

## Dinâmica multitemporal da cobertura vegetal da Sub-Bacia Hidrográfica do Riacho São José, Caxias (Maranhão)

Alessandra de Abreu Andrade<sup>1</sup>, Roneide dos Santos Sousa<sup>2</sup>, Leilson Alves dos Santos<sup>3</sup>, Ilderlan Sousa da Silva<sup>4</sup>,

<sup>1</sup>Mestranda em Geografia no Instituto de Geociência da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil (\*Autor correspondente: allessandrah\_128@hotmail.com).

<sup>2</sup>Doutorado em Geografia pela Universidade Federal do Ceará, Brasil, Professora Formadora da Universidade Federal do Piauí, Brasil.

<sup>3</sup>Doutorando em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

<sup>4</sup>Graduado em Licenciatura Plena em Geografia, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 20/04/2023 – Revisado em: 12/05/2023 – Aceito em: 30/05/2023

### RESUMO

As bacias hidrográficas são unidades físicos-naturais essenciais para a sociedade, considerada objeto de pesquisa nos estudos geográficos por serem um geossistema completo. O artigo teve por objetivo analisar a dinâmica multitemporal da cobertura vegetal da Sub-Bacia Hidrográfica do Riacho São José (BHRSJ) no município de Caxias – MA, através do índice do NDVI, com recorte temporal para os anos de 1991, 2001, 2011 e 2021. Como metodologia partiu-se do levantamento da literatura sobre a temática e geoprocessamento em ambiente SIG a partir do uso de imagens de satélites do Landsat 5 e Sentinel 2, ambos no período de estiagem para a região (julho a dezembro) e trabalho de campo. A dinâmica multitemporal revelou que de 1991 a 2021, houve um crescente processo de supressão e degradação da cobertura vegetal no baixo curso da bacia, em virtude do crescimento urbano da cidade de Caxias. A falta de planejamento prévio provocou a ocupação irregular em áreas de preservação permanente dos cursos dos rios, o que ocasionou inúmeros problemas socioambientais, como acúmulo de lixo, despejo de esgotos sem tratamento, desmatamento, erosão das margens pela ausência da mata ciliar, agricultura entre outros. A aplicação do NDVI é uma importante ferramenta de análise ambiental, sobretudo para o monitoramento da cobertura vegetal, onde o resultado da leitura dos pixels de -1 a 1 possibilita aferir quanto ao maior índice de presença de solos descobertos, área urbana e rochas e maior índice de presença de vegetação.

**Palavras-Chaves:** Análise Ambiental, SIG, NDVI, Bacia Hidrográfica.

Multitemporal dynamics of vegetation cover in the São José Creek sub-basin, Caxias, Maranhão, Brazil

### ABSTRACT

The watersheds are essential physical-natural units for the society, considered object of research in geographic studies for being a complete geosystem. The article aimed to analyze the multitemporal dynamics of vegetation cover of the sub-watershed Riacho São José in the municipality of Caxias - MA, through NDVI, with a time frame for the years 1991, 2001, 2011 and 2021. As methodology we started from the survey of literature on the subject and geoprocessing in GIS environment from the use of satellite images of Landsat 5 and Sentinel 2, both in the dry season for the region (July to December) and field work. The multitemporal dynamics revealed that from 1991 to 2021, there was an increasing process of suppression and degradation of the vegetation cover in the lower course of the basin, due to the urban growth of the city of Caxias. The lack of previous planning caused the irregular occupation in areas of permanent preservation of the river courses, which caused numerous socio-environmental problems, such as garbage accumulation, untreated sewage disposal, deforestation, erosion of the banks due to the absence of riparian forest, agriculture and others. The NDVI analysis is an important tool for environmental analysis, especially for monitoring the vegetation cover, where the result of reading the pixels from -1 to 1 makes it possible to assess the greater indication of the presence of bare soil, urban area and rocks and greater indication of the presence of vegetation.

**Keywords:** Environmental Analysis, GIS, NDVI, Basin.



Andrade, A., Sousa, R., Santos, L., Silva, I (2023). Dinâmica multitemporal da cobertura vegetal da Sub-Bacia Hidrográfica do Riacho São José, Caxias, Maranhão, Brasil. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v.4, n.1, p.39-49.

Direitos do Autor. A revista utiliza a licença *Creative Commons* - CC Atribuição Não Comercial 4.0 CC-BY-NC.

## 1. Introdução

As bacias hidrográficas são consideradas unidades geográficas importantes para o funcionamento do ciclo hidrológico do planeta, por apresentar de forma integrada a atuação dos elementos endógenos e exógenos, responsáveis por modelar a superfície da terra, além de conter diversas formas de uso e ocupação pela sociedade. Cochev et al. (2018) ressaltam que os estudos em bacias hidrográficas possibilitam o diagnóstico, análise, planejamento e gestão desses recursos hídricos, visto que nelas estão presentes todos os elementos necessários para a compreensão da totalidade de um geossistema.

Nesse sentido, a vegetação é um importante indicador geoambiental, pois sofre influência direta dos fatores climáticos, pedológicos, geológicos e bióticos. Assim, exercendo um importante papel na estabilização das unidades de paisagem, visto que protegem o solo e os mananciais dos processos erosivos, conserva a biodiversidade, equilibra o clima, além de melhorar a qualidade de vida da população (Almeida; Cunha; Nascimento, 2012).

Através dos avanços tecnológicos advindos dos sensores remotos e imagens orbitais, é possível avaliar as diferentes formas espaciais da cobertura vegetal de uma determinada área, assim como, as suas possíveis modificações em diferentes períodos, possibilitando o monitoramento da variação da área verde. Nesse sentido, os índices de vegetação têm sido largamente utilizados nas pesquisas para obtenção do índice de área foliar, biomassa e radiação fotossintética ativa (SILVA et al. 2019).

O mapeamento por meio do geoprocessamento indica uma importante forma de contribuir para a organização territorial e auxiliar métodos de gestão ambiental e uso, a fim de proporcionar a proteção da biodiversidade em bacias hidrográficas (Andrade; Melo; Silva, 2019).

Desse modo, os índices de vegetação (IVs) são essenciais para a análise geoambiental das bacias hidrográficas, especialmente para a caracterização e quantificação da vegetação presente nessas unidades hidrográficas. Ponzoni e Shimaburo (2010) atribui a Rouse et al, (1973) a normalização da razão simples para o intervalo de -1 a +1, propondo o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Nesta perspectiva, o NDVI é um índice que pode ser analisado por meio da interpretação de imagens de sensores remotos e, em particular, por valores obtidos em diferentes datas, permite avaliar a variação da cobertura vegetal de um determinado local e em um determinado espaço de tempo (Zanzarini et al, 2013).

Segundo Ponzoni e Shimaburo (2010) os índices de vegetação estão relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar. Ainda segundo os autores a proposição dos mesmos reside no comportamento antagônico da refletância da vegetação nas regiões espectrais do visível e infravermelho próximo, onde quanto maior for a densidade da cobertura vegetal em uma determinada área, menor será a refletância na região do visível em virtude dos pigmentos fotossintetizantes. Já na região do infravermelho próximo essa refletância será maior, devido ao espalhamento múltiplo da radiação eletromagnética nas camadas das folhas (Ponzoni; Shimaburo, 2010).

A cobertura vegetal é fundamental para o controle térmico e proteção do solo aos processos erosivos e de degradação, porém a supressão da vegetação natural para sistemas antrópicos pode alterar essa dinâmica. Segundo Tricart (1977), são diversas as funções ambientais e ecológicas desempenhadas pela vegetação, entre elas cita-se a capacidade de desenvolver a fotossíntese, absorção da radiação, a dispersão parcial dos ventos a partir da sua rugosidade e pôr fim a de interceptar as gotas provenientes da precipitação evitando o efeito erosivo diretamente no solo (erosão pluvial). Segundo Crepani et al. (2001) a informações vinda da fitogeografia se revestem da maior importância, pois representa a defesa da unidade de paisagem contra os efeitos erosivos.

A degradação dos solos, desencadeado por meio da supressão da vegetação, corresponde a um tema bastante debatido nas pesquisas científicas, sobretudo por ocasionar problemas ambientais, sociais e econômicos (Dos Santos et al. 2021; Caetano et al. 2022). Estudos que visam avaliar essa cobertura em virtude da suscetibilidade dos terrenos aos processos erosivos são de extrema relevância, bem como, os

fatores que influenciam o processo.

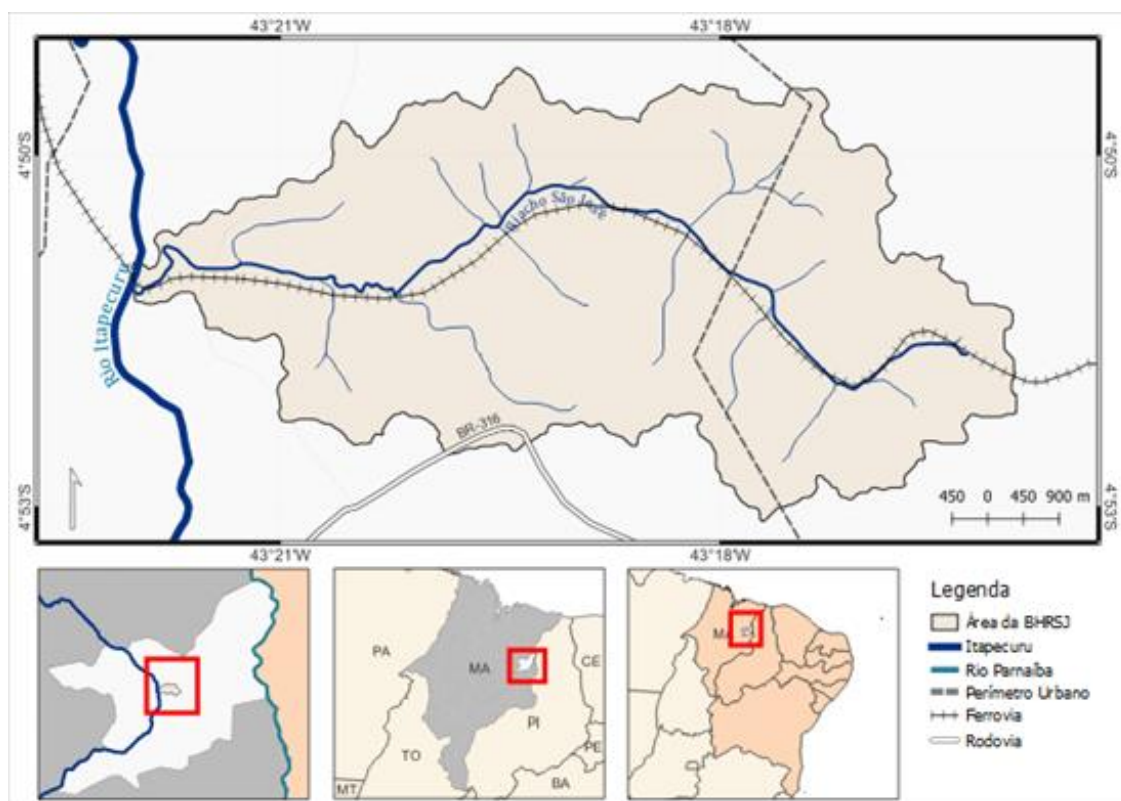
Neste sentido, o objetivo do trabalho é analisar a dinâmica multitemporal da cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do riacho São José no município de Caxias (MA), através do índice NDVI obtido por meio de imagens dos sensores orbitais da série Landsat 5 TM, resolução 30 m e Sentinel 2 MSI, resolução 10 m, para os anos de 1991, 2001, 2011 e 2021, extraídos no período de estiagem (julho a dezembro).

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Área de estudo

A BHRSJ está localizada no município de Caxias, Maranhão, compreende na sua magnitude a zona urbana (figura 1). Caxias está situada entre as coordenadas  $4^{\circ}51'32''$  S e  $43^{\circ}21'2''$  W, no leste maranhense, é uma cidade com aproximadamente 166.159 habitantes e densidade demográfica 31,94 hab/km<sup>2</sup> segundo estimativa do IBGE (2021). Tem como limítrofes os municípios de Timon, São João do Sóter, Codó e Coelho Neto e dista aproximadamente 350 km da capital do Maranhão, São Luís. No entanto, cabe destacar que cultural, econômica e socialmente possui laços mais fortes com a capital piauiense, Teresina a qual está a apenas 70 km de distância.

**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Pesquisa Direta (2023)

A cidade configura-se, ainda, como um dos principais centros político e populacional do Maranhão.

Assim, é considerada uma cidade de médio porte e tem registrado uma intensa dinâmica socioespacial nos últimos anos com a implantação de diversos residenciais de habitação popular, a qual tem provocado uma pressão no seu ambiente natural.

Caxias está assentada sobre a Província Parnaíba, que apresentam coberturas intracratônica Fanerozoica, paleozoica e depósitos mesozoicos cobrindo grandes extensões (GÓES, 1995). Lima e Brandão (2010) destacam que a profundidade máxima dos sedimentos encontrada é de 3.000 metros, sendo que 2.500 correspondem ao paleozoico e o restante são cenozoicos. Araújo (2012) destaca que a estratigrafia da Bacia Sedimentar do Parnaíba presente na área de Caxias apresenta as seguintes configurações: Grupo Balsas, composto pelas formações Piauí, Pedra de Fogo e Motuca, o Grupo Barreiras, com as formações Barreiras, Depósitos aluvionares e Itapecuru e o Grupo Mearim, com as formações Sardinha e Corda.

Araújo (2012) destaca, ainda, que o relevo de Caxias pode ser entendido a partir das seguintes compartimentações: Patamar de Caxias, Patamares do Parnaíba, Planalto Dissecado do Itapecuru, Planícies Fluviais, Tabuleiros do Médio Itapecuru e Vãos do Médio Parnaíba. Cabe destacar que a Bacia Hidrográfica do Riacho São José está geomorfologicamente sobre os Patamares de Caxias. Pereira, Nunes e Sousa (2022), destacam que altitude média de Caxias se encontra entre 180 a 240 metros, sendo que os Patamares de Caxias correspondem as planícies. Corroborando com essa afirmação, Araújo (2012) afirma que Caxias apresenta morros, colinas e morrotes que são formas de relevo típicas de baixas altitudes resultantes de processos erosivos, bem como de ações antrópicas.

Com a relação à hidrografia, município de Caxias pertence a Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental e, nesse contexto que se insere a BHRSJ sendo afluente da Bacia Hidrográfica do rio Itapecuru, que de acordo com Correia Filho (2011), o rio Itapecuru divide-se em três regiões: alto, médio e baixo curso. O Alto Itapecuru está localizado entre os municípios maranhenses de Mirador, Grajaú e São Raimundo das Mangabeiras. Já a região do Médio Itapecuru compreende parte do município de Colinas e se estendendo até Caxias, no qual começa o Baixo Itapecuru até sua foz na Baía de São Marcos, no Golfão Maranhense.

Nascimento (2013) caracteriza a vegetação da bacia do rio Itapecuru e seus afluentes, como sendo uma formação vegetal de cerrados e florestas estacionais decíduas e semidecíduas, ou de formações transicionais. Correia Filho (2011) destaca também que em Caxias a zona de transição é caracterizada pela presença da Mata dos cocais, a pré-amazônia e o cerrado. Verifica-se também a expansão das práticas agrícolas, como monoculturas de soja, arroz e cana-de-çúcar, além de pastagens associadas à supressão da vegetação original. Com relação aos solos encontrados em Caxias destacam-se os Latossolos Amarelos, Plintossolos Petricos, Argilossolos Vermelho-Amarelo, Plintossolos Aluvico, Argissolos Acizentados, Neossolos Quartzarêncico, Gleissolos, Neossolos Flúvicos e Luvisolos (EMBRAPA, 2018).

Com a relação ao canal principal da Bacia Hidrográfica do Riacho São José, o mesmo possui aproximadamente 13 km de extensão tendo suas nascentes localizadas fora do perímetro urbano do município de Caxias. A área de drenagem possui 38 Km<sup>2</sup> e com perímetro de 45 km. O riacho São José (BHRSJ) deságua no rio Itapecuru na localidade de Porto da Galiana, em Caxias. Hierarquicamente, segundo a classificação de Strahler (1952) esta bacia hidrográfica possui 17 tributários de primeira ordem, 3 de segunda ordem e um de terceira ordem, com um contingente urbano ocupando aproximadamente 29% da sua área e em 11 bairros (Caxias, 2016; Andrade et al 2021)

Conforme Andrade et al (2021), esta bacia hidrográfica possui uma compartimentação geomorfológica dividida em 4 classes: a planície fluvial, que se estende por todo o baixo curso da drenagem principal e tributários, com altitudes médias de 80 m, superfícies aplainadas que consistem em superfícies assentadas em níveis deposicionais superiores a planície fluviais, com variação altimétrica de 80 a 100 m, topos arredondados e vertentes suavizadas que se estende por toda a bacia, mas se encaixam ao longo do médio e alto curso da drenagem em detrimento a um maior espriamento ao longo do baixo curso.

As colinas rampeadas são um conjunto de formações em patamar, transitando em relevos residuais

localizado em níveis estruturais superiores e se encaixa nas superfícies aplainadas de topos arredondados, com cotas altimétricas entre 100 a 130 m, presentes ao longo do médio-alto curso. Localizado nas proximidades da zona de interflúvio estar o relevo residual, concentrados à margem esquerda da BHRSJ dispersando-se no sentido sudeste-nordeste, com declives fortemente onduladas, altitudes acima de 130 m (Andrade et al., 2021).

## 2.2 Procedimentos metodológicos

O intervalo temporal foi definido a partir da interpretação preliminar do contexto histórico e econômico da dinâmica de ocupação do município de Caxias, uma cidade de porte médio com aproximadamente 166.159 habitantes (IBGE, 2020). Considerou-se, os intervalos de dez anos: 1991, 2001, 2011 e 2021, no período de estiagem (julho a dezembro), como uma alternativa de melhor visualizar a interação da cobertura vegetal. Como procedimentos realizou-se à análise multitemporal da cobertura vegetal com base em técnicas em Sensoriamento Remoto (Jensen, 2009).

Inicialmente adquiriu-se as imagens de satélites no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), as imagens utilizadas foram Landsat 5 TM, resolução 30m e Sentinel 2 MSI, resolução 10m para o ano de 2021, como opção por obter melhor resposta na identificação e visualização dos alvos nas cenas (Machado, 2020; Santos, 2018).

Posteriormente realizou-se a reamostragem dos pixels nas cenas para Landsat 5 no software SNAP 9.0 com os seguintes parâmetros: resolução espacial 10 m e método de interpolação bicúbico. Na sequência, utilizou-se a composição falsa cor para infravermelho próximo para (B4, B3 e B2) para Landsat e (B4, B5 e B8) para Sentinel, executando os cálculos no SNAP 9.0 em ferramentas pré-configuradas para o cálculo automático para NDVI e finalizados no QGIS 3.22, projetados em SIRGAS 2000 23 S.

O NDVI permite o monitoramento da vegetação, podendo obter comparações inter-anuais. De maneira geral o resultado da leitura dos pixels varia de -1 a 1, de modo que quanto mais próximo do 1, maior indício de presença de vegetação, e quanto mais próximo do -1, maior indício de presença de solos descobertos e rochas. As áreas mais escuras nas imagens de NDVI estão associadas a pouca biomassa, a citar área urbana, solo exposto, culturas agrícolas. Segundo Jensen (2009) o cálculo do NDVI envolve a reflectância nas frequências eletromagnéticas do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético, conforme a

$$\text{Equação 1: NDVI} = ((\text{NIR} - \text{Red})) / ((\text{NIR} + \text{Red}))$$

Onde: NIR-Red é o valor de reflectância na faixa do infravermelho próximo e NIR+Red valor de reflectância na faixa do vermelho.

Por fim, realizou-se a conferência de campo no baixo curso da sub-bacia, local de maior interferência antrópica, possibilitando perceber as dinâmicas entre a cobertura e as estruturas urbanas e sua condição perante a paisagem com base na discussão realizada por Lang e Blaschke (2009) quanto a análise de paisagem, a considerar também a acessibilidade dos pontos visitados.

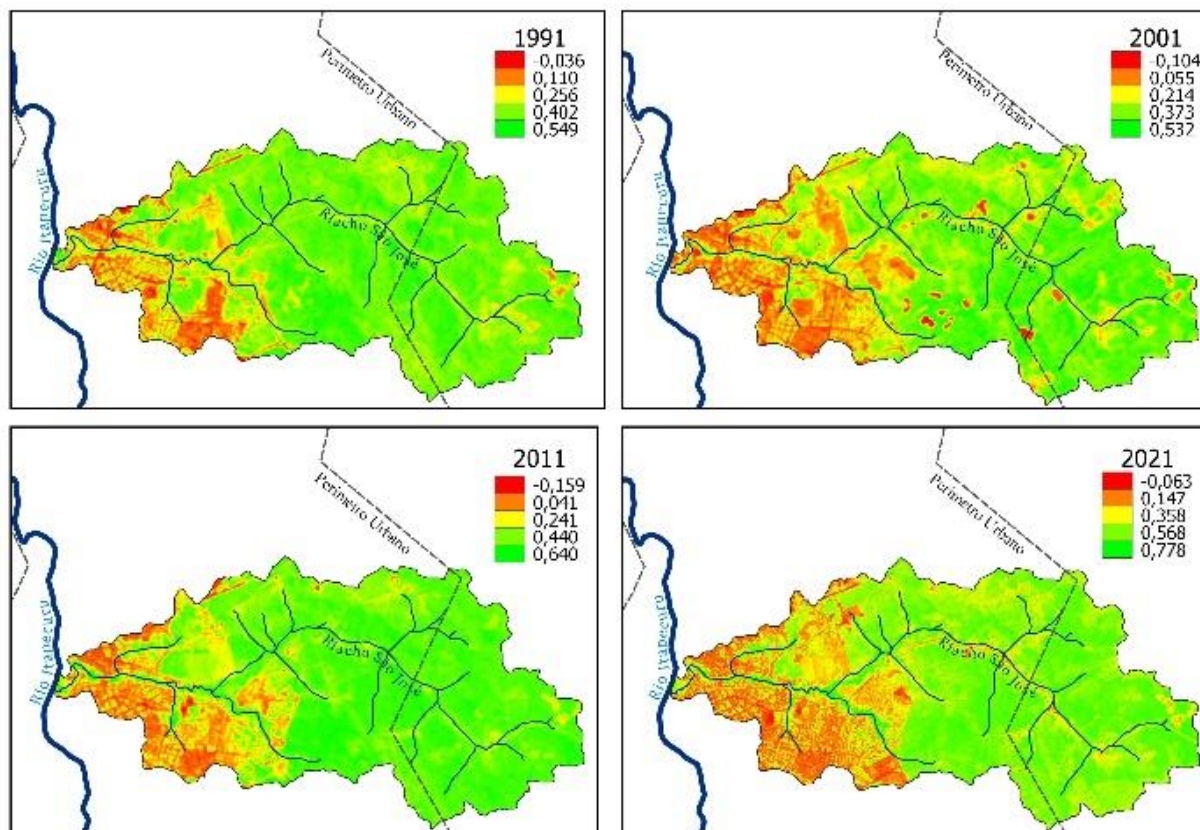
Para complementar os resultados foram construídos gráficos a partir de dados estatísticos na ferramenta r.report do QGIS para dimensionar a proporção que cada índice de NDVI classificado se ocupa no ao longo da bacia hidrográfica, seguindo o mesmo intervalo temporal.

## 3. Resultados e Discussão

Ao observar a dinâmica da cobertura vegetal em relação a urbanização, percebe-se que há uma expansão e, principalmente, uma intensificação nas estruturas urbanas com maior adensamento no baixo curso da sub-bacia do riacho São José, representado em valor negativo (-0,104). Para o cenário constatado em 2001, durante o pré-processamento da imagem, observou-se áreas isoladas com valores negativos,

espalhados pelo médio e alto curso como possíveis cicatrizes de queimada, dada as circunstâncias das datas da imagem que coincide com o período de estiagem e dados estatísticos provido pelo MapBiomias 6.0 (Figura 2).

Figura 2. Aspecto da Cobertura Vegetal pelo NDVI nos anos de 1991, 2001, 2011 e 2021.



Fonte: Pesquisa Direta (2023)

Nas áreas periféricas do perímetro urbano, correspondentes ao médio curso da BHRSJ, nota-se que a cobertura vegetal se torna esparsa à medida que avança para as áreas de cabeceira, a destacar o ano de 2001 que atingiu os menores valores de áreas sem coberturas em contraposição aos maiores valores para densas coberturas atingidas em 2021, porém, não significa que esse índice ocupa a paisagem na BHRSJ por completo, concomitante ao mesmo ano percebe-se um maior avanço da infraestrutura urbana em direção a cabeceira em seus variados estágios. No médio curso há predominância de atividades agrícolas de subsistência e criação de animais.

As observações *in loco* revelaram intenso processo de urbanização do baixo curso da sub-bacia do riacho São José, ocasionando total desconfiguração do leito principal, bem como a supressão da mata ciliar, que tem dado origem a um rigoroso processo de assoreamento e degradação do canal principal. A partir do mosaico da figura 3, verifica-se que o baixo curso da sub-bacia do riacho São José sofre com intenso processo de sufocamento pelo adensamento urbano, seja pela retirada da vegetação, seja pelas construções edificadas as suas margens, conforme observa-se nas figuras 3a e 3c.



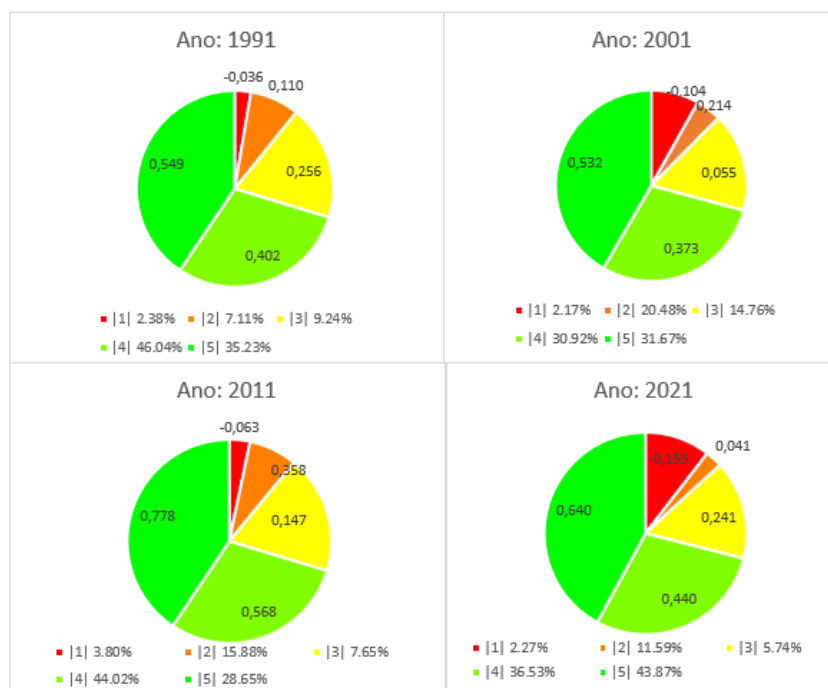
**Figura 3.** Mosaico de imagens do baixo curso da sub-bacia do riacho São José A: esgoto *in natura* sendo drenado diretamente para o leito do riacho, observa-se construções praticamente dentro do canal; B: drenagem de águas pluviais; C: canal sendo obstruído a fim de evitar o extravasamento de suas águas durante o período chuvoso, como consequência verifica-se intenso processo erosivo na cabeceira da ponte; D: devido ao assoreamento e baixa vazão forma-se poças de acúmulo de água ao longo do leito do canal, além da descaracterização da mata ciliar.



Fonte: Pesquisa Direta (2023)

E, para complementar, os gráficos da figura 4 apresentam a proporcionalidade do NDVI ao longo dos intervalos selecionados e demonstram que mesmo o índice de vegetação variando para valores próximos a 1, no qual estão representados em tons de verde escuro, mantém em porcentagem que variam entre 35,23% para o ano de 1991 em detrimento a 2021, ano de menor taxa de vegetação adensada com 28,5%.

Figura 4. Gráficos com os valores obtidos na série histórica analisada



Há uma variação significativa nas porcentagens representadas em vermelho e amarelo. Destaca-se, o gráfico de 2001 no qual nota-se um ano excepcional para a paisagem da BHRSJ em mapa, mas as taxas representadas por um NDVI negativo que cobre 2,17% da área da bacia representado em laranja no gráfico, enquanto juntamente o vermelho corresponde a 14,76%. Nos anos de 2011 e 2021 as proporções nas tonalidades verde e verde claro, ainda, se mantém em proporção, mas os índices possuem considerável alteração, principalmente para 2021, os quais os índices se aproximam do 1 (0,778) equivalendo a 28,65% quando comparado a 2011, onde representava 0,640, correspondendo a 43,87%. Fatores podem justificar essas informações (Figura 4)

Rosário, Lima e Nunes (2020), analisaram dois bairros presentes da área urbana de Caxias, e revelaram que a ocupação em áreas de riscos como: encostas de morros, planícies de inundação dos rios e córregos presentes na cidade, a impermeabilização de áreas úmidas associado a alta vulnerabilidade social da população tem desencadeado problemas socioambientais significativos. Ainda segundo os autores, existe a necessidade de um planejamento urbano que inclua evidentemente uma infraestrutura adequada e que melhore a qualidade de vida da população.

Pereira, Nunes e Araújo (2021), realizaram uma análise multitemporal do uso e cobertura da terra, para os anos de 2000 e 2017, do setor leste da cidade de Caxias, e revelaram as principais mudanças ocorridas na paisagem, bem como impactos socioambientais. Os autores destacam o crescimento da área urbana, manutenção de uma área significativa da cobertura vegetal secundária, e a instalação de equipamentos urbanos, como calçamentos e conjuntos habitacionais.

Os estudos revelaram as mudanças significativas existentes na paisagem da cidade de Caxias, sobretudo no baixo curso da BHRSJ, as intervenções antrópicas vem desencadeando problemas socioambientais irreversíveis, necessitando de políticas públicas que atuem, principalmente junto a população local, sensibilizando-os a evitar a ocupação de áreas de riscos, principalmente em Áreas de



Proteção Permanente (APP) de riachos e córregos, que no período de alta pluviosidade gera desastres ambientais e encostas de morros. Além de provocar a supressão da vegetação importante na proteção das margens e atenuam os efeitos das enchentes e ao descarte incorreto dos resíduos sólidos.

Honorato, Santos e Moraes (2020) em estudo realizado sobre as áreas de expansão urbana de Caxias-MA, identificaram que entre os anos de 1988 e 2018 houve um intenso processo de crescimento urbano, sobretudo com a construção de grandes residenciais, assim áreas antes vegetadas foram substituídas por residências e empreendimento públicos e privados. Ressalta-se, também, a dinâmica recente a partir da construção de conjuntos habitacionais e residenciais nas franjas urbanas da cidade, contribuindo para a supressão da vegetação e desmonte de morros e descaracterização de cursos d'água.

#### 4. Conclusão

O crescimento populacional das médias cidades brasileiras é um fenômeno latente na atualidade, pois com a oferta de sua infraestrutura e acesso aos diversos serviços urbanos tem atraído cada vez mais pessoas. Esse processo é acompanhado, muitas vezes, por ocupações em áreas consideradas de riscos ou inadequadas, como as margens de rios e riachos, desencadeando inúmeros problemas socioambientais, além da descaracterização da paisagem.

A dinâmica da cobertura vegetal em bacias hidrográficas urbana ou parcialmente urbana, como é o caso da cidade de Caxias, que está em plena expansão, é notável pelas imagens e pelos dados gerados, que as proporções dos níveis de cobertura vegetal oscilam ao longo dos anos amostrados, implicando na diversificação da paisagem na sub-bacia hidrográfica do riacho São José.

A partir das imagens entre os anos de 2011 e 2021 foi possível perceber o direcionamento quanto ao tipo de uso do terra, ou seja, indicando uma intensificação do processo de urbanização, ainda que há uma expressiva cobertura vegetal nas margens a jusante do curso principal, demonstrando uma dinâmica de evolução urbana característica, dadas a posição que o município ocupa, sendo um dos mais populosos do Maranhão, ainda não alterou por completo a paisagem da BHRSJ, o que reflete na necessidade de desenvolver mais estudos sobre essa temática, tanto no aspecto ambiental quanto socioeconômico para compreender de forma mais abrangente essa dinâmica e os efeitos negativos para a população.

O NDVI da BHRSJ revelou, também, que a sub-bacia se encontra mais conservada no alto e médio curso nas porções leste e centro. No entanto, a maior interferência humana encontra-se no baixo curso às margens do canal principal, abrangendo principalmente as porções oeste e sudoeste da sub-bacia.

Conclui-se, da necessidade de maiores investimentos e políticas públicas por parte do poder local para a recuperação das áreas de proteção permanente (APP) principalmente quanto a cobertura vegetal ciliar do riacho São José e seus afluentes, esta responsável por proteger esse recurso hídrico de erosão e degradação.

#### 5. Referências

- ALMEIDA, Nadjacleia Vilar; CUNHA, Sandra Baptista da; NASCIMENTO, Flávio Rodrigues. A cobertura vegetal e sua importância na análise morfodinâmica da bacia hidrográfica do rio Taperoá – Nordeste do Brasil/ Paraíba. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 4, p.365–378, 2012.
- ANDRADE, Bruna da Silva; MELO, Marta Regina da Silva; SILVA, Mauro Henrique Soares da. Geoprocessamento aplicado a análise da cobertura e uso da terra na área de proteção ambiental dos mananciais do córrego lajeado, Campo Grande - MS. **Sociedade e Território**, Natal, v. 31, n. 1, p. 200-221, jan. 2019.
- ARAÚJO, F. A. S. **Geomorfologia aplicada à fragilidade e ao zoneamento ambiental de Caxias/MA.**

2012. 185 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós -Graduação em Geografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia, campus Presidente Prudente, 2012.

CAETANO, R.; BASTOS SILVA, T.; RIBEIRO DE CASTRO, D.; SILVA BENFICA, N. Uso de índices espectrais na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido Baiano. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 28–43, 2022. DOI: 10.21680/2447-3359.2022v8n2ID26864.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001 (INPE-8454RPQ/722). 103 p.

COCHEV, Jakeline Santos; NEVES, Ronaldo José; NEVES, Sandra Mara Alves da Silva. O ensino de geografia e as bacias hidrográficas: estudo de caso na bacia hidrográfica Paraguai-Jauquara/MT. **Boletim de Geografia**, [S.L.], v. 36, n. 2, p. 45, 15 ago. 2018.

CORREIA FILHO, Francisco Lages. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão**: relatório diagnóstico do município de Caxias. Teresina: CPRM, 2011.

DOS SANTOS, F. de A.; SILVEIRA MENDES, L. M.; BRITO DA CRUZ, M. L. Suscetibilidade biofísica a inundações da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 15, n. 1, p. 266–285, 2021. DOI: 10.5216/ag.v15i1.64590.

EMBRAPA SOLOS. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/ SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2018.

GÓES, A. M. **A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba**. 1995. 171 f. Tese - Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 1995.

HONORATO, A. W. B; SANTOS, L. A; MORAES, L. A. **Expansão urbana e seus impactos ambientais em Caxias (MA)**: análise sobre os projetos de habitação de interesse social. In: FAÇANHA, A. C; SILVA, C. C; DIAS, O. L. C. (Org.:). Teresina e as cidades na região. Goiânia: C&A Alfa Comunicação, 2020.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2 eds. São José dos Campos: Parêntese, 2009, p.604.

LANG, Stefan; BLASCHKE, Thomas. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de textos, 2009. 424 p.

LIMA, E. A. M.; BRANDÃO, R. L. **Geologia**. In: PFALTZGRAFF, P. A. S.; TORRES, F. S. M; BRANDÃO, R. L. (Orgs.). Geodiversidade do estado do Piauí. Recife: CPRM, 2010.

MACHADO, Adilson Borges. Comparação de imagens OLI/landsat-8 e MSI/sentinel-2 no mapeamento de uso e cobertura da terra na ilha do Maranhão. **Revista Equador** v. 9, n. 3 (2020). DOI: <https://doi.org/10.26694/equador.v9i3.10451>.

- NASCIMENTO, Iris Celeste. **Geodiversidade do estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013.
- PEREIRA, P. B.; NUNES, H. K. B.; SOUSA, A.S. Caracterização geoambiental do município de Caxias/Maranhão, Brasil. **Revista Geografia em Atos**. UNESP, Presidente Prudente. V. 6, 2022.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.
- SANTOS, A. K. F. dos; FACCO, D. S.; CABRAL, J. B. P.; PEREIRA FILHO, W. Técnicas de remoção do contínuo por meio de uma biblioteca espectral nas águas do reservatório da usina hidrelétrica barra dos coqueiros (GO). **Geoambiente On-line**, Goiânia, n. 30, 2018. DOI: 10.5216/revgeoamb.v0i30.52854. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/52854>. Acesso em: 13 set. 2022.
- SILVA, A L. C. ; HATTERMANN, F. ; KOCH, H. ; Roberto Azevedo . Analise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Bacia do Rio Pajeú, PE. In: I Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 2016, Juazeiro. **Anais ... Juazeiro**, 2019.
- TRICART J. 1977. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, FIBGE/ SUPREN.
- ZANZARINI, Fabricio V.; PISSARRA, Teresa C. T.; BRANDÃO, Flavia J. C.; TEIXEIRA, Daniel D. B.. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 6, p. 608-614, abr. 2013.