



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Mapeamento das áreas de apicum disponíveis para carcinicultura no estado do Ceará, Nordeste, Brasil

Francisca D. Lima¹, Rogério T. V. Fernandes², Jônata F. Oliveira³, Aruza R. M. Pinto⁴, Raimunda T. V. Fernandes⁵, Leonardo F. Almeida⁶, Diógenes F. S. Costa⁷, Louize Nascimento⁸

Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA. ¹ E-mail: engdalvanicelima@gmail.com (<https://orcid.org/0009-0006-5409-8965>), ² E-mail: rogerio.taygra@ufersa.edu.br (<https://orcid.org/0000-0002-2901-3986>), ⁴ E-mail: equilibrioga@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-2776-222X>), ⁵ E-mail: fernandesrtv@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-8019-1227>), ⁶ E-mail: lfaleonardo@hotmail.com (<https://orcid.org/0009-0006-5409-8965>). ⁷ Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN. E-mail: diogenes.costa@ufrn.br (<https://orcid.org/0000-0002-4210-7805>). ³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte-IFRN. E-mail: jonata.oliveira@ifrn.edu.br (<https://orcid.org/0000-0001-7325-435X>). ⁸ Universidade Federal do Ceará-UFC, PRODEMA. E-mail: louizenscmt@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-6083-8417>).

Artigo recebido em 11/11/2024 e aceito em 19/02/2025

RESUMO

Os apicuns são ecossistemas costeiros essenciais que fornecem serviços ecossistêmicos críticos, como sequestro de carbono, proteção contra erosão e suporte à biodiversidade. Este estudo mapeou e avaliou o uso e ocupação do solo nas planícies fluviomarinhas do estado do Ceará, Brasil, utilizando imagens dos satélites LANDSAT-5 e LANDSAT-8 para análise temporal entre 2008 e 2023. A metodologia incluiu o uso do software QGIS 3.22.16 e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), permitindo identificar mudanças significativas nos ecossistemas. As áreas mapeadas somaram 49.657,05 hectares, distribuídas em três regiões principais: Litoral Oeste (44,65%), Litoral Leste-Jaguaribe (40,52%) e Região Metropolitana de Fortaleza (14,83%). Os resultados apontaram uma redução de 37,12% nas áreas de apicum e de 29,37% nos manguezais arbóreos, enquanto a carcinicultura expandiu para 7.309,08 hectares, ocupando 75,18% das áreas de apicum disponíveis. A vegetação de restinga/Caatinga aumentou 54,86%, indicando regeneração parcial. Adicionalmente, 611,28 hectares foram identificados como áreas inativas, requerendo estratégias de recuperação. As regiões dos rios Jaguaribe, Acaraú e Coreaú apresentaram as transformações mais expressivas, com impactos ambientais decorrentes da conversão desordenada de ecossistemas para carcinicultura. O estudo conclui que a sustentabilidade da carcinicultura exige manejo integrado, com restauração de áreas degradadas, criação de zonas de proteção e uso de tecnologias limpas. As informações geradas subsidiam políticas públicas e estratégias de conservação, destacando a necessidade de equilíbrio entre desenvolvimento econômico e preservação dos ecossistemas costeiros. Palavras-chave: conservação, desenvolvimento sustentável, manguezal, serviços ecossistêmicos.

Mapping of available tidal flats areas for shrimp farming in the state of Ceará, Northeast Brazil

ABSTRACT

Tidal flats are essential coastal ecosystems that provide critical ecosystem services such as carbon sequestration, erosion protection, and biodiversity support. This study mapped and evaluated land use and cover in the floodplain areas of Ceará State, Brazil, using LANDSAT-5 and LANDSAT-8 satellite images for temporal analysis between 2008 and 2023. The methodology included the use of QGIS 3.22.16 software and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), enabling the identification of significant ecosystem changes. The mapped areas totaled 49,657.05 hectares, distributed across three main regions: Western Coast (44.65%), Eastern Coast-Jaguaribe (40.52%), and Fortaleza Metropolitan Region (14.83%). The results indicated a 37.12% reduction in tidal flat areas and a 29.37% decrease in mangrove forests, while shrimp farming expanded to 7,309.08 hectares, occupying 75.18% of the available tidal flat areas. Restinga/Caatinga vegetation increased by 54.86%, suggesting partial regeneration. Additionally, 611.28 hectares were identified as inactive areas, requiring recovery strategies. The regions of the Jaguaribe, Acaraú, and Coreaú rivers exhibited the most significant transformations, with environmental impacts arising from the unplanned conversion of ecosystems to shrimp farming. The study concludes that the sustainability of shrimp farming requires integrated management, including the restoration of degraded areas, the establishment of protected zones, and the adoption of clean technologies. The generated information supports public policies and conservation strategies, emphasizing the need for balance between economic development and the preservation of coastal ecosystems. Keywords: conservation, sustainable development, mangrove, ecosystem services.

Introdução

Os apicuns, caracterizados por campos arenosos com vegetação herbácea adaptada a ambientes salinos, desempenham um papel essencial como subtipos dos ecossistemas de manguezais na região Nordeste do Brasil (Pinto et al., 2022). Essas áreas coexistem dinamicamente com a vegetação florestal, formando uma transição entre ambientes terrestres e aquáticos e contribuindo para a biodiversidade marinha e para a estabilidade costeira (Li et al., 2022). No entanto, os apicuns enfrentam desafios legais e ambientais complexos devido à sua crescente utilização para atividades como a carcinicultura (Ferreira et al., 2023). Enquanto a Lei nº 12.727/2012 estabelece critérios para a prática de carcinicultura em áreas de manguezais, a Resolução CONAMA nº 312/2002 proíbe expressamente tais empreendimentos nesses ecossistemas, criando um conflito normativo significativo que exige abordagens integradas para a gestão sustentável desses habitats (Santos & Furlan, 2021).

O monitoramento e a compreensão dos impactos antrópicos são fundamentais para a preservação dos manguezais e para a gestão eficaz dos ecossistemas costeiros (Ahmed et al., 2022). A ausência de mapeamentos e identificações precisas das áreas de apicum compromete os esforços de planejamento e gestão em diferentes escalas, podendo resultar em sua ocupação arbitrária e na degradação de serviços ecossistêmicos vitais, como a proteção da biodiversidade (Nascimento et al., 2022). Assim, informações detalhadas sobre a extensão e as condições dessas áreas tornam-se indispensáveis para a formulação de estratégias que assegurem sua conservação e recuperação (Lopes et al., 2020).

Reconhecidos por sua biodiversidade única, os apicuns são elementos fundamentais no equilíbrio costeiro, funcionando como habitats para uma diversidade de espécies marinhas e como zonas de transição entre ambientes terrestres e aquáticos (Lacerda et al., 2021). Essas áreas exercem funções indispensáveis, como a regulação da qualidade da água, a proteção da linha costeira contra processos erosivos e a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, atuando como importantes reservatórios de carbono em ecossistemas costeiros globais (Lima et al., 2023; Chen & Lee, 2022).

No contexto econômico do estado do Ceará, a preservação dos apicuns é especialmente relevante. Esses ecossistemas não apenas fornecem recursos cruciais para as comunidades locais, mas também desempenham um papel na resiliência dos ecossistemas costeiros frente às mudanças

climáticas e às crescentes pressões antrópicas (Yang et al., 2021). A carcinicultura, por exemplo, é uma atividade de grande relevância econômica para o estado, gerando empregos e renda para comunidades costeiras (Silva-Júnior et al., 2020). Contudo, a expansão dessa atividade enfrenta desafios, como a escassez de áreas apropriadas para a criação de camarões, que é agravada pela pressão sobre os ecossistemas costeiros e pela necessidade de equilibrar desenvolvimento econômico e conservação ambiental (Lisboa et al., 2020; Gualberto et al., 2023). A crescente demanda por camarões reforça a urgência de soluções sustentáveis para o crescimento da indústria, garantindo a saúde dos ecossistemas costeiros (Gomes & Bonilla, 2022).

A ocupação desordenada e a degradação dos apicuns representam ameaças críticas no Ceará. A expansão urbana e as atividades econômicas têm causado a perda de habitat e a fragmentação desses ecossistemas, prejudicando serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação climática, a purificação da água e o suporte à pesca artesanal (Barbosa & Valladares, 2022; Silva & Pierri, 2022). Essa degradação compromete a biodiversidade e a resiliência dos ecossistemas costeiros, impactando diretamente o bem-estar das comunidades locais (Gomes et al., 2020; Loureiro & Oliveira, 2019).

A legislação ambiental brasileira, especialmente a Lei nº 12.651/2012, desempenha um papel vital na proteção dos apicuns. Reconhecendo-os como parte do patrimônio natural brasileiro, a lei estabelece diretrizes para a preservação da vegetação nativa e regulamenta atividades econômicas como a carcinicultura dentro de padrões sustentáveis (Brasil, 2012; Silva, 2022). No entanto, a eficácia dessa legislação depende de sua implementação e fiscalização, que são fundamentais para promover práticas sustentáveis e preservar os recursos naturais para as gerações atuais e futuras (Maia et al., 2019; Souza & Santos, 2023).

Este estudo tem como objetivo mapear e avaliar as áreas de apicuns remanescentes no Ceará, com foco na identificação de áreas ocupadas e disponíveis para a prática da carcinicultura. Busca-se quantificar as áreas não ocupadas, indicar regiões viáveis para exploração sustentável, de acordo com a Lei nº 12.651/2012, e avaliar a legalidade de empreendimentos existentes. A análise fornece uma visão detalhada do percentual de apicuns disponíveis, contribuindo para estratégias de planejamento que conciliem o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental (Brasil, 2012).

Metodologia

Área estudo

Este estudo foi realizado no estado do Ceará, localizado na região Nordeste do Brasil, abrangendo sua extensa faixa litorânea (Figura 1). Com uma costa de 573 km ao longo do Oceano Atlântico, o Ceará abriga uma rica diversidade de ecossistemas costeiros, incluindo praias, dunas, falésias e estuários (Marinha do Brasil, 2023).

O clima predominante na região é tropical semiárido, caracterizado por temperaturas elevadas e uma estação chuvosa concentrada entre fevereiro e maio, fatores que influenciam diretamente a biodiversidade e a dinâmica dos ecossistemas marinhos e estuarinos, como os manguezais (Monteiro et al., 2021). Esses manguezais desempenham um papel vital na saúde ambiental e na sustentabilidade das atividades econômicas locais (Wang & Gu, 2021).

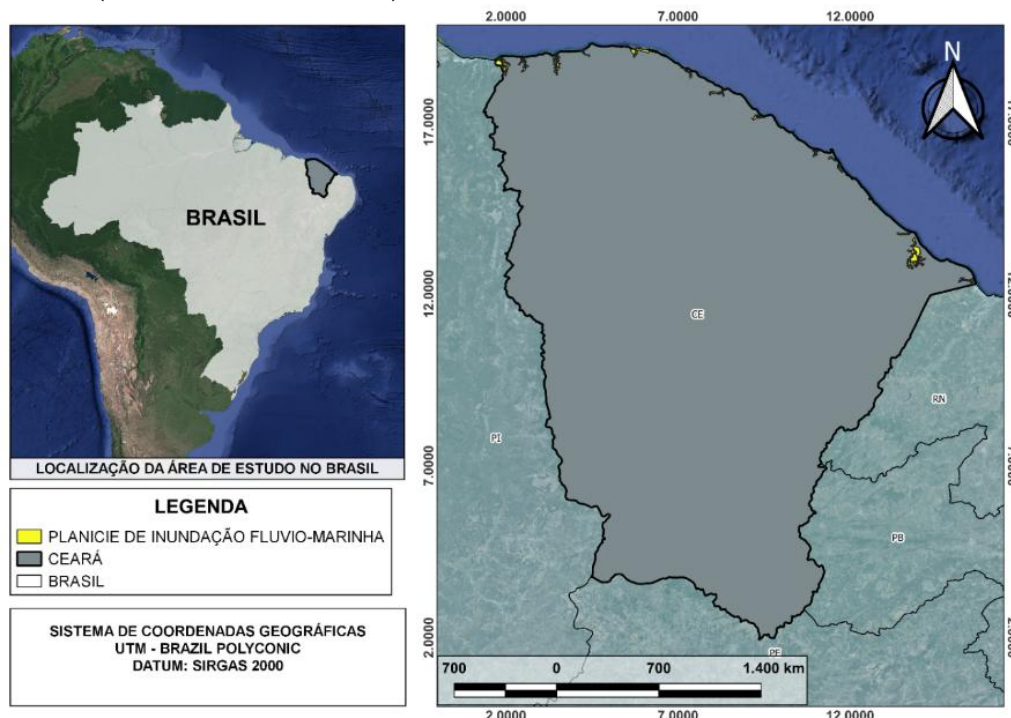


Figura 1. Localização da área de estudo no Estado do Ceará, Nordeste, Brasil. Fonte: autoria própria.

A vegetação costeira da região é dominada pela Caatinga, típica do semiárido brasileiro, com áreas de manguezais distribuídas ao longo dos estuários (Diniz et al., 2020). Esses manguezais são habitats cruciais para espécies marinhas como crustáceos e peixes, essenciais para a pesca artesanal e a segurança alimentar das comunidades costeiras (Ferreira et al., 2022). Além disso, o turismo desempenha um papel relevante na economia costeira, gerando empregos e renda. Entretanto, a exploração desordenada do turismo e a urbanização inadequada intensificam os desafios ambientais, aumentando os riscos de erosão e degradação dos ecossistemas (Pinheiro et al., 2020).

Base de dados

A delimitação das áreas de estudo foi realizada utilizando informações de fitofisionomia disponíveis no arquivo de pedologia do Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA) do

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023). Essas informações permitiram identificar as planícies de inundação flúvio-marinha. Complementarmente, foi realizado um levantamento de imagens de satélite multiespectrais abrangendo as áreas correspondentes às planícies de inundação do estado do Ceará.

As imagens foram obtidas através do site *Earth Explorer*, utilizando os satélites LANDSAT-5 para o período anterior a 22 de julho de 2008 e LANDSAT-8 para os anos de 2022 e 2023. A escolha dessas datas baseou-se no parágrafo 6º do artigo 11-A da Lei nº 12.651/2012, que regula a regularização de propriedades anteriores à data mencionada (Brasil, 2012). As análises foram realizadas com imagens de baixa cobertura de nuvens, selecionadas para os meses de junho de 2007 e junho de 2008 (áreas 1 e 2, respectivamente), e para o cenário atual, agosto de 2022 (área 1) e junho e julho de 2023 (áreas 2 e 3). Essas datas foram escolhidas considerando

condições atmosféricas favoráveis à análise precisa dos dados (Figura 2).

Processamento dos dados

As imagens de satélite foram projetadas no sistema de coordenadas WGS 84/UTM zone 24N (EPSG: 32624) e posteriormente reprojetadas para o sistema UTM zona 24S, com Datum horizontal SIRGAS 2000 (EPSG: 31984), utilizando o software QGIS 3.22.16 (QGIS Development Team, 2022). Em seguida, foi calculado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), amplamente usado para avaliar a saúde e o vigor da vegetação. O NDVI é calculado pela fórmula:

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)}$$

No LANDSAT-5, a banda NIR corresponde à B4 e a banda RED à B3; no LANDSAT-8, a banda NIR é a B5 e a RED é a B4 (Fernandes et al., 2021). Os valores obtidos foram interpretados conforme descrito na Tabela 1. Valores próximos a 1 indicam vegetação densa e saudável, enquanto valores próximos a -1 representam água ou solo exposto.

Após o cálculo do NDVI, as imagens foram convertidas para escala de cinza, com áreas mais escuras representando água e solo exposto

(apicuns) e áreas mais claras indicando vegetação densa. Com base nessas imagens, iniciou-se a classificação supervisionada das áreas de interesse. Classificação supervisionada

Para a classificação do uso do solo, foi utilizado o *plugin Dzetsaka* no QGIS (QGIS Development Team, 2022), especializado em classificação digital de imagens. Foram coletadas 10 amostras para cada classe definida (Tabela 1), proporcionando uma base robusta para o algoritmo. Antes do recorte das áreas de interesse, utilizou-se a imagem completa, aumentando a precisão da classificação. Os arquivos *shapefile* das planícies de inundação, obtidos do BDIA (IBGE, 2023), foram utilizados para delimitar as áreas analisadas, que foram unidas em mosaicos para quantificar os apicuns, áreas de carcinicultura, manguezal arbóreo e vegetação de restinga/Caatinga.

A classificação foi baseada nos valores de NDVI apresentados na Tabela 1. Essa abordagem permitiu identificar e caracterizar com precisão as áreas de estudo, fornecendo subsídios sólidos para a análise das mudanças de uso e ocupação do solo ao longo do tempo. Os resultados revelaram a distribuição das classes analisadas, contribuindo para a compreensão das dinâmicas de cobertura vegetal e dos impactos causados pelas atividades humanas.

Tabela 1. Classificação do uso e ocupação do solo, cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

Valor	Classes	Uso do solo
-1.00 até 0.00	1	Corpos de água
0.00 até 0.25	2	Solo Exposto (Apicum)
0.25 até 0.50	3	Veg. Restinga/Caatinga
0.50 até 1.00	4	Manguezal Arbóreo

Fonte: Fernandes et al. (2021), adaptado pelos autores.

Resultados

Identificação das Imagens de Satélite Usadas

As planícies de inundação no estado do Ceará totalizam 49.657,05 hectares, distribuídas em três regiões principais: Litoral Oeste, Região Metropolitana de Fortaleza e Litoral Leste-Jaguaribe. O Litoral Oeste concentra a maior área, com 22.170,96 hectares (44,65%), seguido pelo Litoral Leste-Jaguaribe, com 20.123,01 hectares (40,52%), e pela Região Metropolitana de Fortaleza, com 7.363,08 hectares (14,83%). Este

mapeamento é fundamental para identificar áreas de apicum prioritárias para a carcinicultura e a conservação.

A análise revelou que 4.170,15 hectares de áreas consolidadas, ocupadas antes de 22 de julho de 2008, são passíveis de regularização pela Lei nº 12.651/2012. Adicionalmente, foram detectados 3.138,93 hectares de novos empreendimentos de carcinicultura estabelecidos após essa data, destacando uma expansão significativa da atividade aquícola no Ceará entre 2022 e 2023 (Figura 2).

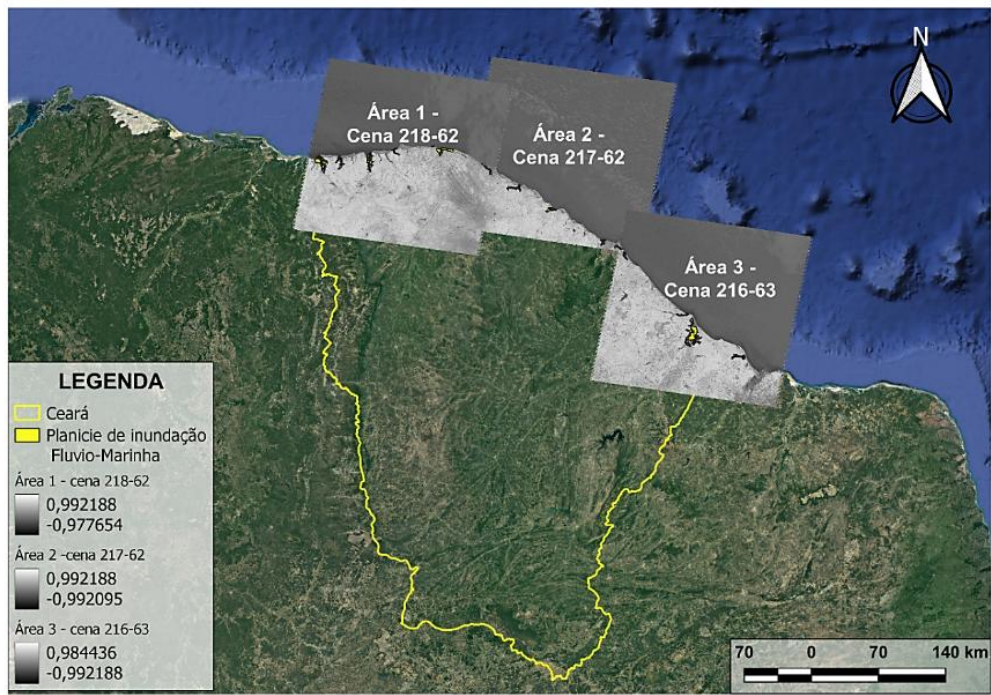


Figura 2. Identificação das imagens de satélite usadas para mapeamento das áreas no estado no Ceará, Nordeste, Brasil. Fonte: autoria própria.

Uso e Ocupação do Solo em 2008

Até 22 de julho de 2008, as planícies inundadas fluviomarinhas eram compostas por 23.531,31 hectares de manguezais arbóreos, 11.928,42 hectares de apicuns e 7.215,48 hectares de vegetação de restinga/Caatinga. A

carcinicultura ocupava 4.170,15 hectares, correspondendo a 8,40% do total. Os manguezais arbóreos representavam 47,39% das áreas, seguidos pelos apicuns (24,02%) e pela vegetação de restinga (14,53%). As áreas de corpos de água ocupavam 2.200,41 hectares (4,43%), conforme Tabela 2.

Tabela 2. Quantificação do uso do solo das áreas de Planícies inundadas fluviomarinhas – Até de 22/07/2008 no estado do Ceará, Nordeste, Brasil.

Fitofisionomia	Área (ha)	Área (%)
Corpos de água	2.200,41	4,43
Apicum	11.928,42	24,02
Carcinicultura/ Salina	4.170,15	8,40
Áreas abandonadas	611,28	1,23
Manguezal arbóreo	23.531,31	47,39
Veg. Restinga/Caatinga	7.215,48	14,53
Área Total =	49.657,05	100,00

Fonte: autoria própria.

Uso e Ocupação do Solo em 2022/2023

Entre 2022 e 2023, as imagens de satélite revelaram mudanças significativas no uso e ocupação do solo. As áreas de manguezais arbóreos reduziram-se em 29,37%, totalizando 16.620,75 hectares, enquanto os apicuns diminuíram 37,12%, restando 7.501,14 hectares.

A carcinicultura ocupa atualmente 7.309,08 hectares, representando 75,18% da área

inicialmente disponível para sua expansão. Por outro lado, a vegetação de restinga aumentou 54,86%, alcançando 15.986,34 hectares. Durante o mapeamento, também foram identificados 611,28 hectares de áreas inativas, que merecem estudos adicionais para avaliar suas condições e potenciais usos (Tabela 3).

Tabela 3. Quantificação do uso do solo das áreas de Planícies inundadas fluviomarinhas – Depois de 22/07/2008 no estado do Ceará, Nordeste, Brasil.

Fitofisionomia	Área (ha)	Área (%)
Corpos de água	1.628,46	3,28
Apicum	7.501,14	15,11
Carcinicultura/ Salina	7.309,08	14,72
Áreas abandonadas	611,28	1,23
Manguezal arbóreo	16.620,75	33,47
Veg. Restinga/Caatinga	15.986,34	32,19
Área Total =	49.657,05	100,00

Fonte: autoria própria.

Evolução das Áreas de 2008 para 2023 no Litoral Oeste do Ceará

A análise temporal realizada com imagens de satélite LANDSAT-5 e LANDSAT-8 identificou mudanças expressivas no uso do solo

no Litoral Oeste entre 2008 e 2023. Houve significativa conversão de áreas naturais de apicum e manguezais para atividades de carcinicultura, evidenciando os impactos das práticas aquícolas na dinâmica ecológica regional (Figura 3).

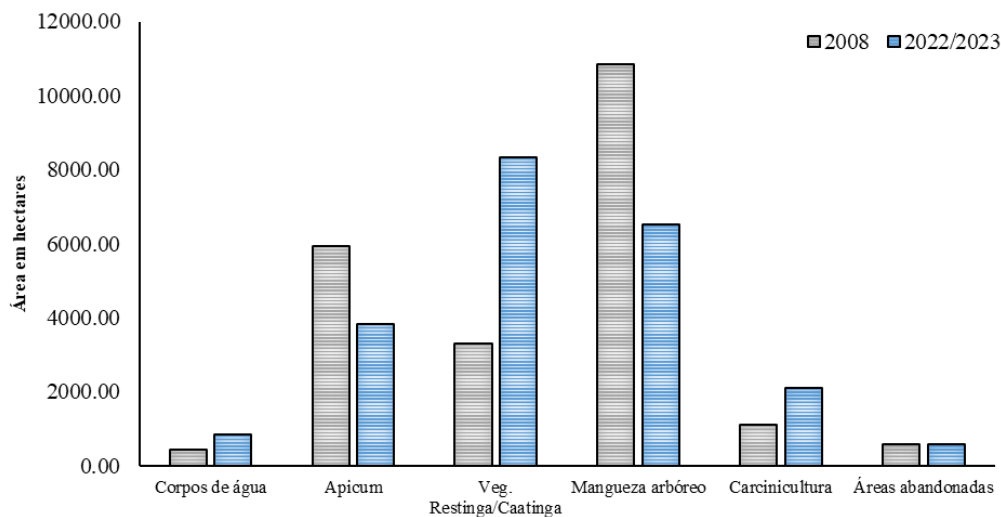


Figura 3. Evolução das áreas de 2008 para 2023, no Litoral Oeste do estado do Ceará, Nordeste, Brasil.
Fonte: autoria própria.

Uso e Ocupação do Solo em 2008 – Rios Acaraú e Timonha

Até 22 de julho de 2008, a região dos rios Acaraú e Timonha era caracterizada por corpos de água, apicuns, vegetação de restinga e manguezais arbóreos (Figura 4). As áreas de carcinicultura

consolidadas representavam uma pequena parcela do uso do solo. Este cenário reflete a diversidade de ecossistemas locais e a necessidade de planejamento para expandir atividades econômicas sem comprometer a integridade ambiental.

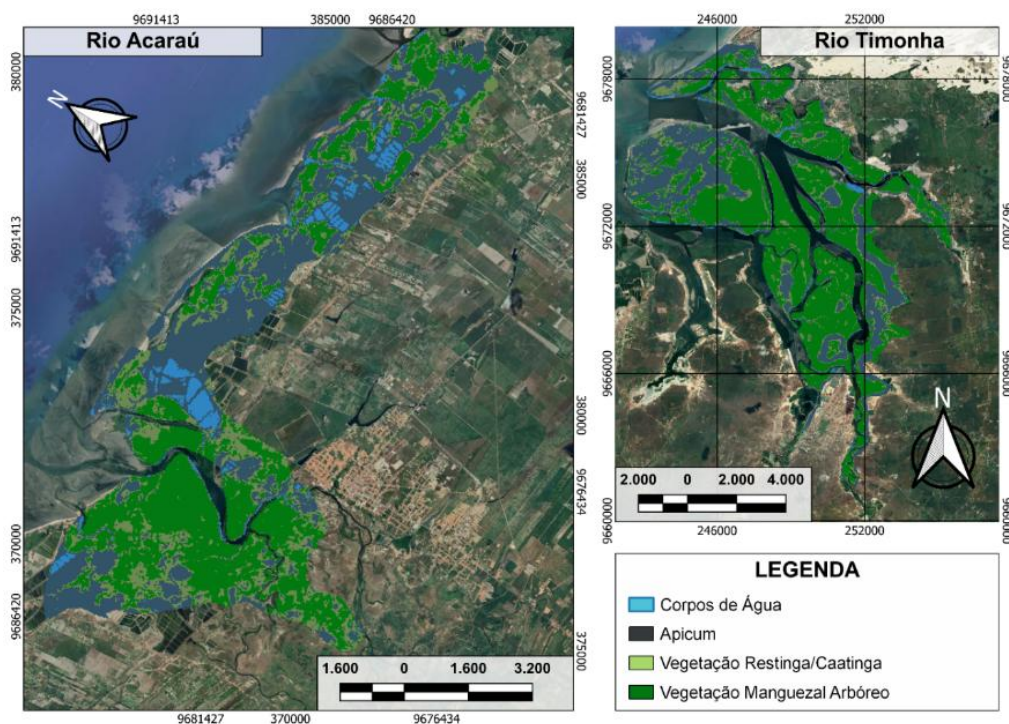


Figura 4. Uso e ocupação do solo até 22 de julho de 2008, Rios: Acaraú e Timonha, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil. Fonte: autoria própria.

Uso e Ocupação do Solo em 2022/2023 – Rios Acaraú e Timonha

A análise do uso e ocupação do solo na região dos rios Acaraú e Timonha em 2022/2023 evidencia uma redução expressiva nas áreas de apicum e manguezais, acompanhada por um aumento nas áreas de vegetação de restinga/Caatinga (Figura 5). Este cenário reflete a

intensificação das atividades aquícolas, com um crescimento considerável das áreas destinadas à carcinicultura. A expansão dessa atividade tem implicações significativas, podendo impactar negativamente a biodiversidade local e os serviços ecossistêmicos fornecidos por esses ecossistemas.

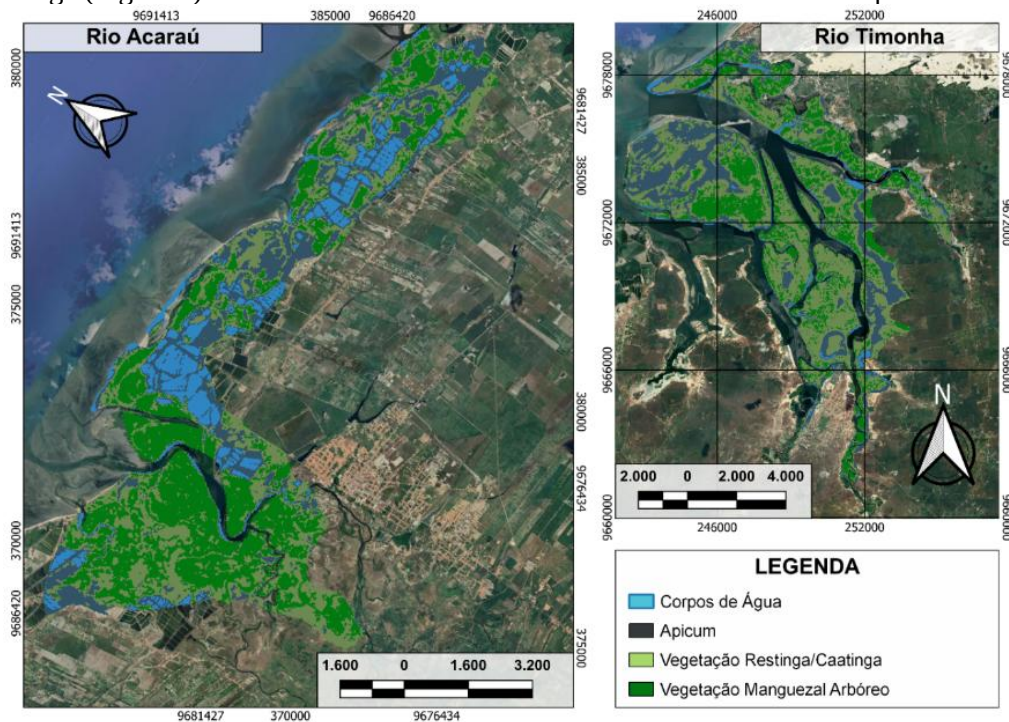


Figura 5. O uso e ocupação do solo atualmente 2022/2023, Rios: Acaraú e Timonha, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil. Fonte: autoria própria.

Atualmente, a região apresenta uma diversidade de usos do solo, incluindo áreas de carcinicultura consolidadas, áreas abandonadas e novos empreendimentos (Figura 6). A conversão de grandes extensões de apicuns para a carcinicultura, seguida pelo abandono de algumas

dessas áreas, ressalta a necessidade de reavaliação das práticas de uso do solo e da implementação de técnicas de recuperação ambiental. Este tipo de gestão é essencial para assegurar a sustentabilidade ambiental e socioeconômica da região.

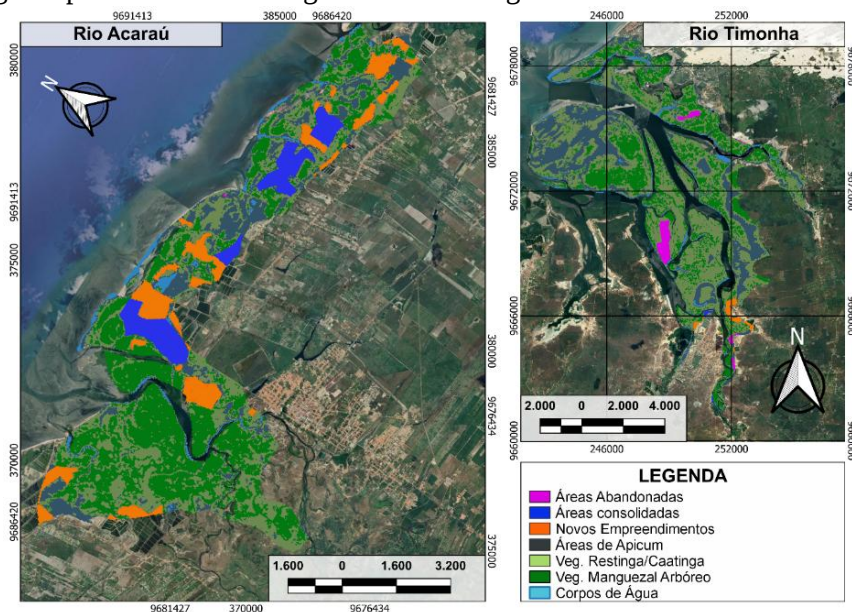


Figura 6. Áreas consolidadas, abandonadas e novos empreendimentos no cenário atual 2022/2023, Rios: Acaraú e Timonha, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil.

Uso e Ocupação do Solo em 2008 – Rios Remédios, Guriú e Coreaú

Até julho de 2008, a região dos rios Remédios, Guriú e Coreaú apresentava um padrão de uso do solo dominado por corpos de água,

apicuns, vegetação de restinga/Caatinga e manguezais arbóreos (Figura 7). As áreas destinadas à carcinicultura eram limitadas e estavam dispersas, indicando um menor impacto humano direto sobre os ecossistemas naturais comparado ao cenário atual.

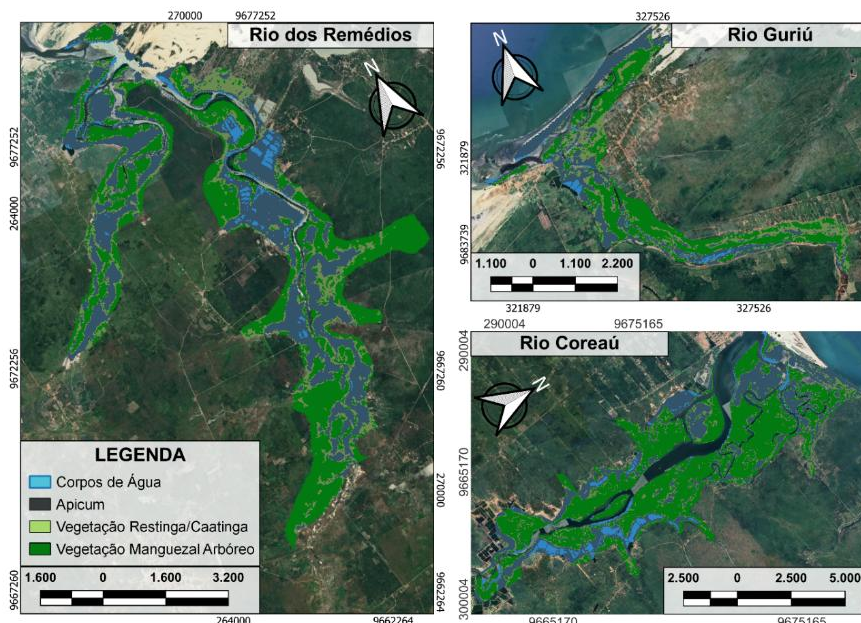


Figura 7. Uso e ocupação do solo até 22 de julho de 2008, Rios: Remédios, Guriú e Coreaú, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil.

Uso e Ocupação do Solo em 2022/2023 – Rios Remédios, Guriú e Coreau

A análise de 2022/2023 para os rios Remédios, Guriú e Coreau revela uma redução significativa nas áreas de apicum e manguezais,

enquanto a vegetação de restinga/Caatinga aumentou expressivamente (Figura 8). O crescimento das áreas destinadas à carcinicultura demonstra uma expansão contínua dessa atividade na região, colocando pressão adicional sobre os ecossistemas naturais.

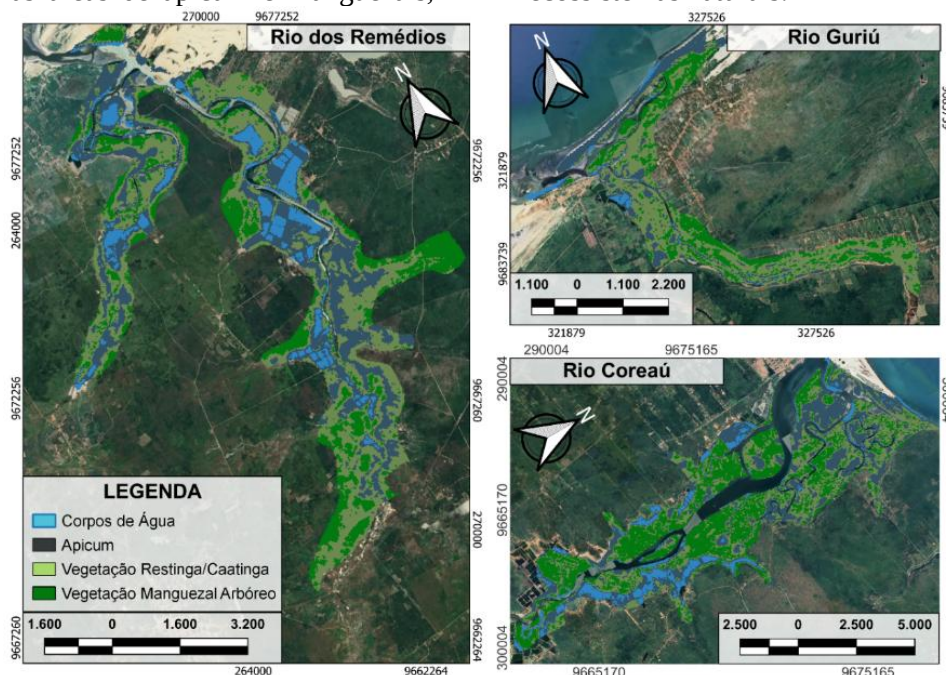


Figura 8. O uso e ocupação do solo atualmente 2022/2023, Rios: Remédios, Guriú e Coreau, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil.

A análise das áreas atuais indica uma conversão significativa de apicuns para carcinicultura, com algumas dessas áreas eventualmente abandonadas (Figura 9). Este cenário enfatiza a necessidade de planejamento e

gestão ambiental mais rigorosos para equilibrar o desenvolvimento econômico com a conservação dos recursos naturais e a funcionalidade ecossistêmica.

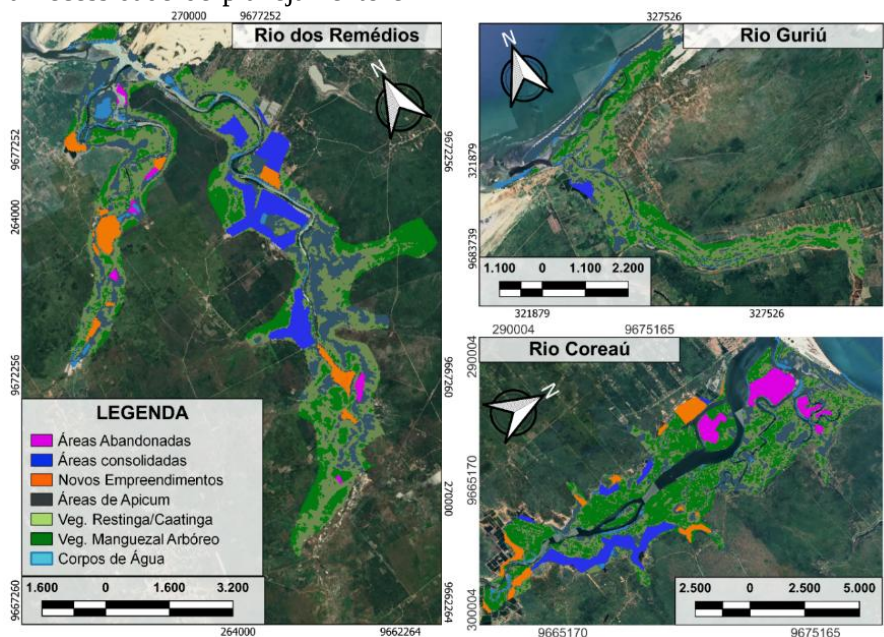


Figura 9. Áreas consolidadas, abandonadas e novos empreendimentos no cenário atual 2022/2023, Rios: Remédios, Guriú e Coreau, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil.

Região Metropolitana de Fortaleza

A Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), que abrange uma área total de 7.363,08 hectares, representa 14,83% das planícies inundadas fluviomarinhas do estado do Ceará. Entre 2008 e 2023, observou-se uma série de mudanças significativas no uso e ocupação do solo nessa região. Até julho de 2008, a cobertura do solo era composta por 1.298,16 hectares de apicum, 202,14 hectares de corpos de água, 1.126,44 hectares de vegetação de restinga/Caatinga, 4.570,83 hectares de manguezais arbóreos e 139,23

hectares de áreas consolidadas, representando as carciniculturas já estabelecidas.

No cenário atual, em 2023, a configuração do uso do solo mudou para 1.331,01 hectares de apicum, 483,48 hectares de corpos de água, 1.794,87 hectares de vegetação de restinga/Caatinga, 3.348,27 hectares de manguezais arbóreos e 379,17 hectares de novos empreendimentos de carcinicultura, estabelecidos após 2008. Os rios que compõem essa região incluem o Aracatiaçu, Mundaú, Curu, Ceará e Cocó (Figura 10).

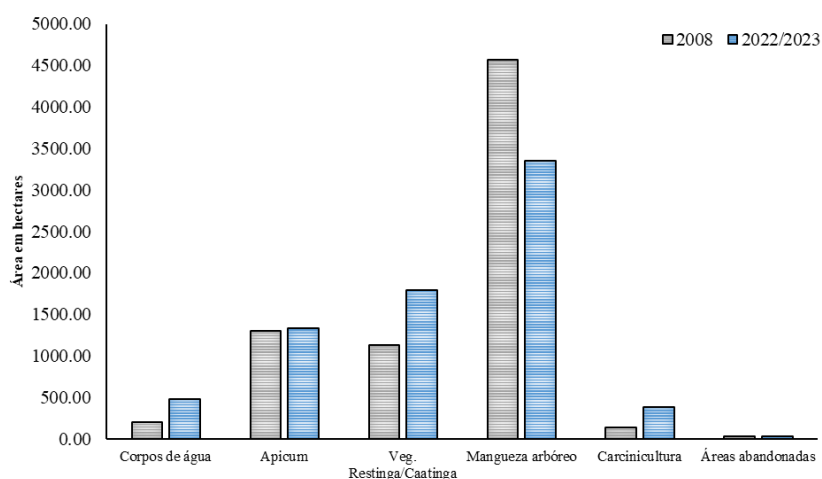


Figura 10. Evolução das áreas de 2008 para 2023, Região Metropolitana de Fortaleza, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil.

Mudanças no Uso e Ocupação do Solo na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF)

Até julho de 2008, a cobertura do solo na RMF era dominada por corpos de água, apicuns, vegetação de restinga/Caatinga e manguezais

arbóreos (Figura 11). As áreas consolidadas destinadas à carcinicultura eram menores e mais dispersas, refletindo um impacto humano relativamente limitado sobre os ecossistemas naturais.

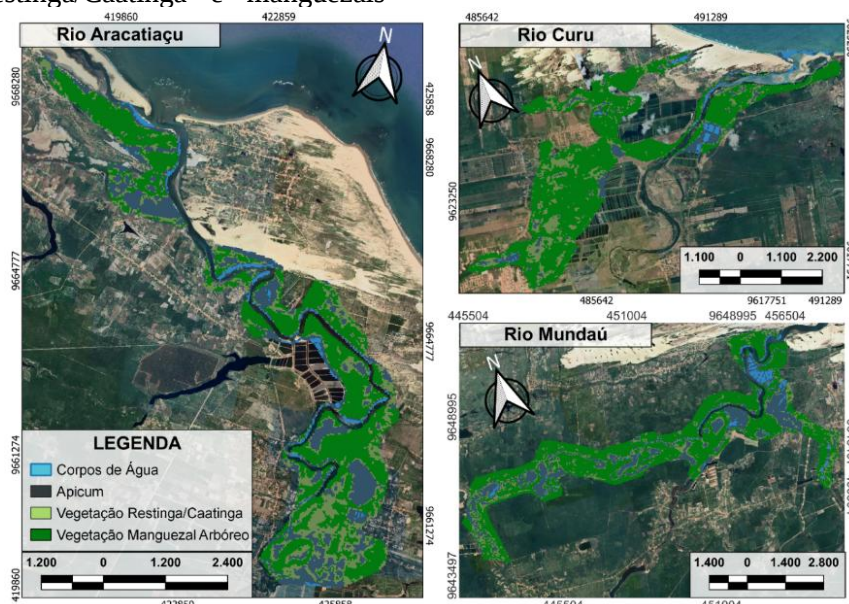


Figura 11. Uso e ocupação do solo até 22 de julho de 2008, Rios: Aracatiaçu, Curu e Mundaú, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil. Fonte: autoria própria.

Em 2022/2023, a RMF apresentou uma redução contínua nas áreas de apicum e manguezais, atribuída principalmente à expansão urbana e à carcinicultura (Figura 12). Essa diminuição impacta diretamente a biodiversidade

local e a funcionalidade dos serviços ecossistêmicos, destacando a necessidade de políticas robustas para a conservação e o uso sustentável do solo.

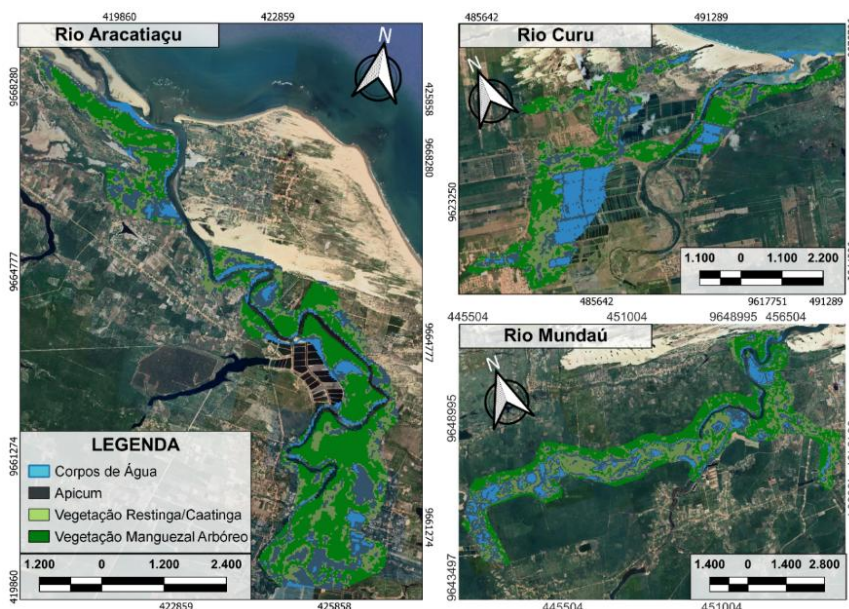


Figura 12. O uso e ocupação do solo atualmente 2022/2023, Rios: Aracatiçu, Curu e Mundaú, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil.

Impactos e Distribuição Espacial na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF)

A análise das áreas consolidadas, abandonadas e novos empreendimentos na RMF destaca uma conversão significativa de áreas de apicum para carcinicultura, refletindo o

crescimento dessa atividade nos últimos anos (Figura 13). Essa expansão, apesar de representar uma oportunidade econômica, enfatiza a necessidade de manejo ambiental para a recuperação de áreas degradadas e a manutenção do equilíbrio ecológico.

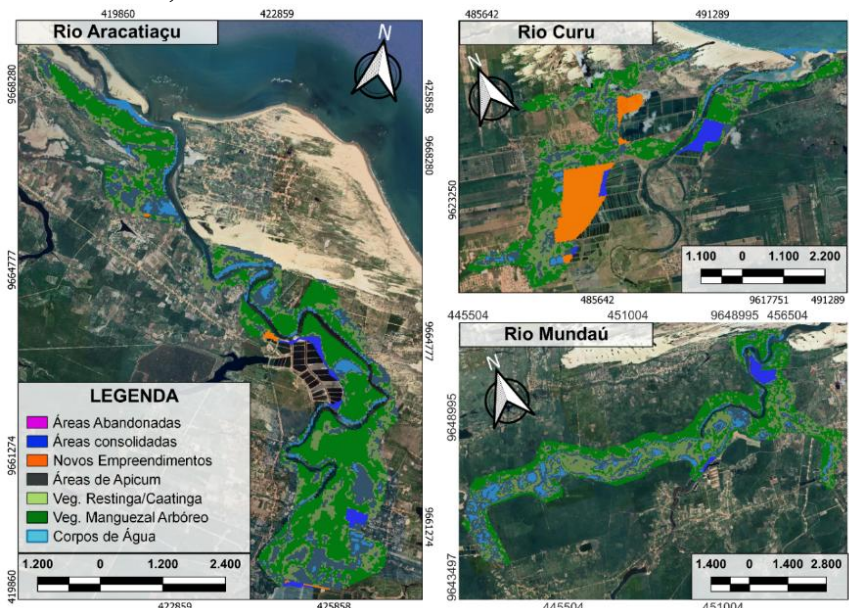


Figura 13. Áreas consolidadas, abandonadas e novos empreendimentos no cenário atual 2022/2023, Rios: Aracatiçu, Curu e Mundaú, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil.

Tendências Temporais e Conservação

A comparação temporal das áreas de apicum e manguezais entre 2008 e 2023 evidencia uma redução significativa desses ecossistemas,

resultante da expansão da carcinicultura e da urbanização (Figura 14). Essa análise é essencial para compreender as tendências de uso do solo e fundamentar políticas de conservação e desenvolvimento sustentável.

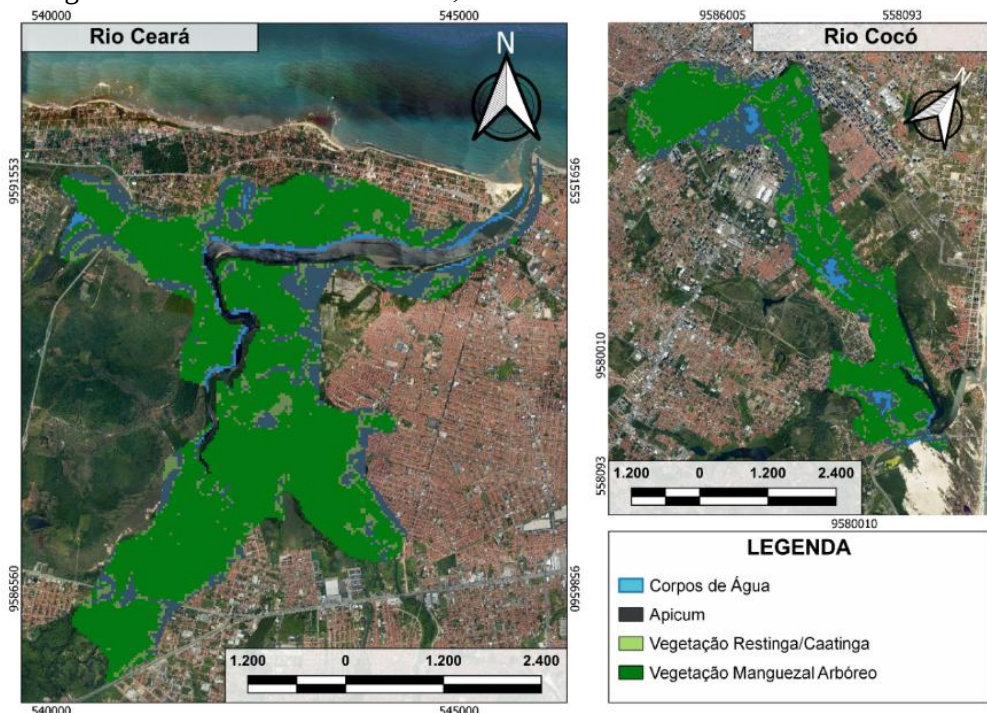


Figura 14. Uso e ocupação do solo até 22 de julho de 2008, Rios: Ceará e Cocó, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil. Fonte: autoria própria.

Em contrapartida, as áreas de vegetação de restinga/Caatinga aumentaram consideravelmente no mesmo período, possivelmente devido à regeneração natural e a

políticas de conservação em áreas protegidas (Figura 15). Esse crescimento desempenha um papel crucial na manutenção da biodiversidade e na prestação de serviços ecossistêmicos.

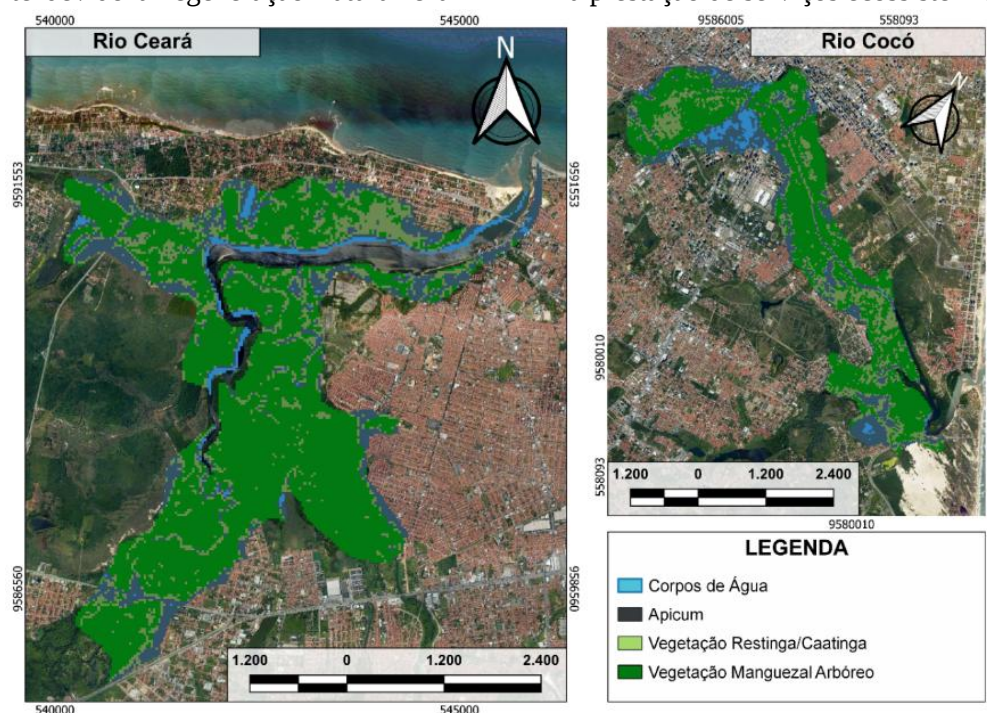


Figura 15. O uso e ocupação do solo atualmente 2022/2023, Rios: Ceará e Cocó, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil.

Expansão da Carcinicultura na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF)

Entre 2008 e 2023, a carcinicultura no Ceará registrou um crescimento considerável, especialmente nas regiões do litoral oeste e leste do

estado. Na RMF, a atividade aquícola expandiu-se significativamente, gerando tanto oportunidades econômicas quanto desafios ambientais. O equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental continua sendo uma prioridade fundamental (Figura 16).

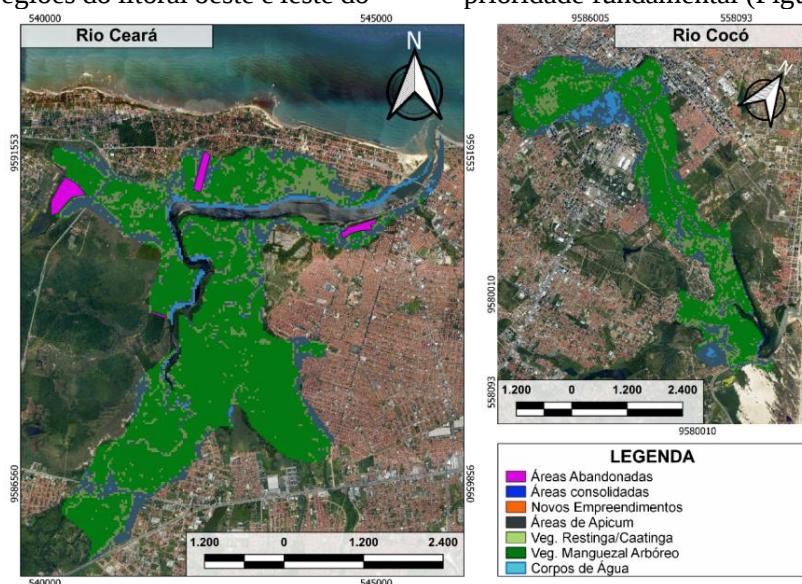


Figura 16. Áreas consolidadas, abandonadas e novos empreendimentos no cenário atual 2022/2023, Rios: Ceará e Cocó, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil.

Litoral Leste-Jaguaribe

O Litoral Leste-Jaguaribe, com uma área de 20.123,01 hectares, representa 40,52% das planícies inundadas fluviomarinhas do Ceará, configurando-se como a segunda maior região em termos de extensão. Até julho de 2008, a composição do uso do solo nessa região incluía 4.693,86 hectares de apicum, 1.578,15 hectares de corpos de água, 2.796,66 hectares de vegetação de restinga/Caatinga, 8.109,18 hectares de manguezais arbóreos e 2.929,86 hectares de áreas

consolidadas de carcinicultura, já estabelecidas antes da data limite de 22 de julho de 2008.

Em 2023, a configuração do uso do solo mudou significativamente (Figura 17): as áreas de apicum reduziram-se para 2.345,94 hectares, os corpos de água diminuíram para 314,82 hectares e os manguezais arbóreos passaram a ocupar 6.750,18 hectares. Por outro lado, as áreas de vegetação de restinga/Caatinga aumentaram para 5.864,58 hectares, e a carcinicultura expandiu-se, com 4.832,19 hectares de novos empreendimentos estabelecidos após 2008. Os principais rios dessa região são o Pacoti, Jaguaribe, Piranji e Manibú.

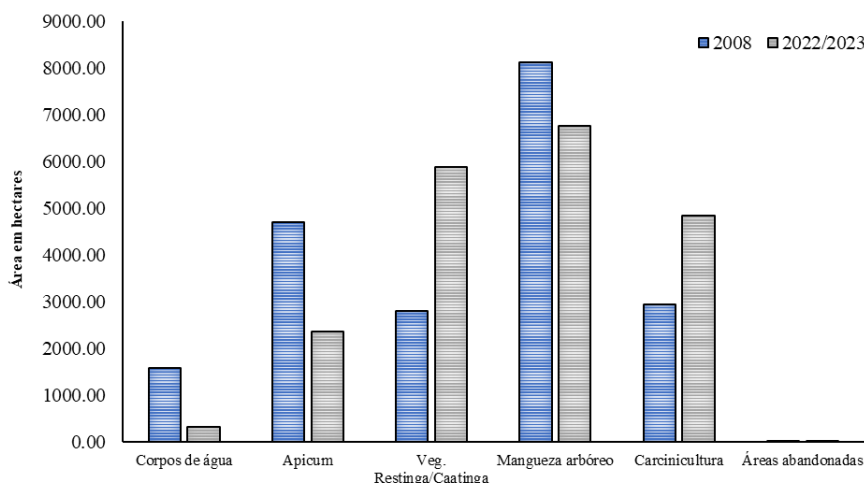


Figura 17. Evolução das áreas de 2008 para 2023, Litoral Leste-Jaguaribe, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil.

Impacto da Carcinicultura no Litoral Leste-Jaguaribe

A análise das mudanças de uso do solo destaca a conversão significativa das áreas de apicum para a atividade aquícola, que se tornou predominante em algumas sub-regiões (Figura 18).

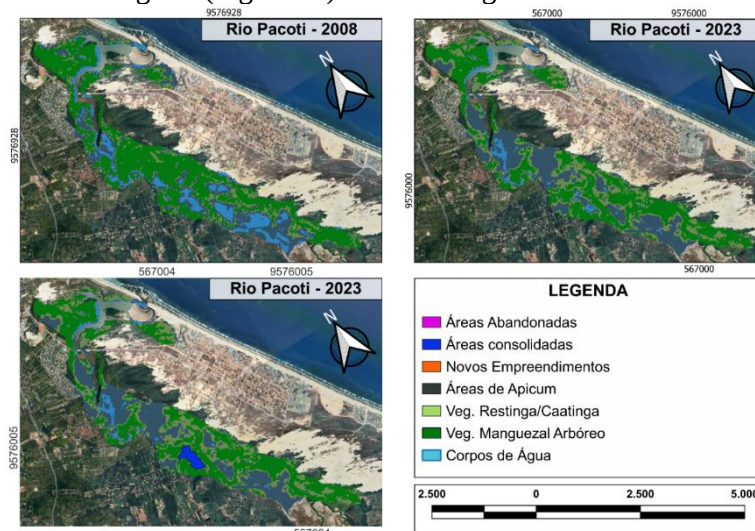


Figura 18. Uso e ocupação do solo do Rio Pacoti, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil.

Distribuição Espacial e Conservação no Litoral Leste-Jaguaribe

Os mapas de uso do solo, organizados em diferentes períodos, permitem uma análise detalhada das dinâmicas espaciais e temporais dos

Essa transformação tem implicações ambientais importantes, como a potencial degradação de ecossistemas naturais e a redução da biodiversidade. É necessário implementar medidas de manejo sustentável para garantir a continuidade da atividade aquícola sem comprometer a integridade ambiental.

ecossistemas costeiros do Litoral Leste-Jaguaribe (Figura 19). A identificação das áreas com maior potencial para a carcinicultura, combinada com a localização de zonas prioritárias para conservação, é crucial para planejar intervenções que equilibrem desenvolvimento econômico e proteção ambiental.

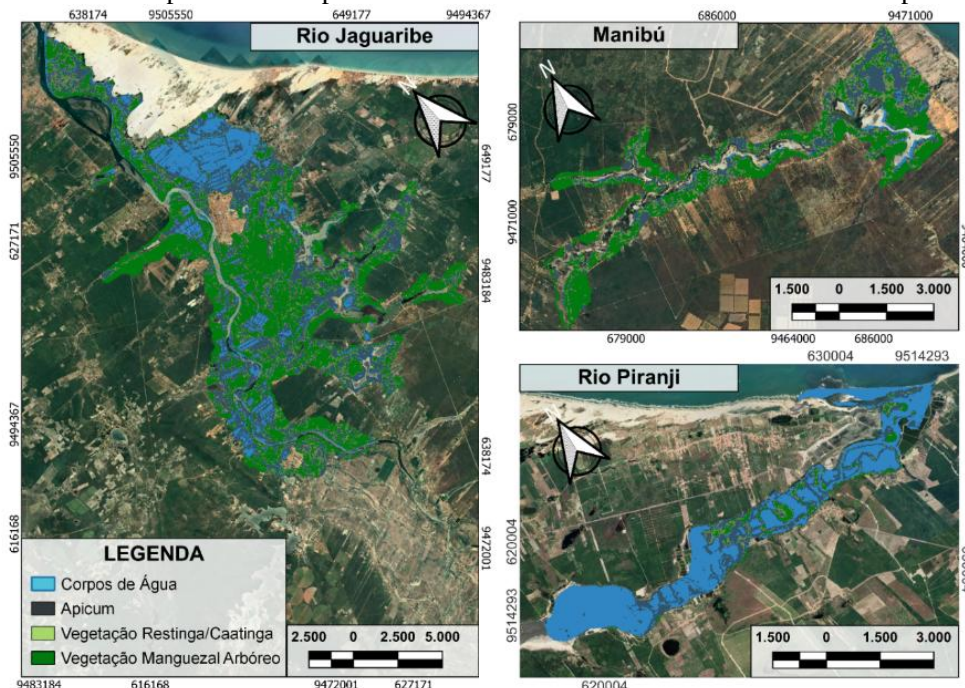


Figura 19. Uso e ocupação do solo até 22 de julho de 2008, Rios: Jaguaribe, Manibú e Piranji, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil.

Políticas de Conservação no Litoral Leste-Jaguaribe

A identificação das áreas de apicum e manguezais que necessitam de preservação reforça a urgência de políticas de proteção ambiental

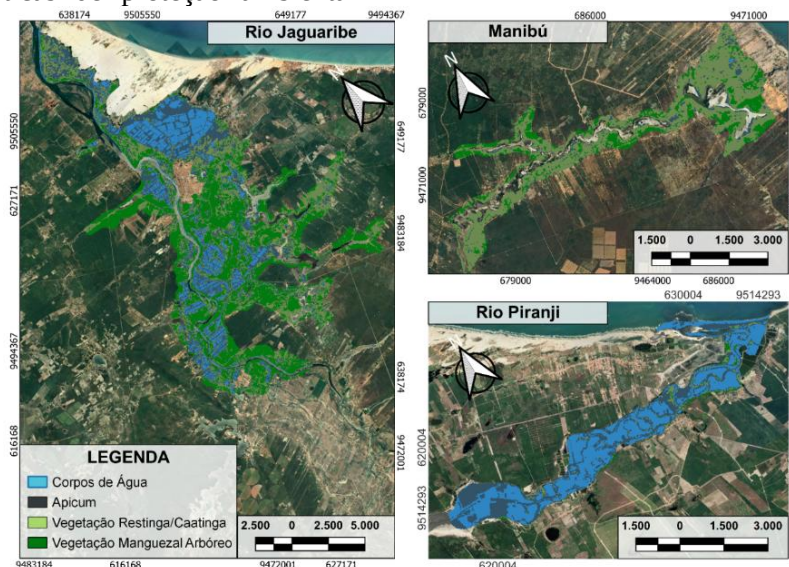


Figura 20. O uso e ocupação do solo atualmente 2022/2023, Rios: Jaguaribe, Manibú e Piraji, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil.

Projeção Futura no Litoral Leste-Jaguaribe

As projeções futuras para o uso das áreas de apicum e manguezais no Litoral Leste-Jaguaribe consideram cenários de expansão da carcinicultura e possíveis políticas de conservação ambiental. A análise revela que, sem intervenções adequadas, a

continuidade da conversão de ecossistemas naturais pode comprometer a sustentabilidade regional. Estratégias de manejo integrado são fundamentais para planejar a preservação desses ecossistemas e promover o uso sustentável do solo a longo prazo (Figura 21).

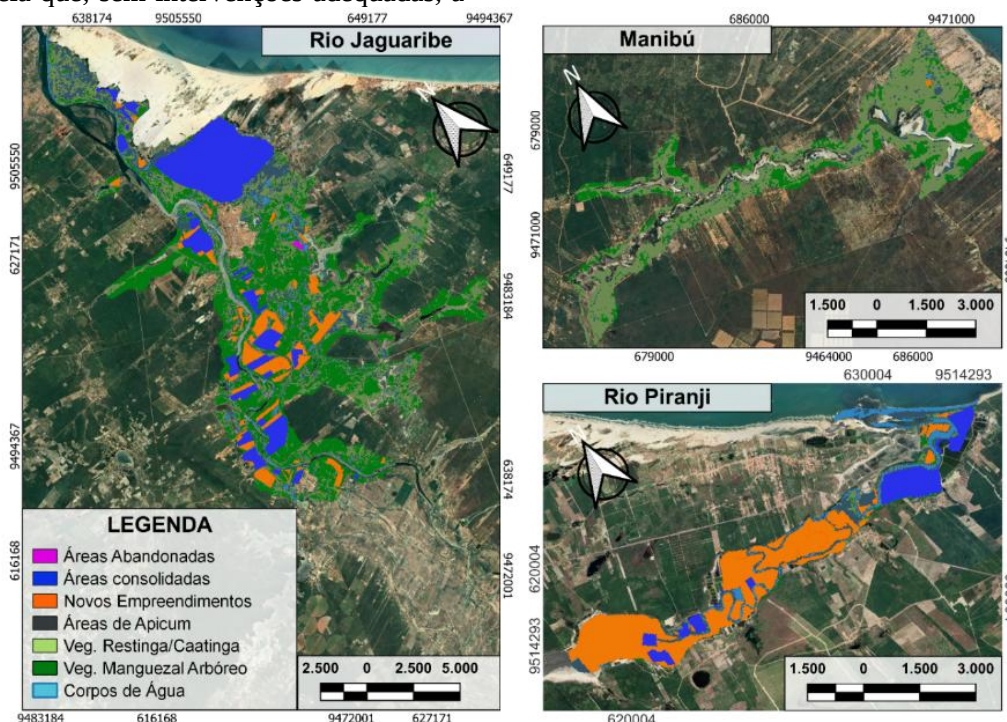


Figura 21. Áreas consolidadas, abandonadas e novos empreendimentos no cenário atual 2022/2023, Rios: Jaguaribe, Manibú e Piraji, no estado do Ceará, Nordeste, Brasil.

Discussão

A análise das áreas de apicum no estado do Ceará revelou transformações expressivas nos últimos 15 anos, resultantes principalmente da expansão da carcinicultura. Este fenômeno é consistente com estudos recentes que destacam os impactos da aquicultura sobre os ecossistemas costeiros e a necessidade de práticas de manejo sustentável (Bax et al., 2022; Garlock et al., 2020). A concentração das áreas de apicum no litoral oeste, onde características geomorfológicas e hidrológicas são mais favoráveis, demonstra o elevado potencial para aquicultura na região, embora também reforce a necessidade de planejamento estratégico para evitar impactos negativos sobre os ecossistemas naturais (Lacerda et al., 2021).

A utilização de imagens de satélite LANDSAT-5 e LANDSAT-8 foi essencial para identificar mudanças substanciais na cobertura do solo entre 2008 e 2023. Nesse período, observou-se uma redução de 37,12% nas áreas de apicum e de 29,37% nas áreas de manguezais, principalmente devido à intensificação da carcinicultura e à urbanização desordenada. Esses achados corroboram a literatura, que relaciona a expansão da aquicultura à degradação de habitats costeiros e à perda de serviços ecossistêmicos como proteção contra tempestades, manutenção da qualidade da água e suporte à biodiversidade (Oliveira Júnior et al., 2021; Adame et al., 2021).

Impactos Regionais e Especificidades Locais

A expansão da carcinicultura foi mais evidente nas regiões dos rios Acaraú, Timonha, Remédios, Guriú, Coreaú e na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). Nessas áreas, a conversão de apicuns e manguezais em empreendimentos aquícolas sem o devido planejamento resultou em impactos significativos sobre ecossistemas frágeis e espécies endêmicas (Abdala et al., 2020). Na RMF, a redução contínua dos manguezais e apicuns, em paralelo ao aumento das áreas de vegetação de restinga/Caatinga, reflete uma reconfiguração do uso do solo que requer gestão cuidadosa para mitigar a perda de biodiversidade (Yang et al., 2021).

No litoral Leste-Jaguaripe, que compreende 40,52% das áreas de planície inundada do estado, foram observados mais de 4.832 hectares de novos empreendimentos estabelecidos desde 2008. As alterações destacam a necessidade de estratégias de manejo sustentável que incluam a recuperação de áreas degradadas e a implementação de zonas de proteção. Embora a

vegetação de restinga/Caatinga tenha aumentado 54,86% no estado desde 2008, sua recuperação não compensa a complexidade ecológica e os serviços oferecidos pelos manguezais, como o sequestro de carbono e a proteção contra a erosão (Sunkur et al., 2023).

Abordagem Sustentável e Recuperação Ambiental

A conservação dos manguezais e apicuns é crucial para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, incluindo o suporte à pesca artesanal, o controle da erosão costeira e o armazenamento de carbono (Gomes et al., 2020). Os dados indicam que 1.036 hectares de apicuns ainda estão disponíveis para carcinicultura no Ceará, conforme os critérios da Lei Nº 12.651/2012. No entanto, sua exploração deve seguir padrões de sustentabilidade para evitar o agravamento da degradação ambiental. As áreas abandonadas, totalizando 611 hectares, representam uma oportunidade para implementação de programas de restauração, como reflorestamento de manguezais e introdução de práticas agrícolas sustentáveis (Hernández-Blanco et al., 2022).

Estudos indicam que a perda de manguezais pode levar à liberação de grandes quantidades de carbono armazenado no solo, agravando o aquecimento global e aumentando a vulnerabilidade das comunidades costeiras a tempestades e inundações (Gerona-Daga & Salmo III, 2022). Essa degradação também afeta diretamente a biodiversidade, uma vez que os manguezais servem como habitats essenciais para espécies marinhas e terrestres, muitas das quais desempenham papéis críticos na cadeia alimentar e na pesca artesanal. Esses impactos reforçam a necessidade de políticas robustas que integrem a conservação desses ecossistemas com o manejo sustentável da aquicultura, priorizando práticas que minimizem a degradação ambiental e promovam a resiliência dos serviços ecossistêmicos (Choudhary et al., 2024).

Tecnologias de Monitoramento e Ferramentas para Gestão

A utilização de tecnologias de sensoriamento remoto foi uma das principais contribuições deste estudo para a compreensão das mudanças no uso do solo. As imagens LANDSAT-5 e LANDSAT-8 permitiram identificar tendências de conversão de áreas naturais em áreas de carcinicultura, destacando a eficácia dessas ferramentas para monitoramento de ecossistemas costeiros e suporte a políticas de manejo

sustentável (Sunkur et al., 2023; Choudhary et al., 2024). A análise temporal dessas imagens fornece subsídios essenciais para a formulação de estratégias que priorizem práticas de aquicultura sustentável e a recuperação de áreas degradadas.

Conclusão

O estudo sobre as áreas de apicum no estado do Ceará, Nordeste do Brasil, revelou mudanças significativas na dinâmica de uso e ocupação do solo entre 2008 e 2023, destacando os impactos da expansão da carcinicultura sobre ecossistemas costeiros. A análise das imagens de satélite evidenciou uma redução expressiva nas áreas de apicum e manguezais, com a carcinicultura ocupando atualmente 15,11% das áreas de apicum mapeadas. Ainda assim, 1.036,02 hectares permanecem disponíveis para expansão, representando uma oportunidade que deve ser manejada com cuidado para evitar danos ambientais adicionais.

A metodologia empregada, com classificação digital e o índice NDVI, permitiu identificar mudanças importantes, como o aumento das áreas de vegetação de restinga/Caatinga de 14,53% para 32,19% da área total. Apesar do potencial de recuperação de algumas áreas, a perda contínua dos ecossistemas de manguezal representa um desafio crítico, dada sua importância para a biodiversidade, sequestro de carbono, proteção contra erosão costeira e suporte às comunidades locais que dependem da pesca artesanal.

Os resultados reforçam a urgência de implementar uma abordagem integrada de manejo sustentável. Políticas públicas que conciliem a expansão econômica da carcinicultura com a conservação ambiental são fundamentais. Entre as ações recomendadas estão a restauração de áreas degradadas, a criação de zonas de proteção ambiental, o incentivo à adoção de tecnologias mais limpas e o fortalecimento do monitoramento por sensoriamento remoto para assegurar o uso sustentável do solo.

Este estudo contribui para o debate global sobre conservação de ecossistemas costeiros, alinhando-se a iniciativas internacionais, como a Década das Nações Unidas para a Restauração de Ecossistemas. A proteção dos apicuns e manguezais é essencial para garantir a resiliência frente às mudanças climáticas, a continuidade dos serviços ecossistêmicos e o bem-estar das comunidades que dependem desses recursos naturais. Estratégias de manejo que priorizem a sustentabilidade não apenas garantirão a viabilidade econômica da carcinicultura, mas

também preservarão os ecossistemas costeiros para as gerações futuras.

Referências

- Abdala, C. S., Paz, M. M., Semhan, R. V., García, N., Aguilar-Kirigin, A. J., Farías, M. E., ... & Langstroth, R. (2020). Increasing knowledge of the denizens of saline environments through integrative taxonomy: new Argentinian endemic taxa of *Liolaemus* (Iguania: Liolaemidae) and their evolutionary relationships. *Systematics and Biodiversity*, 19(2), 135-167. <https://doi.org/10.1080/14772000.2020.1844818>
- Adame, M. F., Reef, R., Santini, N. S., Najera, E., Turschwell, M. P., Hayes, M. A., ... & Lovelock, C. E. (2021). Mangroves in arid regions: Ecology, threats, and opportunities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 248, 106796. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106796>
- Ahmed, S., Sarker, S. K., Friess, D. A., Kamruzzaman, M., Jacobs, M., Islam, M. A., ... & Pretzsch, H. (2022). Salinity reduces site quality and mangrove forest functions. From monitoring to understanding. *Science of the Total Environment*, 853, 158662. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158662>
- 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. <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-48038>
- Bax, N., Novaglio, C., Maxwell, K. H., Meyers, K., McCann, J., Jennings, S., ... & Carter, C. G. (2022). Ocean resource use: building the coastal blue economy. *Reviews in fish biology and fisheries*, 32, 189-207. <https://doi.org/10.1007/s11160-021-09636-0>
- Brasil. (2002). Resolução CONAMA nº 312, de 10 de outubro de 2002. Dispõe sobre critérios para o licenciamento ambiental de empreendimentos de carcinicultura e outras atividades similares em áreas de manguezais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 out. 2002.
- Brasil. (2012). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 maio 2012.
- Brasil. (2012). Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 out. 2012.

- Chen, Z. L., & Lee, S. Y. (2022). Tidal flats as a significant carbon reservoir in global coastal ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, 9, 900896. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.900896>
- Choudhary, B., Dhar, V., & Pawase, A. S. (2024). Blue carbon and the role of mangroves in carbon sequestration: Its mechanisms, estimation, human impacts and conservation strategies for economic incentives. *Journal of Sea Research*, 199, 102504. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2024.102504>
- Diniz, M. T. M., da Silva, S. D. R., da Silva, J. P., & da Silva Costa, D. F. (2020). Unidades de paisagem da Costa Branca, nordeste do Brasil. *Revista do Departamento de Geografia*, 39, 169-183. <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.159807>
- Fernandes, R. T. V., Tinoco, V. N. V., Silva, C. A. D., Sousa Junior, A. M., & Silveira, B. D. A. (2021). *Geoprocessamento e Estudos Urbanos Auxiliados por QGIS*. São Paulo: Livraria da Física, 2021. 252p.
- Ferreira, A. C., Borges, R., & de Lacerda, L. D. (2022). Can sustainable development save mangroves?. *Sustainability*, 14(3), 1263. <https://doi.org/10.3390/su14031263>
- Ferreira, M. W. M., Ferreira, A. N. S., de Carvalho, B. L. F., Bezerra, J. H. C., de Brito, P. S., Guimarães, E. C., ... & Santos, J. P. (2023). Carcinicultura no estado do Maranhão: evolução e perspectivas futuras. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, 14(1), 36-45. <https://doi.org/10.18817/repesca.v14i1.3046>
- Garlock, T., Asche, F., Anderson, J., Bjørndal, T., Kumar, G., Lorenzen, K., ... & Tveterås, R. (2020). A global blue revolution: aquaculture growth across regions, species, and countries. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(1), 107-116. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1678111>
- Gerona-Daga, M. E. B., & Salmo III, S. G. (2022). A systematic review of mangrove restoration studies in Southeast Asia: Challenges and opportunities for the United Nation's Decade on Ecosystem Restoration. *Frontiers in Marine Science*, 9, 987737. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.987737>
- Gomes, A. C. C. de O., & Bonilla, O. H. (2022). Estado da arte dos impactos ambientais da carcinicultura. *Arquivo de Ciências do Mar*, 55(2), 130-146. <http://dx.doi.org/10.32360/acmar.v55i2.72247>
- Gomes, W. D. S. N., de Andrade Meireles, A. J., Rabelo, F. D. B., & da Silva, E. V. (2020). Importância do ecossistema manguezal e seus serviços ecossistêmicos: Educação Ambiental enquanto ferramenta de conscientização. In *Educação Ambiental no cotidiano: ações de proteção ambiental* (pp. 83-96). Disponível em: <https://www2.unifap.br/editora/files/2020/09/educacao-ambiental-no-cotidiano.pdf#page=84>
- Gualberto, G. L. F., Sousa, K. R. S., & da Silva Bezerra, D. (2023). Análise temporal de alterações nas áreas de manguezais e apicuns do Brasil entre 1985 a 2019. *Revista UniAraguaia*, 18(1), 48-62. Disponível em: <http://204.236.195.172/sipe/index.php/revistauniaraguaia/article/view/1168>
- Hernández-Blanco, M., Moritsch, M., Manrow, M., & Raes, L. (2022). Coastal ecosystem services modeling in Latin America to guide conservation and restoration strategies: the case of mangroves in Guatemala and El Salvador. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, 843145. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.843145>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023). *Banco de Dados e Informações Ambientais*. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>
- Lacerda, L. D., Ward, R. D., Godoy, M. D. P., de Andrade Meireles, A. J., Borges, R., & Ferreira, A. C. (2021). 20-years cumulative impact from shrimp farming on mangroves of Northeast Brazil. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4, 653096. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.653096>
- Li, J., Cui, L., Delgado-Baquerizo, M., Wang, J., Zhu, Y., Wang, R., ... & Singh, B. K. (2022). Fungi drive soil multifunctionality in the coastal salt marsh ecosystem. *Science of the Total Environment*, 818, 151673. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151673>
- Lima, T. B. B. D., Silva, M. R. F. D., & Carvalho, R. G. D. (2023). Pesca artesanal, carcinicultura e manguezal: perspectivas da Lei nº 12.651/2012 e o uso de apicuns e salgados em Canguaretama/RN. *Sociedade & Natureza*, 31, e37481. <https://doi.org/10.14393/SN-v31n1-2019-37481>
- Lisboa, V., Eloy, H. R. F., Catter, K. M., Vidigal, R. C. A. B., Souza, R. L. M., & Matias, J. F. N. (2020). Piscicultura marinha brasileira: desafios e perspectivas do seu desenvolvimento no estado do Ceará. *Sistemas & Gestão*, 15(2), 113-122. <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2020.v15n2.1636>
- Lopes, C. L., Mendes, R., Caçador, I., & Dias, J. M. (2020). Assessing salt marsh extent and condition changes with 35 years of Landsat

- imagery: Tagus Estuary case study. *Remote Sensing of Environment*, 247, 111939. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111939>
- Loureiro, C. V., & de Oliveira, C. F. (2019). Os aspectos socioeconômicos do manguezal do rio Coreaú e sua relação com a sustentabilidade ambiental. *Conexões-Ciência e Tecnologia*, 13(5), 78-83. <https://doi.org/10.21439/conexoes.v13i5.1812>
- Maia, R. C., Silva, K. N., Benevides, J. D. A. J., Amorim, V. G., & de Sousa, R. M. (2019). Impactos ambientais em manguezais no Ceará: causas e consequências. *Conexões-Ciência e Tecnologia*, 13(5), 69-77. <https://doi.org/10.21439/conexoes.v13i5.1797>
- Marinha do Brasil. (2023). *Cartas Náuticas*. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dhn/chm/cartas-nauticas>
- Monteiro, J. B., Zanella, M. E., & de Carvalho Pinheiro, D. R. (2021). A contribuição da técnica dos quantis na identificação de extremos de chuva e de uma metodologia para detectar situações de desastre natural no semiárido cearense. *Revista Geografias*, 17(2), 1-16. <https://doi.org/10.35699/2237-549X.2021.36790>
- Nascimento, D. V., Hadlich, G. M., Mendonça, L. F. F., Lentini, C. A. D., Mascarenhas, R. B., & da Silva Júnior, J. B. (2022). Evolução espacial de apicuns: fatores antrópicos e naturais na Baía de Todos os Santos, costa nordeste do Brasil. *Ra'e Ga*, 53, 116-139. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v53i0.79573>
- Oliveira Júnior, M. A. C. de, Gomes, É. R., & Rocha, G. C. (2021). Impactos ambientais da carcinicultura em ambientes costeiros: avaliação a partir de análise bibliométrica. *Revista de Geociências do Nordeste*, 7(2), 193-201. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n2ID23928>
- Pinheiro, C. D. P. da S., Sarmento, I. C. C., & Santos, D. S. dos. (2020). Análise dos riscos de erosão costeira em uma praia localizada no Nordeste do estado do Pará. *Nature & Conservation*, 14(1), 62-70. <https://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2021.001.0007>
- Pinto, A. R. M., Coelho, D. D. C. L., da Silva, P. C. M., Fernandes, R. T. V., de Sousa Junior, A. M., Fernandes, R. T. V., & de Araújo, A. B. A. (2022). Uso de geotecnologias para o mapeamento das áreas de apicum em uma região ocupada pela atividade salineira. *Natural Resources*, 12(2), 148-157. <https://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2022.002.0014>
- QGIS Development Team. (2022). QGIS Geographic Information System (Version 3.22.16). Open Source Geospatial Foundation. Disponível em: <https://qgis.org>
- Santos, A. L. G. dos, & Furlan, S. A. (2021). Quem ganha e quem perde com a falta de proteção aos manguezais?: aspectos da Resolução Conama n 303/2002. *Revista do Departamento de Geografia*, 41, e184973. <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.184973>
- Silva, H. J. H. da, & Pierri, N. (2022). A retomada da carcinicultura no Brasil (2012–2020): flexibilização das normativas e impactos socioambientais. *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente (DMA)*, 60, 182-205. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v60i0.80348>
- Silva, W. R. M. da. (2022). Políticas públicas de regularização jurídica das ocupações em áreas de APP's e reserva legal: pequenas propriedades. *Novos Direitos*, 9(1), 123-149. Recuperado de <http://www.revistas.unifan.edu.br/index.php/RevistaICJ/article/view/926>
- Silva-Júnior, J. J., Nicácio, G., & Rodrigues, G. G. (2020). A carcinicultura nos manguezais do Nordeste brasileiro: problemáticas socioambientais nas comunidades tradicionais. *Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais*, 9(2), 70-84. <https://doi.org/10.46802/rmsde.v9i2.245816>
- Souza, A. C., & Santos, D. P. S. (2023). Espaços territoriais especialmente protegidos: poder público e coletividade na promoção do meio ambiente ecologicamente equilibrado. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 9(5), 2215-2248. <https://doi.org/10.51891/rease.v9i5.9966>
- Sunkur, R., Kantamaneni, K., Bokhoree, C., & Ravan, S. (2023). Mangroves' role in supporting ecosystem-based techniques to reduce disaster risk and adapt to climate change: A review. *Journal of Sea Research*, 196, 102449. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2023.102449>
- Wang, Y.-S., & Gu, J.D. (2021). Ecological responses, adaptation and mechanisms of mangrove wetland ecosystem to global climate change and anthropogenic activities. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 162, 105248. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2021.105248>
- Yang, P., Shu, Q., Liu, Q., Hu, Z., Zhang, S., & Ma, Y. (2021). Distribution and factors influencing organic and inorganic carbon in surface sediments of tidal flats in northern Jiangsu, China. *Ecological Indicators*, 126, 107633. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107633>