



Caracterização da vulnerabilidade à desertificação por geotecnologias no sul do estado de Sergipe

Characterization of vulnerability to desertification by geotechnologies in the south of the state of Sergipe

A. T. L. Silva*; P. S. R. Nascimento

Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-Sergipe, Brasil

**angeltome@academico.ufs.br*

(Recebido em 06 de maio de 2024; aceito em 08 de agosto de 2024)

Os fenômenos erosivos desempenham um papel importante no processo de desertificação, contribuindo progressivamente para a degradação de terras e a consequente mudança de paisagens, sendo a erosão hídrica um dos fatores mais comuns em regiões de alto declive. Nas regiões com baixa pluviosidade, a desertificação ocorre pela concentração de sais na superfície do solo, agravados pela sua evapotranspiração e pelo manejo inadequado da vegetação. Dessa maneira, o trabalho buscou classificar alguns dos agentes aceleradores do processo de empobrecimento do solo em uma área que contempla desde o leste sergipano até o semiárido, nas bacias hidrográficas dos rios Real e Piauí, com o auxílio de técnicas de geoprocessamento para elaboração de mapas temáticos a partir de arquivos vetoriais, Modelos Digitais de Elevação (MDE) e imagens Landsat-8. Apesar de 39,33% dos solos serem altamente suscetíveis à erosão hídrica, com declividades entre 20 e 45%, destacou-se a presença de baixos níveis precipitação média, 46,63% de solos pobres em drenagem e alta exposição das encostas ao sol (41,8% à Oeste) em períodos de maior radiação solar, além da presença de elevada atuação humana em setores como o das atividades agrossilvopastoris. Constatou-se uma relação entre estas condições e a condutividade elétrica das águas subterrâneas, crescente de leste à oeste. Sendo assim, concluiu-se que o conjunto de fatores analisados tendem para o objetivo proposto pelo trabalho, sendo fundamentais estudos mais aprofundados para a real estimativa dos riscos ambientais associados aos solos da região.

Palavras-chave: aquífero, degradação do solo, salinização.

Erosive phenomena play an important role in the desertification process, progressively contributing to land degradation and the consequent change of landscapes, with water erosion being one of the most common factors in high-slope regions. In regions with low rainfall, desertification occurs due to the concentration of salts on the soil surface, aggravated by evapotranspiration and inadequate vegetation management. In this way, the work sought to classify some of the agents accelerating the process of soil impoverishment in an area that ranges from eastern Sergipe to the semi-arid region, in the hydrographic basins of the Real and Piauí rivers, with the aid of geoprocessing techniques for creating thematic maps from vector files, Digital Elevation Models (DEM) and Landsat-8 images. Although 39.33% of soils are highly susceptible to water erosion, with slopes between 20 and 45%, the presence of low levels of average precipitation, 46.63% of soils poor in drainage and high exposure of slopes to the sun (41.8% in the West) in periods of greater solar radiation, in addition to the presence of high human activity in sectors such as agroforestry and pastoral activities. A relationship was found between these conditions and the electrical conductivity of groundwater, increasing from east to west. Therefore, it was concluded that the set of factors analyzed tend towards the objective proposed by the work, with more in-depth studies being essential for the real estimation of environmental risks associated with the region's soils.

Keywords: aquifer, soil degradation, salinization.

1. INTRODUÇÃO

A desertificação é o processo de degradação do solo que leva à transformação de áreas produtivas em terras áridas, semiáridas ou subúmidas secas. Este fenômeno é intensificado pela combinação de fatores naturais como regimes pluviométricos anuais baixos e espaçados, evapotranspirações altas e elevadas temperaturas, associados à exploração e manejo inadequado dos recursos naturais [1]. Por se tratar de um fenômeno multifacetado e presente em diferentes

escalas espaciais e temporais, a magnitude dos seus impactos não se restringe à esfera ambiental, exigindo mobilizações técnicas, financeiras e institucionais para a recuperação das áreas degradadas [2]. No semiárido do Nordeste Brasileiro, por exemplo, a presença de núcleos de desertificação em áreas economicamente frágeis complica a realização de atividades que trazem renda às populações.

A erosão pode ser entendida como o processo natural de remoção de solo que leva à desertificação, agravado pelas atividades humanas como o desmatamento e as práticas agrícolas inadequadas. Assim, o entendimento da dinâmica de uso e ocupação da terra contribui para a percepção do grau de suscetibilidade à desertificação, consideradas as atividades realizadas no local com potencial degradante do solo [3]. Estima-se, de acordo com as Nações Unidas, que as ações de remediação da desertificação custam 42 milhões de dólares anualmente, enquanto os custos com a prevenção variam entre 10-20 milhões de dólares por ano [4].

No Brasil, o desenvolvimento de políticas públicas visando o combate à desertificação teve início após os acordos assumidos na Convenção Internacional de Combate à Desertificação (CCD), em 1994, e as diretrizes propostas na Agenda 21 Global (1992). Ambas resultaram na criação do Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN-Brasil) em 2004, o qual teve como objetivos estabelecer um direcionamento para políticas públicas, fortalecer relações institucionais e ampliar o leque de ações em áreas suscetíveis à desertificação, como as do semiárido nordestino [2].

Além da estiagem como agente agravante, outro fator importante na avaliação da desertificação é o acúmulo de sais nos horizontes do solo [3]. Os altos teores de sais dissolvidos reduzem tanto a vegetação natural como as produções agrícolas, afetando a economia e a segurança alimentar. Dessa maneira, águas salinas são consideradas impróprias para o uso agrícola e representam ainda um risco à saúde humana, por conter elevadas concentrações de espécies químicas nocivas. Entretanto, os períodos de escassez de água no semiárido exigem a necessidade do uso da água subterrânea para suprir o consumo humano e demais usos [5].

Em decorrência das formações geológicas da região semiárida do Nordeste, onde predominam subsolos rochosos, do tipo cristalino, as concentrações de água subterrânea são baixas [6]. Cerca de 70% do subsolo da região Nordeste é cristalino, o que impõe características salobras e salinas às águas subterrâneas e restringe o seu uso para consumo humano [7]. Nas áreas de rochas cristalinas não existem permeabilidade e porosidade primárias, formando aquíferos fraturados ou fissurais inadequados para o acúmulo de água subterrânea [8]. Apesar destas limitações, a água subterrânea possui grande importância social nestas regiões, principalmente quando se considera a necessidade de abastecimento residencial e a dessedentação animal.

Nesse contexto, a utilização de ferramentas de geoprocessamento dentro de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) é importante para a identificação e o desenvolvimento de estratégias de intervenção em áreas potenciais ao armazenamento de água subterrânea, sendo considerado um método eficiente e econômico [9]. Os SIGs são plataformas ou *softwares* projetados para manipular dados georreferenciados da superfície terrestre. Utilizando um banco de dados integrado ao SIG, é possível analisar eventos ao longo do tempo e organizar atributos específicos para uma região geográfica.

Considerando que o processo de degradação do solo resulta na sua improdutividade, o estudo abordou a interação entre clima, solo e ações antrópicas como elementos fundamentais para o surgimento desse fenômeno. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise quali-quantitativa das causas que contribuem para a desertificação na região de estudo, que engloba parte do Centro-Sul e Sul de Sergipe.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada entre as coordenadas 10°42'25" e 11°34'05" de latitude Sul e meridianos 38°12'21" e 37°40'23" de longitude Oeste, inserida na Bacia Hidrográfica dos Rios Real e Piauí. Apresenta 37 poços tubulares e abrange quatro municípios: Poço Verde, Tobias Barreto, Tomar do Geru e Cristinápolis (Figura 1).

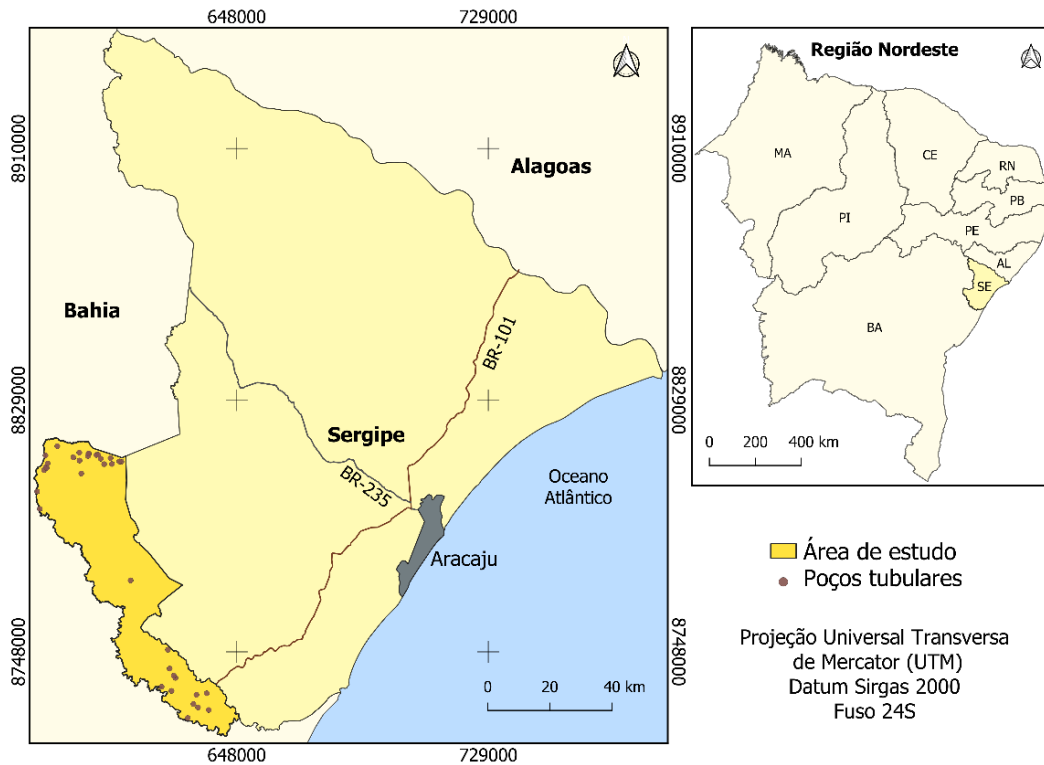


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo em Sergipe.

A bacia do Rio Piauí está inserida nas regiões climáticas semiárida, agreste e litoral úmido, sendo que as duas primeiras pertencem ao Polígono das Secas. As maiores precipitações se concentram na região litoral úmida (1500 a 1800 mm), variando na região agreste entre 1000 e 1500 mm e na região semiárida entre 800 e 1000 mm [10]. As estiagens, geralmente, ocorrem nas estações primavera e verão, enquanto as precipitações acontecem entre os meses de fevereiro a setembro, variando de acordo com cada região da bacia.

Os principais tipos de aquíferos encontrados são fissural e granular e, secundariamente, o tipo cárstico. Este último é formado pela dissolução de rochas carbonáticas e o aquífero fissural é formado pelo fraturamento de rochas cristalinas (magmáticas e metamórficas). Por não apresentarem porosidade e permeabilidade primárias não favorecem o fluxo de água subterrânea (infiltração, percolação e acumulação) e originam reservatórios descontínuos e de pequena extensão. Por outro lado, o aquífero granular, além das condições climáticas favoráveis, possui as características geológicas ideais para a geração de excelentes aquíferos em decorrência dos espaços intersticiais dos grãos sedimentares [9].

2.2 Material

Os materiais utilizados para a realização do estudo foram: (i) Dados temáticos digitais do Atlas Digital da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) [11]; (ii) Dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Projeto Topodata, com resolução espacial de 30 metros (1 arco-segundo), disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais [12, 13]; (iii) Dados matriciais da sexta coleção do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura do Solo no Brasil (MapBiomas) de 2020 [14]; (iv) Imagens do Landsat-8 do sensor OLI (*Operational Land Imager*) e órbita 214 e pontos 67 e 68 obtidas gratuitamente no site do INPE; (v) Dados de qualidade da água subterrânea obtidos pela Embrapa Tabuleiros Costeiros [15]; (vi) Dados digitais de pedologia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021) [16]; e (vii) Programas de geoprocessamento SPRING – versão 5.5.6 [17] desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE e QGIS (versões 3.16.16 e 3.22.8) da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) de código aberto segundo a Licença Pública Geral (GNU) [18].

2.3 Procedimentos técnicos

Os mapas apresentados ao longo do trabalho foram elaborados no *software* QGIS, nas versões 3.16.16 e 3.22.8, a partir dos procedimentos operacionais delineados na Figura 2. O sistema de coordenadas utilizado por padrão foi o Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM) no Datum Horizontal SIRGAS-2000 zona 24-S. Os dados do Atlas Digital da SEMAC, do IBGE e da Embrapa foram compilados no programa para a elaboração dos *layouts*. Utilizou-se o MDE para a geração dos mapas de declividade e exposição das vertentes. O mapa de declividade foi gerado com cinco classes, adotando os dados sugeridos pela Embrapa (1999) [19] que considera as características do relevo brasileiro: 0 – 3%; 3 – 8%; 8 – 20%; 20 – 45%; 45 - 75% e > 75%. O mapa de exposição das vertentes foi obtido com auxílio da caixa de ferramentas de processamento do QGIS e reclassificado em quatro classes, de acordo com os pontos cardeais.

Além disso, utilizou-se o SPRING para a realização de operações aritméticas e geração do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* – do inglês). Neste procedimento, foram utilizadas as bandas 4 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo) do Landsat-8. O dado processado foi realçado por histograma, ainda no SPRING, e exportado para o QGIS para aplicação de falsa-cor e criação do layout. O NDVI foi classificado com base no trabalho de Akbar *et al.* (2019) [20] e foram obtidas cinco classes: água e nuvens (índice de -1 a 0), solo exposto (0 a 0,14), vegetação recém-cultivada (0,14 a 0,28), vegetação arbustiva (0,28 a 0,43) e caatinga arbórea (índice maior que 0,43).

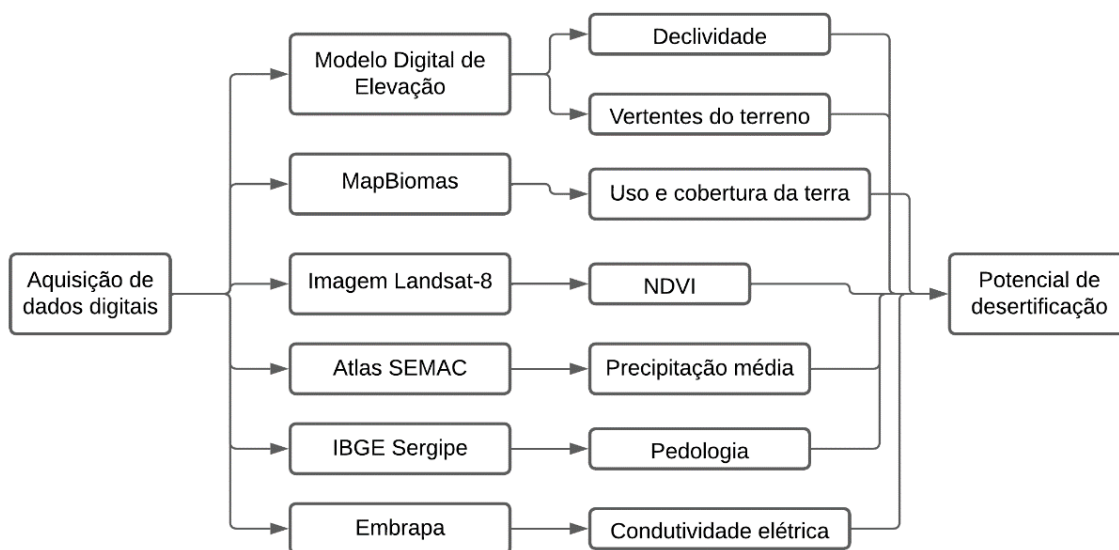


Figura 2: Fluxograma dos procedimentos operacionais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa de declividade (Figura 3a) mostra o predomínio de relevos com inclinação de 20 a 45% (39,33%) na área de estudo (Tabela 1). Relevos inclinados são favoráveis ao escoamento de água pelo terreno e facilitam o desprendimento de partículas devido à alta energia cinética presente. Santos *et al.* (2020) [21] afirmam que as inclinações do terreno diminuem as taxas de infiltração e aumentam o fluxo de água pelos canais de drenagem no sentido da planície costeira, favorecendo assim o processo de erosão hídrica do solo. Porém, em regiões com baixos níveis de precipitação acumulada, o processo de erosão pela chuva se torna menos recorrente.

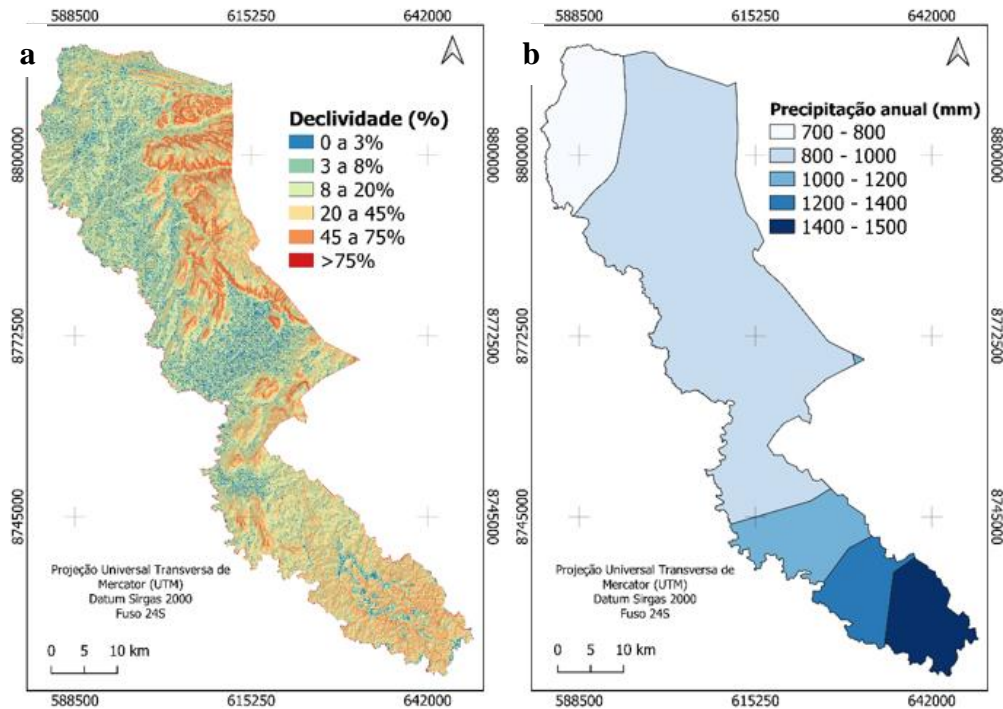


Figura 3: Mapas temáticos: a – Mapa de declividade. Fonte: Adaptação de Topodata; b – Mapa de precipitação anual média. Fonte: Adaptação de SEMAC.

Tabela 1: Áreas das classes de declividade.

Declividade (%)	Área (km ²)	Área relativa (%)
0 a 3	180,119	9,183
3 a 8	128,470	6,550
8 a 20	472,313	24,081
20 a 45	771,430	39,332
45 a 75	392,836	20,029
>75	16,171	0,824

Tabela 2: Cálculo das áreas para o mapa de precipitação média.

Precipitação anual (mm)	Área (km ²)	Área relativa (%)
700 – 800	232,710	11,862
800 – 1000	1149,072	58,571
1000 – 1200	303,389	15,464
1200 – 1400	129,480	6,599
1400 – 1500	147,189	7,503

Ao analisar o mapa de precipitação (Figura 3b e Tabela 2), observa-se em cerca de 59% da área um regime pluviométrico anual médio variando entre 800 e 1000 mm, típico de regiões semiáridas. Essa divisão corresponde à área que apresenta as maiores declividades (Figura 3a). Segundo Bramorski e Crestana (2020) [22], a precipitação contribui como um dos principais agentes ativos no desenvolvimento da erosão, e a sua erosividade depende de fatores como intensidade, duração e frequência. Outro fator que influencia nas perdas por erosão hídrica é o percentual de cobertura vegetal, uma vez que a camada de vegetação cria uma proteção contra os impactos das gotas de chuva sobre o terreno, impedindo que as partículas de solo se desintegram.

Além disso, há um predomínio de planossolos (46,63%) e neossolos (26,93%) na área (Figura 4 e Tabela 3). Os neossolos são solos jovens característicos de ambientes inclinados que sofrem com a erosão gravitacional. Já os planossolos possuem baixa capacidade de drenagem e carreamento de minerais, facilitando a separação de elementos químicos e o acúmulo dos íons destes elementos nas camadas de solo, ocasionando a salinização.

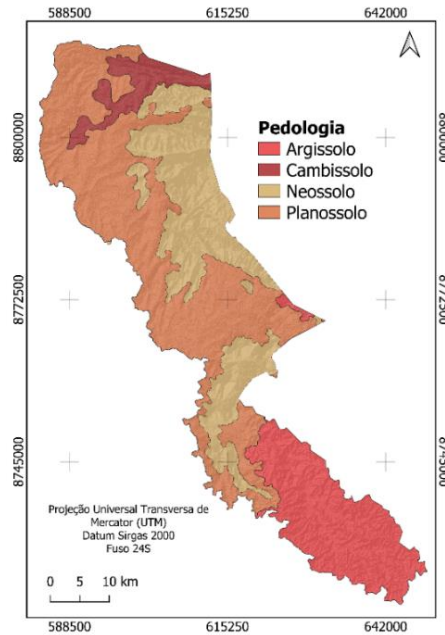


Figura 4: Mapa pedológico da região de estudo.

Tabela 3: Classes de solos predominantes na área de estudo, a partir de dados do IBGE.

Tipos de solos	Área (km ²)	Área relativa (%)
Argissolos	411,003	20,950
Cambissolos	107,749	5,492
Neossolos	528,367	26,932
Planossolos	914,721	46,626

A Embrapa (2006) [23] explica que o horizonte B dos planossolos se caracteriza pela presença de argila altamente ativa, dificultando a drenagem das águas na superfície. Logo, a combinação dos baixos índices pluviométricos com o tipo de solo predominante contribui para o acúmulo de sais que serão percolados até os reservatórios subterrâneos. O mapa de condutividade elétrica (Figura 5) é um dado que permite avaliar o teor de sais presentes nas águas subterrâneas.

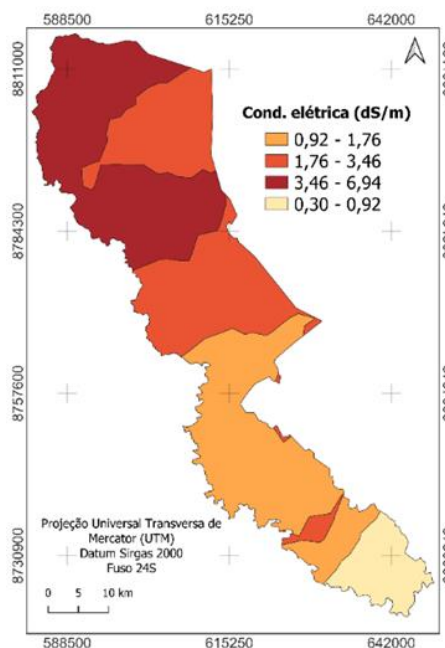


Figura 5: Mapa de condutividade elétrica. Fonte: Adaptação de Embrapa.

De acordo com Ayers e Westcot (1994) [24], os quais estabeleceram categorias de controle de uso das águas subterrâneas para irrigação, águas com valores de condutividade elétrica entre 0,7 e 3,0 deciSiemens por metro (dS.m^{-1}) são enquadradas na categoria moderada para restrição de uso, enquanto as que apresentam valores acima de 3,0 dS.m^{-1} possuem restrição severa para uso, uma vez que podem ocasionar a salinização ou sodificação do ambiente e consequentes danos a ecossistemas. Ao observar a Figura 5, nota-se, sobretudo na região semiárida, a qual possui um volume irregular de chuvas, o predomínio de áreas com elevada restrição de uso.

Avaliando o mapa de orientação das vertentes (Figura 6 e Tabela 4), que considera o movimento do sol incidindo durante o dia sobre o terreno, tem-se a predominância das encostas voltadas para Oeste (41,8%), que recebem diretamente o sol da tarde, entre às 14h e às 16h, responsável pela geração picos de temperaturas na Terra devido à maior incidência de raios solares. Com a exposição prolongada às altas temperaturas, o solo perde umidade e a concentração de sais solúveis aumenta.

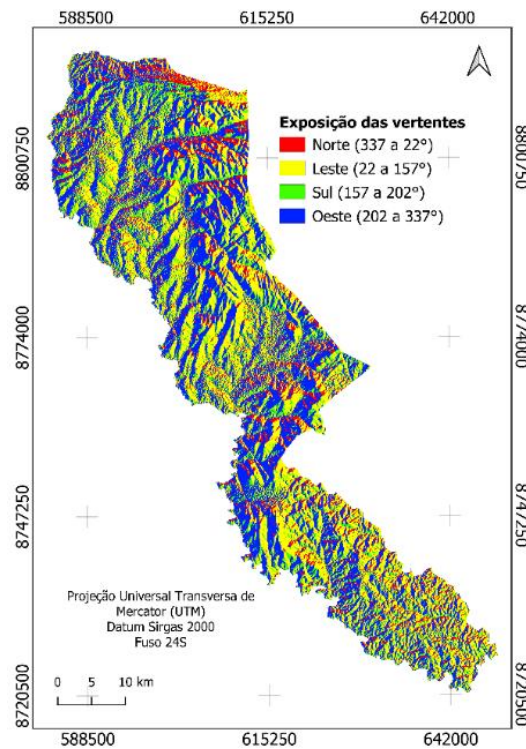


Figura 6: Mapa de exposição das vertentes ao sol. Fonte: Adaptação de Topodata.

Tabela 4: Cálculo das áreas para o mapa de exposição das vertentes.

Exposição das vertentes (graus)	Área (km^2)	Área relativa (%)
Norte (0 a 22° e 337 a 360°)	195,372	9,962
Leste (22 a 157°)	682,624	34,806
Sul (157 a 202°)	263,459	13,433
Oeste (202 a 337°)	819,778	41,799

A elevada concentração de sais solúveis no solo se caracteriza como um fator prejudicial para o crescimento das plantas, pois pode afetar negativamente a disponibilidade de água e nutrientes em suas raízes e folhas. Além disso, a salinização do solo pode levar à sua compactação e à formação de crostas superficiais [25], o que dificulta a infiltração da água da chuva e aumenta o risco de erosão.

Considerando os usos do solo (Figura 7 e Tabela 5), destacam-se as atividades agropecuárias na região e as lavouras temporárias. Nas práticas agropecuárias, incluem-se ações frequentes que aumentam o desgaste do solo, como o revolvimento de terras, o desmatamento para expansão de áreas agrícolas e o pastoreio excessivo. Consequentemente, a cobertura vegetal natural é muitas

vezes removida, deixando o solo vulnerável aos elementos do clima e propenso à erosão. Santos et al. (2020) [21] consideram as atividades agropecuárias como diminuidoras da capacidade produtiva do solo e intensificadoras da erosão laminar e linear. Além disso, a presença das lavouras temporárias sugere a necessidade de irrigação do solo por meios alternativos em épocas de escassez hídrica, como a escavação de poços tubulares.

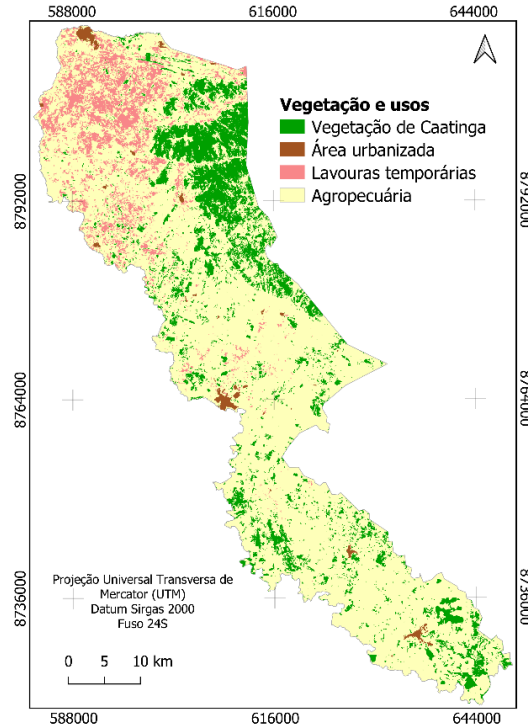


Figura 7: Mapa de vegetação e uso da terra. Fonte: Adaptação de MapBiomias.

Tabela 5: Cálculo das áreas para o mapa de vegetação e usos.

Vegetação e usos	Área (km ²)	Área relativa (%)
Vegetação de Caatinga	310,757	15,845
Agropecuária	1.475,997	75,258
Lavouras temporárias	156,440	7,977
Área urbanizada	18,045	0,920

Oliveira et al. (2011) [26] afirmam que a economia local do município de Poço Verde se baseia principalmente na agropecuária, tendo como principais cultivos o milho e o feijão, além da criação de bovinos, caprinos e ovinos. O milho e o feijão são cultivos de fácil plantio e resistentes à salinidade do solo em comparação a outras culturas. Entretanto, a salinidade em níveis elevados pode afetar o seu crescimento e produtividade. Segundo Lima et al. (2020) [5], deve-se optar pelos usos das águas subterrâneas apenas em áreas com plantas resistentes à salinidade e drenagem suficiente para carreamento dos sais.

Por serem voltados para fins econômicos, os cultivos predominantes na região de estudo possuem um ciclo de vida curto, geralmente de 120 dias entre o plantio e a colheita, favorecendo ainda mais o desgaste do solo. O mapa de NDVI (Figura 8 e Tabela 6) evidencia a deficiência em cobertura vegetal na região ao apresentar grande parte da área com solo exposto (índice entre 0 e 0,14) e áreas de cultivos recentes (índice entre 0,14 e 0,28).

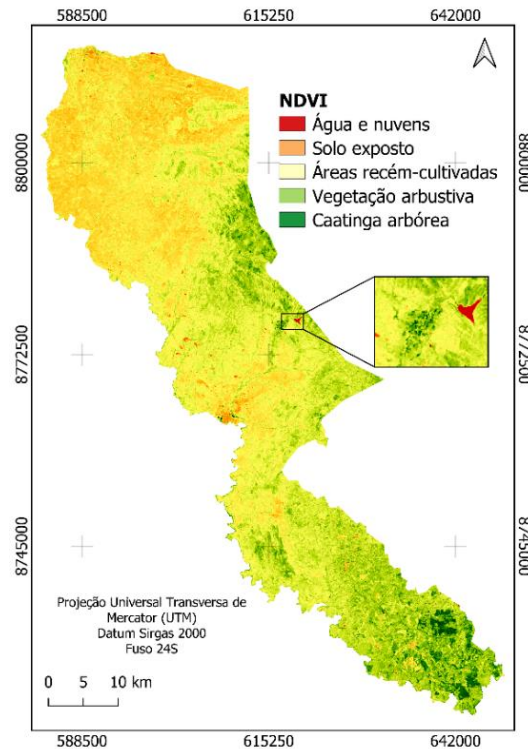


Figura 8: Mapa de NDVI gerado a partir de imagens do Landsat-8.

Tabela 6: Cálculo das áreas para o mapa de NDVI.

Vegetação e usos	Área (km ²)	Área relativa (%)
Vegetação arbustiva	1.076,892	54,237
Áreas recém-cultivadas	837,981	42,727
Caatinga arbórea	45,941	2,342
Solo exposto	0,896	0,649
Água e nuvens	0,028	0,045

Os índices de vegetação têm sido bastante utilizados na determinação da área, biomassa foliar e radiação fotossinteticamente ativa das plantas, sendo o NDVI um recurso capaz de avaliar a distribuição espacial da vegetação por meio de sensores espaciais que geram imagens de satélite [27]. Dessa maneira, ao observar o mapa da Figura 8, nota-se uma diminuição da vegetação nativa de leste à oeste, reforçando a presença das lavouras temporárias. Nas imediações do município de Rio Real (BA), inserido dentro da Bacia do Rio Real e próximo aos municípios de Tomar do Geru e Cristinápolis (região leste do mapa), predominam o cultivo e a comercialização da laranja [28]. As laranjeiras desempenham um papel importante na prevenção da erosão, uma vez que a sua folhagem densa proporciona maior cobertura do solo e, conseqüentemente, menores impactos da erosão pela chuva, sobretudo quando estas árvores estão totalmente desenvolvidas. Apesar disso, o processo de uso e ocupação do solo, aliado às políticas governamentais e incentivos para o desenvolvimento agrícola podem promover a expansão das lavouras temporárias na região e o agravamento dos processos erosivos que se estendem para a desertificação.

O processo de desertificação, aqui analisado pela degradação do solo pela erosão hídrica e salinização da área de estudo é intensificado pelo uso do solo. Estes resultados estão sintetizados na Tabela 7, cujos 7 (sete) parâmetros utilizados foram agrupados em duas classes para retratar as condições mais ou menos favoráveis, indicando uma análise quantitativa, a partir dos tamanhos das áreas das classes. Neste contexto, o processo de redução da capacidade biológica e produtiva do solo, em regiões semiáridas, decorrentes das condições naturais, como empregado neste trabalho, faz com que a área de estudo seja naturalmente sustentável à desertificação.

Neste contexto, com a baixa precipitação pluviométrica, a alta declividade do terreno, solos erodíveis e salinos e alta exposição das vertentes ao Sol, a área de estudo se apresenta naturalmente suscetível à desertificação. O desmatamento, convertendo a vegetação natural em

áreas agropecuárias intensificou o processo de desertificação. É importante salientar que a vegetação natural do semiárido, a Caatinga, bioma exclusivamente brasileiro, com biodiversidade adaptada às condições semiáridas supracitadas, apresenta-se fortemente reduzida.

Tabela 7: Síntese qualitativa e quantitativa da desertificação da área de estudo.

Parâmetros	Classes	Área (km ²)	Área relativa (%)
Declividade (%)	< 20	780,902	39,81
	> 20	1.180,437	60,19
Precipitação (mm)	< 1000	1.381,782	70,43
	> 1000	580,058	29,57
Tipo de solo	Argissolo/Planossolo	1.325,724	67,57
	Neossolo/Cambissolo	636,116	32,43
Condutividade elétrica (dS.m ⁻¹)	< 1,76	700,321	35,71
	> 1,76	1.260,903	64,29
Exposição das vertentes (°)	Norte/Leste	1.015,150	51,78
	Sul/Leste	946,083	48,22
Vegetação e usos	Vegetação natural	310,757	15,84
	Área cultivada/Solo exposto	1.650,482	84,16
NDVI	Vegetação natural	45,941	2,34
	Área cultivada/Solo exposto	838,876	97,66

É possível constatar que nas áreas que apresentam classes de declividade e de precipitação superiores a 20% e 1.000mm/ano, respectivamente, aumentam a erodibilidade dos neossolos e cambissolos, cujas vertentes estão concentradas, principalmente, nas direções Sul e Leste. Por outro lado, a condutibilidade elétrica maior que 1,76 dS.m⁻¹ é maior nas regiões de declividade mais suaves e com menor índice de precipitação, principalmente nos argissolos e planossolos, cujas vertentes estão expostas às altas temperaturas nas direções Norte e Oeste. Tanto o processo erosivo quanto o de salinização são acentuados pelo uso do solo intenso na agropecuária, com aumento sucessivo das fronteiras agrícolas e, consecutiva diminuição da vegetação natural e da capacidade produtiva dos solos.

4. CONCLUSÃO

A partir dos procedimentos técnicos aplicados foi possível avaliar qualitativa e quantitativamente as causas que contribuem para a desertificação do sul do estado de Sergipe, alcançando o objetivo proposto. Desta forma, a interação entre as características intrínsecas da desertificação (clima, relevo e solo) e das características extrínsecas (ações antrópicas), empregando técnicas de geoprocessamento, foram os elementos fundamentais para avaliar a degradação do solo na área de estudo. A análise das características ambientais que intensificam os processos erosivos e a salinização do solo, indicando o processo de desertificação, utilizando os dados de declividade, precipitação, tipos de solo, condutividade elétrica, orientação das vertentes, vegetação e cobertura da terra e NDVI, foram suficientes para retratar a desertificação na área estudada.

As baixas precipitações pluviométricas e as altas taxas de temperatura e evaporação são consideradas como as principais características intrínsecas desencadeadoras da desertificação, e o desmatamento da cobertura vegetal, convertida em grandes áreas agropecuárias, intensifica o processo de degradação do solo. Desta forma, os relevos com declividade menores que 20% (39,81%) em solos salinos (67,57%) com precipitação anual média menor que 1000mm (70,43%) e alta condutividade elétrica (64,29%) com exposição mais amena ao Sol (48,22%) acentuam a sanilização do solo. Em oposição, as grandes declividades, maiores índices pluviométricos, solos erodíveis e grande exposição ao Sol (60,19%, 29,57%, 32, 43% e 51,78%, respectivamente) intensificam os processos erosivos. Nota-se que toda a área é sensível ao processo de desertificação, seja pelo acúmulo de sais nos solos, seja pela erosão hídrica. A supressão da vegetação convertida em atividades agropecuárias intensivas e inadequadas (84,16%) é o fator extrínseco responsável pela acentuada degradação do solo. Recomenda-se o reflorestamento da

Caatinga, a recomposição da mata ciliar e o manejo adequado das atividades agropecuárias à luz da sustentabilidade ambiental.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Nascimento SPG, Silva, JM, Santos EO, Silva, PVM, Santos JRU, Santos TMC. Impactos ambientais da produção vegetal no processo de desertificação do semiárido alagoano: o caso de Ouro Branco – AL. *Rev Ciênc Agríc.* 2018;16(1):31-5. doi: 10.28998/rca.v16i0.6592
2. Caetano FAO, Gonçalves DSL, Feitosa MM, Teixeira RN, Lemos JJS. Desertificação no Nordeste brasileiro: Uma análise das vulnerabilidades socioeconômicas do município de Irauçuba/CE. *Rev Espacios.* 2017;38(39):14-35.
3. Castro FC, Santos AM. Salinidade do solo e risco de desertificação na Região Semiárida. *Rev Mercator.* 2020;19:1-13. doi: 10.4215/rm2020.e19002
4. Tavares VC, Arruda IRP, Silva DG. Desertificação, mudanças climáticas e seca no semiárido: Uma revisão bibliográfica. *Rev GEOSUL.* 2019;34(70):385-405. doi: 10.5007/2177-5230.2019v34n70p385
5. Lima BR, Oliveira EP, Donato Júnior EPD, Bebé FV. Uso e qualidade de água subterrânea utilizada por agricultores familiares no Território Sertão Produtivo, Estado da Bahia, Nordeste do Brasil. *Rev Bras Gest Ambient Sustentabilidade.* 2020;7(16):679-89. doi: 10.21438/rbgas(2020)071615
6. Alves JB, Santos MM. Relações entre contaminação de aquíferos subterrâneos no semiárido e disposição inadequada de resíduos sólidos. *Braz J Dev.* 2023;9(5):14810-27. doi: 10.34117/bjdv9n5-021
7. Brito LTL, Pereira LA, Melo RF. Disponibilidade hídrica subterrânea. Embrapa [Internet]; 2006 [migrado em 08 dez 2021; citado em 26 abr 2024]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/agua/subterranea>
8. Nascimento Filho JCB, Nascimento PSR. Combinação linear ponderada na determinação da capacidade de armazenamento de água subterrânea. *Rev Int Ciênc.* 2022;12(1):6-25. doi: 10.12957/ric.2022.57525
9. Nascimento PSR, Silva NPC. Aplicação de sensoriamento remoto e análise espacial em alinhamentos geológicos como indicador da potencialidade de acumulação de águas subterrâneas. *Rev Bras Geom.* 2019;7(4):204-22. doi: 10.3895/rbgeo.v7n4.9879
10. Sergipe. Panorama energético do Estado de Sergipe 2014 – ano base 2012. [Internet]. Aracaju (SE): SUDEN-SE; 2015 [acesso 15 fev 2024]. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/claudiotxt/panorama-energetico-de-sergipe>
11. Secretária de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMACE). Atlas de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe. Aracaju (SE): SRH; 2021.
12. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Banco de dados geomorfométricos do Brasil. Projeto Topodata [Internet]. São José dos Campos (SP): INPE; 2011 [citado em 31 jan 2024]. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>
13. Valeriano MM, Rossetti, DF. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Appl Geogr (Sevenoaks).* 2012;32:300-9. doi: 10.1016/j.apgeog.2011.05.004
14. Mapbiomas Brasil [Internet]. Projeto de mapeamento anual do uso e cobertura da terra no Brasil. Coleção 6; c2024 [citado em 15 jan 2024]. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/lancamentos/>
15. Resende RS, Cruz MAS, Amorim, JRA. Atlas de qualidade da água subterrânea no Estado de Sergipe. Aracaju (SE): Embrapa Tabuleiro Costeiros; 2009.
16. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Mapeamento Topográfico Sistemático Terrestre do Brasil. Pedologia 1:250.000 [Internet]. Rio de Janeiro (RJ): IBGE; 2021 [acesso em 5 fev 2024]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html>
17. Câmara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido JCP. Spring: Integrating remote sensing and GIS with object-oriented data modelling. *Comput Graph.* 1996;15(6):13-22. doi: 10.1016/0097-8493(96)00008-8
18. QGIS Development Core Team [Internet]. QGIS Geographic Information System. A Free and Open Source Geographic Information System 2020; [citado em 15 fev 2024]. Disponível em: <https://www.qgis.org/en/site>
19. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 1. ed. Rio de Janeiro (RJ): Embrapa Solos; 1999.
20. Akbar TA, Hassan QK, Ishaq S, Batool M, Butt HJ, Jabbar H. Investigative spatial distribution and modelling of existing and future urban land changes and its impact on urbanization and economy. *Remote Sens.* 2019;11(105):1-15. doi: 10.3390/rs11020105
21. Santos LAN, Nascimento PSR, Barros GVP. Processamento analítico hierárquico no mapeamento da fragilidade ambiental à erosão do solo. *Rev Bras Geom.* 2020;8(4):275-98. doi: 10.3895/rbgeo.v8n4.12635

22. Bramorski J, Crestana S. Erosão hídrica em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo e chuva simulada. *Rev Sítio Novo*. 2020;4(2):73-80. doi: 10.47236/2594-7036.2020.v4.i2.73-80p
23. Zaroni MJ. Planossolos. Embrapa [Internet]; 2006. [migrado em 09 dez 2021; citado em 7 fev 2024]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/planossolos>
24. Ayers RS, Westcot DW. Water quality for agriculture [Internet]. Rome (IT): FAO; 1985 [acesso em 6 fev 2024]. Disponível em: <https://www.fao.org/3/t0234e/t0234e00.htm>
25. Gonçalves MC, Martins JC, Ramos TB. A salinização do solo em Portugal. Causas, extensão e soluções. *Rev Ciênc Agr*. 2015;38(4):574-86. doi: 10.19084/RCA15140
26. Oliveira AR, Pinto JESS, Bomfim JWR, Jesus LE. O clima e os aspectos econômicos da agricultura do município de Poço Verde/SE. *Rev Geogr Am Central*. 2011;2(1):1-17.
27. Nascimento SS, Lima ERV, Lima PPS. Uso do NDVI na análise temporal da degradação da caatinga na sub-bacia do Alto Paraíba. *Rev OKARA: Geografia em Debate*. 2014;8(1):72-93.
28. Santos FAS, Ávila PS, Santos MS, Eckert NOS. Diagnóstico ambiental da Bacia do Rio Real: Reflexões e resultados de atividades urbanas e rurais. *Rev GEOMAE*. 2020;11(2):101-16.