



TERRAS SEMIÁRIDAS BRASILEIRAS: MAPEAMENTO DO MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA NO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL

Brazilian semiarid lands: mapping the municipality of irauçuba in the state of Ceará, Brazil

Tierras semiáridas brasileñas: cartografía del municipio de irauçuba en el estado de Ceará, Brasil

 <https://doi.org/10.35701/rcgs.v27.1046>

Milena Monteiro Feitosa¹

José de Jesus Sousa Lemos²

Louize Nascimento³

Elizama Cavalcante de Paiva⁴

Histórico do Artigo:

Recebido em 06 de setembro de 2024

Aceito em 26 de junho de 2025

Publicado em 15 de outubro de 2025

RESUMO

Os processos de degradação ambiental estão relacionados a uma série de fatores interligados, incluindo fatores sociais, econômicos, políticos e climáticos. Intervenções inadequadas podem levar a um estado de desertificação, afetando economias regionais e globais. Nesta perspectiva, o presente artigo visa analisar as dinâmicas espacial e temporal do município de Irauçuba no estado do Ceará, Brasil. O trabalho utilizou e realizou o processamento dos dados CHIRPS e do MapBiomass na plataforma digital Google Earth Engine (GEE) e no software QGIS (versão 3.30.0). Os resultados

¹ Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

Email: milenamonteirofeitosa@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3748-2395>

² Professor do Depto. de Economia Rural e do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará (UFC). Email: lemos@ufc.br

 <https://orcid.org/0000-0002-2169-1360>

³ Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

Email: louizencmt@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-6083-8417>

⁴ Doutoranda em Economia Rural na Universidade Federal do Ceará (UFC). Email: elizamapaiva@yahoo.com.br

 <https://orcid.org/0000-0002-5917-8060>

obtidos mostraram que, nos últimos 21 anos, a combinação de condições semiáridas e o manejo inadequado do solo colaboram para o aumento de áreas degradadas.

Palavras-Chave: Uso e Cobertura da terra. Sensoriamento Remoto. Bioma Caatinga. Semiárido. Ceará.

ABSTRACT

Environmental degradation processes are related to a number of interconnected factors, including social, economic, political and climatic factors. Inappropriate interventions can lead to a state of desertification, affecting regional and global economies. In this perspective, the present article aims to analyze the spatial and temporal dynamics of the municipality of Irauçuba in the state of Ceará, Brazil. The work used and performed the processing of CHIRPS and MapBiomas data on the Google Earth Engine (GEE) digital platform and QGIS software (version 3.30.0). The results obtained showed that, in the last 21 years, the combination of semi-arid conditions and inappropriate soil management contributes to the increase of degraded areas.

Keywords: Land use and land cover. Remote Sensing. Caatinga biome. Semi-arid. Ceará.

RESUMEN

Los procesos de degradación ambiental están relacionados con una serie de factores interconectados, entre los que se incluyen factores sociales, económicos, políticos y climáticos. Intervenciones inadecuadas pueden conducir a un estado de desertificación, afectando a las economías regionales y mundiales. En esta perspectiva, el presente artículo tiene como objetivo analizar la dinámica espacial y temporal del municipio de Irauçuba, en el estado de Ceará, Brasil. El trabajo utilizó y procesó datos CHIRPS y MapBiomas en la plataforma digital Google Earth Engine (GEE) y el software QGIS (versión 3.30.0). Los resultados obtenidos mostraron que, en los últimos 21 años, la combinación de condiciones semiáridas y el manejo inadecuado del suelo colaboran al aumento de las áreas degradadas.

Palabras-Clave: Uso y cobertura del suelo. Teledetección. Bioma Caatinga. Semiárido. Ceará.

INTRODUÇÃO

Os processos de degradação têm origem devido a uma série de fatores inter-relacionados, dentre eles estão os fatores climáticos, sociais, econômicos e políticos. As intervenções antrópicas inadequadas, que não apresentam a devida preocupação com a fragilidade desses ambientes, ocasionam a redução da capacidade produtiva e favorecem o agravamento dessa degradação, acentuando os índices de pobreza e diminuindo a qualidade de vida. Dessa forma, a pobreza rural, em um quadro onde são escassas as alternativas de subsistência, potencializa o mau uso dos recursos disponíveis e encontra como única saída a extração do ambiente ecologicamente frágil, perpetuando o círculo vicioso (Pearce & Warford, 1993; Mink, 1993; Brasil, 2004; Lemos, 2020).

É cada vez mais comum o debate sobre o uso dos recursos naturais em ambientes rurais, considerando-se as práticas antrópicas predatórias e os modelos de produção utilizados e suas consequências para o meio ambiente. A degradação progressiva de ambientes áridos, semiáridos e subúmidos secos resulta em desertificação, sendo um dos fenômenos ambientais mais danosos em escala global, incorrendo em uma maior vulnerabilidade social e econômica, no desaparecimento da fauna nativa e na mudança da paisagem (Lemos, 1995; Reynolds & Stanfordsmiths, 2002). Paisagens

semiáridas, áridas e hiperáridas representam na superfície terrestre aproximadamente um terço dessa área, abrigoando 18,5% da população no mundo (Huang *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2023).

O semiárido brasileiro, tal como reconhecido pelo Governo brasileiro, é representado, predominantemente, pelos estados do Nordeste, incluindo alguns municípios dos estados do Espírito Santo e de Minas Gerais. Na definição do Condol/Sudene de 2024, a composição oficial do semiárido brasileiro passou a envolver 1.477 municípios (BRASIL, 2024). O agravamento do quadro climático, juntamente com o uso inapropriado dos recursos naturais, é a principal fonte de degradação do patrimônio biológico da caatinga, bioma predominante no semiárido nordestino (Moura *et al.*, 2007).

As características físicas do ambiente na região semiárida (precipitação irregular, solos pouco profundos, condições geológicas predominantemente com o afloramento do cristalino, dentre outros), somadas às fragilidades socioeconômicas, agravam a degradação do ambiente, por meio da ação antrópica, que se manifesta nas práticas de agriculturas inadequadas, retirada da cobertura vegetal nativa para ser utilizada como lenha ou carvão, para cozimento de alimentos das famílias carentes, bem como para alimentar fornalhas de padarias, olarias, pizzarias (Lemos, 1995; Vasconcelos; Matallo, 1999; Lemos, 2020).

A população pobre das áreas rurais do Nordeste tem uma grande dependência dos recursos naturais para a subsistência e, diante das vulnerabilidades e da insegurança alimentar, extrai de um ambiente que já é frágil, a sua subsistência. A falta de sucesso nas culturas agrícolas, causada por fatores como déficit hídrico, dificuldade de acesso ao crédito para investimentos, ausência de tecnologias adequadas e falta de assistência técnica, resulta em práticas prejudiciais ao solo, como o uso de técnicas arcaicas, incluindo as queimadas sistemáticas. Esse processo leva à degradação do solo e à perda de sua cobertura vegetal, agravando ainda mais os impactos ambientais e a sustentabilidade das atividades agrícolas (Nikolaou *et al.*, 2020; Hayashi & Dogliotti, 2021). Conforme essas terras perdem a fertilidade e se tornam improdutivas, essa população de pobres que depende do seu rendimento para a subsistência se desloca para áreas próximas, replicando os mesmos padrões invasivos e aumentando a capilaridade da degradação dos solos (Liu *et al.* 2008; Lemos, 2012; Caetano, 2018).

As políticas públicas de combate à desertificação, em níveis nacional, estadual e municipal, foram elaboradas em consonância com os princípios da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação – UNCCD (*United Nations Convention to Combat Desertification*, sigla em inglês), assinada em 1994. A UNCCD enfatiza a importância da governança e do combate à pobreza como fatores cruciais para o sucesso de políticas ambientais. Essas políticas buscam a implementação de governança ambiental eficiente, participação pública e descentralização, aspectos essenciais para

garantir a sustentabilidade das ações. Estudos demonstram que a governança ambiental e a participação das comunidades locais são essenciais para a eficácia das iniciativas de combate à desertificação, como observado em regiões afetadas pelo fenômeno na China e no Brasil (CGEE, 2016; Feng *et al.*, 2019; Lu *et al.*, 2020; Santos & Freitas, 2020).

O estado do Ceará desenvolveu o Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAE-CE), em 2010, visto que 175 municípios, de um total de 184, são reconhecidos oficialmente como inseridos na região semiárida, representando aproximadamente 95% de sua área física (BRASIL, 2024). Segundo Albuquerque *et al.* (2020), 100% do território cearense está suscetível à desertificação. O estado do Ceará possui 28.919,56 km², dividido em três núcleos (Núcleo 1 - Sertões de Irauçuba e Centro-Norte; Núcleo 2 - Sertões dos Inhamuns; e Núcleo 3 - Sertões do Médio Jaguaribe), caracterizados por elevadas vulnerabilidades resultantes da rigidez climática, dos tipos de solo e relevo, escassez de água e baixos níveis de capital social e humano, representando 11,45% do território com nível alto de degradação e em processo de desertificação (Ceará, 2010; Brasil, 2004; Sudene, 2021).

O município de Irauçuba-CE, um dos mais desertificados do Nordeste brasileiro, foi um dos precursores em processos participativos de articulação de políticas públicas, ao convocar a sociedade civil para debater com órgãos governamentais e não governamentais a política de combate à desertificação do município. Essa articulação entre diversas esferas, produziu resultados e o município tornou-se o primeiro no Brasil a ter uma Política e um Plano de Ação Municipal de Combate à Desertificação (Irauçuba, 2009).

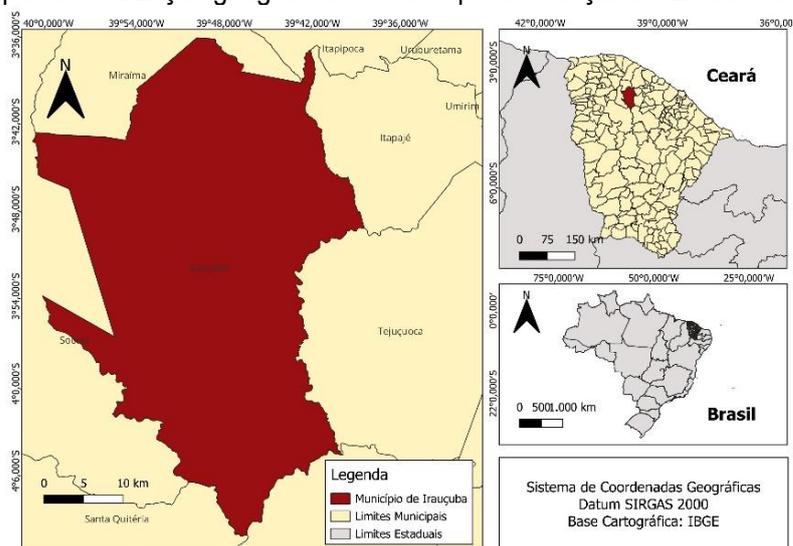
Ancorado na importância que esse tema exprime para as terras semiáridas mundiais e para o semiárido nordestino em particular, o presente trabalho tem como objetivo analisar as dinâmicas espacial e temporal do município de Irauçuba, no estado do Ceará, Brasil. De forma específica, o estudo busca: a) verificar a distribuição da precipitação na série temporal de 2000 a 2021; b) analisar a evolução temporal do uso e da cobertura da terra entre os anos de 2000 e 2021; c) avaliar os níveis de degradação das pastagens entre os anos de 2000 e 2021. Segundo Wilson *et al.* (2016), inicialmente é importante compreender esse fenômeno ambiental ao nível local, antes dos processos de tomada de decisão regional, nacional e global.

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

O município de Irauçuba está localizado na região Norte do estado do Ceará, possuindo área de 1.466,412 km², com população segundo o Censo Demográfico de 2022 de 23.915 habitantes (IBGE, 2022). Irauçuba possui fronteira com os municípios de Itapipoca e Miraíma ao norte, com Canindé ao sul, Tejuçuoca e Itapajé leste e ao oeste com Sobral e Santa Quitéria (Figura 1). Com economia predominante nas atividades agropecuárias, destacando a agricultura de subsistência nos cultivos de milho e feijão, principalmente, assim como a criação de bovinos e caprinos (Oliveira & Sales, 2015).

Figura 1: Mapa de localização geográfica do Município de Irauçuba – Estado do Ceará, Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme a classificação de Köppen-Geiger (1936), o município de Irauçuba possui clima predominante do tipo um clima quente e semiárido - Bsh (Bernardes, 1951; Senra, 1954), Guerra, 1955; Vieira, 1960; Galvão, 1966; Kottek *et al.*, 2006; Alvares *et al.*, 2013; Oliveira & Sales, 2015), temperatura média anual de 28 °C e precipitação média anual de 741,5 mm (NOAA, 2022), região que apresenta os mais baixos índices de precipitação do estado do Ceará, com concentração das precipitações nos meses de março e abril (Pinto, Carvalho & Alvalá, 2009). O município está inserido no bioma da Caatinga, conhecida como a mais vasta e ecologicamente diversa do mundo, considerada uma floresta tropical sazonalmente seca (Lessa *et al.*, 2019; Souza, 2023).

CONJUNTO DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Dados de precipitação da plataforma *Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Station* (CHIRPS), processados mensalmente e em milímetros no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2021 na plataforma *Google Earth Engine*, foram obtidos para avaliar aspectos climáticos. Criado pelo centro *Earth Resources Observation and Science* (EROS) do USGS. O CHIRPS disponibiliza dados de precipitação completos e confiáveis. Esses dados são produzidos por satélite e incluem informações de estações meteorológicas e novas observações. Possuem alta resolução espacial de 0,05° e um vasto acervo de dados desde 1981 até o presente (Funk *et al.* 2015; Correia Filho *et al.*, 2023). Os dados do CHIRPS são consistentes e validados, particularmente no Brasil, conforme Paredes-Trejo (2017), Brito *et al.* (2021), Andrade *et al.* (2022), Silva *et al.* (2022) e Oliveira Júnior *et al.* (2023), que o utilizaram como referência no bioma Caatinga.

Para além dos valores médios de precipitação, foi contabilizado o coeficiente de variação (CV), que mede a relação percentual entre o desvio padrão e a média aritmética, permitindo inferir sobre a heterogeneidade da distribuição dos dados (Gomes, 1985; Garcia, 1989; Sørensen, 2000)..

Gomes (1985) para utilizar o CV como medida de aferição de homogeneidade / heterogeneidade de uma distribuição estabeleceu limites para classificação dos CV (Quadro 1).

Quadro 1: Classificação do CV de acordo com a sua amplitude.

Classificação do CV	Amplitude do CV
Baixo	CV < 10%
Médio	10% ≤ CV < 20%
Alto	20% ≤ CV < 30%
Muito Alto	CV ≥ 30%

Fonte: Gomes (1985).

AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA E DA DEGRADAÇÃO DAS PASTAGENS

Para verificar a utilidade da abordagem neste estudo, uma análise temporal do uso e cobertura da terra, assim como quantificar a evolução de áreas degradadas na área de estudo, foram realizadas usando o Projeto MapBiomias. A mais recente iniciativa brasileira de mapeamento de uso e cobertura do solo (Souza *et al.*, 2020; Prudente *et al.*, 2022), e a única atualizada periodicamente. Utilizando a plataforma Google Earth Engine, o Projeto MapBiomias disponibiliza mapas anuais de uso e cobertura do solo para todo o Brasil entre os anos de 1985 a 2021 (versão 7.1). Além de fornecer mapas

anuais da qualidade de pastagem, apresentando os diferentes níveis de degradação nos anos de 2000 a 2021. Para a área de estudo foi utilizado o MapBiomas versão 7.1 e uma seleção dos anos de 2000 e 2021, processada no QGIS 3.30.0. O banco de dados *shapefile* dos limites territoriais nacionais, estaduais e municipais foi obtido no site do IBGE.

MAPEAMENTO DE USO E COBERTURA DA TERRA COM O PROJETO MAPBIOMAS

A metodologia do MapBiomas utiliza a plataforma de computação em nuvem *Google Earth Engine* (GEE) para processar e classificar, pixel a pixel, a série histórica completa de imagens dos satélites *Landsat*, desde 1985. O núcleo do processo é um classificador de aprendizado de máquina (machine learning), o algoritmo Random Forest, que analisa as características espectrais de cada pixel ao longo do tempo para gerar mapas anuais de uso e cobertura da terra (LULC) para todo o território brasileiro (Tamiminia *et al.*, 2020; Projeto MapBiomas, 2023).

Para este estudo, foi utilizada a Coleção 7.1 do MapBiomas, que cobre o período de 1985 a 2021 e incorpora melhorias de classificação em relação às versões anteriores. Os mapas possuem uma resolução espacial de 30 metros, derivada das imagens *Landsat*.

A metodologia de classificação do MapBiomas emprega uma estrutura hierárquica que permite uma análise detalhada e em múltiplos níveis da cobertura e uso da terra. No primeiro nível da legenda, encontram-se as categorias mais amplas, como Floresta, Formações Naturais Não Florestais, Agropecuária, Área não Vegetada e Corpo d'Água. Essas categorias são, por sua vez, refinadas no segundo nível em subclasses mais específicas, como Pastagem e Agricultura. A Tabela 1, a seguir, resume as classes de Nível 2 que foram objeto de análise neste trabalho (MapBiomas, 2023).

Tabela 1: Legenda Hierárquica da Coleção 7.1 do MapBiomas com Descrições Adaptadas para o Bioma Caatinga.

Nível 2	Descrição
Formação Florestal	Vegetação nativa mais densa, como matas secas e cerradões.
Formação Savânica	Principal classe da vegetação nativa da Caatinga (<i>sensu stricto</i> e carrasco).
Formação Campestre	Áreas de vegetação nativa herbácea ou de campo.
Afloramento Rochoso	Áreas com predomínio de rochas expostas, comuns na região.

Pastagem	Áreas convertidas para criação de gado, com predomínio de gramíneas.
Agricultura	Culturas anuais, como milho e feijão, típicas da agricultura de subsistência.
Mosaico de Agricultura e Pastagem	Áreas com uso misto e fragmentado de agricultura e pastagem.
Área Urbanizada	Mancha urbana, infraestruturas e edificações.
Mineração	Áreas de extração mineral.
Outras Áreas não Vegetadas	Áreas de solo exposto por degradação severa ou outras causas.
Rio, Lago e Oceano	Rios, açudes e outros corpos d'água superficiais.

Fonte: Elaborado pelos autores com base em MapBiomias Coleção 7.1.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE E DEGRADAÇÃO DAS PASTAGENS

Além de mapear a extensão das pastagens, o MapBiomias desenvolveu um produto específico para avaliar sua condição de vigor. A metodologia utiliza uma série temporal de dados do sensor MODIS, focando no EVI (Índice de Vegetação Melhorado). Esses dados são processados para remover a sazonalidade e preencher falhas, gerando uma média anual que, após ser normalizada, resulta em um índice de “Cobertura Vegetal da Pastagem” (CVP). Com base nesse índice, as pastagens são classificadas em três níveis de vigor: Alto, Médio e Baixo, conforme Tabela 2 (Ferreira Jr. *et al.*, 2024).

Tabela 2: Critérios Biofísicos para a Classificação dos Níveis de Degradação de Pastagens no MapBiomias.

Nível de Vigor da Pastagem (Classe)	Critério Quantitativo (Índice CVP*)	Interpretação Biofísica (Condição da Pastagem)
Alto	> 0.6	Vigor vegetativo elevado, indicando pastagens saudáveis e produtivas com cobertura vegetal densa.
Médio	> 0.4 e <= 0.6	Vigor vegetativo intermediário, o que pode indicar pastagens sob algum nível de estresse ou com produtividade moderada.
Baixo	<= 0.4	Vigor vegetativo baixo, indicativo de pastagens degradadas, com baixa produtividade e potencial exposição de solo.

Fonte: Elaborado pelos autores com base na metodologia do produto de qualidade de pastagem do MapBiomias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO

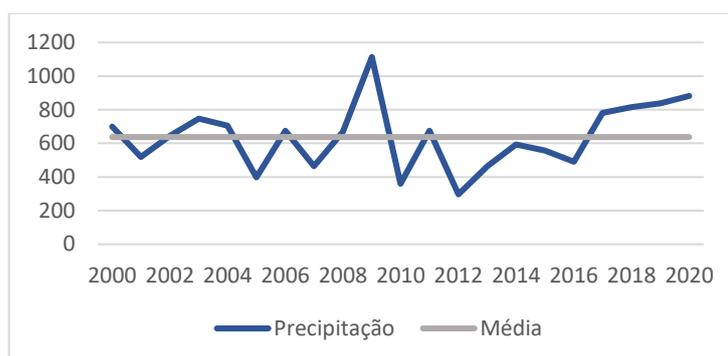
O Gráfico 1 mostra a precipitação média anual, conforme os dados obtidos pelo produto CHIRPS, para o município de Irauçuba, no estado do Ceará, durante o período de 2000 a 2021. Observa-se que a menor ocorrência de chuvas foi no ano de 2012, com 296,73 mm, e a maior ocorreu no ano de 2009 (1.113,49 mm), com uma média de 637,62 mm/ano e apresentando um CV de 31%, confirmando a instabilidade na distribuição de chuvas ao longo do período analisado, conforme a classificação de Gomes (1985).

Durante a estação chuvosa de 2012, vastas áreas do semiárido brasileiro receberam menos de 50% da precipitação média esperada, culminando em declarações de estado de emergência em centenas de municípios. A seca foi particularmente severa durante o trimestre de fevereiro-março-abril, período que concentra o ápice da estação chuvosa para o norte do nordeste brasileiro, incluindo o estado do Ceará. O déficit pluviométrico em 2012 foi o mais severo em um registro de 34 anos (1979-2012) para a região, estabelecendo o evento como um marco histórico de escassez hídrica (Silva et al., 2013).

A importância climatológica e socioeconômica de 2012 transcende a sua caracterização como um único ano seco. Este evento marcou o início de um período de estiagem plurianual, que se estendeu de 2012 a 2016, configurando o quinquênio de seca mais severo e prolongado já documentado no Ceará desde o início dos registros instrumentais em 1911. A seca de 2012-2017 é considerada a mais longa da história do Brasil para o semiárido. O impacto de 2012 deve ser compreendido como um “choque sistêmico” que comprometeu severamente a resiliência hídrica e econômica da região. A falha da estação chuvosa naquele ano levou ao esgotamento rápido dos reservatórios, à perda maciça de safras agrícolas e rebanhos, e ao colapso da agricultura de subsistência, da qual dependem vastas populações (Martins & Magalhães, 2015; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2016; FUNCEME, 2017; Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará, 2023).

Segundo Sales *et al.* (2021), o semiárido brasileiro tem como característica espaço-temporal a distribuição irregular das chuvas, marcadas por baixa precipitação média anual, extensos períodos de estiagem e alta variabilidade interanual.

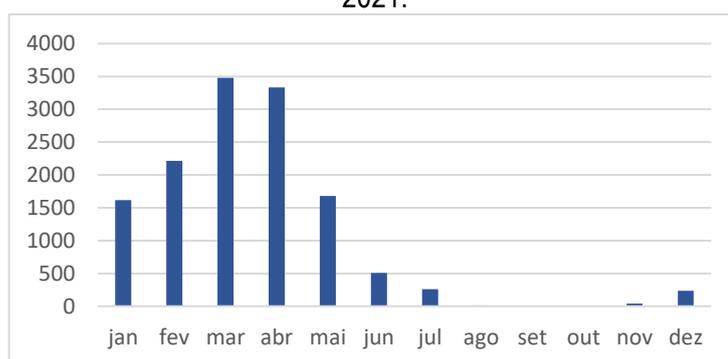
Gráfico 1: Precipitação média anual (mm/ano) do município de Irauçuba - Ceará, Brasil - 2000 a 2021.



Fonte: Elaboração própria com base nos dados CHIRPS (2000-2021).

No Gráfico 2, tem-se o comportamento da precipitação média mensal da área de estudo, podendo ser observado uma estação chuvosa no verão concentrada entre janeiro e abril.

Gráfico 2: Precipitação média mensal (mm/mês) do município de Irauçuba - Ceará, Brasil - 2000 a 2021.



Fonte: Elaboração própria com base nos dados CHIRPS (2000-2021).

Conforme Cavalcanti (2012) e Rodriguez *et al.*, (2016) as condições climatológicas que atuam nesta região, como os longos períodos de estiagem, causando danos à população, principalmente àquelas que dependem da agricultura de subsistência.

AVALIAÇÃO DE USO E COBERTURA DA TERRA E DOS NÍVEIS DE DEGRADAÇÃO DAS PASTAGENS EM IRAUÇUBA-CE ENTRE 2000 E 2021

Na Tabela 3, tem-se a variação temporal das diferentes classes de uso e cobertura da terra (LULC) existentes no município de Irauçuba-CE entre 2000 e 2021. De acordo com classificação do MapBiomas, no ano 2000, 1.110,95 km² eram de Formação Savânica, que corresponde a caatinga

cristalina (ou *sensu stricto*) e caatinga sedimentar, representa 75,8% do território do município de Irauçuba.

No período de 2000 a 2021, houve uma redução de 8,7% da vegetação savânica. No último ano de monitoramento (2021), a formação vegetal savânica recobria 69,2% da área.

Tabela 3: Evolução temporal do Uso e Cobertura da terra (LULC) em Irauçuba-CE entre 2000 e 2021.

Classes	2000	2021	Mudança de 2000-2021	
	Área (km ²)	Área (km ²)	Dif. (km ²)	Dif. %
Formação Florestal	2,03	1,75	-0,28	-13,9%
Formação Savânica	1110,95	1014,29	-96,65	-8,7%
Formação Campestre	39,10	39,11	0,01	0,0%
Pastagem	221,90	234,19	12,29	5,5%
Mosaico de Usos	77,54	152,89	75,35	97,2%
Área Urbanizada	2,47	4,95	2,49	100,8%
Outras Áreas não Vegetadas	10,50	19,27	8,77	83,5%
Rio, Lago e Oceano	6,12	3,95	-2,17	-35,5%
Mineração	0,03	0,19	0,16	593,4%
Outras Lavouras Temporárias	-	0,04	-	-

Fonte: Elaboração de acordo com os dados do Projeto MapBiomias (Coleção 7.1).

Existem dois principais tipos de vegetação, a caatinga *sensu stricto*, pertencente às superfícies cristalinas, apresentando solos em sua maioria rasos e pedregosos, e a caatinga sedimentar, conhecida popularmente como carrasco. A caatinga sedimentar tem como característica solos mais profundos, em comparação às áreas cristalinas, no entanto, seu solo é relativamente mais pobre em nutrientes, mais propenso à degradação. Além disso, por apresentar um tipo de solo diferente das áreas cristalinas, a caatinga sedimentar fortalece a biodiversidade da região semiárida (Gomes *et al.* 2006; Queiroz, 2006; Cardoso & Queiroz, 2007; Moro *et al.*, 2016; Queiroz *et al.* 2017; Paiva *et al.*, 2021).

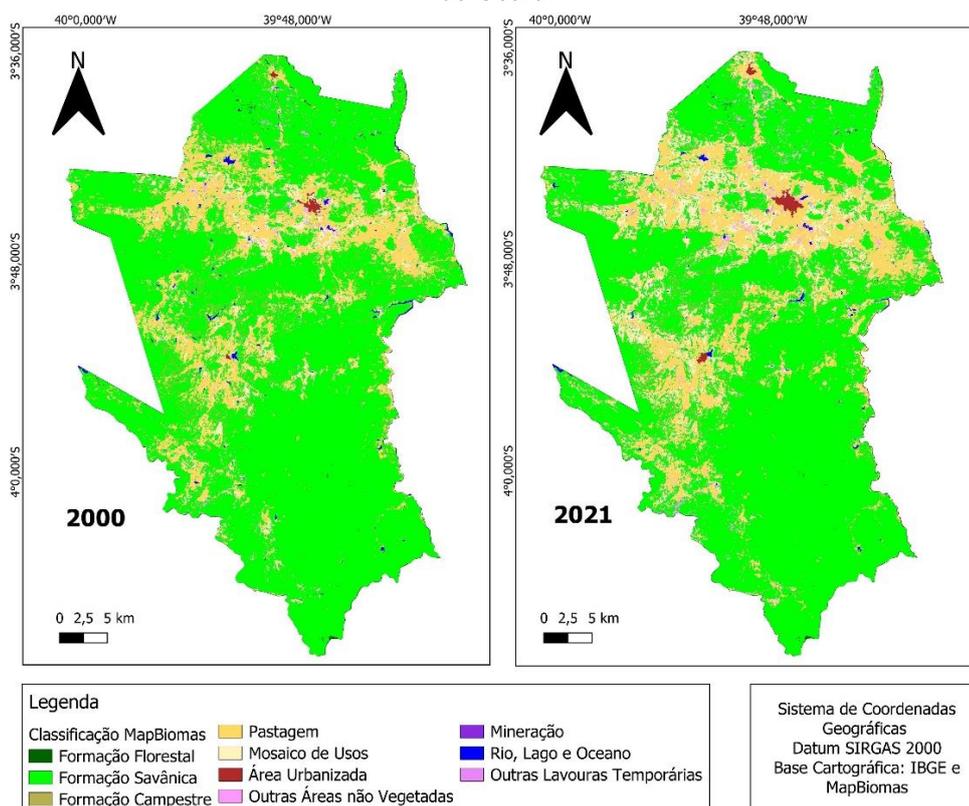
A Formação Florestal tinha uma extensão territorial de 2,03 km² (0,14% da área total) em 2000, composta pela caatinga sedimentar mais preservada, bem como cerradões interiores, matas secas e úmidas. Entre 2000 e 2021, este tipo de vegetação reduziu 13,9%. Concomitantemente, observa-se a permanência de área no período analisado da classe de Formação Campestre (Tabela 3).

Sobre os demais tipos de LULC observados na Tabela 1, destaca-se o crescimento da classe pastagem, pois no ano de 2000 a classe representava apenas 221,90 km², passando para 234,19 km² no ano de 2021, correspondendo a 16%, no último ano de análise, do território do município de

Irauçuba e apresentando um aumento de 5,5% no período. Assim, como a classe Mosaico de Usos, áreas em que não é possível identificar entre pastagem e agricultura, apresentaram crescimento de 97,2% do ano 2000 para 2021. Caracterizando a ação antrópica na região que, segundo Oliveira e Sales (2015) e Girão (1967), tem sua influência desde o período dos colonizadores (meados de 1606-1607), devido ao grande potencial da região para a criação de bovinos, com seus vastos campos de formação savânica. Tal atividade, voltada para o abastecimento da colônia, ocupou os sertões, marcando a expansão da ocupação do território no Brasil e povoando o interior do país (Prado Júnior, 1972).

Como mostrado na Figura 2, no ano de 2021, a análise do uso e cobertura da terra revelou uma composição distinta daquela observada 21 anos antes (2000) com o avanço de área de pastagem e mosaicos de usos, confirmando a dinâmica da atividade antrópica da região.

Figura 2: Análise do Uso e Cobertura da terra entre 2000 e 2021 do município de Irauçuba no estado do Ceará.



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IBGE e MapBiomas.

É importante destacar que a ausência de manejo sustentável e o uso excessivo do solo impactam os ecossistemas do Bioma Caatinga (Pereira *et al.*, 2021). Assim, a pobreza multidimensional pode ser considerada uma das causas, e também consequência, da degradação ambiental da região

semiárida nordestina. Tem-se que os indivíduos com insuficiência de renda são dependentes dos recursos naturais para sobreviver e, na tentativa de garantir a sua sobrevivência, utilizam esses recursos de forma insustentável, o que acaba cooperando para a degradação do meio ambiente (Vieira *et al.*, 2015; Lemos, 2001).

No município de Irauçuba, as atividades antrópicas aceleram o processo de desertificação, principalmente por meio da pecuária. Embora, as características do ambiente também influenciam, com baixas precipitações e altas temperaturas no semiárido brasileiro. A realização da cultura do sobrepastoreio provocam redução da vegetação nativa e, em decorrência, impactam os nutrientes do solo, advindos dos processos de erosão, causando efeitos negativos tanto para o ambiente quanto para a população (Almeida *et al.*, 2017; Oliveira Filho *et al.*, 2019; Zhu *et al.*, 2018; Yuan *et al.*, 2019; Lemos, 2020).

Conforme Pereira *et al.* (2021) e Oliveira *et al.* (2021) a adoção do manejo incorreto do solo, isto é, o sobrepastoreio, juntamente com as condições climáticas do semiárido, reduzem a oferta de matéria orgânica no solo e, conseqüentemente, afetam as comunidades microbianas e os nutrientes do solo, causando a sua degradação.

Diante disso, pode-se observar os dados da Tabela 2, onde estão apresentados os níveis de degradação das pastagens em Irauçuba-CE entre 2000 e 2021. A análise dos dados do MapBiomias detectou que, na área de estudo, houve uma recuperação das pastagens degradadas severas para uma condição de degradação moderada ou sem degradação. No entanto, essa recuperação só foi observada após o ano de 2010. Entre os anos de 2000 a 2010, a área com degradação severa aumentou em 54,71%, destacando a severidade do problema nesse período antes da implementação de técnicas de recuperação mais eficazes (Sousa *et al.*, 2012; Junior *et al.*, 2019; Alves *et al.*, 2022).

Tabela 2: Evolução temporal dos níveis de degradação das pastagens em Irauçuba-CE entre 2000 e 2021.

Classes	2000	2021	Mudança de 2000-2021	
	Área (km ²)	Área (km ²)	Dif. (km ²)	Dif. %
Degradação Severa	107,82	42,89	-64,93	-60,2%
Degradação Moderada	111,84	169,53	57,68	51,6%
Sem Degradação	2,24	21,78	19,54	873,1%

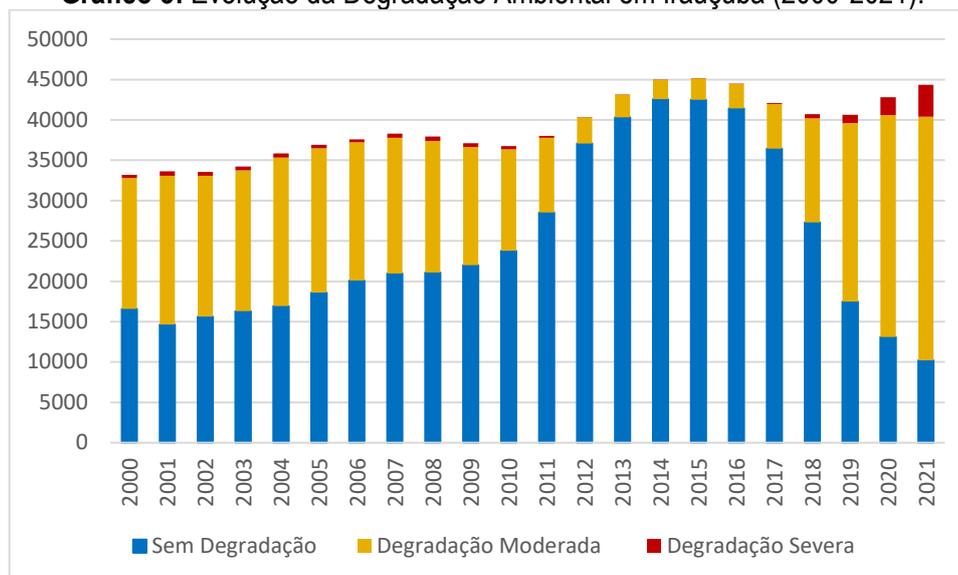
Fonte: Elaboração de acordo com os dados do Projeto MapBiomias (Coleção 7.1).

No período de 2010 a 2021, o processo de recuperação das áreas apresentou redução no nível de degradação de severa para moderada e/ou sem degradação em 74,29%, segundo o MapBiomias. A partir de 2010, observa-se uma redução na área afetada por degradação severa. Simultaneamente, há um aumento expressivo na degradação moderada. Esse padrão indica que muitas áreas anteriormente submetidas a altos níveis de degradação passaram para uma condição intermediária, sugerindo uma possível recuperação ou diminuição dos impactos ambientais mais graves.

A redução de áreas com degradação severa em Irauçuba após 2010, concomitante ao aumento da degradação moderada, reflete uma transição ecológica positiva, possivelmente associada à recuperação parcial dos solos. Esse padrão sugere que intervenções de manejo sustentável, implementadas a partir dessa década, podem ter mitigado os processos mais críticos de desertificação. Alves *et al.* (2022) observaram que a adoção de práticas como o enriquecimento da cobertura vegetal em áreas semiáridas degradadas promoveu a melhoria de parâmetros físico-químicos do solo (ex.: aumento de matéria orgânica e retenção hídrica), corroborando a transição de severa para moderada identificada no estudo.

Essa tendência também se alinha com o impacto das políticas públicas institucionalizadas no período, como o PAE-CE (2010), que priorizou a governança participativa e técnicas agroecológicas. Pereira *et al.* (2021) demonstram que a redução do sobrepastoreio e a integração de sistemas agroflorestais no bioma Caatinga estimulam a resiliência microbiana do solo, revertendo estágios avançados de degradação. Contudo, o aumento expressivo da degradação moderada (51,6%) indica que os solos permanecem vulneráveis, exigindo continuidade das ações para consolidar a recuperação, conforme alertado por Cunha (2020) ao destacar que a estabilização de áreas degradadas no semiárido brasileiro demanda intervenções de longo prazo e monitoramento contínuo.

Essa tendência continua após 2015, com a degradação severa estabilizando-se em patamares mais baixos do que os observados no início do período analisado (Gráfico 3).

Gráfico 3: Evolução da Degradação Ambiental em Irauçuba (2000-2021).

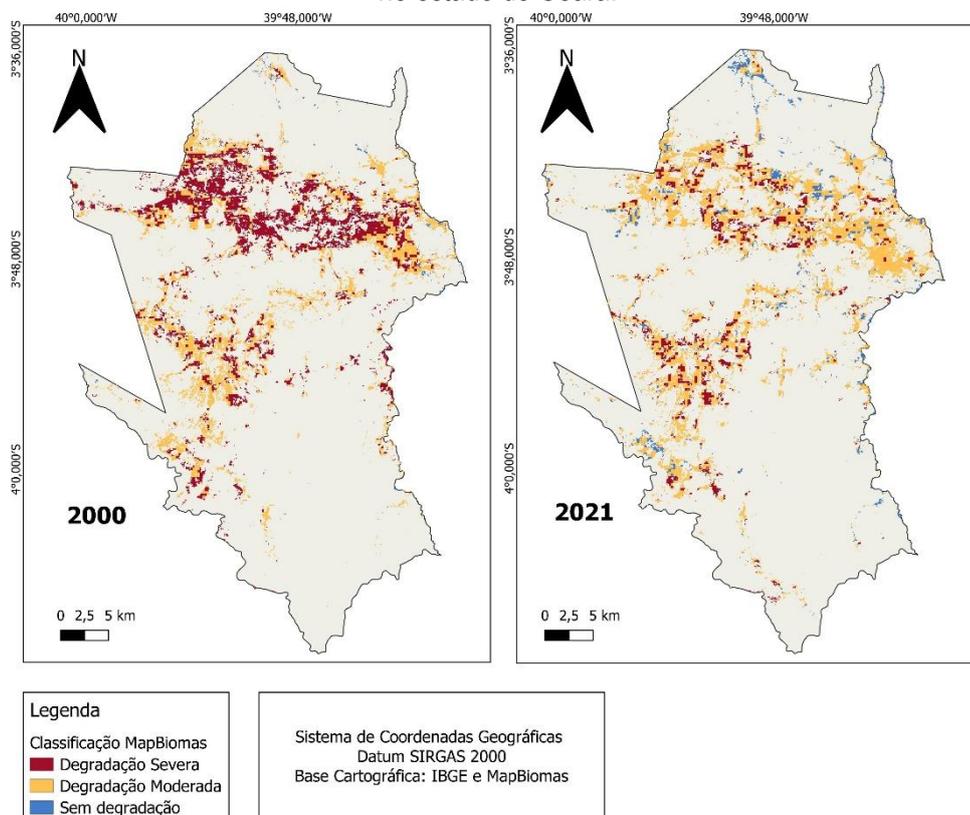
Fonte: Elaboração de acordo com os dados do Projeto MapBiomias (Coleção 7.1).

É importante destacar que o estado do Ceará implementou, em 2010, o Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAE-CE). Esse programa adota medidas mais sustentáveis para o bioma da Caatinga, com base em políticas socioeconômicas e ambientais, e tem como foco a redução da pobreza e a utilização de mecanismos participativos de governança. O fortalecimento da governança local e o envolvimento da sociedade civil são considerados elementos essenciais para mitigar os impactos da desertificação e promover a sustentabilidade na região (Oliveira *et al.*, 2007; Cunha, 2020).

Tem-se que as práticas de governança interagem com a pobreza e, por extensão, com a degradação ambiental, uma vez que possibilitam a melhoria do alcance, eficiência e sustentabilidade dos serviços básicos, além de um empoderamento das populações pobres (Holmes *et al.*, 2000; Lemos, 2012). Dessa forma, em um quadro onde as vulnerabilidades socioeconômicas são reduzidas, tem-se que as práticas antrópicas direcionadas ao meio ambiente tendem a ser menos agressivas, gerando menos impactos e degradação em áreas suscetíveis à desertificação.

Na Figura 3, pode-se observar os níveis de degradação espacialmente entre os anos de 2000 e 2021, confirmando a recuperação das áreas.

Figura 3: Mapa dos níveis de degradação das pastagens entre 2000 e 2021 do município de Irauçuba no estado do Ceará.



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IBGE e MapBiomias.

Além disso, destaca-se também a redução dos corpos d'água (Classe de Rio, Lago e Oceano) em 35,5% no período de 2000-2021. Conforme Silva e Souza (2012) o uso de técnicas inadequadas de manejo podem causar degradação do ambiente, afetando solos e recursos hídricos.

Com isso, a crescente ação antrópica altera o meio físico e compromete os serviços hídricos (Chaves & Pinto Filho, 2020). Outra classe que merece destaque, ao estar intimamente ligada a modificação do ambiente é a de Mineração, apresentando no ano de 2021, 0,16 km², dada a diversidade mineralógica do estado do Ceará, um dos líderes na extração e produção no Nordeste, principalmente, de granitos e calcários (Pedra Cariri) (Lobo, 2009; Barbosa; Oliveira, 2022).

Contudo, é necessário a adoção de práticas que conservem o solo, voltadas para a recuperação de áreas em degradação, assim como a implementação de zoneamento agroecológico no semiárido brasileiro, essencial para o desenvolvimento sustentável da região. Conforme Sá *et al.* (2004) e Barbosa *et al.* (2009), o zoneamento agroecológico favorece a preservação dos recursos naturais, promove a redução da pobreza, melhorando a qualidade de vida das populações rurais. Além disso, Carvalho *et al.* (2015) e Alcântara *et al.* (2020) afirmam que esse instrumento permite uma melhor gestão

dos recursos hídricos, viabilidade econômica das atividades agropecuárias e a conservação da biodiversidade. Sendo importante a realização participativamente, conforme os princípios de governança.

Segundo Oliveira *et al.* (2015) e Anache *et al.* (2020) as crescentes alterações no uso do solo potencializam a erosão do solo com a prática de atividades antrópicas sem o manejo adequado. Podendo resultar em diversos impactos como o assoreamento dos cursos d'água, reduzindo a matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, as comunidades microbianas. Sendo fundamental a utilização de técnicas agropecuárias que assegurem a preservação do solo e da água, permitindo que esta se mantenha produtiva ao longo de muitos anos. Diversos são os sistemas de manejo cujo objetivo é proteger o solo da erosão e da degradação.

O sistema Integração Lavoura-Pecuária (ILP) considera os objetivos e o perfil da fazenda, além de condições regionais e de propriedade, como infraestrutura, acessibilidade tecnológica, experiência do produtor e condições climáticas e de solo. No ILP, vários sistemas de produção de grãos, carnes, leite, agroenergia, entre outros, estão instalados em uma mesma área. É fundamental nesse sistema a alternância entre usos agrícolas e pecuários da terra (Vilela *et al.*, 2021).

Assim como, o sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), que constitui a introdução do fator floresta nos sistemas de integração, gerou um conceito mais completo e com mais possibilidades de sinergia espaço-temporal (Cordeiro *et al.*, 2015).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nesta análise espaço e temporal, foi possível concluir que o município de Irauçuba no estado do Ceará apresentou, em destaque, crescimento nas classes de pastagem e mosaico de usos agropastoris no período 2000-2021. Mostrando a dinâmica das ações antrópicas que vem ocorrendo na região desde o período colonial, com a interiorização e expansão da ocupação do território brasileiro. Favorecendo o avanço de áreas degradadas e inserindo o município de Irauçuba no núcleo de áreas suscetíveis à desertificação.

Para promover práticas mais sustentáveis de convivência com o bioma da Caatinga, destacam-se as políticas públicas de caráter ambiental e socioeconômico implementadas a partir de 2010 no combate à desertificação. O avanço dessas políticas é evidenciado nos resultados deste trabalho, com a redução significativa das áreas de degradação severa, refletindo uma gestão mais eficaz dos recursos naturais e a adoção de práticas sustentáveis. Além disso, de acordo com o detectado no estudo, ao analisar o comportamento da precipitação e uso e cobertura da terra, assim como a análise

de áreas degradadas, foi observado a importância da adoção de manejo adequado para as condições semiáridas.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. O. *et al.* Vegetation cover arrangements in the recovery of degraded areas in the Brazilian semi-arid region: effect on soil chemical and physical properties. **Scientia Forestalis**, v. 50, e3909, 2022. DOI: 10.18671/scifor.v50.34.

ALBUQUERQUE, D. S. *et al.* Desertification scenario in Brazilian territory and actions to combat the problem in the State of Ceará, Brazilian Northeast. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, p. 673–696, 2020.

ALVES, J., RODRIGUES, M., RODRIGUES, R., SILVA, K., LIMA, A., SOUZA, P., & MOREIRA, F. Vegetation cover arrangements in the recovery of degraded areas in the Brazilian semi-arid region: effect on soil chemical and physical properties. **Scientia Forestalis**, v. 50, 2022.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALCÂNTARA, L. R. P., *et al.* Mudanças climáticas e tendências do regime pluviométrico do Recife. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, 2020.

ANACHE, J. A. A. *et al.* Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado. **Science of the Total Environment**, v. 622-623, p. 140-151, 2018.

ANDRADE, J. M. *et al.* A comprehensive assessment of precipitation products: Temporal and spatial analyses over terrestrial biomes in Northeastern Brazil. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 28, 1 nov. 2022.

BARBOSA, T. C. S.; OLIVEIRA, V. P. V. Áreas suscetíveis à desertificação no Ceará: aspectos ambientais dos municípios de Tauá-CE e Iruçuaba-CE. *Brazilian Journal of Development*. **Brazilian Journal of Development**, v.8, n.7, p. 52330-52349, 2022.

BARBOSA, I. S. *et al.* Zoneamento agroecológico do município de Lagoa Seca, PB. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** v. 13, n. 5, 2009.

BERNARDES, L.M.C. Os tipos de clima do Brasil. **Bol. Geogr.**, v. 9, p. 988–997, 1951.

BRASIL. **Conselho Deliberativo da SUDENE (CONDEL/SUDENE)**. Resolução n.º 176, de 3 de janeiro de 2024.

BRASIL, PAN. **Programa de ação nacional de combate à desertificação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, 2004.

BRITO, C. S. DE *et al.* Monitoring meteorological drought in a semiarid region using two long-term satellite-estimated rainfall datasets: A case study of the Piranhas River basin, northeastern Brazil. **Atmospheric Research**, v. 250, 1 mar. 2021.

CAETANO, F. A. O. **Desertificação e governança nas comunidades rurais da ASD do sertão dos Inhamuns, Ceará**. 2018. 125f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2018.

CARDOSO, D.B.O.S.; QUEIROZ, L.P. DE. Diversidade de Leguminosae nas Caatingas de Tucano, Bahia: implicações para a fitogeografia do semi-árido do Nordeste do Brasil. **Rodriguésia**, v. 58, p. 379–391, 2007.

CARVALHO, M. S. B. S. *et al.* Zoneamento Ecológico-Econômico das Áreas Susceptíveis à Desertificação do Núcleo Iruçuaba/Centro-Norte - Ceará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015.

CAVALCANTI, I. F. A. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. **Atmospheric Research**, v. 118, 2012.



CEARÁ (Estado). Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, PAE-CE. Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente / Secretaria dos Recursos Hídricos, 2010. 372p.

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2016.

CHAVES, J. I.; PINTO FILHO, J. L. O. Ordenamento territorial no semiárido brasileiro: análise do uso e cobertura das terras da sub-bacia hidrográfica do riacho Encanto, RN. **Revista Equador** (UFPI), v. 9, n.4. ISSN 2317-3491, 2020.

CHIRPS - Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations. Climate Hazard Center – UC Santa Bárbara. Disponível em: <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>. Acesso em: 10 de jun. 2024.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARTHA JUNIOR, G. B. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciências & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 15-43, jan./ago. 2015.

CUNHA, Thiago Pereira. Análise das áreas fortemente degradadas e susceptíveis à desertificação no Ceará e a sua viabilidade para geração de energia solar. *Revista Tocantinense de Geografia*, v. 9, n. 19, p. 188–205, 2020.

FENG, Q., TIAN, Y., YU, T., YIN, Z., & CAO, S. Combating desertification through economic development in northwestern China. **Land Degradation & Development**, v. 30, p.910 – 917, 2019.

FERREIRA JR., L. G. *et al.* **MapBiomass Pasture Appendix: Collection 9**. Version 1. [S. l.]: MapBiomass, 2024. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 22 jun. 2025.

FUNCEME – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **A seca no Ceará em 2012-2016: características e impactos**. Fortaleza, 2017. Disponível em: <http://www.funceme.br/?p=1403>. Acesso em: 5 abr. 2025.

GALVÃO, M.V. **Atlas Nacional do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1966. 100 pp.

GARCIA, C. H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 1989.

GIRÃO, R. **Três documentos do Ceará colonial**. Fortaleza: departamento de Imprensa Oficial, 1967.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. São Paulo: ESALQ/USP, 1985.

GOMES, A.P.D.S.; RODAL, M.J.N.; MELO, A.L. DE. Florística e fitogeografia da vegetação arbustiva subcaducifólia da Chapada de São José, Buíque, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**. v. 20, p. 37–48, 2006.

GUERRA, I.A.L.T. Tipos de clima do Nordeste. – **Rev.Bras. Geogr.** v. 17, p. 449–496, 1955.

HAYASHI R. M., DOGLIOTTI S. Water productivity in maize, at different levels of deficit irrigation in humid climate. **Agrocienc Urug.**, v. 25, n. 1, 2021.

HOLMES, M.; KNACK, S.; MANNING, N.; MESSICK, R; RINNE, J. **Governance and Poverty Reduction**. World Bank, 2000.

HUANG, J. *et al.* Global semi-arid climate change over last 60 years. **Climate Dynamics**, v. 46, n. 3–4, p. 1131–1150, 1 fev. 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malha Municipal. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 15 de mar. 2024.

IRAUCUBA. **Plano de Ação Municipal de Combate à Desertificação de Irauçuba**. Irauçuba, CE. p.40, 2009.



KÖEPPEN, W. Das geographische System der Klimate, Handbuch der Klimatologie. The Geographical System of the Climate, Handbook of Climatology. Berlin: Borntraeger, 1936.

KOTTEK, M., J. GRIESER, C. BECK, B. RUDOLF, F. RUBEL. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.* v. 15, p. 259–263, 2006.

LEMOS, J. J. S. Sustentabilidade e risco da agricultura do Nordeste. *Revista de Economia e Sociologia Rural.* v. 33, jan-mar, 1995.

_____. **Níveis de Degradação no Nordeste Brasileiro.** *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 32, n. 3, p. 406-429, 2001.

_____. **Mapa da exclusão social no Brasil:** radiografia de um país assimetricamente pobre. 3. ed. rev. e atual. Fortaleza, Banco do Nordeste do Brasil, 2012.

_____. **Vulnerabilidades induzidas no semiárido.** Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020.

LESSA, T. *et al.* Known unknowns: Filling the gaps in scientific knowledge production in the Caatinga. *Plos One*, v. 14, n. 7, 2019.

LIU H.; YIN Y.; TIAN Y.; REN J.; WANG H. Climatic and anthropogenic controls of topsoil features in the semi-arid East Asian steppe. *Geophys Res Lett.* v. 35, n. 4, 2008.

LOBO, C. J. S. Estudo sobre a utilização do rejeito do granito rosa iracema como matéria-prima na fabricação de funis de saída da fição a rotor na indústria têxtil. 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

LU, Q.; China's Combating Desertification: National Solutions and Global Paradigm. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, v. 35, n. 6, p. 656-664, 2020.

MAPBIOMAS - Coleções Mapbiomas Brasil. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 10 de fev. 2024.

MAPBIOMAS. **Códigos das classes da legenda e paleta de cores – Coleção 7.1.** [S. l.], 2023. Disponível em: brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/08/EN__Codigos_da_legenda_Colecao_7.pdf. Acesso em: 16 jun. 2023.

MARTINS, Eduardo Sávio Passos Rodrigues; MAGALHÃES, Antonio Rocha. A seca de 2012-2015 no Nordeste e seus impactos: Seção 1 – Políticas nacionais da seca. *Parceria Estratégica*, Brasília, DF, v. 20, n. 41, p. 107–128, jul./dez. 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Secretaria de Política Agrícola. Departamento de Crédito e Estudos Econômicos. Coordenação-Geral de Estudos e Análises. **Informativo sobre a estiagem no Nordeste - nº 103.** Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2016. 1 p.

MINK, Stephen Dorrance; MUNDIAL, Banco. **Poverty, population, and the environment.** Washington, DC: World Bank, 1993.

MORO M.F., NIC LUGHADHA E., ARAÚJO F.S.; MARTINS F.R. A Phytogeographical Metaanalysis of the Semiarid Caatinga Domain in Brazil. *The Botanical Review*, v. 82, p. 91-148, 2016.

MOURA, M. S. B. de; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. de L.; SOUZA, L. S. B. DE; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. da. Clima e água de chuva no Semi-Árido. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro.** Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007.

NIKOLAOU, G., NEOCLEOUS, D., CHRISTOU, A., KITTA, E., & KATSOULAS, N. Implementing Sustainable Irrigation in Water-Scarce Regions under the Impact of Climate Change. *Agronomy*, v. 10, n. 8, 2020.

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Satellite and Information Service. Disponível em: <https://www.nesdis.noaa.gov/content/jpss-1-mission>. Acesso em: 27 jan. 2024.



- OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. **Monitoramento da Desertificação em Irauçuba**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2015. 369 p.
- OLIVEIRA, P. T. S. *et al.* Os componentes do balanço hídrico de florestas tropicais não perturbadas no cerrado brasileiro, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 19, p. 2899–2910, 2015.
- OLIVEIRA, S. B. P.; CARVALHO, M. S. B. S.; SIFFEDINE, A.; FERRAZ, B.; MARTINS, E. S. P. R. Uso de Sensoriamento Remoto para Mapeamento de Áreas Susceptíveis à Desertificação na Região Semiárida do Brasil. **Ciência e Trópico**, v. 41, n. 2, p. 67-96, 2017.
- OLIVEIRA, A. F. N. *et al.* Long-term effects of grazing on the biological, chemical, and physical soil properties of the Caatinga biome, **Microbiological Research**, v. 253, 2021.
- OLIVEIRA, F., VERÔNICA, P., SALES, P., KHAN, A., L., & ROCHA, A. Fighting Desertification. **Science**, v. 316, p.793 – 793, 2007.
- OLIVEIRA FILHO, J. S. *et al.* Brasileiro Assessing the effects of 17 years of grazing exclusion in degraded semi-arid soils: evaluation of soil fertility, nutrients pools and stoichiometry. **J. Arid Environ.**, v. 166, p. 1-10, 2019.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J. G. DE *et al.* Space-temporal detection of environmental changes in the Brazilian semiarid through Google Earth Engine and GIS. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 127, 1 jul. 2023.
- PAIVA, C.D.G.; MORO, M.F.; SOUSA, L.O.F.; BALDAUF, C. Fitossociologia da caatinga na Floresta Nacional de Açú, Estado do Rio Grande do Norte, Brasil, e entorno: diversidade e biogeografia do componente lenhoso. **Hoehnea**, v. 48, 2021.
- PAREDES-TREJO, F. J.; BARBOSA, H. A.; LAKSHMI KUMAR, T. V. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 139, p. 26–40, 1 abr. 2017.
- PEARCE, D.W; WARFORD, I.J. **World without end economics, environment and uistanable development**. Oxfors University Press, Ney Work, 1993.
- PEREIRA, A. P. *et al.* Grazing exclusion regulates bacterial community in highly degraded semiarid soils from the Brazilian Caatinga biome. **Land Degradation & Development**, v. 32, p. 2210-2225, 2021.
- PEREIRA, A. P. de A. *et al.* Grazing exclusion regulates bacterial community in highly degraded semiarid soils from the Brazilian Caatinga biome. **Land Degradation & Development**, v. 32, p. 2210–2225, 2021. DOI: 10.1002/ldr.3893.
- PINTO, R. M. da S.; CARVALHO, V. C.; ALVALÁ, R. C. dos S. Mapas de variabilidade temporal do uso e cobertura da terra do núcleo de desertificação de Irauçuba (CE) para utilização em modelos meteorológicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 6077-6083.
- PRADO JUNIOR, Caio. **Formação do Brasil Contemporâneo: colônia**. 12. ed. São Paulo: Brasiliense, 1972.
- PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 7.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 18 jun. 2023.
- PRUDENTE, V. H. R. *et al.* Multisensor approach to land use and land cover mapping in Brazilian Amazon. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 189, p. 95–109, 2022.
- QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Versão [3.30.0], Open Source Geospatial Foundation.
- QUEIROZ, L.P. The Brazilian caatinga: phytogeographical patterns inferred from distribution data of the Leguminosae Pp.121–157. In: **Neotropical savannas and dry forests: Plant diversity, biogeography, and conservation**. (R.T. Pennington, G.P. Lewis & J.A. Ratter, eds.). Taylor & Francis CRC Press, Boca Raton, pp. 504, 2006.

- QUEIROZ L.P.; CARDOSO D.; FERNANDES M.F.; MORO M.F. Diversity and Evolution of Flowering Plants of the Caatinga Domain. In: **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. Cham: Springer International Publishing, pp. 23-63, 2017.
- REYNOLDS, J. F.; STAFFORD-SMITH, D. M. **Global desertification: do humans cause deserts?**, 2002.
- ROCHA, Thomas Victor de Sousa Malheiros. **Avaliação da acurácia na classificação de uso e cobertura da terra: um estudo de caso na região intermediária de São Luís com o MapBiomass**. 2025. 42 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2025.
- RODRIGUEZ, R. D.; SINGH, V. P.; PRUSKI, F. F.; CALEGARIO, A. T. Using entropy theory to improve the definition of homogeneous regions in the semi-arid region of Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 61, 2016.
- SA, I. B.; RICÉ, G. R.; FOTIUS, G. A. As paisagens e o processo de degradação do semi-árido nordestino. In: SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. da; LINS, L. V. (Org.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004.
- SALES, E. S. G. *et al.* Classificação de áreas semiáridas e subúmidas secas utilizando diferentes índices climáticos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n. 2, p. 479-491, 2021.
- SANTOS, P. J. A. dos; FREITAS, L. S. de. Environmental governance in the context of desertification combate on Paraíba state. Research, **Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020.
- SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO CEARÁ. **Histórico**. Fortaleza, 2023. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/historico/>. Acesso em: 5 abr. 2025.
- SENERA, C.A.F. Köppen e Serebrenick – climas da Bacia do Rio São Francisco. **Rev. Bras. Geogr.** v. 16, p.370–383, 1954.
- SILVA, R. V.; SOUZA, C. A. Rio Paraguai: ocupação e degradação no perímetro urbano de Cáceres, MT. In: Souza, C.A. (Org.) **Bacia hidrográfica do rio Paraguai, MT: dinâmica das águas, uso e ocupação e degradação ambiental**. São Carlos: Editora Cubo, 2012.
- SILVA, M. V. DA *et al.* Remote sensing techniques via Google Earth Engine for land degradation assessment in the Brazilian semiarid region, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 120, 1 dez. 2022.
- SILVA, V. B. S. *et al.* Sidebar 7.2: The 2012 severe drought over northeast Brazil. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 94, n. 9, p. S162, set. 2013.
- SØRENSEN, A. T. Equilibrium Price Dispersion in Retail Markets for Prescription Drugs. **Journal of Political Economy**, v. 108, n. 4, p. 833-850, 2000.
- SOUSA, F., FERREIRA, T., MENDONÇA, E., ROMERO, R., & OLIVEIRA, J. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 148, p.11-21, 2012.
- SOUZA, B. I. DESERTIFICAÇÃO E DINÂMICA DA COBERTURA VEGETAL: conhecimentos acumulados e desafios vigentes. **Geo UERJ**, n. 42, 2023.
- SOUZA, C. M. *et al.* Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>
- SUDENE, SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. Delimitação do semiárido, Recife: SUDENE, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>. Acesso em: 9 jul. 2024.
- TAMIMINIA, H. *et al.* Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 166, p. 1-15, jun. 2020.

VASCONCELOS, R.; MATALLO, H. Estimativa de Perdas Econômicas Provocadas pelo Processo de Desertificação na Região do Semi-Árido do Nordeste. In: SCHENKEL, C. & MATALLO, H. **Desertificação**. Unesco: Brasília, 1999.

VIEIRA, M.C. Elementos de Geografia e Cartografia. **Bol. Geogr.** v. 18, p. 268–333, 1960.

VIEIRA *et al.* Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. **Solid Earth**, v. 6, p. 347-360, 2015.

VILELA, L. *et al.* Consórcio de soja com gramíneas forrageiras tropicais no Cerrado - Produção de grãos e de carne. **Embrapa Cerrados**, 2021.

YUAN, Z. Q. *et al.* Responses of soil organic carbon and nutrient stocks to human-induced grassland degradation in a Tibetan alpine meadow. **Catena**, v. 178, p. 40-48, 2019.

ZHANG, Y. *et al.* Challenges and solutions to biodiversity conservation in arid lands. **Science of the Total Environment**. v. 857, 20 jan. 2023.

ZHU, G. *et al.* Overgrazing depresses soil carbon stock through changing plant diversity in temperate grassland of the loess plateau. **Plant Soil Environ.**, v. 64, p. 1-6, 2018.