

IMPACTOS DA OCUPAÇÃO HUMANA NA SUB-BACIA DO RIO MARACANÃ, PERTENCENTE A BACIA HIDROGRÁFICA DO BACANGA, ILHA DE SÃO LUÍS - MA

Impacts of human occupation in the Maracanã River sub-basin, belonging to the Bacanga hydrographic basin, São Luís island - MA

Alef Fontinele Teixeira

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Maranhão (PRODEMA/UFMA)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2630-7006>

alef.fontinele@discente.ufma.br

Darah Tawany Vaz Rosa

Graduada em Oceanografia, Universidade Federal de Maranhão

Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-9644-4561>

darah.tawany@discente.ufma.br

Luana do Nascimento Dias

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Maranhão (PRODEMA/UFMA)

Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-3812-6843>

dias.luana@discente.ufma.br

Antonio Carlos Leal de Castro

Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental pela Universidade de São Paulo, Professor Titular do Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8681-4587>

alec@ufma.br

Artigo recebido em maio/2024 e aceito em setembro/2024

RESUMO

Os processos de substituição das áreas naturais por outros tipos de uso do solo e a fragmentação da cobertura florestal têm gerado impactos nos recursos naturais de bacias hidrográficas urbanizadas. O presente estudo busca analisar a evolução temporal na dinâmica da paisagem da sub-bacia do Rio Maracanã, São Luís, Maranhão, entre os anos de 2004 e 2020. Foi realizada análise de uso e ocupação dos anos utilizando o software QGIS. Foi observado que entre 2004 e 2020 a porcentagem de vegetação densa reduziu 12,85%, a área construída aumentou cerca de 5% e o solo exposto aumentou 8%. Esta mudança está associada ao crescimento urbano e industrial na região, impulsionado pela consolidação do Distrito Industrial de São Luís e de grandes projetos minero-metalúrgicos. A magnitude desses empreendimentos implicou em reconfiguração do espaço, impondo novos reordenamentos territoriais. A ocupação espacial da região resultou em bairros periféricos, fruto da apropriação desordenada do território e dos recursos naturais, além de transformações socioambientais que conflitam com interesses metropolitanos. Esta expansão territorial ocorreu de forma não planejada, afetando vastas áreas naturais, com a supressão de matas e florestas, poluição de cursos d'água e erosão de solos, que comprometeram a drenagem e a cobertura vegetal da região.

Palavras-chave: Uso e ocupação do solo; Dinâmica da paisagem; Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The processes of replacing natural areas with other types of land use and the fragmentation of forest cover have generated impacts on the natural resources of urbanized river basins. The present study seeks to analyze the temporal evolution in the dynamics of the landscape of the Maracanã River sub-basin, São Luís, Maranhão, between the years 2004 and 2020. An analysis of use and occupation of the years was carried out using the QGIS software. It was observed that between 2004 and 2020 the percentage of dense vegetation reduced by 12.85%, the built area increased by around 5% and the exposed soil increased by 8%. This change is associated with urban and industrial growth in the region, driven by the consolidation of the São Luís Industrial District and large mining-metallurgical projects. The magnitude of these projects resulted in the reconfiguration of space, imposing new territorial rearrangements. The spatial occupation of the region resulted in peripheral neighborhoods, the result of the disorderly appropriation of territory and natural resources, in addition to socio-environmental transformations that conflict with metropolitan interests. This territorial expansion occurred in an unplanned manner, affecting vast natural areas, with the suppression of woods and forests, pollution of water courses and soil erosion, which compromised the drainage and vegetation cover of the region.

Keywords: Land use and occupation; Landscape dynamics; Remote sensing.

1. INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são demarcadas a partir de uma área drenada por um rio principal e seus tributário, delimitados por terrenos mais elevados, que formam uma rede de drenagem, desde as nascentes nas regiões mais altas, até o canal principal, onde os rios tributários deságuam (Castro; Carvalho, 2009). Apresentam grande variação de tamanho, sendo classificadas em bacia hidrográfica, referindo-se à área de drenagem do rio principal, e a sub-bacia, definida como uma bacia tributária a outra rede de drenagem principal (MACHADO; TORRES, 2012; GOMES; BIANCHI; OLIVEIRA, 2021).

Estas áreas são consideradas unidades naturais de planejamento, ou unidades de manejo, uma vez que nelas se desenvolve as atividades de uso e ocupação do solo (SOARES *et al.*, 2019). Segundo preconiza a Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, constitui a unidade territorial adotada para fins de planejamento da gestão hídrica do Brasil (BRASIL, 1997).

A ausência de ordenamento urbano altera as características de uma bacia, modificando a vegetação, caminho que a água percorre, mudanças no terreno e seu relevo, resultando em mudanças no solo e na velocidade e vazão da água (KIPPER, 2015; ROCHA; PINHEIRO; COSTA, 2020).

O processo de urbanização da maioria dos grandes centros brasileiros evoluiu de forma não planejada (PEREIRA; SOUSA-JÚNIOR; VIEIRA, 2022). Esta ausência de ordenamento resulta em alterações na cobertura e uso do solo, causando severos danos ao meio ambiente, como poluição

ambiental, perda de biodiversidade, alteração nos ecossistemas, escassez de água e emissões de carbono (STEFFEN *et al.*, 2015; CHEN; WANG; ZENG, 2023).

A região metropolitana de São Luís, capital do estado do Maranhão, teve um rápido processo de urbanização e industrialização iniciados a partir da década de 1970 que impulsionado pelo êxodo rural, ocasionou ocupações irregulares de grande parte da população nas planícies de inundação dos corpos d'águas, evidenciando a falta de planejamento urbano (DINIZ, 2007). A cidade não possuía Plano Diretor para regulamentar o uso e ocupação do solo, o que resultou em 53 espaços periféricos, sobretudo em regiões próximas aos mangues e mananciais (AROUCHA, 2008).

As bacias hidrográficas urbanas de São Luís vêm sofrendo pressão direta de atividades antrópicas, acentuadas pela ausência ações de manejo e de um plano de gestão, que fragilizam os recursos ambientais e comprometem seu uso múltiplo (SOARES *et al.*, 2021). A bacia hidrográfica do Bacanga que apresenta grande contribuição para o abastecimento de água de setores da capital, vem sendo impactada pelo adensamento populacional no seu entorno e aumento do uso e ocupação do solo de forma desordenada, que resulta em assoreamento e contaminação dos corpos de água.

Um dos principais tributários da bacia do Bacanga é a sub-bacia do Maracanã, onde estão localizadas as principais nascentes do rio Bacanga e grande parte da Área de Proteção Ambiental do Maracanã (SOARES *et al.*, 2019). Apesar de estar inserida em Unidade Conservação de Uso Sustentável, ocorreu ocupação e uso do solo desse ecossistema, retirada de madeira, passagem de veículos pesados, queimadas e retirada de mudas para arborização da cidade São Luís (MARTINS, 2008; LIMA *et al.*, 2018).

Os recursos naturais da bacia do Bacanga encontram-se em risco devido à ausência de ações socioambientais pautadas no planejamento ambiental integrado, crescimento demográfico e aumento das atividades econômicas (SOARES *et al.*, 2021).

Assim, estudos que quantifiquem os efeitos das atividades antrópicas sobre o meio ambiente, sobretudo no caso de impactos do uso da terra na qualidade da água tornam-se de grande relevância para subsidiar ações de proteção e gestão ambiental (SILVA *et al.*, 2022). Pesquisas de geoespacialização, o avanço das tecnologias de monitoramento do uso e cobertura do solo e as técnicas de processamento digital de imagem, possibilitam estudos mais rápidos e detalhados em bacias hidrográficas (SANTOS; MAGALHÃES; SANTOS, 2021).

Dessa forma, o presente estudo pretende identificar as principais alterações de uso e ocupação do solo entre o período de 2004 e 2020 na sub-bacia do Maracanã, município de São Luís, a fim de caracterizar a qualidade ambiental, verificar possíveis degradações ambientais e identificar vetores de pressão e vulnerabilidade que contribuem para a poluição dos cursos d'água, fornecendo subsídios para a formulação de políticas públicas na bacia hidrográfica e seu entorno.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Bacanga correspondente a 12,33% do território do município de São Luís, capital do estado do Maranhão, apresentando no seu curso d'água principal, representado pelo rio Bacanga, uma extensão de 19 km de comprimento (SOARES *et al.*, 2019). A bacia do Bacanga é composta por 12 sub-bacias, com uma estimativa populacional de 256.000 habitantes. Nesse sistema hidrográfico está inserido trechos de três Unidades de Conservação (UC), sendo elas: a APA de Maracanã, APA de Upaon-Açu/Miritiba/Alto Preguiça e o Parque Estadual do Bacanga.

A área de estudo situada como a sub-bacia do rio Maracanã, possui uma área de 1.831 ha e está abrangida entre as coordenadas 2°35'35" e 2°39'17" S e 44°14'23" e 44°19'30" W. Trata-se de uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável situada na zona rural, aproximadamente 26 km do centro da capital, sendo criada a partir do Decreto Estadual 12.102 de 1991 (FRAZÃO, 2017). O acesso se dá através da BR-135, após atravessar o estreito dos Mosquitos, canal que liga a ilha ao continente maranhense (PEREIRA, 2006).

Dentro de seus limites abriga recursos ambientais representativos de valor histórico, cultural e ambiental, que fortalecem sua importância e concorrem para a manutenção da integridade física e biológica de seus ecossistemas. Estas unidades geoambientais delimitadas por compartimentos ambientais e paisagísticos foram progressivamente descaracterizadas em seus espaços, com a ampliação de novos bairros que geraram uma ocupação desordenada e utilização expressiva de seus elementos naturais.

O seu sistema de aquífero contribui para o abastecimento da comunidade do Maracanã e das populações ao seu entorno. Apresenta áreas de infiltração natural, inserida da região da Amazônia Legal, possuindo matas de galeria margeadas por vegetação de palmáceas (juçarais e buritizais), babaçu, cupuaçu, abricó, entre outras espécies típicas do sistema amazônico, além de espécies do cerrado, como ipê amarelo, pau marfim, bacuri que é remanescente das matas de várzea, sendo essas bastante utilizadas na subsistência das populações locais (CAVALCANTI-JÚNIOR; PEREIRA, 2015; FRAZÃO, 2017). Trata-se de uma área de recarga de aquífero que abriga algumas nascentes permanentes, consideradas estratégicas para a conservação e preservação da água doce na Ilha do Maranhão (SANTOS; PEREIRA, 2013).

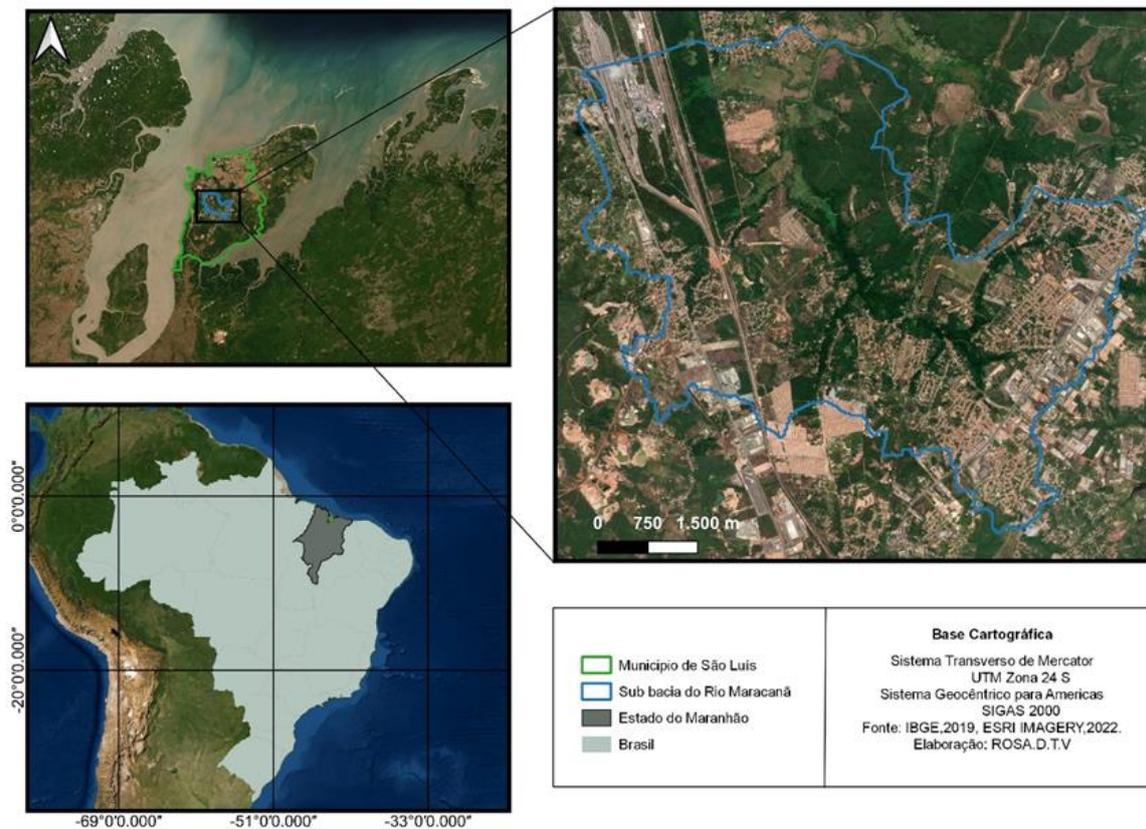


Figura 1 - Localização da sub-bacia do Rio Maracanã, São Luís, Maranhão.

Fonte: Autoria própria.

2.2. Uso e Ocupação do Solo

No presente estudo a primeira etapa foi aquisição dos dados pelo o instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Science for a Changing World (USGS), para realização da vetorização das imagens de uso e ocupação do solo e os seus respectivos mapas.

A análise de uso e ocupação foi realizada durante os anos de 2004 e 2020 utilizando o software QGIS 3.26.2. A vetorização das imagens foi realizada utilizando-se a ferramenta de aderência do software e o mapa de uso e ocupação foi elaborado utilizando o plugin Dzetsaka, por classificação automática, definindo as seguintes áreas: Água, Manguezal, Vegetação rasteira, Vegetação densa, Solo exposto e área construída (Quadro 1). Após este processo as imagens obtidas foram refatoradas e corrigidas manualmente com auxílio do Google Earth Pro para melhor representação da realidade.

Quadro 1: Classes de Uso da terra na sub-bacia do rio Maracanã

| Classe | Amostra | Cor | Localização/contexto | Forma, tamanho e textura |
|--------------------|---|---|---|---|
| Área construída |  | Variações de tons de vermelho, laranja e cinza. | Dentro de lotes, presença de telhados e aglomerado de casas. | Forma retangular e de tamanhos variados de textura lisa e rugosa. |
| Vegetação rasteira |  | Verde claro, verde escuro e tons de marrom. | Próximas de vegetações arbustivas ou quadras de esporte. | Textura lisa, pouca rugosa e variações de tamanhos. |
| Vegetação densa |  | Verde médio e escuro | Presente próximos a canais de drenagens, regiões preservadas. | Extensa área de vegetação densa de textura rugosa. |
| Solo exposto |  | Amarelo claro, vermelho laranja ou branco. | Presente próximo a áreas urbanizadas ou região litorânea, possuindo vegetação ao seu entorno. | Textura lisa, forma e tamanho diverso. |
| Água |  | Marrom claro, preto, azul e verde. | Presente normalmente entre as vegetações, possuindo braços ou em ambientes lagunares, lacustres e açudes. | Textura lisa líquida com forma e tamanho diverso. |

Fonte: Autoria própria.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características físicas da sub-bacia do Maracanã

A geologia local apresenta recentes formações terciárias do grupo Barreiras, com arenito mal classificado, fino e grosseiro, brando e róseo argiloso, intercaladas por folhelhos e formações de quaternários do tipo aluvião com cascalho, areias, argilas inconsolidadas, sobre as quais se assentam uma grande quantidade de sedimentos terrígenos, além de sedimentos mais recentes relacionados à dinâmica sedimentar continental e marinha. Estes sedimentos são susceptíveis a processos de erosão pluvial com desenvolvimentos de ravinas, voçorocas e escorregamento de massa (deslizamentos).

As áreas de tabuleiros responsáveis pela recarga de aquífero Barreiras e Itapecuru encontram-se altamente impermeabilizadas pelo uso e ocupação de suas áreas, com a presença do processo de selagem do solo (criação de crostas) resultando em baixa infiltração (SANTOS; PEREIRA, 2013). Nas áreas parcialmente preservadas, como no médio e no baixo curso do Rio Maracanã, onde há vegetação arbórea-arbustiva e herbácea, a infiltração de água no solo tem permeabilidade de média a alta (Figura 2).

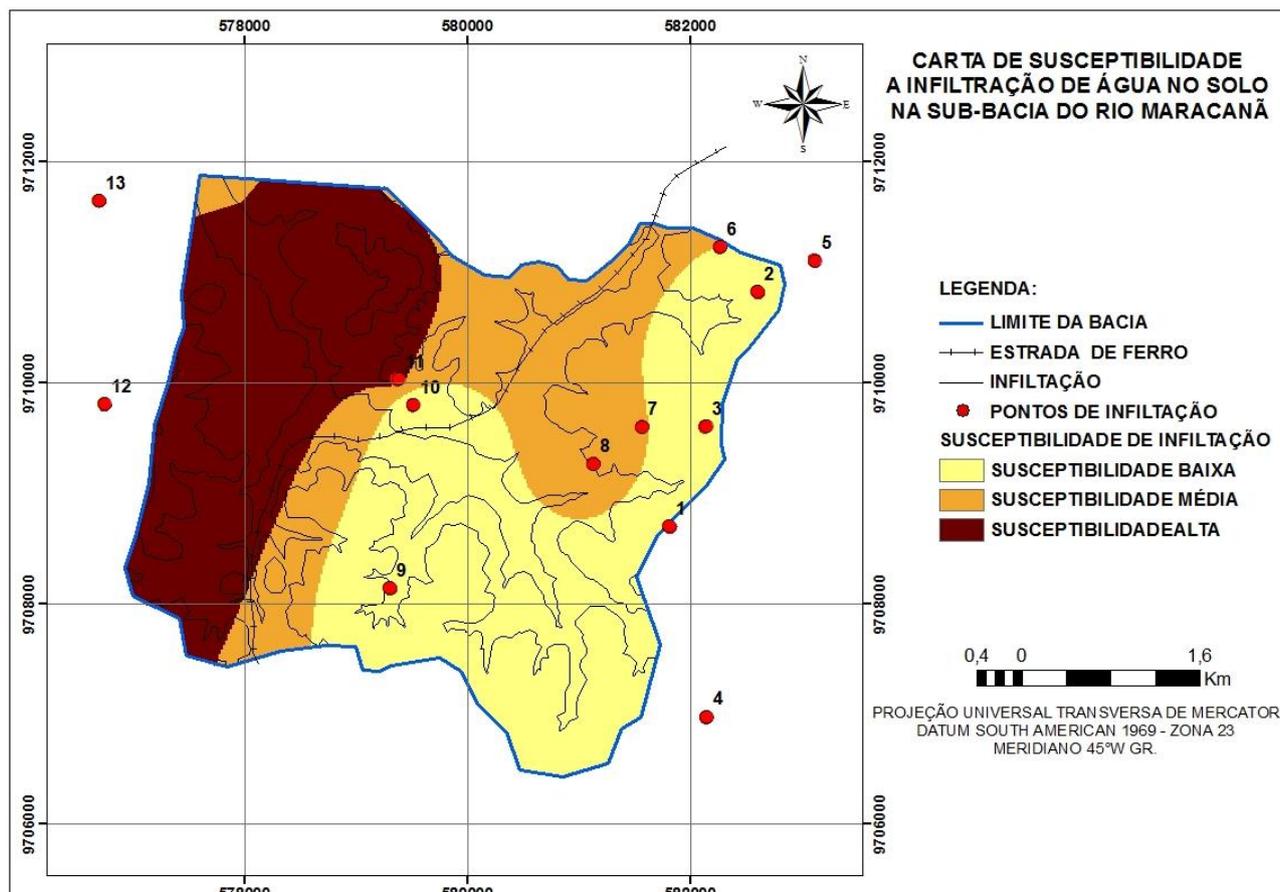


Figura 2 - Mapa de susceptibilidade a infiltração de água na sub-bacia do Rio Maracanã

Fonte: Autoria própria.

3.2. Hidrografia e hidrologia

A sub-bacia do Maracanã inclui nos seus domínios alguns corpos d'água como o Maracanã, Ambude, Mirizal, Pantanal, Bacanguinha e Batafã que apresentam usos múltiplos pela comunidade do entorno. Estes rios integram os sistemas hidrológicos das cabeceiras (nascentes) das bacias dos rios Bacanga, Cachorros e Tibiri (Figura 3)

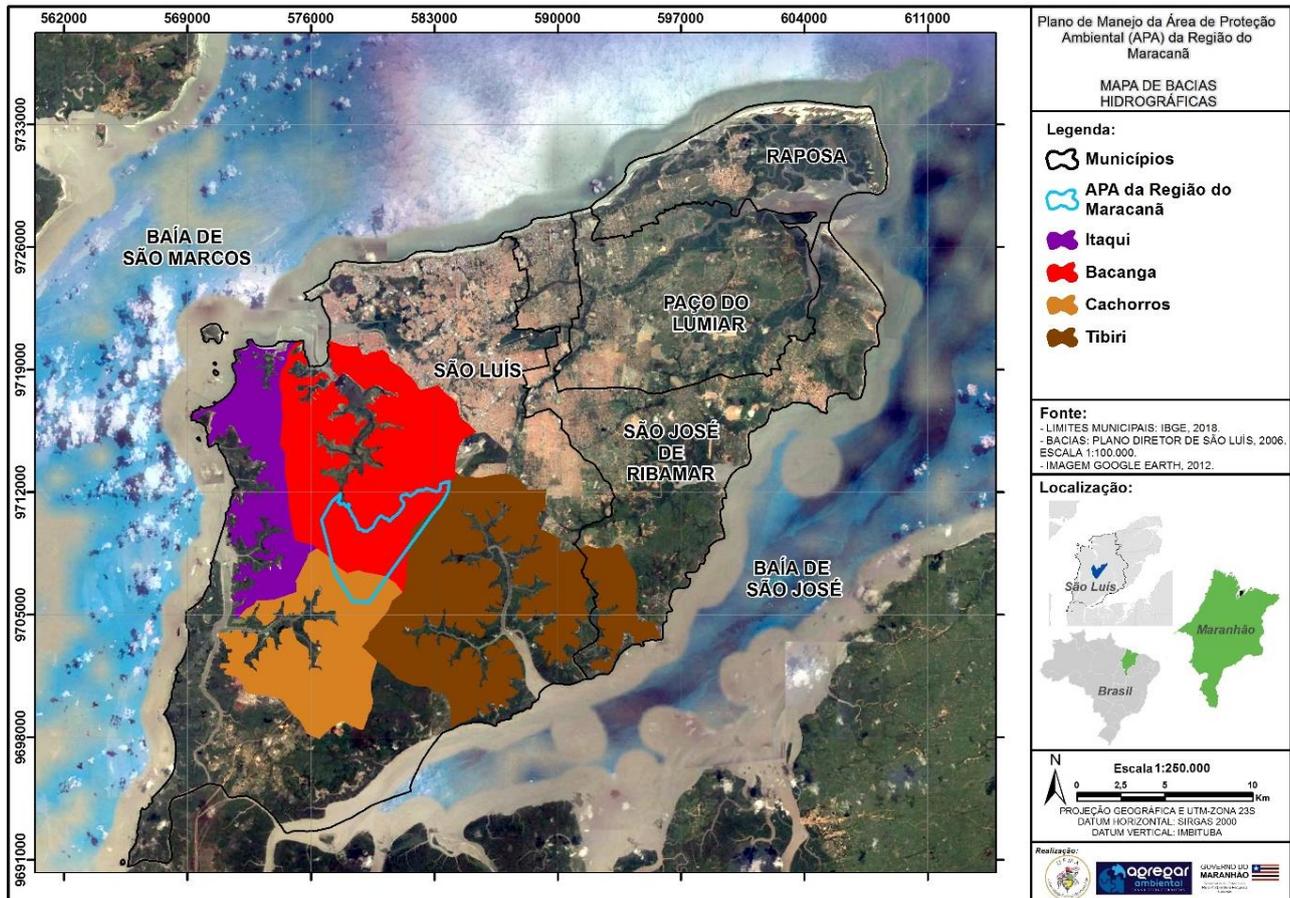


Figura 3 - Mapa com as bacias hidrográficas adjacentes dos rios Bacanga, Cachorros e Tibiri.
Fonte: Autoria própria.

3.3. Uso e ocupação do solo na sub-bacia do rio Maracanã

Os resultados referentes à sub-bacia do rio Maracanã para os anos de 2004 e 2020, são apresentados no Quadro 2. Observou-se que durante o ano de 2004, a percentagem referente a vegetação densa é a mais alta do período, sofrendo uma diminuição de 12,85% no ano de 2020. A área construída no ano de 2004 era de 7,20 km², aumentando cerca de 5% até o ano de 2020, onde totalizou 9,10 km² de extensão.

Apesar da potencialidade da região ser o turismo e produção de juçara, essa sofre com uma diminuição da vegetação e aumento da área construída e solo exposto, sendo esses resultados associados ao crescimento demográfico desordenado urbano e industrial dessa área nos últimos anos, esse fator está associado ao fato da bacia do Bacanga ser cenário das ocupações humanas mais antigas da ilha de São Luís.

Quadro 2: Área e percentual do uso e cobertura da terra da sub-bacia do Rio maracanã para os anos de 2004 e 2020.

| Classe de Uso e cobertura do solo | Área (Km ²) | | | Percentual (%) | | |
|-----------------------------------|-------------------------|-------|------------------------|----------------|--------|------------------------|
| | 2004 | 2020 | Varição (2004-2020) | 2004 | 2020 | Varição (2004-2020) |
| Água | 0,11 | 0,12 | 0,02 | 0,31 | 0,36 | 0,05 |
| Área construída | 7,20 | 9,10 | 1,90 | 20,89 | 26,39 | 5,50 |
| Vegetação densa | 14,10 | 9,67 | -4,43 | 40,89 | 28,04 | -12,85 |
| Vegetação rasteira | 12,60 | 12,06 | -0,54 | 36,54 | 34,97 | -1,57 |
| Solo exposto | 0,47 | 3,53 | 3,06 | 1,36 | 10,24 | 8,87 |
| Área total | 34,48 | 34,48 | - | 100,00 | 100,00 | - |

Fonte: Autoria própria.

O mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal realizado no intervalo de 16 anos (Figura 4), identificou e quantificou as principais alterações da paisagem natural na sub bacia do rio Maracanã. Observou-se uma acentuada redução na densidade de vegetação, com um decréscimo de 12,85%. O solo exposto foi a segunda maior classe de uso que apresentou maior alteração na paisagem, entre os anos de 2004 e 2020, totalizando a 8,87% da área total da sub-bacia. Esse incremento ocorreu devido ao crescimento urbano e atividades antropogênicos que provocam desmatamento e acentuam o processo erosivo na área investigada.

Os impactos negativos resultantes do somatório e aumento de atividades antrópicas, têm provocado uma deterioração dos cursos de água dessa sub-bacia, já que a maioria do esgoto industrial e doméstico da grande ilha de São Luís não recebe um tratamento específico, antes de ser lançado ao ambiente aquático. Como reflexo desses impactos, verifica-se um acentuado comprometimento dos recursos hídricos, que resulta numa contaminação das suas águas.

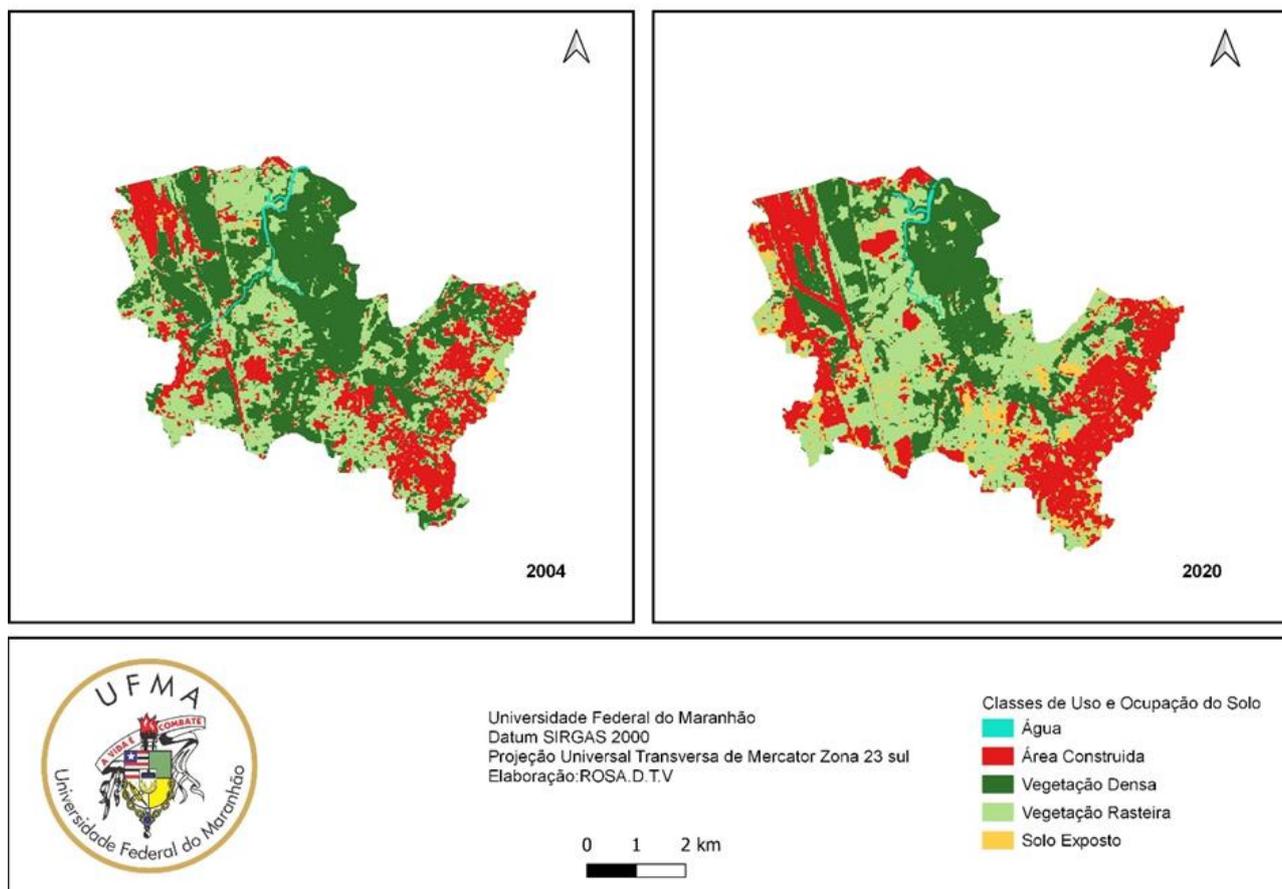


Figura 4 - Mapa de classes de Uso e Ocupação do Solo da Sub-bacia do Rio Maracanã para os anos de 2004 e 2020.
Fonte: Autoria própria.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O padrão espacial e temporal de uso e ocupação da terra na sub-bacia do Rio Maracanã, demonstrou um considerável aumento do contingente urbano e solo exposto e diminuição da vegetação. A redução de 12,85% da vegetação natural da região, demonstra o nível de antropização que a sub-bacia está inserida. A falta de monitoramento ambiental e escassez de estudos nessa área, possibilita o aumento da degradação ambiental desse ambiente.

Os resultados obtidos revelam um forte adensamento populacional, onde em determinados trechos, a expansão urbana conflita com o meio rural e em outras áreas com ecossistemas naturais que precisam ser preservados. Acrescenta-se ainda que a expansão de áreas antropizadas decorrentes de diferentes usos e ocupação do solo por atividades antrópicas provocam sérios danos aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos da região, reduzindo de forma quantitativa e qualitativa a disponibilidade destes recursos.

A impermeabilização do solo, resultante da supressão vegetal e substituição da cobertura vegetal por atividades humanas, representa um fator negativo no processo natural de infiltração do excedente de água pluvial no subsolo.

O mapeamento espaço temporal realizado, contribuiu para firmar que as condições atuais de degradação da paisagem natural é resultado do desenvolvimento de atividades industriais, atividades de extração mineral de areia e da ocupação irregular do solo.

Esses problemas na área de estudo evidenciam a necessidade de uma atenção específica, como planos de controle e medidas efetivas que minimizem os problemas relacionados ao uso desordenado, uma vez que são áreas protegidas por lei, com grande valor socioeconômico e ambiental.

AGRADECIMENTOS

Os autores registram seus agradecimentos a FAPEMA (Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Tecnológico do Maranhão) e ao Departamento de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Maranhão (DEOLI/UFMA) pelo apoio e disponibilização dos recursos necessários que viabilizaram a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AROUCHA, G. M. **Geo-História da Cidade de São Luís: uma análise tempo espacial**. São Luís: Estação Gráfica, 2008, 280p.

BRASIL. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm Acesso em: 15 abr. 2024.

CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo-GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia plena**, v. 5, n. 2, 2009.

CAVALCANTI JÚNIOR, F. A.; PEREIRA, E. D. Permeabilidade do solo saturado nas encostas da sub-bacia do Rio Maracanã. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 6, 2015.

CHEN, W.; WANG, G.; ZENG, J. Impact of urbanization on ecosystem health in Chinese urban agglomerations. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 98, p. 106964, 2023.

DINIZ, J. S. As Condições e Contradições no Espaço Urbano de São Luís (MA): Traços Periféricos. **Ciências Humanas em Revista**, v. 5, n. 1, p. 169-171, 2007.

FRAZÃO, A. C. S. Diversidade florística da área de proteção ambiental do Maracanã em São Luís/MA: Implicações para o manejo e conservação. 2007. **Monografia** (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2017.

GOMES, R. C.; BIANCHI, C.; OLIVEIRA, V. P. V. Análise da multidimensionalidade dos conceitos de bacia hidrográfica. **GEOgraphia**, v. 23, n. 51, p. 1-17, 2021.

- KIPPER, A. **Drenagem urbana: comparativo de custos no dimensionamento utilizando sistemas de drenagem tradicional (higienista) e compensatória com microrreservatórios.** Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- LIMA, N. S. *et al.* Avaliação das Concentrações de Metais Pesados no Sedimento das Nascentes da APA do Maracanã, São Luís-MA. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA AMBIENTAL. 16., 2018, Palmas. **Anais...** Palmas: Galoá, 2018.
- MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à Hidrogeografia.** São Paulo: Cengage Learning, 2012. 178p.
- MARTINS, A. L. P. **Avaliação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do Bacanga (São Luís -MA) com base em variáveis físico-químicas, biológicas e populacionais: subsídios para um manejo sustentável.** 2008. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2008.
- MARTINS, F. B. *et al.* Zoneamento ambiental da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS). **Cerne**, v. 11, n. 3, p. 315-322, 2005.
- MATSUSHITA, B.; XU, M.; FUKUSHIMA, T. Characterizing the changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura Basin, Japan using a high-quality GIS dataset. **Landscape and urban planning**, v. 78, n. 3, p. 241-250, 2006.
- MENDOZA, M. E. Analysing land cover and land use change processes at watershed level: a multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975–2003). **Applied Geography**, v. 31, n. 1, p. 237-250, 2011.
- PEREIRA, E. D. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e aquífero do reservatório batatã-São Luís (MA).** 2006. 174 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.
- PEREIRA, G.; SOUSA JUNIOR, A.; VIEIRA, A. Marco Legal da Urbanização no Brasil: reflexos na função social da propriedade. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 11, n. 1, p. 77-94, 2022.
- ROCHA, G. S.; PINHEIRO, A. V. R.; COSTA, C. E. A. S. Gestão dos Recursos Hídricos no Município de Parauapebas (PA): Avaliação dos Usos, Alteração dos Cenários e Possíveis Impactos. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. e194943042, 2020.
- SANTANA, D. P. **Manejo integrado de Bacias Higráficas.** Sete Lagoas: EMBRAP Milho e Sorgo, 2003. 62p.
- SANTOS C. W.; MAGALHÃES F. F. J. C.; SANTOS, T. L. Uso e cobertura do solo utilizando a Plataforma Google Earth Engine (GEE): Estudo de caso em uma Unidade de Conservação. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 5, n. 1, 2024.
- SANTOS, J. N.; PEREIRA, E. D. Carta de Susceptibilidade a Infiltração da Água no Solo na Sub-bacia do Rio Maracanã-MA. **Caderno de Pesquisa**, v. 20, n. esp., p. 63-71, 2013.
- SILVA, D. C. C. *et al.* Creation of an environmental sustainability index for water resources applied to watersheds. **Environment, Development and Sustainability**, v. 25, n. 10, p. 11285-11305, 2023.

SOARES, L. S. *et al.* Análise integrada e problemas socioambientais da Bacia Hidrográfica do Bacanga, São Luís – MA. Rede – **Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 15, n 1, p. 138–150. 2021.

SOARES, L. S. *et al.* Índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas: estudo de caso das sub-bacias do Batatã e Maracanã, São Luís/Ma. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, n. 11, p. 93-105, 2019.

STEFFEN, W. *et al.* Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. **Science**, v. 347, n. 6223, p. 1259855, 2015.