

Environmental Characterization of the Municipalities of Floresta-PE and Monteiro-PB: A Comparative Analysis

Gabrielly Gregório da Luz¹, Josicléda Domiciano Galvinctio²,

¹Bacharel em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco, Mestra em Desenvolvimento e meio ambiente (UFPE) e Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente Na Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: gabrielly.gregorio@ufpe.br

²Professora titular do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco, professora do programa de pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-UFPE, bolsista de produtividade-CNPq, e-mail: josicleda.galvinctio@ufpe.br

Received 26 October; accepted 01 December

ABSTRACT

The environmental characterization of semi-arid regions plays a fundamental role in understanding the challenges and potentialities faced by local communities. Through environmental analysis, it is possible to identify areas vulnerable to desertification, understand the impacts of climate change, and propose effective measures for soil and natural resource conservation. This study aimed to perform a detailed environmental characterization in two semi-arid municipalities in Brazil, one located in Pernambuco and the other in Paraíba. Both municipalities are part of the São Francisco River Integration Project with the Northern Northeast Basins (PISF), highlighting their strategic importance for water management and sustainable regional development. The research was conducted using a quantitative approach based on data obtained from digital platforms and remote sensing analyses through satellite imagery. These methods enabled an accurate assessment of the environmental conditions and variations between the municipalities studied. The results revealed significant distinctions between the two municipalities, despite both being situated in the same semi-arid region. These differences are attributed to factors such as climatic, topographic, and land use variations, which directly influence vulnerability to desertification, ecological resilience, and the availability of natural resources. Furthermore, the environmental characterization contributed to identifying priority areas for interventions focused on sustainability and the proper management of water resources. The data generated provide valuable insights for territorial planning, emphasizing the need for public policies that consider the specific environmental characteristics of each location. This type of study reinforces the importance of integrated and evidence-based management, contributing to climate change adaptation and sustainable development in the Brazilian semi-arid region.

Keywords: semi-arid, public policies, remote sensing

Caracterização Ambiental dos Municípios de Floresta-PE e Monteiro-PB: Uma Análise Comparativa

R S U M O

A caracterização ambiental de regiões semiáridas desempenha um papel fundamental na compreensão dos desafios e das potencialidades enfrentadas pelas comunidades locais. Através da análise ambiental, é possível identificar áreas vulneráveis à desertificação, compreender os impactos das mudanças climáticas e propor medidas eficazes para a conservação do solo e dos recursos naturais. Este estudo teve como objetivo realizar uma caracterização ambiental detalhada em dois municípios do semiárido brasileiro, um localizado em Pernambuco e outro na Paraíba. Ambos os municípios integram o Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias do Nordeste Setentrional (PISF), destacando sua importância estratégica para a gestão hídrica e o desenvolvimento regional sustentável. A pesquisa foi conduzida utilizando uma abordagem quantitativa, baseada em dados obtidos de plataformas digitais e em análises de sensoriamento remoto por meio de imagens de satélite. Esses métodos permitiram uma avaliação precisa das condições ambientais e das variações existentes entre os municípios estudados. Os resultados revelaram distinções significativas entre os dois municípios, apesar de ambos estarem situados na mesma região semiárida. Essas diferenças são atribuídas a fatores como variações climáticas, topográficas e de uso do solo, os quais influenciam diretamente a vulnerabilidade à desertificação, a resiliência ecológica e a disponibilidade de recursos naturais. Além disso, a caracterização ambiental contribuiu para identificar áreas prioritárias para intervenções voltadas à sustentabilidade e ao manejo adequado dos recursos hídricos. Os dados gerados fornecem subsídios relevantes para o planejamento territorial, destacando a necessidade de políticas públicas que considerem as especificidades ambientais de cada local. Esse tipo de estudo reforça

a importância de uma gestão integrada e baseada em evidências, contribuindo para a adaptação às mudanças climáticas e para o desenvolvimento sustentável no semiárido brasileiro.

Palavras-chave: semiárido, políticas públicas, sensoriamento remoto

1.Introdução

A caracterização ambiental de regiões semiáridas desempenha um papel crucial na compreensão dos desafios e potencialidades enfrentados pelas comunidades locais. Estudos recentes reforçam a importância de compreender a dinâmica ambiental desses territórios, abrangendo desde suas nascentes até o estado atual (Santos et al., 2021; Barbosa & Valladares, 2020; Silva & Farias, 2021). Avaliar esses ambientes é essencial, não apenas para mitigar impactos negativos, mas também para explorar suas potencialidades e promover o desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, o zoneamento ambiental, apoiado por mapeamentos detalhados, tem se mostrado uma ferramenta valiosa para prever degradações e mitigar problemas típicos dessas áreas (Santos & Sales, 2023).

A compreensão da evolução da vegetação ao longo do tempo é essencial para antecipar as dinâmicas da paisagem diante das mudanças climáticas futuras. A Caatinga, um bioma exclusivamente brasileiro, destaca-se por sua ampla variedade de paisagens e espécies endêmicas, com características únicas que não ocorrem em nenhuma outra região do mundo. Ocupando cerca de 10% do território nacional, estudos recentes indicam que a vegetação da Caatinga vem sofrendo alterações significativas, como a substituição de espécies vegetais nativas por pastagens e áreas destinadas à agricultura (Souza et al., 2023; Bello, Freitas & Vieira, 2023; IBGE, 2024).

Um dos principais desafios enfrentados pelo semiárido é a escassez hídrica, que afeta diretamente o abastecimento de água, a agricultura e a vida selvagem (Salinas et al., 2021). A análise ambiental dessas regiões envolve a avaliação da disponibilidade de recursos hídricos e da gestão eficiente da água, além do desenvolvimento de estratégias para enfrentar secas prolongadas (Brito, Brito & Rufino, 2020). As mudanças climáticas agravam ainda mais essa situação, com projeções de aumento nas temperaturas e alterações nos padrões de precipitação, impactando diretamente a vegetação e a resiliência dos ecossistemas locais (Tiburcio, 2023). A identificação de áreas vulneráveis à desertificação e a implementação de medidas de conservação do solo e dos recursos naturais tornam-se imperativas.

A degradação ambiental é um problema antigo no Brasil, observada em praticamente todas

as regiões, incluindo o semiárido (Maricato, 1994). Embora a questão das mudanças climáticas ainda não ocupe uma posição central nas agendas governamentais (Teixeira, 2021), sua relevância é evidente, especialmente em cidades do semiárido, onde os efeitos são mais agudos. O uso do solo é um dos fatores fundamentais que influenciam a dinâmica ambiental dessas regiões. Práticas agrícolas insustentáveis, como o desmatamento e o uso intensivo de pesticidas, contribuem para a degradação do solo e a perda de biodiversidade. A análise ambiental inclui a avaliação do uso da terra, incentivando técnicas agrícolas mais sustentáveis e promovendo o reflorestamento e a restauração de áreas degradadas. O estudo das bacias hidrográficas é outra ferramenta essencial para o gerenciamento e a mitigação dos impactos ambientais, especialmente em cenários de mudanças climáticas (Lopes et al., 2022).

O monitoramento ambiental em regiões semiáridas tem se beneficiado significativamente do avanço das tecnologias de sensoriamento remoto. O uso de imagens de satélite é fundamental para acompanhar as transformações na cobertura vegetal e nas dinâmicas territoriais ao longo do tempo (Xu et al., 2022; Li et al., 2021). Essas técnicas permitem classificar e mapear diferentes tipos de uso do solo, como áreas agrícolas, urbanas e florestais, fornecendo dados cruciais para o planejamento territorial e a gestão ambiental. Além disso, essas informações são essenciais para identificar áreas suscetíveis à degradação e apoiar a implementação de políticas públicas voltadas para a sustentabilidade ambiental.

Neste estudo, o objetivo principal é realizar a caracterização ambiental de dois municípios localizados no semiárido brasileiro: um em Pernambuco e outro na Paraíba, ambos integrantes do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias do Nordeste Setentrional (PISF). Utilizando dados provenientes de plataformas digitais e análises de sensoriamento remoto por meio de imagens de satélite, a pesquisa identificou diferenças significativas entre os dois municípios, apesar de estarem situados em uma mesma região semiárida. Essas distinções reforçam a necessidade de políticas públicas que considerem as particularidades ambientais de cada território, promovendo um desenvolvimento sustentável alinhado às realidades locais.

2. Material e métodos

Localização da área em estudo

O estudo foi conduzido em duas áreas do semiárido, pertencentes ao bioma caatinga e localizadas no estado de Pernambuco. O município de Floresta (Figura 1) abrange aproximadamente 3.604,948 km², conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com uma população de 30.137 pessoas em 2022 e uma densidade demográfica de 8,36 habitantes por km², possuindo as seguintes coordenadas: latitude 8°35'55''S e longitude 38°33'50''O. Segundo informações da prefeitura da cidade, o município é o segundo maior do Estado e está situado na mesorregião do São Francisco, como pode ser visto em <https://floresta.pe.gov.br/localizacao/>.

Na região, o sistema agrário é predominantemente caracterizado pela pecuária extensiva, agricultura de sequeiro e áreas irrigadas concentradas nas proximidades dos corpos d'água (Barro *et al.*, 2023).

No contexto da pesquisa, as paisagens predominantes na região são caracterizadas por

superfícies planas e relevos suaves, intercalados de maneira dispersa por áreas íngremes de serras e/ou serrotes. Uma elevação proeminente é a Serra Negra, cujo cume possui um clima mais ameno e úmido, favorecendo o desenvolvimento de uma vegetação de floresta subcaducifólia (Luz, G. G., 2024).

A segunda região de estudo está localizada no estado da Paraíba (Figura 1). O município de Monteiro, de acordo com o IBGE, possui uma área territorial de 992,620 km² e abriga cerca de 32.277 pessoas, conforme o censo de 2022. Sua densidade demográfica é de aproximadamente 32,52 habitantes por km². As coordenadas do município são: Latitude -7.8915, Longitude -37.1169 (7°53'29" Sul, 37°7'1" Oeste).

Segundo informações disponíveis no portal da prefeitura da cidade, o clima em Monteiro é semiárido quente durante o dia e frio à noite, com uma temperatura média de 22 graus. A economia local é baseada principalmente na agropecuária, comércio, setor de serviços e funcionalismo público. Mais detalhes podem ser encontrados em: <https://www.monteiro.pb.gov.br/historia/>

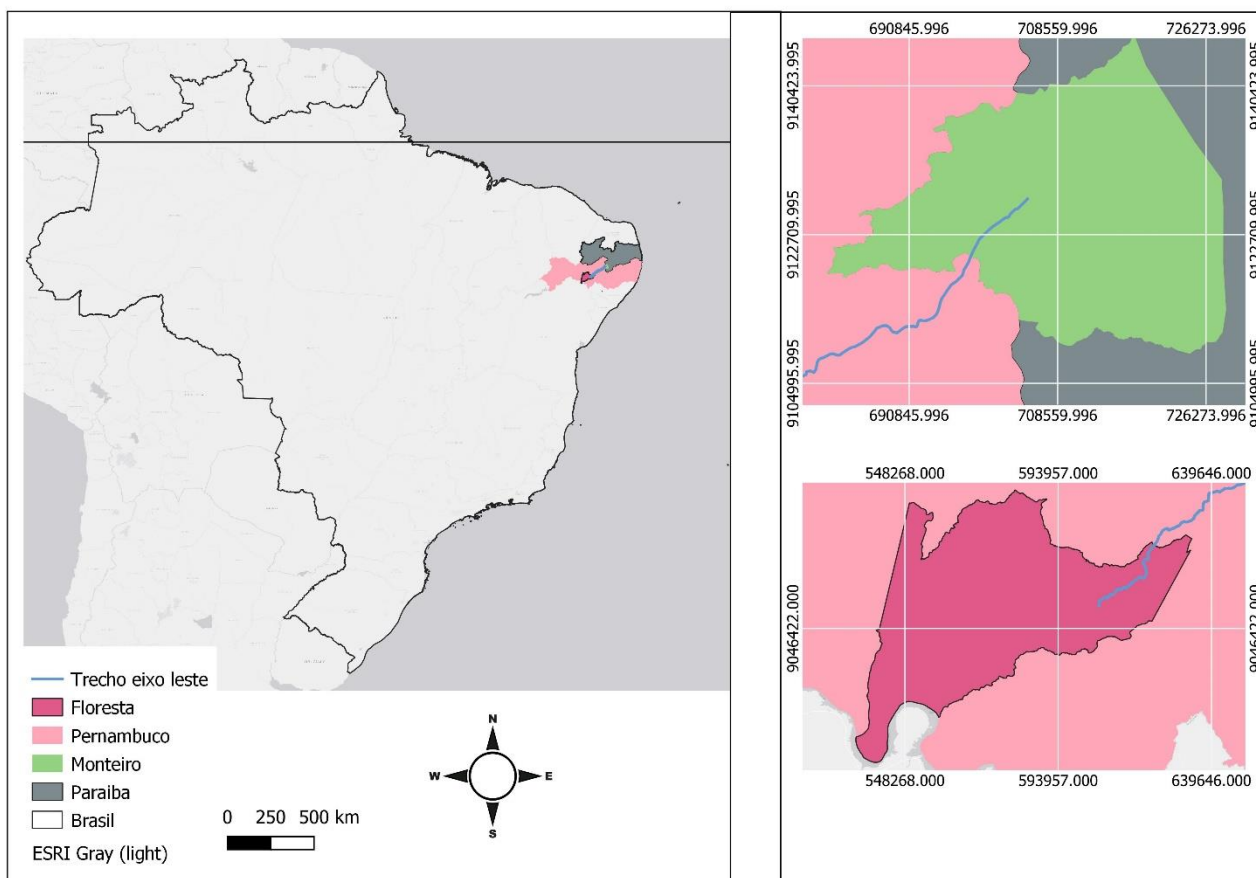


Figura 1: Localização das áreas em estudo. Fonte: Autora, 2024

2.1 Metodologia

O estudo foi realizado em três etapas principais: elaboração dos mapas de modelo de elevação do terreno (MDE) e declividade, verificação do uso e ocupação do solo, e comparação dos recursos hídricos nos municípios estudados (Ver figura 2).

Na primeira etapa, foram elaborados os mapas de MDE dos dois municípios e declividade. As imagens SRTM foram baixadas do site Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) e processadas no programa QGIS 3.36.3 Maidenhead. Ao abrir a imagem RASTER no QGIS, foi visualizada a variação altimétrica da área de estudo. Em seguida, foi realizado o processamento para transformar os dados contínuos em dados categóricos. Para isso, utilizou-se a ferramenta "Reclassificar por Tabela" na caixa de ferramentas do QGIS, onde a camada RASTER de entrada selecionada foi a imagem SRTM original. Na tabela de códigos, foram inseridos os valores mínimos e máximos, seguindo o parâmetro de intervalos de 50 metros. Após a reclassificação, acessou-se a aba de simbologia para trocar para banda simples falsa cor, selecionando "intervalo igual" e configurando o número de classes para cinco. As cores foram selecionadas para detalhar o MDE, repetindo esse processamento para os dois municípios sem modificações.

Para a elaboração do modelo de declividade, utilizou-se o SRTM processado como MDE. A ferramenta SLOPE foi empregada, assegurando que os arquivos estivessem no mesmo sistema de coordenadas UTM. Selecionou-se a camada de entrada e escolheu-se a porcentagem como unidade de análise. Na simbologia, o número de classes foi configurado para cinco, seguindo a classificação da EMBRAPA (3, 8, 20, 45 e acima de 45). Os valores mínimos, máximos e a média da declividade do terreno foram consultados na fonte da EMBRAPA (<https://www.ceivap.org.br/sesmarias/MAPA-SESMARIA-EMBRAPA-90-60.pdf>).

Na segunda etapa, foi verificado o uso e ocupação do solo nos municípios utilizando a base de dados do MAPBIOMAS (<https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>). Realizou-se o login no Earth Engine Code Editor e, na ferramenta "SCRIPTS", selecionou-se "LULC.JS" para uso e cobertura da terra. Após clicar em "RUN", foram configurados os parâmetros: Region: MAPBIOMAS, Collection:

8 (a mais recente no momento do estudo), Tables: CITY, Properties: NAME_PT_BR, Features: FLORESTA, MONTEIRO, Data Type: COVERAGE, e Layers: 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2020, 2022 (ano mais recente). As imagens foram baixadas no drive pessoal do e-mail logado e abertas no QGIS para processamento. As classes predominantes em cada área de estudo foram observadas, detalhando as particularidades de cada município e discutindo os resultados.

Na terceira etapa, foi realizada uma comparação dos recursos hídricos nos dois municípios através da plataforma MAPBIOMAS ÁGUA (<https://plataforma.agua.mapbiomas.org/water/-13.923404/-35.449984/3.0/brazil/country/0/biome/surface/2000/2022>). Selecionou-se os municípios em "agrupamento territorial": FLORESTA e MONTEIRO, um de cada vez. No painel de estatísticas, foram selecionadas as variáveis que constam na Tabela 1.

Tabela 1. Índices avaliados

Superfície d'Água	Transições	Tendência
Série temporal	Estatística Geral de ganho e perda.	Série temporal mensal da superfície
Curva de Permanência	Tipos de Transições	Série temporal mensal dos resíduos
Ranking de Superfície de água		Principais resíduos ao longo da série

Fonte: base de dados MAPBIOMAS. Elaboração: Autora, 2024.

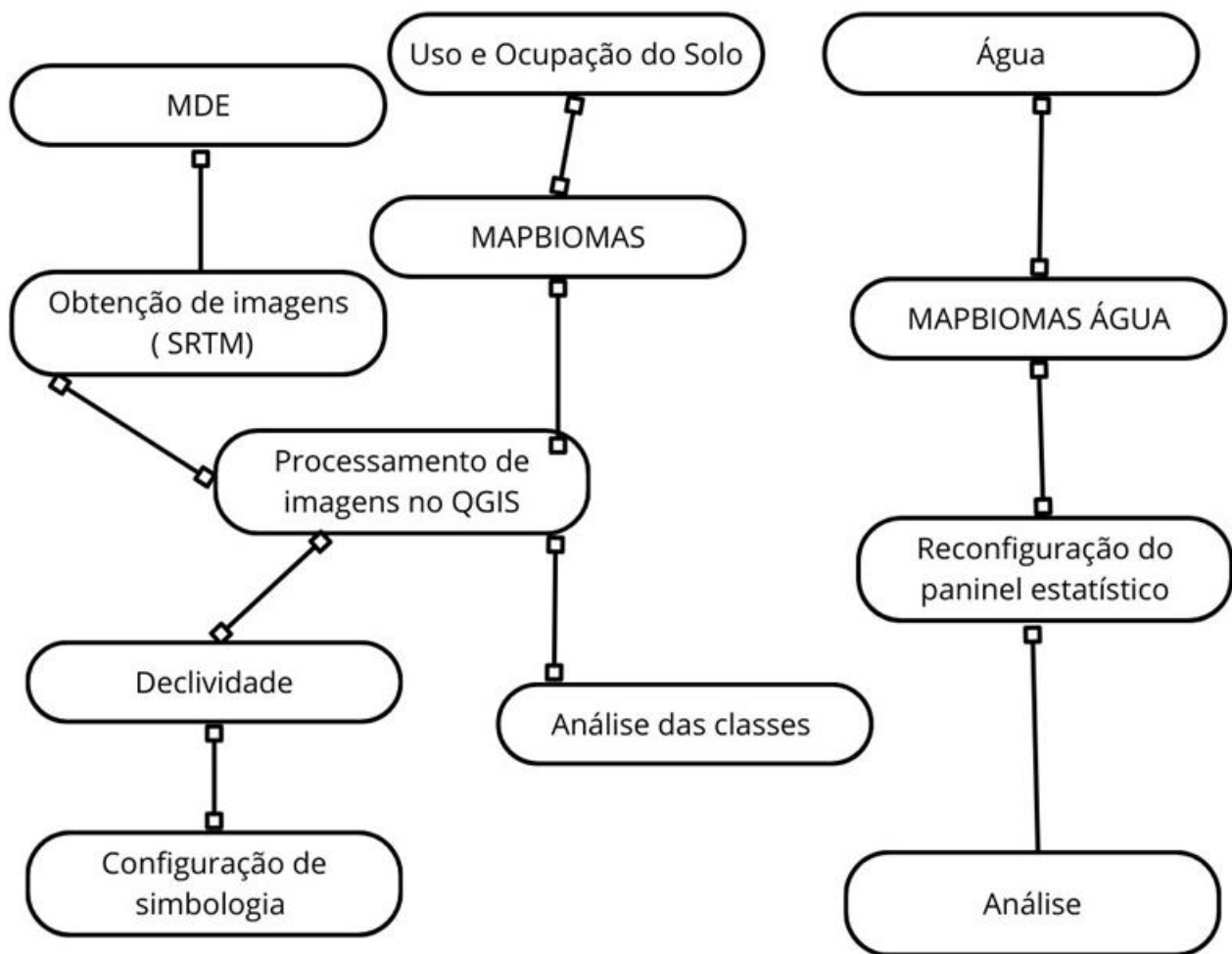


Figura 2. Fluxograma da metodologia. Fonte: Autora, 2024.

3. Resultados e discussão

Modelo de elevação e declividade

Um Modelo Digital de Elevação (MDE) é uma representação matemática dos elementos presentes na superfície terrestre, caracterizada por um plano cartesiano (x, y) de uma região, incluindo a informação adicional da altitude (z) (Yogi, Stanganini, 2023). O MDE analisado apresenta uma variação altimétrica significativa, com elevações que variam de 425 metros a 1.079 metros (Figura 3). Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) são fundamentais para pesquisas em diversas áreas, como geomorfologia, hidrologia, climatologia, ciências agrárias, ciência do solo, biodiversidade e cartografia, (Cremon, et al., 2022). Essa amplitude de 654 metros indica uma topografia diversificada e complexa, influenciando diretamente o uso do solo, a biodiversidade e o

planejamento ambiental. Entre 425 e 600 metros de altitude, é comum encontrar vales e planícies onde a acumulação de sedimentos favorece a formação de solos mais férteis. Essas áreas desempenham um papel vital na agricultura, especialmente em regiões semiáridas onde a água é um recurso limitado. A presença de rios intermitentes, riachos e pequenos reservatórios é frequente e essencial para o fornecimento de água local. No entanto, a variabilidade climática e períodos prolongados de seca exigem uma gestão hídrica eficaz para garantir a sustentabilidade das atividades agrícolas.

Entre 600 e 850 metros de altitude, são predominantes colinas e encostas suaves. Essas áreas são adequadas para a pecuária, o cultivo de culturas resilientes à seca e atividades florestais. A inclinação moderada facilita a construção de infraestrutura básica, como estradas rurais, e possibilita o manejo sustentável do solo para prevenir a erosão. Entre 850 e 1.079 metros de altitude, encontramos predominantemente montanhas e escarpas. Nessas regiões, a agricultura

é menos praticada devido à inclinação acentuada e à menor disponibilidade de solo arável. A declividade do relevo desempenha um papel crucial no aumento da energia da circulação da água no sistema, intensificando seu poder erosivo (Hilário e Lopes, 2024). No entanto, essas áreas são ideais para o ecoturismo, oferecendo trilhas e oportunidades de observação da natureza, graças às vistas panorâmicas e à vegetação adaptada às condições de altitude elevada. A biodiversidade nessas altitudes é notavelmente diversificada, com espécies vegetais e animais adaptadas às condições mais frias e úmidas.

Em termos de implicações ambientais e uso do solo, a significativa variação altimétrica nesta região semiárida tem um impacto direto no manejo do solo e nas práticas ambientais. Em altitudes mais baixas, onde as condições são mais propícias para a agricultura, é crucial adotar técnicas de conservação do solo, como o terraceamento e o cultivo de plantas de cobertura, para reduzir a erosão e manter a fertilidade do solo. A variação na altitude afeta a distribuição da água, com as áreas mais baixas funcionando como zonas de captação e armazenamento hídrico. A construção de açudes e barragens pode ser uma medida eficaz para armazenar água durante os períodos de chuva e disponibilizá-la durante a estiagem. Contudo, é essencial avaliar cuidadosamente o impacto ambiental dessas intervenções para evitar a degradação dos ecossistemas aquáticos.

A análise do modelo de elevação do terreno (MDE) e da inclinação no município de Monteiro (Ver figura 4) mostra uma variação altimétrica entre 534 e 1.078 metros, com declives variando de 3% a 97,2%. Essa diversidade topográfica tem um impacto direto no uso sustentável do solo e na gestão dos recursos hídricos na região. O diagnóstico do meio físico de uma área permite a análise de riscos ambientais e o planejamento para o uso adequado dessas regiões (Peruzzo et al., 2022). Entre 534 e 700 metros de altitude, frequentemente encontram-se vales e planícies que são propícios para a agricultura, devido à alta fertilidade do solo e à disponibilidade de água superficial. Essas áreas desempenham um papel crucial na agricultura de subsistência e no

cultivo de culturas adaptadas ao clima semiárido. A presença de rios intermitentes e pequenos reservatórios é comum, fornecendo recursos hídricos essenciais. No entanto, devido à variabilidade climática e à ocorrência de longos períodos de seca, é necessário um manejo hídrico eficiente para assegurar a sustentabilidade das atividades agrícolas.

A variação na altitude e na inclinação do terreno tem um impacto direto nas práticas de uso do solo e no manejo ambiental. Em altitudes mais baixas, onde as condições são mais propícias para a agricultura, é fundamental adotar práticas de conservação do solo, como o terraceamento e o cultivo de plantas de cobertura, para reduzir a erosão e manter a fertilidade do solo. Em áreas de maior inclinação, especialmente em altitudes elevadas, há uma maior susceptibilidade à erosão. A vegetação nativa desempenha um papel crucial na estabilização do solo e na prevenção de deslizamentos. Outrossim, a disponibilidade de recursos hídricos é uma questão crítica na região semiárida. A variação na altitude influencia diretamente a distribuição de água, com as áreas mais baixas desempenhando um papel crucial como zonas de captação e armazenamento hídrico. A construção de açudes e barragens pode representar uma solução eficaz para armazenar água durante os períodos de chuva e disponibilizá-la durante os períodos de seca. No entanto, é essencial avaliar o impacto ambiental dessas intervenções para evitar a degradação dos ecossistemas aquáticos. Sendo assim, a geomorfologia contribui para o entendimento das áreas degradadas pelos processos de erosão, relacionados com seu grau de fragilidade. (Lima, *et al.*, 2023).

Além disso, o planejamento urbano e rural deve levar em consideração a diversidade topográfica para reduzir os riscos de deslizamentos e enchentes, especialmente em regiões com declividade acentuada. Infraestruturas como estradas, pontes e edificações devem ser cuidadosamente projetadas, levando em conta a estabilidade do terreno e garantindo acesso seguro às áreas mais elevadas.

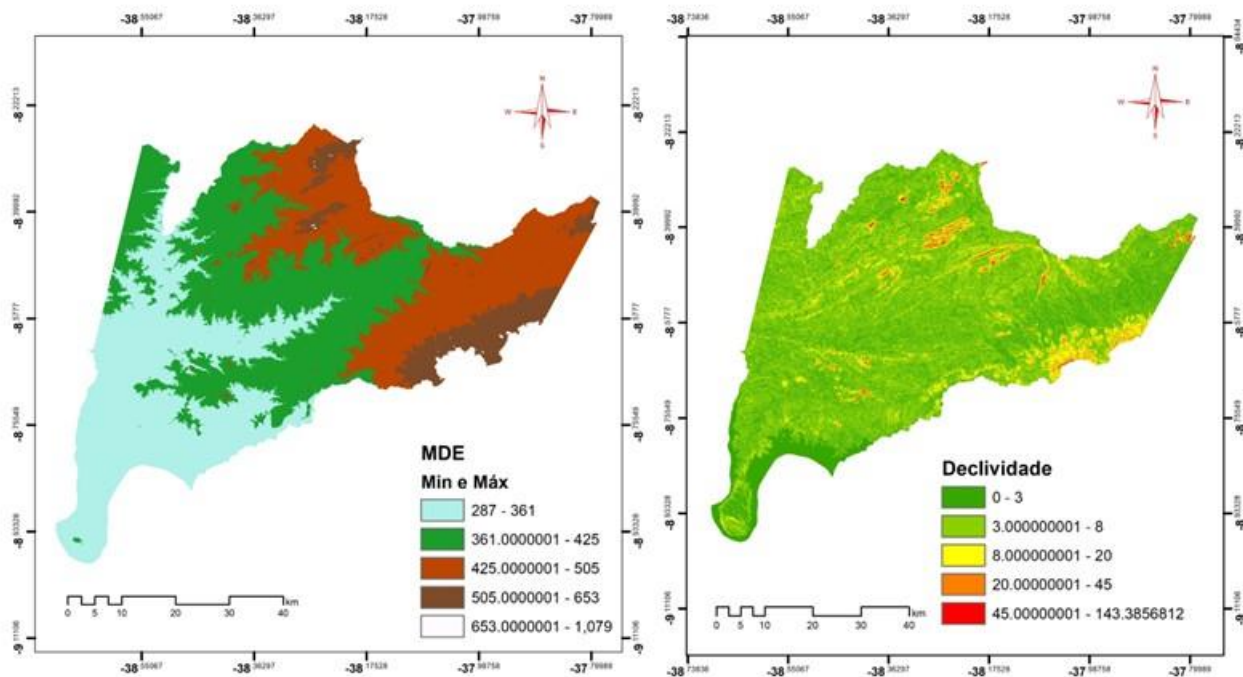


Figura 3. Modelo de elevação do terreno e declividade do município de Floresta

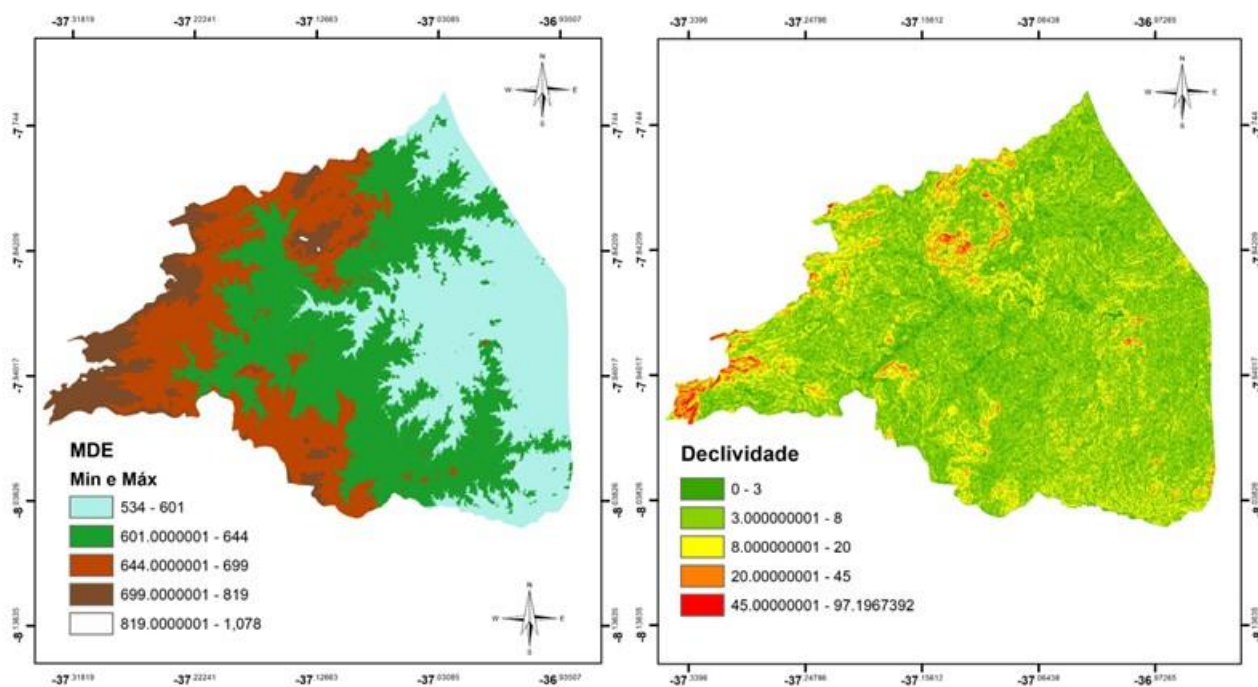


Figura 4. Modelo de elevação do terreno e declividade no município de Monteiro

Uso e ocupação do solo

A análise ambiental do município de Floresta, baseada nas mudanças de uso e ocupação do solo entre os anos de 1985 e 2022 (Figura 5), revela dinâmicas complexas e multifacetadas. Durante esse período, observou-se o aparecimento de lavouras perenes temporárias, uma significativa

perda de áreas de formação florestal, um aumento na formação campestre, a ampliação dos recursos hídricos e o aumento das áreas urbanas. Essas transformações têm implicações profundas que precisam ser consideradas cuidadosamente. Alves e Menezes (2021) ressaltam que "o município de Floresta, no período colonial, fazia parte da rota de interiorização do gado rumo ao rio São Francisco e

inicialmente foi ocupado para a pecuária. Posteriormente, o município expandiu-se e especializou-se nos setores agrícola e de pequenas indústrias, o que alterou significativamente o uso e a ocupação do solo, resultando em diversos impactos ambientais."

É importante destacar que as regiões semiáridas apresentam condições ambientais que favorecem a formação de feições erosivas devido às suas características, como discutido por Galindo et al. (2024). O mosaico de usos representa um

conjunto que corresponde a áreas de uso agropecuário, onde não é possível distinguir entre pastagem e agricultura, e vem ganhando espaço no uso e ocupação da terra do município. França et al. (2020) observam que "a densidade da cobertura vegetal não depende apenas das chuvas do ano corrente, mas também é influenciada pelas condições climáticas dos anos anteriores." Na área estudada, a vegetação predominante é a caatinga gramíneo-lenhosa.

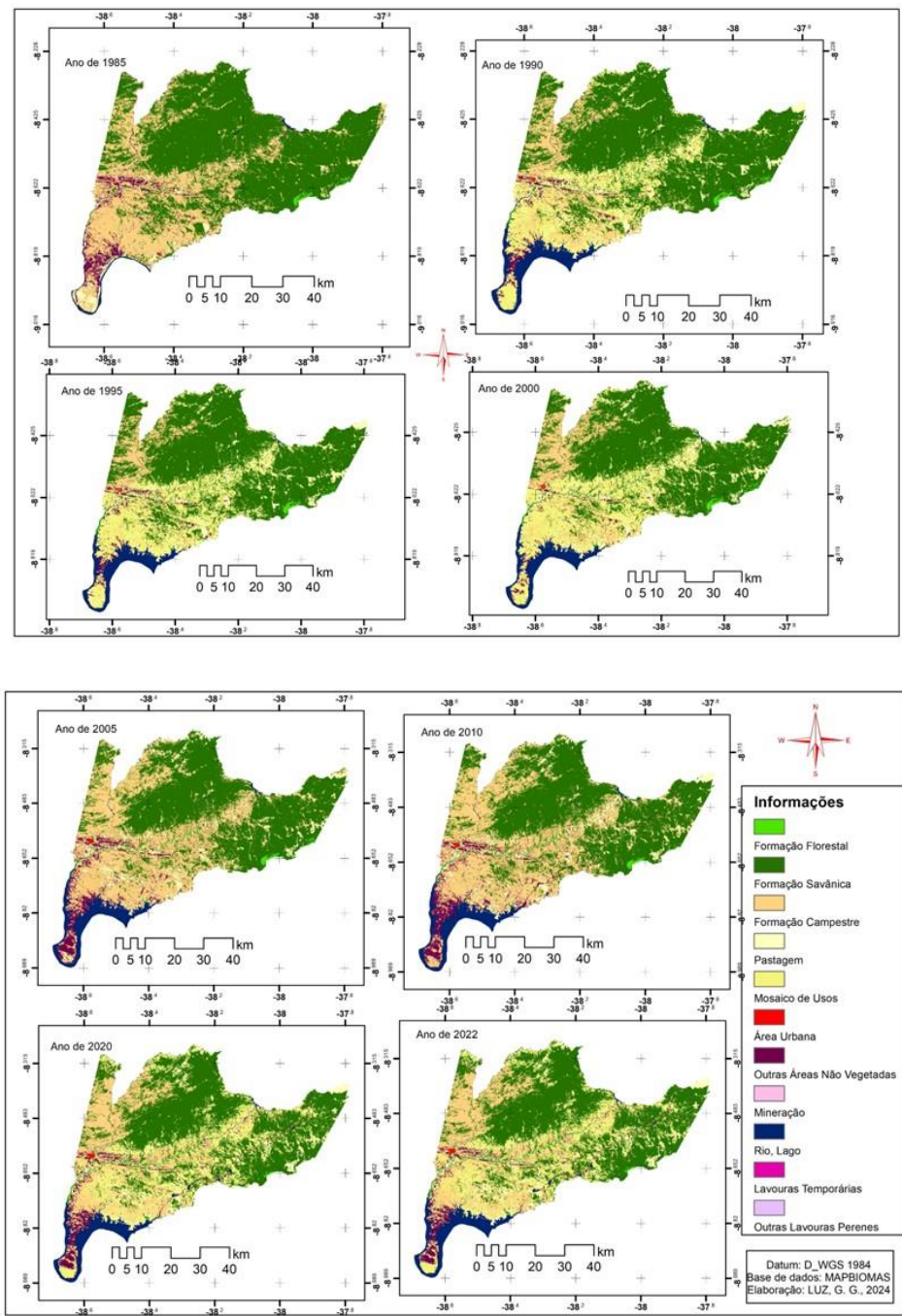


Figura 5. Uso e ocupação do solo do município de Floresta.

Os mesmos anos foram analisados para o município de Monteiro (Figura 6). Durante esse período, houve uma perda significativa de áreas correspondentes a recursos hídricos. A formação savânica tem predominado ao longo dos anos, o que é extremamente importante, pois se trata de uma vegetação típica do semiárido, composta por gramíneas e árvores espaçadas, que são resilientes à escassez de água e ao calor intenso. Monteiro e Falcão (2022) destacam que "a recuperação das áreas atingidas e os impactos ambientais gerados pela degradação dos solos e pela erosão hídrica demandam investimentos econômicos significativos, o que torna inviável a recuperação dessas áreas."

Chaves e Filhos (2020) afirmam que "os usos e ocupações de um território são categorizados com base na importância com que se distribuem na dinâmica da paisagem." Observou-se um aumento da área urbana ao longo dos anos. As ações antrópicas são responsáveis por diversos problemas, como a poluição, que resulta na modificação da qualidade física, química, radiológica ou biológica dos recursos hídricos. Oliveira et al. (2023) discutem que isso pode comprometer o uso presente e futuro desse recurso.

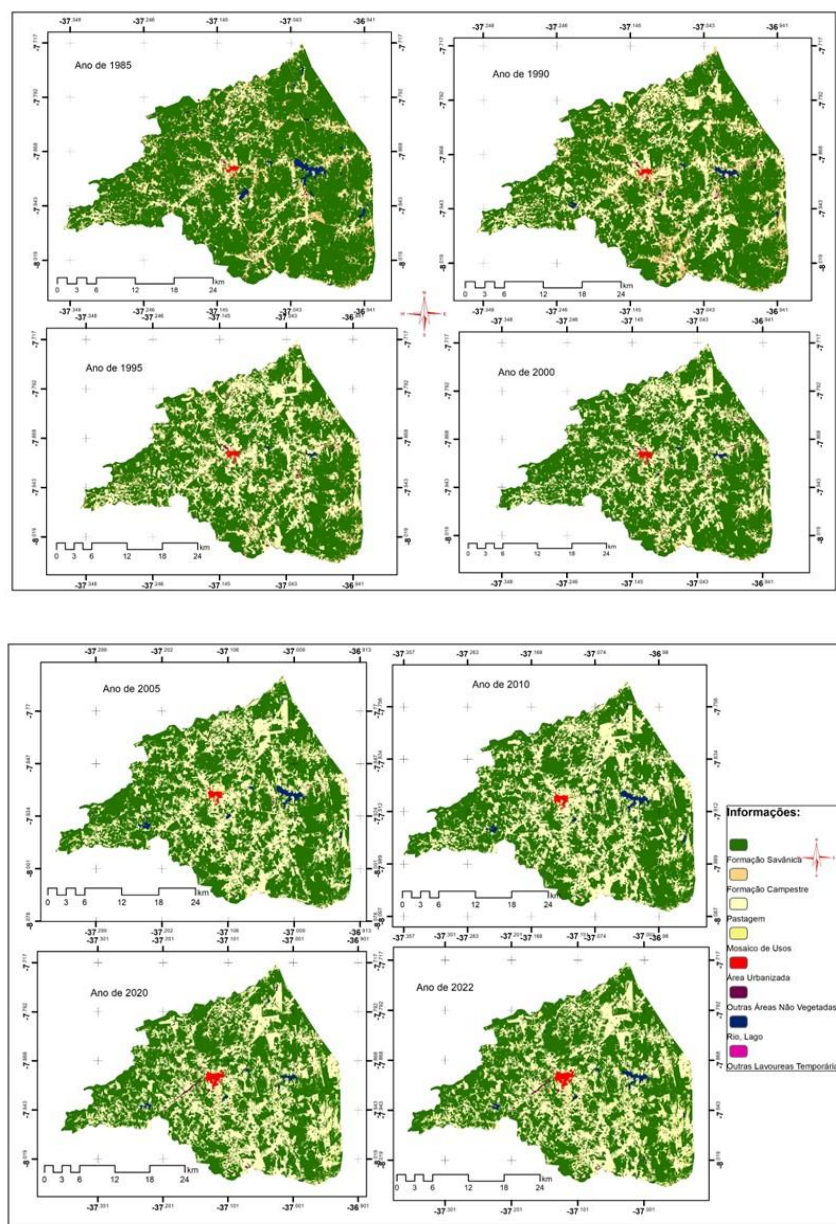


Figura 6. Uso e ocupação do solo do município de Monteiro.

Recursos hídricos

Quando analisado ambientalmente a serie temporal do município de Floresta (Figura 7), entre os anos de 1985 e 2021, destaca-se a significativa variação na superfície de água como um indicador chave de mudanças ambientais. Durante esse período, observa-se picos superiores a 10.000 hectares de superfície hídrica, com um notável aumento em 2005. Esta tendência ascendente ao longo dos anos sugere uma dinâmica de ganho nesse recurso natural como mostra o quadro 1.

Floresta se posiciona como líder na região quando se trata da extensão de superfície de água, superando outros municípios (Figura 8). Essa posição privilegiada pode ser influenciada por diversos fatores inclusive a chegada das águas do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias hidrográficas do Nordeste Sentrional como discutido por (Luz, Galvinctio, Miranda, 2024).

A análise crítica desses dados evidencia não apenas a relevância estratégica da água para a

região, mas também os desafios enfrentados na sua preservação e utilização sustentável. É crucial aprofundar o entendimento das razões por trás das variações na disponibilidade hídrica e seus impactos ambientais e socioeconômicos. Isso requer a implementação de políticas públicas eficazes que promovam a gestão integrada dos recursos hídricos, assegurando a resiliência da região frente às mudanças climáticas e ao aumento da demanda por água.

Ao analisar a série temporal mensal da superfície de água em Floresta (Figura 8), foi observado variações significativas ao longo dos meses, refletindo uma dinâmica sazonal característica. Além disso, identificamos uma tendência de aumento ao longo dos anos, indicando uma expansão gradual dessa superfície ao longo do tempo.



Figura 7. Série temporal da superfície de água. Floresta-PE.

Quadro 1. Estatística geral de ganho/perda - Floresta

14.324 ha Área de ganho
428,68%

Fonte: Autora a partir dos dados do MAPBIOMAS ÁGUA, 2024.

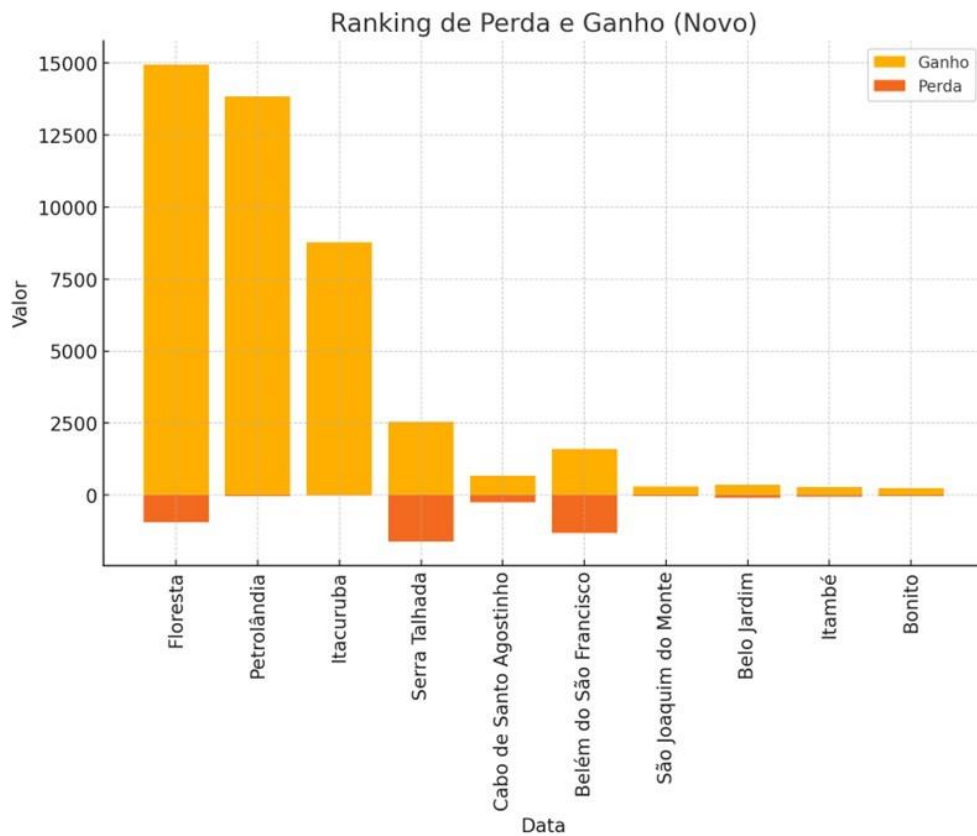


Figura 8. Ranking de perda e ganho dos municípios. Fonte: MAPBIOMAS ÁGUA, 2024.

Série temporal mensal de Superfície d'água - Floresta

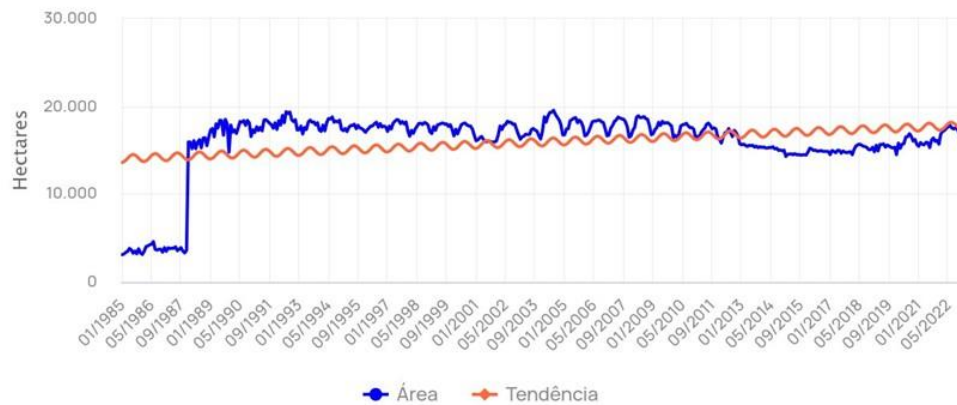


Figura 9. Tendência mensal de superfície d'água Floresta. Fonte: MAPBIOMAS ÁGUA.



Figura 10. Série histórica de Corpos hídricos, Fonte: base de dados, MapBiomias. Elaboração: autora, 2024.

No município de Monteiro, localizado no semiárido da Paraíba, entre os anos de 1985 e 2021, ocorreu uma evolução complexa e alarmante na cobertura de água. Durante esse período, foram observadas flutuações significativas na área coberta por água, atingindo picos de 1.000 hectares nos anos de 2003 a 2005, seguidos por uma tendência geral de redução dos recursos hídricos ao longo dos anos.

Monteiro está classificado em 27º lugar no ranking de extensão de áreas de água em comparação com outros municípios da região, o que aponta para uma disponibilidade limitada desse recurso essencial. O Quadro 2, que resume as estatísticas gerais, mostra um ganho modesto de apenas 0,44% ao longo do período estudado, destacando o desafio contínuo de conservação dos recursos hídricos.

Esses dados levantam questões sobre os impactos das mudanças climáticas, pressões humanas como a expansão agrícola e urbana, e

práticas inadequadas de gestão hídrica. A redução na superfície de água ao longo do tempo não apenas ameaça a biodiversidade e a segurança hídrica local, mas também tem implicações socioeconômicas para a comunidade de Monteiro.

Diante desse cenário, é crucial adotar estratégias robustas de conservação das bacias hidrográficas, realizar monitoramento contínuo da qualidade da água e promover a educação ambiental. A implementação de políticas públicas eficazes, aliada à participação ativa da comunidade, torna-se essencial para promover práticas sustentáveis que garantam o uso equitativo e responsável dos recursos hídricos. Isso não só fortalecerá a resiliência ambiental, mas também contribuirá para o bem-estar das gerações futuras em Monteiro e outras regiões semelhantes do semiárido paraibano.

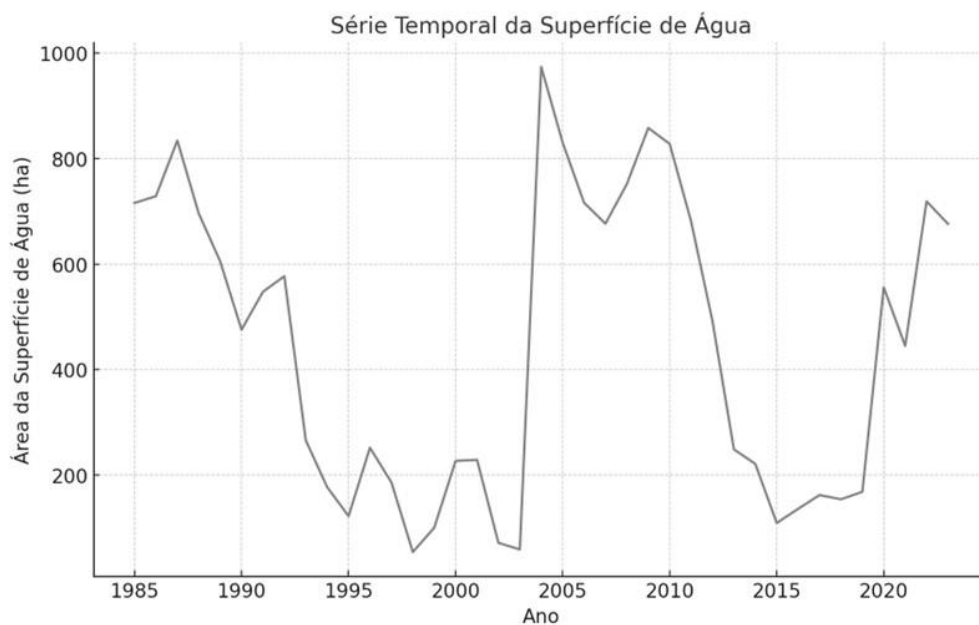


Figura 10. Série temporal da Superfície d'Água. Fonte: MAPBiomias, elaboração: autora, 2024.

Quadro 2. Estatística geral de ganho/perda -Monteiro-PB

3 ha Área de ganho
0,44%

Fonte: Autora a partir dos dados do MAPBIOMAS ÁGUA, 2024.

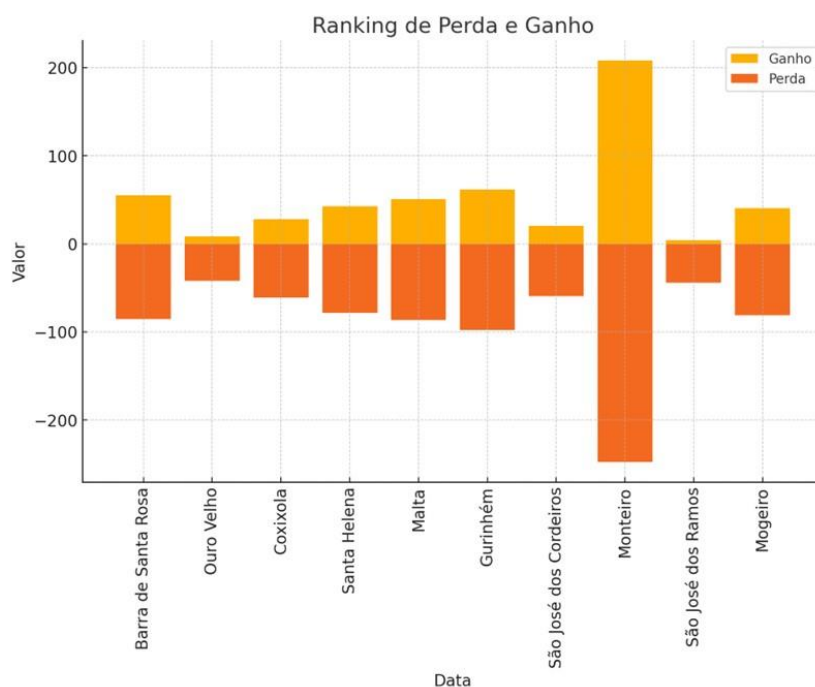


Figura 11. Ranking de perda e ganho dos municípios. Fonte: MAPBIOMAS ÁGUA, 2024.

Série temporal mensal de Superfície d'água - Monteiro

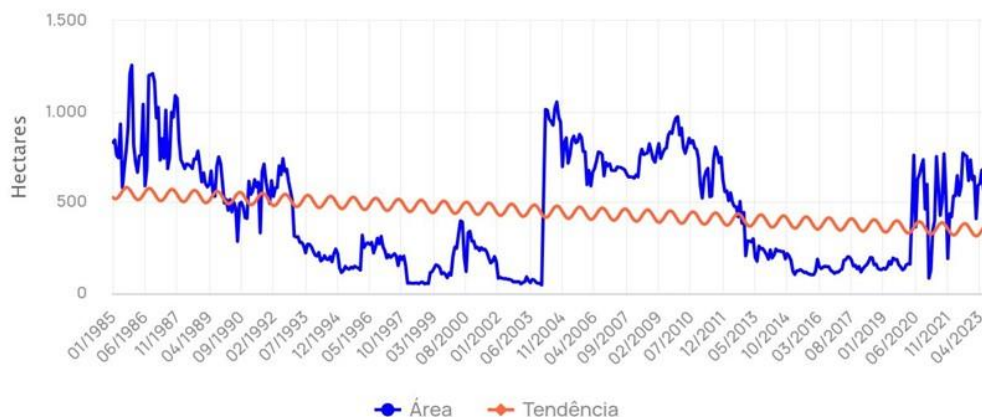


Figura 12. Tendencia mensal de superfície d'água Monteiro. Fonte: MAPBIOMAS ÁGUA.

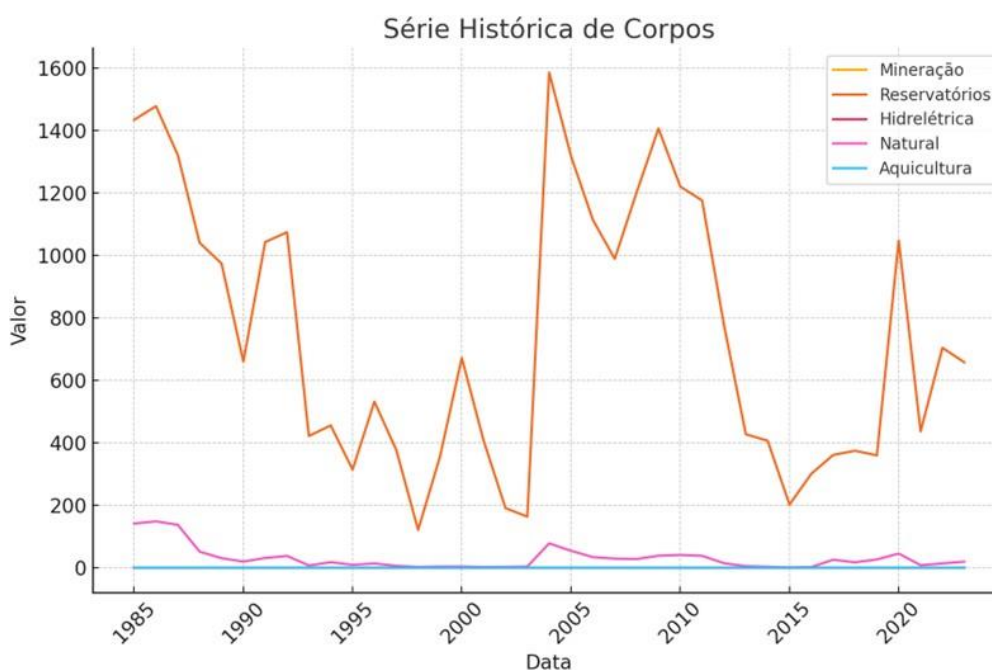


Figura 13. Série histórica de Corpos hídricos, Fonte: base de dados, MapBiomias. Elaboração : autora, 2024.

As mudanças climáticas estão alterando os padrões de precipitação global, o que afeta diretamente a quantidade de água disponível em regiões semiáridas. Em Monteiro, por exemplo, que já apresenta menor disponibilidade hídrica, as mudanças climáticas podem exacerbar a frequência e a intensidade das secas, já que algumas regiões tendem a ter essa dinâmica (de Moraes, Wanderley, Delgado, 2024). Isso pode explicar as perdas hídricas observadas em determinados períodos, especialmente em épocas de baixa pluviosidade, uma vez que o município depende fortemente das chuvas para reabastecer seus

reservatórios. Em Floresta, embora haja uma infraestrutura maior, como barragens e reservatórios, a mudança nos padrões de precipitação também pode ser crítica. Segundo estudos, as secas prolongadas e os períodos de chuvas irregulares são um desafio para a gestão hídrica, mesmo em áreas que possuem maior capacidade de armazenamento (Montenegro & Ragab, 2012). A variabilidade climática pode diminuir significativamente a capacidade de armazenamento de água e afetar diretamente o abastecimento local e regional.

O aumento da frequência de eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e inundações, é uma das consequências mais previsíveis das mudanças climáticas (IPCC, 2021).

Nos gráficos, vemos que Floresta, apesar de apresentar um ganho significativo na superfície hídrica ao longo dos anos, pode ser vulnerável a secas extremas que reduzam drasticamente os níveis de água dos reservatórios. Isso está alinhado com a literatura, que aponta para uma maior dependência de infraestruturas hídricas em eventos extremos (Patel, Patel, 2024).

Monteiro, com uma infraestrutura hídrica mais limitada, é ainda mais suscetível a esses eventos extremos. As secas prolongadas podem resultar em uma perda drástica de corpos hídricos, como observado no gráfico de perda e ganho. Essas variações são típicas em regiões semiáridas que dependem diretamente da disponibilidade natural de água e de chuvas irregulares (Amorim, Santos, 2023).

As temperaturas mais altas, resultado direto das mudanças climáticas, também influenciam a disponibilidade de água. Temperaturas elevadas aumentam a evaporação dos corpos hídricos, o que é particularmente prejudicial para regiões como Monteiro, que já possuem menor capacidade de armazenamento. A evaporação acelerada significa que a água armazenada durante as chuvas se perde mais rapidamente, aumentando a vulnerabilidade da região a déficits hídricos.

Em Floresta, a maior capacidade de armazenamento ajuda a mitigar esse efeito, mas as

Conclusões

1. Com base na análise do Modelo Digital de Elevação (MDE) e da declividade no município de Monteiro, conclui-se que a diversidade topográfica desempenha um papel crucial no manejo ambiental e no desenvolvimento sustentável da região. A variação altimétrica considerável, que vai de 534 a 1.078 metros, com declives variando de 3% a 97,2%, apresenta diferentes condições ecológicas que influenciam diretamente as práticas de uso da terra e a gestão dos recursos hídricos.
2. A gestão dos recursos hídricos também se destaca como um desafio, com a necessidade de utilizar as áreas mais baixas como reservatórios naturais e implementar estratégias de armazenamento de água para enfrentar os períodos de escassez.

temperaturas mais altas podem reduzir a eficiência dos reservatórios e das hidrelétricas. O efeito da evaporação e a redução do volume armazenado já foram observados em estudos de reservatórios na região do semiárido brasileiro (Silva et al., 2022).

Os gráficos mostram que as mudanças climáticas afetam de forma distinta os municípios de Monteiro e Floresta, principalmente devido às suas diferenças em infraestrutura hídrica e capacidade de adaptação. Floresta, com maior capacidade de armazenar e gerir água, tem uma resiliência maior, mas ainda é vulnerável a secas prolongadas e evaporação elevada. Monteiro, com menos recursos de infraestrutura, é mais vulnerável, com grande dependência de condições climáticas para manter seus corpos hídricos estáveis.

As mudanças climáticas, conforme discutido na literatura, tornam urgente a necessidade de investimentos em infraestrutura hídrica, particularmente em regiões semiáridas como Monteiro, para garantir um abastecimento seguro de água e mitigar os efeitos das secas e das flutuações extremas (Girardin, 2024). É necessário também desenvolver políticas de adaptação que considerem tanto os impactos na agricultura quanto na preservação dos ecossistemas aquáticos, promovendo uma gestão sustentável dos recursos hídricos na região.

3. Com base nas transformações observadas no uso e ocupação do solo em Floresta entre 1985 e 2022, é evidente que o município enfrenta desafios ambientais significativos. A transição de áreas florestais para usos agrícolas e urbanos, aliada à expansão das áreas campestres e dos recursos hídricos, reflete uma dinâmica complexa que impacta tanto a paisagem quanto os ecossistemas locais. Essas mudanças não apenas alteram a cobertura vegetal e a disponibilidade de recursos naturais, mas também têm implicações diretas para a biodiversidade e para a capacidade de resiliência do meio ambiente frente às mudanças climáticas.
4. A história de Floresta como centro inicialmente voltado para a pecuária, evoluindo para uma economia mais diversificada com foco em agricultura e indústria, demonstra a adaptabilidade

humana, mas também sublinha a necessidade urgente de práticas de manejo sustentáveis e políticas públicas que promovam a conservação dos recursos naturais.

5. Com base na análise do uso e ocupação do solo em Monteiro entre os anos estudados, observa-se uma tendência preocupante de perda significativa de áreas destinadas aos recursos hídricos, enquanto a formação savânica tem prevalecido. Diante disso, é imperativo adotar medidas integradas de gestão ambiental que promovam a conservação dos recursos hídricos e a sustentabilidade das práticas agrícolas e urbanas. Isso inclui a implementação de políticas públicas eficazes para controle da poluição e uso responsável dos recursos naturais, visando proteger a vegetação savânica e garantir a qualidade ambiental para as futuras gerações em Monteiro e regiões semelhantes do semiárido paraibano.
6. Floresta se destaca regionalmente como líder na extensão de sua superfície hídrica, o que pode ser atribuído a fatores como o Projeto de Integração do Rio São Francisco. Esta posição privilegiada destaca a necessidade de políticas públicas eficazes para a gestão integrada dos recursos hídricos, visando garantir a resiliência da região frente às mudanças climáticas e ao aumento da demanda por água.
7. A análise crítica desses dados sublinha a importância de entender as variações na

disponibilidade hídrica e seus impactos ambientais e socioeconômicos. É essencial continuar monitorando e estudando essas dinâmicas para desenvolver estratégias adaptativas que promovam a sustentabilidade ambiental e o uso equitativo dos recursos hídricos em Floresta, assegurando assim o bem-estar das gerações presentes e futuras na região.

8. Monteiro, posicionado em 27º lugar no ranking regional de extensão de áreas de água, enfrenta desafios substanciais devido à disponibilidade limitada desse recurso vital. A análise mostra um ganho modesto ao longo do tempo, refletindo um cenário onde a gestão hídrica sustentável se torna crucial para mitigar os impactos das mudanças climáticas e das pressões antropogênicas, como a expansão agrícola e urbana.
9. A redução contínua na superfície de água não só ameaça a biodiversidade local e a segurança hídrica, mas também acarreta implicações socioeconômicas significativas para a comunidade de Monteiro. Nesse contexto, é imperativo implementar estratégias robustas de conservação das bacias hidrográficas, incluindo o fortalecimento do monitoramento da qualidade da água e a promoção de iniciativas educativas voltadas para a sustentabilidade ambiental.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Universidade Federal de Pernambuco pelo espaço cedido para discussão do estudo, a CAPES pela bolsa de doutorado concedida a primeira autora. Ao CNPq Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo projeto 405853/2022-0 e pela bolsa de produtividade em pesquisa da segunda autora, à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - FACEPE, pelo projeto APQ-0392-3.07/22 (FACEPE-FAPESP).

Referências

- Amorim, L. A., & Santos, A. M. dos. (2023). Reflexos do Último Ciclo de Estiagem na Produção Agropecuária em Municípios Susceptíveis à Desertificação no Semiárido de Pernambuco. *Geografia (Londrina)*, 33(1), 249–263. <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2024v33n1p249>
- Andrade Silva, G., & de Andrade Farias, C. W. L. (2021). Análise espaço-temporal da vegetação no semiárido do Nordeste brasileiro utilizando parâmetros biofísicos. *Revista Semiárido De Visu*, 9(3), 195-203.
- Barbosa, W. C. D. S., & Valladares, G. S. (2022). Análise da paisagem e do uso e cobertura das

- terras no nordeste brasileiro, litoral semiárido. *Sociedade & Natureza*, 32, 620-632.
- Barros, G. F., P. J., Almeida, G. C., Soares, S. A. G., Silva, B. N. J., Freitas, S. J. C., Moura, B. S. M., Galvêncio, D. J. (2023). Avaliação da cobertura vegetal de área beneficiada pelo eixo leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco, utilizando ADIVA. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 13 (4), 512-524. [Doi:https://doi.org/10.29150/jhrs.v13.4.p512-524](https://doi.org/10.29150/jhrs.v13.4.p512-524)
- Bello, J. P., Vasques Freitas, A. C., & Maria Vieira, E. (2023). Uma Análise do risco de fogo para o bioma Caatinga. *Revista Brasileira De Climatologia*, 32(19), 734–759. <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16693>
- Chaves, J. I., & de Oliveira Pinto Filho, J. L. (2020). ordenamento territorial no semiárido brasileiro: análise do uso e ocupação da sub-bacia hidrográfica do riacho ENCANTO/RN. *Revista Equador*, 9(4), 253-274.
- Cremon, É. H., Bettiol, G. M., Magna Júnior, J. P., Macedo, F. C., & Rabelo, M. W. de O. (2022). Avaliação da altimetria do MDE COP-30 no Centro-Oeste do Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, (págs. 536-546). Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. <https://doi.org/10.14393/revbrascartogr>
- da Silva Galindo, I. J., de Godoi Pinto, M. E., de Moura Silva, E. G. S., & Lima, K. C. (2024). Environmental degradation through erosive features in the riacho car broken water basin in the municipality of Floresta–PE. *International Journal Semiarid*, 7(7).
- de Aquino França, L. M., de Queiroga Miranda, R., de Oliveira Costa, V. S., & Galvêncio, J. D. (2020). Análise do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú (Pernambuco) com o produto MODIS MCD12Q1. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, 1(1).
- De Brito, H. C., de Brito, Y. M. A., & Rufino, I. A. A. (2022). O índice de segurança hídrica do Brasil e o semiárido brasileiro: desafios e riscos futuros. *Rev. Bras. Cartogr*, 74(1).
- de Moraes, J. B., Wanderley, H. S., & Delgado, R. C. (2024). Áreas suscetíveis a desertificação no Nordeste do Brasil e projeção para cenário de mudanças climáticas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 17(06), 4003-4014.
- dos Santos, Y. C., Pessoa, Z. S., Carvalho, E. F., Dias, E. M. S., & Teixeira, R. L. P. (2023). Enfrentamento aos riscos das mudanças climáticas no semiárido brasileiro: a adaptação climática como uma nova agenda governamental. *Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa*, 22(1), 46-66.
- Girardin, L. O. (2024). Climate Change and Semi-arid Regions in Latin America Threats and Challenges. In *Socioeconomic and Geopolitical Aspects of Global Climate Change: An Intersectoral Vision from the South of the South* (pp. 31-99).
- Hilário, D. D. S., & Lopes, D. D. V. (2024). Kart Geomorphology in the cavernas de martins natural monument, Brazilian Semi-Arid/geomorfologia cárstica no monumento natural cavernas de martins, semiárido Brasileiro. *William Morris Davis-Revista de Geomorfologia*, 5(1), 13-13. [Doi:https://doi.org/10.48025/ISSN2675-6900.v5n1.2024.617](https://doi.org/10.48025/ISSN2675-6900.v5n1.2024.617)
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2024). Conheça o Brasil - Território: Biomas brasileiros. Recuperado em 11 de dezembro de 2024, de <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biomas-brasileiros.html>
- IPCC. (2021). Climate change 2021: The physical science basis. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Li, S., Xu, L., Jing, Y., Yin, H., Li, X., & Guan, X. (2021). High-quality vegetation index product generation: A review of NDVI time series reconstruction techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 105, 102640.
- Lima, K. C., Lupinacci, C. M., Gomes, D. D. M., Souza, S. O., & da Silva Alexandre, F. (2023). Erosão em áreas suscetíveis a desertificação no Semiárido: possibilidades de análise por meio da cartografia geomorfológica baseada em imagens de altíssima resolução: possibilities of analysis through geomorphological mapping based on very high-resolution images. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 24(2).
- Lopes, J. R. A., Bezerra, J. M., Almeida, N. M. D. P., Costa, H. C. G., Fernandes, G. S. T., Gonçalves, G. L., ... & OLIVEIRA JÚNIOR, M. E. (2022). Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do Açude Grande no semiárido do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(01), 429-442.

- Luz, G. G. (2024) Análise social e ambiental no eixo leste da Transposição do São Francisco, utilizando a tecnologia drone, Universidade Federal de Pernambuco. Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/55533/1/DISSERTA%3%87%83O%20Gabrielly%20Greg%3%b3rio%20da%20Luz.pdf>
- Luz, G. G. D., Miranda, R. D. Q., & Galvêncio, J. D. (2023). Assessment of Water Availability and Environmental Influence on People's Lives in a Small Basin in the Hinterland of Pernambuco, Using the SUPER and UAV. *Applied Sciences*, 13(20), 11255.
- Maricato, E. Meio Ambiente e Reforma Urbana. Meio Ambiente e Reforma Urbana. Setembro, 1994. Teixeira, R. L. P. ., Pessoa, Z. S. ., Dias, E. M. S. ., & Alves, E. P. Q. . (2021). Mudanças climáticas, capacidade adaptativa e sustentabilidade: reflexões a partir das cidades da região SEMIÁRIDA BRASILEIRA. *Revista Geotemas*, 11, e02106. Recuperado de <https://periodicos.apps.uern.br/index.php/GEOTemas/article/view/3175>
- Monteiro, F. das N., & Falcão, K. dos S. (2022). Fragilidade Ambiental Associada a Mudança do Uso e Ocupação do Solo. *Revista Geoaraguaia*, 12(2), 16–30. Recuperado de <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/12755>
- Montenegro, S., & Ragab, R. (2012). Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. *Journal of Hydrology*, 434, 55-68. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.036>
- Oliveira Alves, M. D., & de Sá Menezes, L. (2021). Impactos ambientais no baixo curso do rio Pajeú, no trecho urbano de Floresta, Pernambuco. *Cerrados*, 19(1), 56-83.
- Oliveira, M., Macedo, R., Rebouças, C., & Silva, K. (2023) AÇÃO antrópica na erosão de solo em bacias hidrográficas do Semiárido brasileiro. DOI: 10.15628/holos.2023.16838
- Patel, R., & Patel, A. (2024). Evaluating the impact of climate change on drought risk in semi-arid region using GIS technique. *Results in Engineering*, 21, 101957.
- Salinas, C. E. T., de Oliveira, V. P. V., de Castro Araújo, L. B., & de Araújo, J. C. (2021). A escassez de água, o açude Castanhão e o desenvolvimento no semiárido brasileiro: os obstáculos temáticos de uma experiência prática não bem-sucedida. *Práticas Educativas, Memórias e Oralidades-Rev. Pemo*, 3(3), e337169-e337169.
- Santos, L. B., dos Santos, E. D. O., Schwantz, P. I., Bohrer, R. E. G., Prestes, M. M. B., & de Lara, D. M. (2021). Análise ambiental de nascentes do bairro Fontes no município de Soledade (RS), Brasil. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 14(Supl. 2), 1-19.
- Sousa Peruzzo, J., da Silva Silvino, G., de Araújo, M. C. P., de Leon, M. J., de Arruda Filho, N. T., & Lisboa, F. D. S. (2022). Caracterização morfométrica das microbacias hidrográficas inseridas no município e Itaporanga (PB). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 13(3), 92-104.
- Souza, J. J. L. L., Medeiros, V. B., Oliveira, P. E., Souza, B. I., Barreto, A. M. F., Oliveira, E. V., & Pessenda, L. C. R. (2023). Vegetable Coverage, Anthropogenic Action, And Paleoclimates In The Caatinga. *Mercator (Fortaleza)*, 22, e22011.
- Tiburcio, I. M., Silveira, N. T., dos Santos, T. O., de Queiroga Miranda, R., & Galvêncio, J. D. (2023). Balanço Hídrico e Mudanças Climáticas no Semiárido Pernambucano: aplicabilidade do Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPER). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(3), 1657-1670.
- Xu, Y., Yang, Y., Chen, X., & Liu, Y. (2022). Bibliometric analysis of global NDVI research trends from 1985 to 2021. *Remote Sensing*, 14(16), 3967.
- Yogi, F., & Stanganini, F. N. . (2023). Comparison and Evaluation of Digital Elevation Models of SRTM, ASTER, TANDEM/TERRASAR –X, NASADEM, COPERNICUS DEM and ALOS PALSAR sensors for digital land analysis for applications in basic sanitation. *Research, Society and Development*, 12(1), e13812139350. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i1.39350>