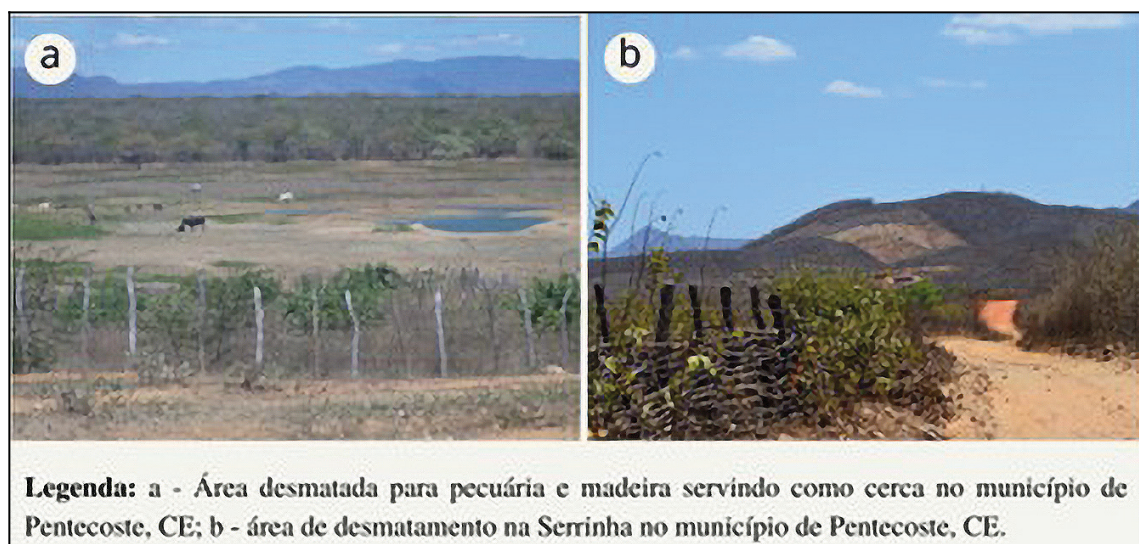
As unidades Planície Fluvial do Rio Curu, Planície Fluvial do Rio Canindé e Conjunto de Cristas da Serra do Maracajá obtiveram o valor 3 por apresentarem média cobertura vegetal, principalmente devido a retirada da vegetação natural e preparo do solo para os cultivos de subsistências e culturas permanentes em áreas de irrigação.

A unidade Depressão Sertaneja de Pentecoste obteve o menor valor, 2, pois apresenta extensas áreas com pouca cobertura vegetal natural, principalmente na porção sul do município onde se concentram áreas de solo exposto utilizado para a pecuária. Destaca-se também a presença de pequenas áreas, na porção norte, com cobertura vegetal alta, o que indica a presença de caatinga arbustiva densa conservada.

A pressão sobre a vegetação tem provocado impactos ambientais principalmente voltados ao desmatamento, queimadas e descaracterização da paisagem. Silva e Ribeiro (2004) consideram o desmatamento e a queimada como as principais ações antrópicas que iniciam o processo de degradação ambiental. Essas práticas buscam atender as demandas humanas voltadas normalmente as atividades econômicas: agricultura, pecuária e extrativismo.

O que mais tem-se notado nos trabalhos de campo a Pentecoste são a retirada da vegetação de caatinga para a transformação da área em pastagem para o gado. Essa afirmação é confirmada pela FUNCEME (2015, p. 149) ao apresentar que no sertão cearense “ocorre uma contínua e progressiva conversão da vegetação natural por pastagens naturais onde se pratica um sobrepastoreio que tende a suprimir o estrato herbáceo”.

A vegetação é derrubada e removida (Figura 7), resultando em áreas desprotegidas e mais susceptíveis a erosão superficial. Em Pentecoste, essa técnica ocorre na depressão sertaneja, nas serras e nas margens das planícies fluviais, com a retirada da vegetação para o plantio de subsistência, principalmente milho, feijão e mandioca, a pecuária e a produção de carvão vegetal que compõe a matriz energética desse município.



Fonte: Autores (2023).

Figura 7. Desmatamento da vegetação natural em Pentecoste.

As áreas da Depressão Sertaneja, vem sofrendo, ao longo dos anos, sucessivos desmatamentos e queimadas para a introdução de atividades agropecuárias ou de exploração de madeira. O desmatamento generalizado e a retirada de lenha da caatinga acarretam, dentre outros problemas, a supressão da floresta original e na erosão acelerada dos solos (Brandão; Freitas, 2014; Nobrega Filho, 2009).

A agricultura de subsistência converte, anualmente, remanescentes de vegetação em culturas de ciclo curto, somado a prática do corte de madeira para a produção de lenha, a caça de animais e o contínuo desmatamento da vegetação para a criação de bovinos e caprinos promovem graves impactos ambientais que podem intensificar processos de desertificação já em cursos (Leal *et al*, 2005).

A ação antrópica influencia diretamente na erosão laminar, através da retirada da cobertura vegetal que agravada pelas irregularidades pluviométricas, cria condições materiais para o estabelecimento dos processos de desertificação. Também é importante lembrar que a remoção da vegetação natural compromete a manutenção dos estoques de sementes do semiárido.

Segundo Souza (2000) a caatinga arbustiva densa quando muito degradada passa a apresentar aspecto de caatinga arbustiva aberta. Esse fenômeno é percebido em algumas áreas de Pentecoste que devido ao processo de degradação da vegetação original modificaram o padrão fisionômico, dando aspecto de caatinga arbustiva aberta onde antes existia caatinga arbustiva densa. Corroborando com essa afirmação, Maia (2004) apresenta que devido a excessiva

ação antrópica, atualmente a vegetação de caatinga se encontra devastada, mais aberta do que era com predominância de árvores baixas de caule fino, muitas vezes de porte arbustivo e com poucas espécies se comparado ao estado original.

Além do desmatamento para o cultivo de subsistência, há a remoção da cobertura vegetal para a coleta de lenha como combustível e outros fins. Segundo Souza (2006), as espécies lenhosas da caatinga, estão sendo devastadas como fonte de madeira para a construção civil, cercas e como fonte energética. Em Pentecoste a lenha retirada, é na sua maioria, utilizada para a produção de carvão, sendo comum encontrar fornalhas rudimentares de fabricação de carvão na zona rural do município (Figura 8).



Fonte: Autores (2023).

Figura 8. Produção de carvão artesanal em Pentecoste.

A lenha produzida a partir da retirada da vegetação de caatinga no município é utilizada para o consumo doméstico e como combustível em olarias e estabelecimentos comerciais: padarias, restaurantes, churrasarias e pizzarias. Segundo Vieira, Magalhães e Silva (2017) a lenha é utilizada nas indústrias são prioritariamente nas olarias, caieiras, gessarias e padarias, que a utilizam como combustível. Outro uso florestal muito presente no sertão cearense é a extração da vegetação para a produção de estacas e mourões.

Nas áreas de várzea junto às planícies fluviais dos rios, a cobertura vegetal original é retirada para o plantio de culturas de subsistências, feijão, milho, mandioca dentre outros, por apresentarem maior disponibilidade hídrica e solos mais férteis. Este desmatamento provoca o aumento dos processos erosivos e a formação de ravinas profundas ampliando o acúmulo de sedimentos nos leitos fluviais.

É perceptível o desmatamento de alguns trechos de vegetação das margens dos rios Curu e Canindé, com a substituição da mata ciliar pela agricultura de subsistência. Essa ação antrópica, descaracteriza a paisagem da planície fluvial e acelera a erosão nas margens dos rios, ao intensificar o carreamento de sedimentos para os seus leitos e promover o assoreamento de rios e reservatórios do município.

A vegetação ciliar nas margens dos rios (intermitentes e perenes) e reservatórios (naturais ou artificiais) é considerada Área de Preservação Permanente-APP. Essa corresponde a “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (Brasil, 2015, p. 133).

De acordo com a Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, áreas de preservação permanente e as áreas de reserva legal, essa vegetação deveria ser preservada ao máximo, mas o que se

encontra é a sua retirada em determinadas áreas dos rios, riachos e açudes de Pentecoste para o cultivo de culturas de subsistência e a retirada de sedimentos para a construção civil.

Destaca-se também o impacto do desmatamento sobre o clima local e regional, perceptíveis a longo prazo, pois essa prática corriqueira contribui para a alteração das condições climáticas, uma vez que a vegetação influencia no controle de temperatura e umidade (Lorandi; Cançado, 2002).

Culturalmente o desmatamento e a queimada são técnicas empregadas na limpeza e preparo do terreno para a plantação, sendo experiências perpetuadas por gerações de agricultores que vislumbram nesse uso, seu modo de vida e de subsistência em Pentecoste. Após a retirada da vegetação, os agricultores praticam a queimada a fim de preparar o solo para o plantio. Depois de anos, a terra é deixada em repouso para em certo período, iniciar um novo ciclo de lavoura. Esse manejo provocará, ao longo do tempo, um esgotamento progressivo dos solos que tendem a degradação irreversível.

Por conta das queimadas só sobrevivem as espécies arbóreas e arbustivas resistentes a essa prática, como as dotadas de mecanismos biológicos adequados, como a casca suberosa ou cortical. O tipo de manejo empregado no semiárido, pautado no corte e queima potencializam os processos erosivos nas áreas desmatadas e a perda de nutrientes dos solos, pois a alta temperatura do fogo destrói os microrganismos responsáveis pela manutenção da fertilidade orgânica, ocasionando a queda da capacidade produtiva da terra (Brasil, 2004).

O desmatamento e a queimada, praticados mais frequentemente na zona rural de Pentecoste, compromete seriamente a capacidade produtiva dos solos e o seu estado de conservação, pois geram o empobrecimento do solo devido à eliminação da microfauna e redução da matéria orgânica dos horizontes superficiais que ficam diretamente expostos às ações erosivas comandadas principalmente pelo escoamento superficial.

Após a aplicação dos cinco Indicadores Geobiofísicos de Desertificação foi possível verificar a suscetibilidade das unidades geológicas à desertificação, conforme os intervalos de classificação em quatro níveis: muito baixo, baixo, moderado e alto (Quadro 2).

Quadro 2. Graus de suscetibilidades das unidades geológicas de Pentecoste.

UNIDADES GEOECOLÓGICAS	ÍNDICE	SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO
Depressão Sertaneja de Pentecoste	2,8	Moderado
Planície Fluvial do Rio Curu	4,2	Muito Baixa
Planície Fluvial do Rio Canindé	4,2	Muito Baixa
Conjunto de Cristas da Serra Maracajá	2,4	Alto
Pequeno Maciço da Serra Santa Luzia	2,8	Moderado
Pequeno Maciço da Serrinha	2,8	Moderado

Fonte: Adaptado de Oliveira, Smedo e Oliveira (2016).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo avaliou o grau de susceptibilidade à desertificação das seis unidades geológicas do município, a partir de parâmetros bem definidos e inter-relacionados, discutindo também a degradação ambiental diagnosticada através da análise dos dados e trabalhos de campo. Destaca-se que a maior unidade do município, depressão sertaneja de Pentecoste, apresenta moderado grau de susceptibilidade, sendo necessário monitoramento e mitigação do quadro de degradação já identificado, principalmente quanto à erosão dos solos causada por superpastoreio, práticas agrícolas e atividades antrópicas em geral.

O presente estudo contribui para a produção científica sobre o ambiente semiárido, ao integrar dados qualitativos, secundários e primários, às técnicas de geoprocessamento gerando dados de suporte à análise da desertificação de Pentecoste. A intensão principal é que os dados, as informações e os produtos gerados sejam utilizados pelas instituições e órgãos de gestão do município permitindo o planejamento e a gestão dos recursos naturais voltado ao desenvolvimento sustentável e a promoção da qualidade de vida da população residente.

As metodologias e análises empregadas na presente pesquisa procuraram demonstrar de maneira mais fidedigna possível as condições socioambientais em que se encontram cada unidade de paisagem presente em Pentecoste. Diante da discussão presente no artigo, recomendam-se estudos mais detalhados, principalmente quanto às fragilidades e vulnerabilidades socioambientais da área pesquisada com ampliação do debate sobre desertificação a aplicação de metodologias e geoprocessamento aliada ao estudo de monitoramento de áreas degradadas e projeção de cenários.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, G. H. de S.; ALMEIDA, J. R. de; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- BOLUDA, R; CARROSCO, C. G. de; OLIVEIRA, V. P. V. de. La hidroclimatología e impactos ambientales: degradación y desertificación. **Revista Mercator**. Fortaleza, ano 4, n. 7, p. 111-120, 2005.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, PAN-Brasil**. Brasília: MMA, 2004.
- BRANDÃO, R de; FREITAS, L. C. B. (orgs). **Geodiversidade do estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2014.
- BRASIL. **Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, áreas de preservação permanente e as áreas de reserva legal. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 25 de Maio de 2012.
- BRASIL. **Legislação brasileira sobre meio ambiente: biodiversidade**. Brasília: Edições Câmara, 2015.
- CEARÁ. **Caderno regional da bacia do Curu**. Fortaleza: INESP, 2009.
- CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Programa de ação de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca, PAE-CE**. Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria dos Recursos Hídricos, 2010.
- CORRÊA, A. C. B. Morfodinâmica e sensibilidade ambiental dos ambientes semiáridos brasileiros: um enfoque a partir das relações solo x paisagem. **Revista Portal do São Francisco – Ciências Humanas e Sociais**, v. 5, n. 5, p. 51-65, 2006.
- CPRM. **Mapa Geológico do Estado do Ceará, escala 1:500.000**. CPRM, 2003.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013.
- FARIAS, J. F.; SILVA, E. V. da; NASCIMENTO, F. R. do. Caracterização de sistemas ambientais como base metodológica para o planejamento ambiental em bacias hidrográficas semiáridas. **Revista GeoAmazônia**. V. 3, n. 6, p. 14-27, jul-dez, 2015.
- FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado do Ceará**. Fortaleza: FUNCEME, 2016. 1 Mapa. Escala 1:1.200.000.
- FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia. **Zoneamento Ecológico Econômico das Áreas Suscetíveis à Desertificação - Núcleo 1 (Irauçuba / Centro Norte)**. 1 ed., Fortaleza: Funceme, 2015.
- GUERRA, M. D. F.; SOUZA, M. J. N. de; LUSTOSA, J. P. G. A pecuária, o algodão e a desertificação nos sertões do médio Jaguaribe, Ceará, Brasil. **Mercator**. Fortaleza, v. 11, n. 25, p. 103-111, 2012.
- HASUI, Y. et al. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de pedologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2022: panorama**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>>. Acesso em: 25 mar. 2023.
- JACOMINE, P. K. T.; ALMEIDA, J. C.; MEDEIROS, L. A. R. **Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará**. Recife: DPP/DNPEA/DRN/SUDENE, Volume I, Boletim de Pesquisa n.28. 1973.
- LEAL, I. R. *et al.* Mudando o curso da conservação da biodiversidade da caatinga do Nordeste brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 139-146, 2005.
- LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. Parâmetros físicos para gerenciamento de bacias hidrográficas. *In*: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus (BA): Editus, 2002.
- MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: D&Z Computação Gráfica e Editora, 2004.
- NASCIMENTO, F. R. do. Caracterização de usos múltiplos dos recursos hídricos e problemas ambientais: cenários e desafios. *In*: MEDEIROS, C. M. de. et al. (orgs). **Os recursos hídricos do Ceará: integração, gestão e potencialidades**. Fortaleza: IPECE, 2011.
- NASCIMENTO, F. R. do. **O fenômeno da desertificação**. Goiânia: Editora UFG, 2013.
- NÓBREGA FILHO, A. (org). **Desertificação: causas, efeitos e perspectivas de controle**. Fortaleza: INESP, 2009.
- OLIVEIRA, V.P.V. de. Indicadores biofísicos de desertificação, Cabo Verde. **Revista Mercator**. Fortaleza, v. 11, n. 22, p. 147-168, 2011.
- OLIVEIRA, V. P. V. de; SEMEDO, J. M. M; OLIVEIRA, H. P. V. Análisis comparativo de los indicadores geobiofísicos de desertificación de la isla de Santiago-Cabo Verde (África) y en la región de los Inhamuns (Ceará-Brasil). *In*: **Zonas Áridas**, Vol. 15, Nº 1 e 2. Peru, 2014.
- PEREIRA, R. C. M; SILVA, E. V. da. Solos e vegetação do Ceará: características gerais. *In*: SILVA, J. B. da. *et al*, (orgs.). **Ceará: um novo olhar geográfico**. 2 ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007.
- SÁ, I. B.; MENEZES, E. A.; ANGELOTTI, F. Degradação ambiental e desertificação no Semi-Árido no brasileiro. *In*: ANGELOTTI, F.; SÁ, I. B.; MENEZES, E. A.; PELLEGRINO, G. Q. (Ed.). **Mudanças climáticas e desertificação no Semi-Árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2009.

- SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M.; SRINIVASAN, V. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semiárido da Paraíba. **Revista Geografia em Debate**, v. 1, n. 1, p. 16-32, 2007.
- SILVA, R. G. da.; RIBEIRO, C. G. Análise da degradação ambiental na Amazônia Ocidental: um estudo de caso dos municípios do Acre. **RER**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 1, p. 91-110, 2004.
- SOUZA, M. J. N. de; Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará. *In*: LIMA, L. C.; SOUZA, M. J. N. de; MORAIS, J. O. de. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE, 2000.
- VASCONCELOS, A. M.; GOMES, I. P. Mapa Geocrológico. *In*: **Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará**. Fortaleza: CPRM. Escala:1.500.000.2003. CD-ROOM.
- VIEIRA, A. T.; MAGALHÃES, M. F. de; SILVA, M. V. C. da. Uso da terra como facilitador da degradação ambiental no município de Santa Quitéria, Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 04, p. 1329-1345, 2017.