

CAPÍTULO 4

IMPACTOS AMBIENTAIS EM ECOSSISTEMAS COSTEIROS ADJACENTES AO ESTUÁRIO DO RIO CLARO: RELATO DE EXPERIÊNCIA INTERDISCIPLINAR COM SUBSÍDIOS PARA A CRIAÇÃO DE UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO

Data de submissão: 14/11/2024

Data de aceite: 02/12/2024

Alexandre Nava Fabri

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA - Universidade Federal do Maranhão (UFMA).
<https://orcid.org/0000-0003-2659-8939>

Ana Talita Galvão Freire

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA - Universidade Federal do Maranhão (UFMA).
<https://orcid.org/0000-0002-1789-7075>

Joelson Caco Pereira da Graça

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA - Universidade Federal do Maranhão (UFMA).
<https://orcid.org/0000-0003-3907-7737>

Josélia Castro da Silva Martins

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA - Universidade Federal do Maranhão (UFMA).
<https://orcid.org/0000-0001-5247-4708>

Kely Silva dos Santos

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA - Universidade Federal do Maranhão (UFMA).
<https://orcid.org/0009-0009-8956-1026>

Lucio Adriano Teixeira de Moraes

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA - Universidade Federal do Maranhão (UFMA).
<https://orcid.org/0009-0007-6280-4003>

James Werllen de Jesus Azevedo

Professor Doutor da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) – Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI) - Vila Bacanga, São Luís - Maranhão, 65065-545, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-7034-4592>

Flávia Rebelo Mochel

Professora Doutora da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) – Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI) - Vila Bacanga, São Luís - Maranhão, 65065-545, Brasil
<https://orcid.org/0000-0001-5911-3171>

RESUMO: O estuário do rio Claro, localizado no norte de São Luís, representa um ecossistema costeiro crítico composto por manguezais, dunas, restingas e marismas. Mediante abordagem interdisciplinar envolvendo pesquisadores de diferentes áreas (oceanografia, biologia, geografia, engenharia ambiental, arqueólogo), este

estudo investigou os impactos do crescimento urbano desordenado sobre os recursos hídricos e a biodiversidade local, alinhando-se ao ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis e ODS 15 - Vida na Terra. Utilizando análise integrada de dados geoespaciais (MapBiomas e FIRMS) e observações de campo, identificou-se significativa degradação ambiental, incluindo eutrofização, alteração do regime hidrológico e fragmentação de habitats. Os resultados revelaram redução de 98,68% da cobertura vegetal natural entre 1985 e 2023, com conseqüente comprometimento de espécies-chave da cadeia alimentar. Observou-se que o ecossistema de manguezal, embora impactado, apresenta espécies importantes como caranguejos, aves marinhas e mamíferos fundamentais para a cadeia alimentar e dispersão de sementes. Como estratégia de conservação, propõe-se a criação de uma Unidade de Conservação, visando mitigar impactos antrópicos, restaurar áreas degradadas e assegurar a sustentabilidade ecológica do estuário. O relato de experiência envolvendo discentes e docentes de pós-graduação, se propôs demonstrar a importância da atuação interdisciplinar na proposição de soluções para problemas da sociedade, contribuindo para pesquisas, fornecendo dados para estudos de caso, para a orientação de boas práticas e para a tomada de decisões em políticas públicas.

PALAVRAS-CHAVE: Unidade de conservação, urbanização, restauração ecológica

ENVIRONMENTAL IMPACTS ON COASTAL ECOSYSTEMS ADJACENT TO THE RIO CLARO ESTUARY: REPORT OF AN INTERDISCIPLINARY EXPERIENCE WITH SUBSIDIES FOR THE CREATION OF A PROTECTED AREA

ABSTRACT: The Claro River estuary, located in the northern region of São Luís, represents a critical coastal ecosystem composed of mangroves, dunes, sandbanks, and marshes. Through an interdisciplinary approach involving researchers from diverse fields (oceanography, biology, geography, environmental engineering and Archaeologist), this study investigated the impacts of disorderly urban growth on water resources and local biodiversity, aligning with SDG 11 - Sustainable Cities and Communities and SDG 15 - Life on Land. Using an integrated analysis of geospatial data (MapBiomas and FIRMS) and field observations, significant environmental degradation was identified, including eutrophication, hydrological regime alteration, and habitat fragmentation. Results revealed a 98.68% reduction in natural vegetation cover between 1985 and 2023, with consequent impairment of key species in the food chain. It was observed that the mangrove ecosystem, although impacted, presents important species such as crabs, marine birds, and mammals fundamental to the food chain and seed dispersal. As a conservation strategy, the creation of a Conservation Unit is proposed, aiming to mitigate anthropogenic impacts, restore degraded areas, and ensure the ecological sustainability of the estuary. The experience report involving graduate students and professors proposed to demonstrate the importance of interdisciplinary action in proposing solutions to societal problems, contributing to research, providing data for case studies, guiding best practices, and supporting decision-making in public policies.

KEYWORDS: Conservation unit, urbanization, ecological restoration

1 | INTRODUÇÃO

O conceito de sustentabilidade urbana é crucial para o desenvolvimento de práticas que minimizem os impactos negativos do crescimento urbano, promovendo uma interação equilibrada entre urbanização e meio ambiente (SOTTO et al., 2019), algo alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis e ODS 15 - Vida na Terra. A complexidade dos desafios ambientais contemporâneos demanda abordagens interdisciplinares que integrem múltiplas perspectivas científicas, permitindo uma compreensão holística dos fenômenos socioambientais. No contexto brasileiro, a expansão urbana em grandes cidades, frequentemente realizada sem o devido planejamento, tem gerado impactos diretos nos recursos hídricos e nas bacias hidrográficas (LIMA et al., 2023).

A bacia hidrográfica do rio Claro é uma microbacia litorânea localizada na parte norte da cidade de São Luís, no Estado do Maranhão, Brasil, que desempenha um papel importante para a sustentabilidade da região, abrigando ecossistemas sensíveis e uma biodiversidade local (COSTA et al., 2014). Ao longo dos anos, essa bacia tem sido impactada negativamente pela crescente urbanização no seu entorno. As diversas pressões antrópicas têm descaracterizado as formações naturais da bacia do rio Claro, colocando em risco todo um complexo sistema de suporte à vida (LIMA et al., 2023). As áreas verdes têm sido suprimidas e/ou soterradas com visíveis prejuízos para algumas de suas nascentes e sua biodiversidade, o que conseqüentemente diminui o habitat de muitos organismos, causando o desaparecimento de algumas espécies da fauna (COSTA et al., 2014). Há ainda várias fontes de contaminação da bacia, tais como o descarte inadequado de resíduos sólidos e a disposição de efluentes domésticos não tratados que, conseqüentemente, afetam a qualidade das águas e comprometem a integridade ecológica e a função ambiental da bacia como um todo (COSTA et al., 2014).

Com isso, a relevância ecológica da bacia do rio Claro associada as pressões antrópicas a qual tem estado vulnerável, motivou a presente investigação científica caracterizada pela congregação de pesquisadores pertencentes a diferentes áreas do conhecimento, incluindo oceanografia, biologia, geografia, engenharia ambiental e arqueologia. Assim sendo, este estudo fundamenta-se no relato de experiência de discentes de Doutorado e Mestrado e docentes mentores da Componente curricular de Recuperação de Áreas Degradadas, do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Maranhão (PRODEMA/UFMA).

Neste contexto, o presente estudo objetiva analisar, criticamente, os impactos ambientais na bacia do rio Claro, compreendendo suas dinâmicas de transformação, e propor estratégias efetivas de preservação e restauração de áreas degradadas, que possam mitigar os danos ambientais e recuperar os serviços ecossistêmicos.

2 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 Estabelecimento do estudo

A construção do Relato de Experiência baseou-se na abordagem interdisciplinar, reunindo 5 doutorandos, 1 mestranda e 2 docentes mentores do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), com formações em diversas áreas, tais como engenharia ambiental, engenharia sanitária, geografia, arqueologia, oceanografia, ciências biológicas e geociências. As atividades teóricas, de campo e análises foram realizadas em conjunto, integrando conhecimentos e reflexões. As bases teóricas partiram das aulas da Componente curricular de Recuperação de Áreas Degradadas, incluindo documentação sistemática, leitura e análise reflexiva de documentos bibliográficos e cartográficos, apresentação de seminários e estudos de caso. Apresentou-se as bases da Metodologia Ecológica Rápida (AER, 2019) , para aplicação da etapa de diagnóstico preliminar, em campo. Foram distribuídas fichas aos discentes, contendo orientações sobre que informações deveriam ser obtidas em campo, além de outras que o grupo achasse pertinente acrescentar (Quadro 1).

| Orientações Bibliográficas | Atividades Bibliográficas | Atividades de Laboratório | Atividades de Campo | Atividades de Análise | Atividades de Síntese |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Experiência 1 | | | | | |
| Experiência 2 | | | | | |
| Experiência 3 | | | | | |
| Orientações Bibliográficas | Atividades de Laboratório | Atividades de Campo | Atividades de Análise | Atividades de Síntese | Atividades de Síntese |
| Experiência 1 | | | | | |
| Experiência 2 | | | | | |
| Experiência 3 | | | | | |
| Orientações de Análise | Orientações de Síntese | Orientações de Síntese | Orientações de Síntese | Orientações de Síntese | Orientações de Síntese |
| Experiência 1 | | | | | |
| Experiência 2 | | | | | |
| Experiência 3 | | | | | |
| Experiência 4 | | | | | |

Quadro 1.

Fonte: elaborado pelos autores, 2024

A metodologia empregada combinou técnicas de sensoriamento remoto e algoritmos de aprendizado de máquina. Utilizou-se um VANT (DJI MAVIC AIR 2), câmeras fotográficas e dados de fontes oficiais, como: Banco de Dados Geográficos do Exército (BDGEx), Modelo Digital de Elevação (MDE) Copernicus, Dados climatológicos do CEMADEN, Dados de Solos da EMBRAPA e Dados Geológicos do Serviço Geológico do Brasil (SGB). Foram utilizados também dados da Coleção 9 do MapBiomas e do sensor VIIRS para análise de focos de calor. Os dados foram exportados em formato .csv, processados no Microsoft

Excel, ArcGIS e Google Earth Engine para elaboração de gráficos, mapas, quantificação de áreas e análises estatísticas (MapBiomass, 2024; FIRMS, 2024)

2.2 Caracterização da área

A bacia hidrográfica do Rio Claro, localizada em São Luís, Maranhão, abrange os bairros Turu, Araçagy e Olho D'Água. O estudo focou no estuário do rio, zona litorânea, no bairro Olho D'Água (S 2° 28' 51,21", W 44° 14' 01,13"). O clima é tropical chuvoso (AW), com precipitação anual de 2.300 mm, com estação chuvosa de janeiro a junho e estação seca de julho a dezembro, e temperatura média de 26°C (Pinheiro *et al*, 2019; Nascimento, 2024). Com uma área de 3,33 km², essa bacia é parte de um complexo de bacias costeiras de grande relevância ecológica.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Histórico evolutivo da Bacia do Rio Claro

São Luís, fundada pelos franceses em 1612 e conquistada pelos portugueses em 1615, possui importante patrimônio histórico e natural. Ao longo dos séculos, desenvolveu arquitetura rica e diversa. No século XIX, ocorreu um processo de modernização, com construção de estradas e tecnologias como máquinas a vapor. Reformas urbanas ampliaram ruas e criaram parques (Matos, 2014). O desenvolvimento urbano foi impulsionado pela construção de pontes e estradas. A Lei Estadual nº 394 (1905) oficializou a estação balneária no Olho d'Água, impulsionando o desenvolvimento local (Lima, 2013). Nos anos 1970 o desenvolvimento urbano expandiu-se por ocasião da construção da Barragem do Rio Bacanga, conectando o centro ao Porto do Itaqui, e a Ponte José Sarney, que possibilitou o acesso aos novos bairros e às praias da região, como Ponta d'Areia, São Marcos, Calhau e Olho d'Água. O antigo "Caminho Grande", hoje denominado Avenidas Getúlio Vargas e João Pessoa, representou um eixo central para o desenvolvimento urbano de São Luís, pois a travessia pelos rios Bacanga e Anil era dificultada pela topografia e pelos manguezais (Lima, 2013).

A costa de São Luís apresenta toponímias que refletem sua história, como Joroci, Mato Grosso e Araçagi. A presença indígena é evidenciada por nomes como Coeup, Uçaguaba e Jaguarema (nome original da Praia do Olho d'Água) e outras (Matos, 2014). Para Meireles (1980), Bettendorff (2010) e Matos (2014) um exemplo notável da conexão histórica e cultural entre os habitantes da cidade e os recursos hídricos circundantes é a Praia do Olho d'Água. Seu nome está associado a uma lenda indígena, que das lágrimas dos olhos de uma jovem apaixonada por um guerreiro, formaram-se duas nascentes perenes de água doce (os olhos d'água). Essa praia tornou-se um local balneário no século XX para a população que buscava banhos terapêuticos, impulsionando melhorias

de infraestruturas de transportes e vias de acesso que ligam bairros como Anil e Turu às praias da cidade, assim como a construção da estrada de Ferro do Anil (1980), as iniciativas como o Plano Rodoviário de 1950 promoviam a melhoria das infraestruturas de transporte em São Luís, facilitando a integração regional e urbana. A Praia do Olho d'Água, além de seu papel recreativo, destacou-se como um importante centro econômico. Em 1963, foi instituída como Distrito Fiscal pela Lei Municipal nº 1.416, o que aumentou sua relevância na economia local e consolidou sua posição como uma área de interesse para o planejamento urbano e o turismo.

A transformação do Olho d'Água em um centro balneário e sua institucionalização como Distrito Fiscal atenderam não só às necessidades de saúde e lazer da população, mas também promoveram o crescimento urbano, reforçando a ligação dos ludovicenses com o meio aquático que caracteriza a cidade. Esses processos históricos revelam como o desenvolvimento de São Luís foi moldado pela interação entre suas características naturais, culturais e econômicas, consolidando uma identidade única que persiste até os dias atuais.

3.2 Geodiversidade da Bacia do Rio Claro

A bacia sedimentar costeira de São Luís, onde se insere a bacia do Rio Claro, tem origem no Cretáceo Inferior. Localiza-se no Golfão Maranhense, extremo norte do Maranhão (Ab'Saber, 1960). Inserida no Golfão Maranhense, a Ilha do Maranhão faz parte da zona costeira maranhense, onde se encontram estuários, reentrâncias, praias, extensa área de manguezais com mais de 2.100 km² e concentra a maior densidade demográfica do estado.

No final do Eocretáceo, com o soerguimento das rochas pré-cambrianas, formaram-se as bacias de São Luís, Barreirinhas e Parnaíba (Feitosa e Christofolletti, 1993). A estratigrafia apresenta sedimentos da Formação Itapecuru (Cretáceo), Série Barreiras (Terciário) e Formação Açui (Quaternário) (Cavalcante & Tarouco, 1988).

A região recebe 2.400-2.500 mm de precipitação anual, concentrados entre janeiro e julho, (CEMADEN, 2024) seguido por estiagem, com dias, até semanas, sem precipitação. Esse período se caracteriza pelo aumento das temperaturas e da velocidade dos ventos, além redução da umidade relativa do ar. (Pinheiro *et al*, 2019) (Figura 1).

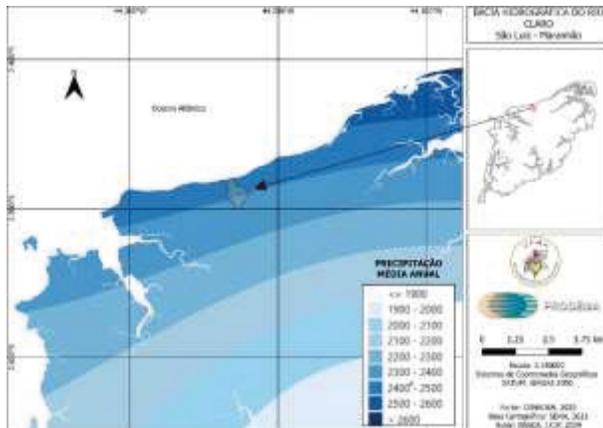


Figura 1: Pluviometria na B.H. Rio Claro, 2024

Fonte: CEMADEN, 2024

A urbanização impermeabilizou grande parte do solo da bacia do rio Claro, descaracterizando a predominância dos depósitos sedimentares eólicos sobre os Latossolos. Predominam os solos urbanos de média densidade, com alto índice erosivo (EMBRAPA/SOLOS, 2022) (Figura 2).

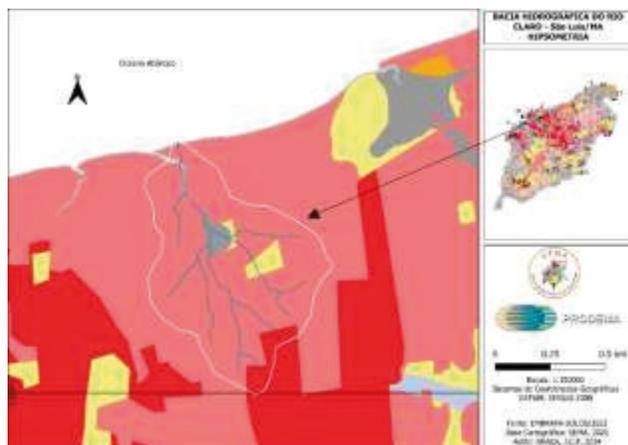


Figura 2. Solos da B.H. Rio Claro, 2024

Fonte: EMBRAPA/SOLOS, 2022

A bacia do rio Claro apresenta topografia plana, com unidades de relevo como tabuleiros (R2a1; R2a2 e planícies fluvio-marinhas dominadas por manguezais (R1geo/ CPRM, 2022) (Figura 3). Essas feições geomorfológicas típicas de áreas costeiras, são resultantes do intemperismo e processos de erosão e deposição (Dantas, 2016).

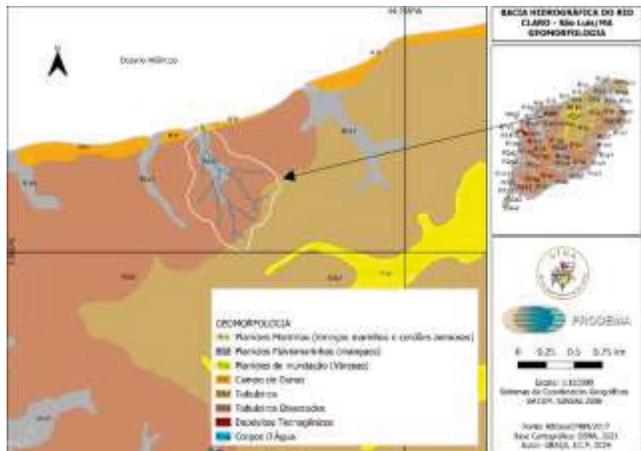


Figura 3. Geomorfologia da B.H. Rio Claro, 2024

Fonte: Rlgeo/CPRM, 2022

Na bacia hidrográfica do rio Claro, o relevo relativamente plano, com variações topográficas de pequena amplitude, apresenta altitudes máximas de 38 metros, coincidindo com o limite dos tabuleiros centrais da ilha, onde está localizada a maioria das nascentes. (Figura 4).

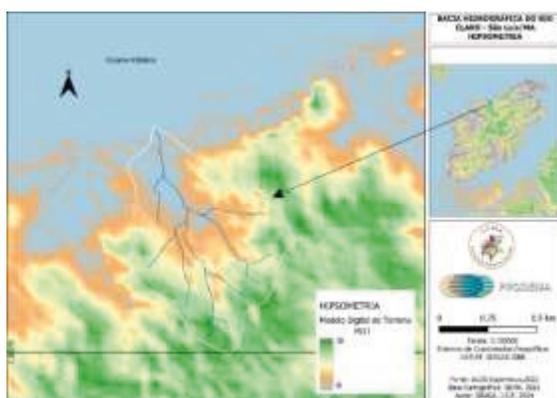


Figura 4: Hipsometria da B.H. Rio Claro, 2024

Fonte: ALOS/Copernicus, 2022

A bacia do rio Claro possui uma rede de canais de pequeno calibre. A urbanização acelerada e intervenções, como o prolongamento da Avenida Litorânea, promoveram novos impactos negativos, que juntamente com os apresentados neste estudo, comprometem sua biodiversidade e beleza cênica. Essas ações contribuem para o acúmulo de areia, reconfigurando a foz do rio Claro, que passou a ter uma drenagem paralela à praia. Na carta topográfica do Exército Brasileiro de 1976, o rio Claro possuía drenagem perpendicular

a praia, indicando boa energia e vazão (Figura 5).

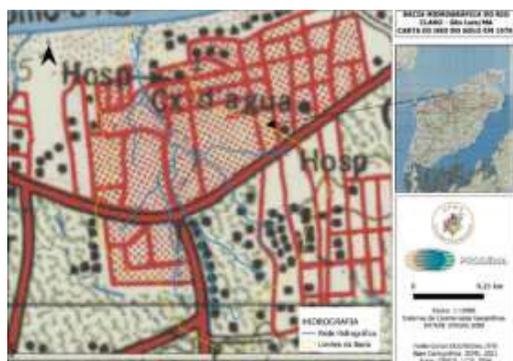


Figura 5. Cara topográfica do Exército Brasileiro de 1976

Fonte: DBGex,2024

3.3 Flora e fauna da área

O litoral maranhense é cortado por rios e canais de maré, criando ambientes ideais para manguezais (Mochel; Ponzoni, 2007). Esses ecossistemas abrigam diversificada biodiversidade, incluindo peixes, crustáceos e aves (Akram, 2023) e fornecem benefícios como a proteção da costa, regulação da drenagem e dinâmica hídrica, entre outros.

Na porção jusante do estuário do Rio Claro, identificou-se um mosaico de ecossistemas com vegetação composta por espécies adaptadas às condições locais. Nas dunas remanescentes destacaram-se as espécies *Ipomoea pes-caprae* (salsa de praia), *Blutaparon portulacoides*, *Crotalaria* sp (chocalho de cascavel) e *Cocos nucifera* (coqueiro de praia). Nas marismas, encontram-se herbáceas e gramíneas como *Paspalum vaginatum* e *Sporobolus virginicus*. Nas restingas, registrou-se a ocorrência de *Cnidocolus* sp. (cansanção ou urtiga). No ecossistema manguezal, foram observadas *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* com flores e propágulos (Figura 6) e *Avicennia germinans* com muitas inflorescências (Figura 7).



Figura 6. Inflorescências e propágulos da espécie de manguezal *Laguncularia racemosa* no estuário do Rio Claro.

Fonte: os autores



Figura 7. Inflorescências da espécie de manguezal *Avicennia germinans* no estuário do Rio Claro

Fonte: os autores

A fauna do litoral de São Luís caracteriza-se por uma biodiversidade rica e diversificada, com capacidade de adaptação aos ecossistemas costeiros. O estuário funciona como um berçário natural, apresentando uma variedade de espécies de mamíferos, aves, répteis e anfíbios, que proporcionam condições favoráveis para espécies endêmicas e migratórias (Bertoldi & Damasceno, 2020).

O estuário abriga uma rica biodiversidade, com espécies adaptadas aos ecossistemas costeiros e habitats propícios a espécies migratórias (maçaricos) e endêmicas, (Bertoldi & Damasceno, 2020). Foram registradas espécies como caranguejos (*Ucides cordatus*), bem-te-vis (*Pitangus sulphuratus*), beija-flores (Trochilidae), aves marinhas como gaivotas (*Larus* sp) e garças branca e cinza (*Egretta alba*, *E. caerulea*), paca (*Agouti paca*) e cardumes de alevinos em ambiente eutrofizado (Branco, 2004; Embrapa, 2013; Zanata, 2023 ; Mendes, 2011; Silveira, 2024).

Durante as atividades de campo, foram observadas diversas tocas de caranguejos e indivíduos de *Uca* sp (chama-maré) na foz do rio Claro (Figuras 8a e 8b). As tocas mostraram-se um importante abrigo contra as condições ambientais da superfície, que se apresentou muito quente e seca durante a maré baixa. Os caranguejos desempenham papel crucial no ecossistema, influenciando a dinâmica da serapilheira e criando habitats (Schories, 2003; Kristensen, 2008). A pesca artesanal de caranguejo é fundamental para as comunidades locais (Schories, 2003; Silva et al., 2024). Portanto, a conservação desses ecossistemas é essencial para manter o equilíbrio ecológico e econômico.



Figura 8. Registro de fauna na foz da Bacia do Rio Claro. (a) Imagem de tocas de caranguejos em diferentes tamanhos; (b) identificação de caranguejo no estuário do rio Claro.

Fonte: os autores.

Diversos fatores influenciam significativamente a capacidade de armazenamento de carbono nos manguezais, como a composição de espécies, idade da floresta, geomorfologia, frequência de inundação de maré, distúrbios antropogênicos, características do solo e sedimentação (Alongi, 2022). A deterioração ambiental afeta a fauna e flora. A perda de biodiversidade e a redução da qualidade da água são consequências da poluição e da degradação (Akram, 2023).

3.4 Impactos Ambientais observados

A área estuarina do Rio Claro apresenta condições ambientais críticas. A eutrofização, e poluição visual são resultados da urbanização desordenada (Silva et al., 2014). A construção da ponte e da estrada desviou o curso natural do rio, alterando a dinâmica hídrica e causando fragmentação de habitats. A fragmentação ocasiona a redução da capacidade de dispersão e sobrevivência de espécie, redução de áreas de vegetação nativa e diminuição da qualidade da água (Lima et al., 2023).

Com a poluição das águas do rio Claro, assoreamento e a perda da mata ciliar, causada pelo descarte inadequado de resíduos sólidos e pela alta concentração de nutrientes resultantes do esgoto doméstico lançado sem tratamento adequado, a fauna aquática também é diretamente afetada (Silva et al, 2014). A expansão urbana em São Luís, Maranhão, gera impactos diretos nos recursos hídricos. A bacia do Rio Claro apresenta condições ambientais adversas devido à urbanização desordenada (Lima et al., 2013). No entanto, a expansão urbana, especialmente em regiões de praias e áreas de maré, tem alterado significativamente a dinâmica hídrica e comprometido a qualidade da água, trazendo sérias implicações para a saúde pública e para a sustentabilidade ambiental (Lima

et al., 2023). Em 1981, a bacia do Rio Claro possuía 16 canais fluviais, sendo 9 de primeira ordem. Em 42 anos, observou-se uma redução significativa desses canais, decorrente do aterramento para a construção de condomínios e estabelecimentos comerciais. Dos 9 canais de primeira ordem, 7 foram aterrados, e os restantes estão poluídos em função do lançamento de efluentes não tratados, configurando um cenário que não só ameaça o equilíbrio ambiental da bacia, mas também compromete a saúde pública ao expor a população a problemas sanitários (Lima et al., 2023).

Os crescentes problemas da falta de tratamento de esgoto, disposição inadequada de resíduos e destruição da vegetação ciliar, afetam qualidade das águas da microbacia e a vida da população (Silva et al., 2014). As análises de qualidade da água revelaram que o Índice de Qualidade das Águas (IQA) variou de “Boa” na foz do rio até “Razoável” em outros pontos. O Índice de Estado Trófico (IET) indicou que todos os pontos amostrados estavam em condição de “Hipereutrófico”, devido à alta concentração de nutrientes, resultando em proliferação de algas, sendo o ponto mais crítico localizado no bairro Divinéia, com altos níveis de nitrogênio e fósforo devido ao despejo contínuo de efluentes e a ausência de infraestrutura de tratamento de resíduos. Apesar da DBO mostrar-se dentro dos limites aceitáveis, o oxigênio dissolvido era insuficiente para manter a fauna aquática. Os altos níveis de coliformes termotolerantes em certos pontos confirmaram a contaminação por esgoto doméstico, enquanto a turbidez elevada e a presença de sólidos totais indicaram acúmulo de resíduos e sedimentos (SILVA, 2014). A degradação da qualidade da água e os problemas observados exigem um monitoramento contínuo, servindo de base para ações de conservação e recuperação.

Nas atividades de campo, constatou-se a presença de resíduos sólidos na foz do rio Claro, incluindo lixo doméstico e entulho de construção civil (Figura 9). Efluentes sanitários também foram identificados, possivelmente oriundos de escoamento irregular de residências nas proximidades. Essas evidências demonstram práticas inadequadas de disposição de resíduos e esgotamento sanitário. Essa situação remete à necessidade de intervenções em infraestrutura e políticas de conscientização ambiental junto a população urbana e comunidades, visando à mitigação dos danos e à preservação dos recursos hídricos locais. Em ecossistemas estuarinos, a resiliência representa a capacidade de se recuperar de perturbações que podem ser persistentes (Alongi, 2008). Os manguezais presentes na área possuem adaptações que possibilitam sua ocorrência em áreas contaminadas, mas com prejuízo de seus serviços ecossistêmicos (Silva; Fontgalland, 2021).

No Brasil, os rios se encontram protegidos por lei (Resolução Conama nº 357/2005, Lei nº 9.605/1998, Lei nº 9.433/1997), assim como os manguezais (Resolução Conama 303/2002 e Leis Federais 9.605/1998, 11.428/2006 e 12.651/2012). Entretanto, verifica-se que o não cumprimento às leis e a falta de fiscalização contínua facilitam a degradação e poluição do rio Claro.



Figura 9. Registro de resíduos sólidos na foz do Rio Claro. (a) Garrafa de vidro na área de manguezal; (b) pneu de automóvel à margem do Rio Claro; (c) caixa de papelão e sacos plásticos presos nas raízes das plantas dentro do Rio Claro; (d) a vegetação disputando espaço com a poluição.

Fonte: os autores.

3.4.1 Impactos da Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra na Bacia do Rio Claro e Ocorrência de Queimadas

A dinâmica do uso e cobertura da terra na Bacia do Rio Claro revelou uma tendência de antropização crescente. De 1985 a 2023, áreas antropizadas aumentaram 31,67% (de 173 hectares ha em 1985 para 228 ha em 2023) com uma média anual de 209 ha ano⁻¹. (Figura 10). Por outro lado, as áreas de vegetação natural diminuíram de 47 hectares (ha) em 1985, para 0,63 ha em 2023, ou seja, uma redução de 98,68% com uma média anual de 13,26 ha ano⁻¹. As outras classes de uso e cobertura da terra se mantiveram estáveis ao longo do tempo, com uma média de 10,61 ha ano⁻¹. Entretanto, esses resultados apresentam algumas limitações por terem sido obtidos com dados de 30 m de resolução espacial, do MapBiomias Coleção 9.

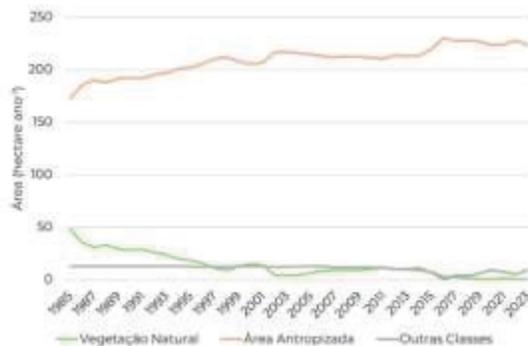


Figura 10. Dinâmica temporal do uso e cobertura da terra na Bacia do Rio Claro entre 1985 e 2023.

Fonte: MapBiomias 30 metros (Coleção 9).

A análise realizada entre 2016 e 2022, com resolução espacial de 10 m do MapBiomias, Coleção Beta, confirma essa tendência. Áreas antropizadas cresceram 0,50% (210 ha em 2016, para 211ha em 2022) com média de área de 201 ha ano-1 (Figura 11) enquanto a vegetação natural reduziu em 0,50% (16 ha em 2016 e 15 ha em 2022).

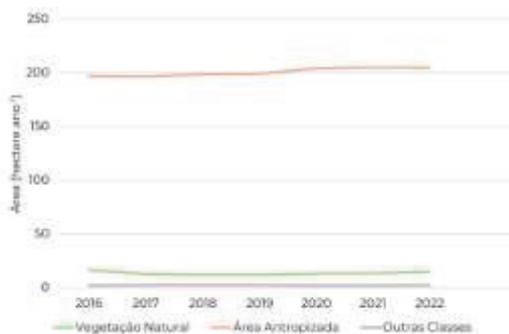


Figura 11. Dinâmica temporal do uso e cobertura da terra na Bacia do Rio Claro entre 2016 e 2022

Fonte: MapBiomias 10 metros (Coleção Beta).

O padrão de redução das áreas de vegetação natural e aumento de áreas antrópicas, é explicado, principalmente, pela pressão imobiliária na área que provocou ao aumento das áreas urbanas. Na Figura 12 é possível ver, espacialmente, em detalhes, as mudanças do uso e cobertura da terra entre 2016 e 2022 na Bacia do Rio Claro.

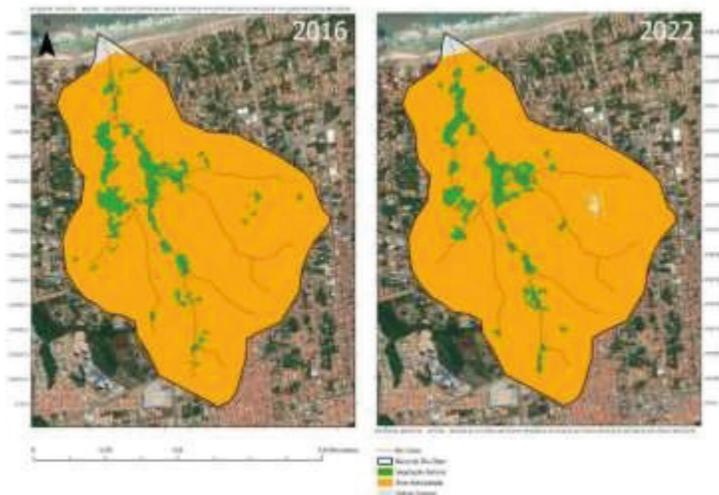


Figura 12. Mapa do uso e cobertura da terra na Bacia do Rio Claro em 2016 e 2022.

Fonte: MapBiomias 10 metros (Coleção Beta).

Sabendo que o processo de conversão entre os tipos de uso e cobertura da terra podem estar associados ao uso do fogo, também foram analisados os focos de calor para a

Bacia do rio Claro. Entre 1 de janeiro de 2012 e 31 de outubro de 2024, foram detectados 6 focos de calor, e todos ocorreram entre 2014 e 2018 (FIRMS, 2024). Durante a realização da atividade de campo, em 2024, presenciou-se uma queimada na vegetação, representando um foco de calor, no estuário do rio Claro (Figura 13).



Figura 13. Foco de fogo registrado na foz da Bacia do Rio Claro. (a) fogo se alastrando para a vegetação; (b) fumaça e material particulado em suspensão no ar, adentrando as residências nas proximidades; (c) identificação de foco de queimada em campo.

Fonte: autores.

O clima tropical úmido, com temperaturas elevadas, estação seca (Santos, 2024) e com ventos fortes (que podem atingir mais de 11,5 km/h) (Weather Spark, 2024), favorece a propagação do fogo, representando risco para espécies e populações locais. A perda de biodiversidade e a degradação ambiental relacionadas aos processos de antropização e ao uso do fogo.

4 | PROPOSTA PARA RESTAURAÇÃO DAS ÁREAS DEGRADADAS NOS ECOSISTEMAS DO ESTUÁRIO DO RIO CLARO

Após a análise integrada dos dados e da discussão crítica e reflexiva do grupo, propôs-se como solução, tanto para restaurar áreas degradadas, quanto para conservar os serviços ecossistêmicos, a criação de uma Unidade de Conservação para o rio Claro, no bairro Olho d'Água, em São Luís (Figura 14). Essa proposta fundamenta-se na necessidade urgente de preservação e conservação dos recursos hídricos e da biodiversidade local. Os ecossistemas presentes no estuário do rio Claro, manguezais, restingas, dunas, são Áreas de Proteção Permanente (APPs), de acordo com a legislação federal e estadual, sendo fundamental manter sua integridade e conectividade.



Figura 14. Mapa da Bacia do Rio Claro, município de São Luís, MA, Brasil

Fonte: autores.

4.1 Aspectos ambientais e legais

A proteção ambiental no Brasil fundamenta-se em um arcabouço legal robusto, representado pela Constituição Federal de 1988 e pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). Estes instrumentos legais, alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 11 e 15), reconhecem os biomas brasileiros, especialmente a Zona Costeira, como patrimônio nacional.

A abordagem interdisciplinar desenvolvida neste estudo evidencia que a conservação do Rio Claro demanda ações integradas entre diferentes campos do conhecimento. A Lei nº 9.985/2000 define duas categorias de Unidades de Conservação (UC): Proteção Integral e Uso Sustentável, considerando as dinâmicas socioecológicas locais.

Para o Rio Claro, a criação de uma Área de Proteção Ambiental (APA) emerge como solução sistêmica de gestão territorial e promoção do desenvolvimento sustentável. Esta proposta visa promover controle da ocupação do solo, implementação de práticas sustentáveis, manutenção da vegetação ciliar e preservação da qualidade hídrica.

As legislações estadual (Lei nº 8.528/2006, nº 9.413/2011) e municipal (Lei nº 3.959/2001) estabelecem diretrizes normativas que potencializam a governança ecológica. O Decreto Estadual nº 36.415/2020, ao regulamentar Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs), introduz mecanismos de conservação que incentivam a participação voluntária de proprietários.

Entende-se que a criação da Unidade de Conservação para o Rio Claro representa um modelo de intervenção socioambiental que articula poder público, comunidade

científica e sociedade civil, visando cenários como a promoção da conservação ambiental, recuperação de áreas degradadas, controle da poluição e fomento da resiliência dos ecossistemas costeiros.

Desta forma, implementar essa área de proteção significa construir um compromisso coletivo com a sustentabilidade, reconhecendo que a proteção dos recursos naturais é condição fundamental para a manutenção de um ambiente equilibrado e para o bem-estar das presentes e futuras gerações em meio a pressão imobiliária que os ambientes costeiros da cidade de São Luís vem sendo submetida.

5 | CONCLUSÃO

A criação de uma Unidade de Conservação para o rio Claro configura-se uma estratégia para o enfrentamento dos impactos do crescimento urbano, proteção dos recursos hídricos, restauração de áreas degradadas, e a promoção do desenvolvimento sustentável em São Luís. Independente da criação dessa UC, são necessárias ações de Educação Ambiental, o monitoramento da área e melhorias na infraestrutura de saneamento básico combate a incêndios. Recomenda-se a continuidade dos estudos nessa área, ampliando as ferramentas de avaliação socioambiental para contribuir com a conservação do rio Claro. Este Relato de Experiência demonstrou como o desenvolvimento profissional pode ser promovido por meio da reflexão, do aprendizado contínuo e pelo compartilhamento de conhecimentos em diversas áreas profissionais. As experiências obtidas pela integração de abordagens teóricas e práticas facilitaram os processos de ensino e aprendizado e mostraram como discentes de pós-graduação, a nível de mestrado e Doutorado, podem se envolver em questões da sociedade. A atuação interdisciplinar dos discentes, além de possibilitar a proposição de soluções para o problema apresentado, pode contribuir para pesquisas, fornecendo dados para estudos de caso, para a orientação de boas práticas e para a tomada de decisões em políticas públicas.

REFERÊNCIAS

Akram, Hina et al. Mangrove health: A review of functions, threats, and challenges associated with mangrove management practices. **Forests**, v. 14, n. 9, p. 1698, 2023. <https://doi.org/10.3390/f14091698>.

Alongi, Daniel M. Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. **Estuarine, coastal and shelf science**, v. 76, n. 1, p. 1-13, 2008.

Alongi, Daniel Michael. Impacts of climate change on blue carbon stocks and fluxes in mangrove forests. **Forests**, v. 13, n. 2, p. 149, 2022. <https://doi.org/10.3390/f13020149>.

Bettendorff, J.F.. *Crônica da missão dos padres da Companhia de Jesus no estado do Maranhão*. Brasília: Senado Federal, Conselho Editorial, 2010. 803 p. (Edições do Senado Federal; 115). Disponível em: <http://www2.senado.leg.br/bdsf/handle/id/568038>. Acesso em: 28 out. 2024.

Bertoldi, M.R.; Damasceno, A.T.M. A conservação da biodiversidade na amazônia e a governança transnacional Ambiental: o programa áreas protegidas da amazônia (arpa) e a experiência local com o parque nacional do cabo orange (pnco). **Revista de Direito da Cidade**, v. 12, n. 4, 2020.

Branco, J.O. **Aves marinhas e insulares brasileiras: biologia e conservação**. Editora da UNIVALI, Itajaí, p. 15-36, 2004.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF**, 19 jul. 2000.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. **Brasília, DF: Senado Federal**, 1988. Art. 255º.

Costa, C.M.C. *et al.* Impactos ambientais configurados no prolongamento da “avenida litorânea”, município de São Luís, Maranhão-Brasil. **Revista observatório geográfico américa latina**. v.14. n.1, 2014.

FIRMS. **Fire Information for Resource Management System**. 2024. Disponível em: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>. Acesso em: 18/10/2024.

Kristensen, E. Mangrove crabs as ecosystem engineers; with emphasis on sediment processes. **Journal of sea Research**, v. 59, n. 1-2, p. 30-43, 2008.

Lima, C. G. et al. Impactos ambientais e sua relação com o uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Claro, Ilha do Maranhão-MA, Brasil. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente, Fortaleza**, v. 4, n. 3, p. 1-7, 2023.]

Lima, C.S.; da Silva, J. A expansão urbana em São Luís-MA a partir da ampliação da avenida litorânea e seus impactos ambientais. IV **Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Salvador/BA** – 25 a 28/11/2013.

MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual de uso e cobertura da terra no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 07/10/2024.

MARANHÃO. Lei Estadual nº 9.413, de 28 de julho de 2011. **Diário Oficial do Estado do Maranhão, São Luís**, 28 jul. 2011.

MARANHÃO. Decreto Estadual nº 36.415, de 04 de março de 2020. **Diário Oficial do Estado do Maranhão, São Luís**, 04 mar. 2020.

MARANHÃO. Lei Estadual nº 8.528, de 28 de dezembro de 2006. **Diário Oficial do Estado do Maranhão, São Luís**, 28 dez. 2006.

Matos, H.R.C. **Análise Toponímica de 81 nomes de bairros de São Luís**. São Luís, MA. 2014. Meireles, M. M. História do Maranhão. 2ª ed. **São Luís: Fundação Cultural do Maranhão**, 1980.

Mendes, M.M. Helminhos e ácaros nasais parasitos de *Pitangus sulphuratus* (Passeriformes: Tyrannidae), bem-te-vi, no Rio Grande do Sul. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Pelotas. 2011.

Nascimento, G. V. S. do; Silva, I. W. H. da; Nascimento, M. B. do. Análise da precipitação anual e da quadra chuvosa para o município de São Luís, Maranhão. **Para Onde!?**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, 2024. DOI: 10.22456/1982-0003.133034. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/paraonde/article/view/133034>. Acesso em: 02/11/2024.

Pinheiro, Juarez Mota; Araújo, Ronaldo Rodrigues. Impactos do Fenômeno El Niño e La Niña no Município de São Luís–Maranhão. **Revista GeoUECE**, v. 8, n. 15, p. 124-136, 2019

Mochel, F.R.; Ponzoni, F.J. Spectral characterization of mangrove leaves in the Brazilian Amazonian Coast: Turiçu Bay, Maranhão State. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 79, p. 683-692, 2007.

Santos, L.E.N.dos. Prefeitura de São Luís. **Caracterização sócio-ambiental de São Luís-MA**. Disponível em: https://saoluis.ma.gov.br/midias/anexos/2241_2228_caracterizacao_socioambiental_de_sao_luis.pdf. Acesso em: 01/11/2024.

SÃO LUÍS. Lei Municipal nº 3.959, de 17 de dezembro de 2001. **Diário Oficial do Município de São Luís, São Luís**, 17 dez. 2001.

Schories, D. *et al.* The keystone role of leaf-removing crabs in mangrove forests of North Brazil. **Wetlands ecology and management**, v. 11, p. 243-255, 2003.

Silva, E.J.; Fontgalland, I.L. Ações e políticas públicas nos manguezais para a preservação dos serviços ambientais. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e585101523345-e585101523345, 2021.

Silva, F.B. *et al.* CLASSIFICAÇÃO DA MICROBACIA DO RIO CLARO, UTILIZANDO OS ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA) E DE ESTADO TRÓFICO (IET). In: **V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Belo Horizonte/MG**. 2014.

Silva, J.V.da *et al.* Mapeamento participativo do território do Mangue Seco, como contribuição à oceanografia socioambiental, município da Raposa, Maranhão, Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 2, n. 46, p. 119-131, 2024.

Silveira, F. F. Fauna Digital do Rio Grande do Sul, 2018. Bird and Mammal Evolution, Systematics and Ecology Lab - UFRGS. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/faunadigitalrs/mamiferos/ordem-rodentia/familia-cuniculidae/paca-cuniculus-paca/>> Acesso em: 01/11/2024.

Sotto, D. *et al.* Sustentabilidade urbana: dimensões conceituais e instrumentos legais de implementação. **Estudos Avançados**, v. 33, p. 61-80, 2019.

Weather Spark. **Clima e condições meteorológicas médias em São Luís**. 2024. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30549/Clima-caracter%C3%ADstico-em-S%C3%A3o-Lu%C3%ADs-Maranh%C3%A3o-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 01/11/2024.

Zanata, T.B. Beija-flores e suas fontes de néctar: interações raras, espécies chave e vulnerabilidade à extinção. **Tese** (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação. – Curitiba, 2018.