

Estudo

Texto recebido em: 10 ago. 2023. Texto aprovado em: 26 jan. 2024.

PAIVA, Anderson Luiz Ribeiro de; SANTOS, Sylvana Melo dos; LEONARDO, Haylla Rebeka de Albuquerque Lins; ALMEIDA, Débora Natália Oliveira de; SILVA JÚNIOR, Juarez Antônio da. Geotecnologias aplicadas na análise do crescimento urbano da Região Imediata da cidade de Araripina-PE. *Estudos Universitários: revista de cultura*, UFPE/Proexc, Recife, v. 40, n. 2, p. 378-400, jul./dez. 2023.

<https://doi.org/10.51359/2675-7354.2023.259444>

ISSN Edição Digital: 2675-7354



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons
Atribuição 4.0 Internacional.

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS NA ANÁLISE
DO CRESCIMENTO URBANO DA REGIÃO
IMEDIATA DA CIDADE DE ARARIPINA-PE**
*GEOTECHNOLOGIES APPLIED IN THE ANALYSIS OF URBAN
GROWTH IN THE IMMEDIATE REGION OF THE CITY OF
ARARIPINA-PE*

Anderson Luiz Ribeiro de Paiva

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Doutor em Engenharia Civil

E-mail: anderson.paiva@ufpe.br

 <https://orcid.org/0000-0003-3475-1454>

 <http://lattes.cnpq.br/8275483858862408>

Sylvana Melo dos Santos

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Doutora em Engenharia Civil

E-mail: sylvana.santos@ufpe.br

 <https://orcid.org/0000-0003-3106-5301>

 <http://lattes.cnpq.br/8105189048452016>

Haylla Rebeka De Albuquerque Lins Leonardo

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Mestre em Engenharia Civil

E-mail: haylla.rebeka@ufpe.br

 <https://orcid.org/0000-0001-6404-3366>

 <http://lattes.cnpq.br/1048859922511937>

Débora Natália Oliveira de Almeida

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação

E-mail: debora.noalmeida@ufpe.br

 <https://orcid.org/0000-0001-6000-6138>

 <http://lattes.cnpq.br/0686530224846541>

Juarez Antônio da Silva Júnior

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Bacharel em Engenharia Cartográfica

E-mail: juarez.silvajunior@ufpe.br

 <https://orcid.org/0000-0002-2898-0309>

 <http://lattes.cnpq.br/9759453536245599>

Resumo

A expansão urbana é um fenômeno que envolve uma intensa modificação antrópica do ambiente, no entanto, essas alterações podem resultar em impactos ambientais negativos, como a substituição das áreas vegetadas e a impermeabilização do solo. Este estudo tem por objetivo detectar as alterações ocorridas na Região Imediata de Araripina em decorrência de sua expansão urbana e das modificações espaciais sofridas em toda a sua região. A partir da plataforma de processamento em nuvem do *Google Earth Engine*, na qual é utilizada a linguagem de programação *JavaScript*, obteve-se por meio do banco de dados dos satélites *TM Landsat 5* e *OLI Landsat 8* as imagens georreferenciadas da área de estudo, referentes aos anos de 1992 e 2021, respectivamente. Em seguida, foram calculados os parâmetros biofísicos, Diferença Normalizada para Áreas Construídas (Normalized Difference Built-Up Index - NDBI), o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) e o Built-Up, e o uso e ocupação do solo. Os resultados evidenciaram que houve um aumento do valor do *NDBI* e do *Built-Up* no ano de 2021 em comparação com o ano de 1992, como consequência das alterações no uso e ocupação do solo, e da expansão das áreas construídas na região. Os resultados dos índices biofísicos foram condizentes com os dados referentes ao uso e à ocupação do solo obtidos pelo projeto MapBiomias, relatando que a classe de uso do solo referente à área urbana sofreu aumento expressivo ao longo dos anos, indicando, assim, a expansão dos centros urbanos da região. A técnica utilizada se mostrou, portanto, adequada para uso dos gestores públicos, sendo rápida e eficiente, na definição de planos e ações que envolvem o processo de urbanização.

Palavras-chave: índices biofísicos. crescimento urbano. sensoriamento remoto.

Abstract

Urban expansion is a phenomenon that involves an intense anthropogenic modification of the environment, however, these changes can result in negative environmental impacts, such as the replacement of vegetated areas and the sealing of the soil. This study aims to detect the changes that occurred in the Immediate Region of Araripina as a result of urban expansion and of the spatial changes which have taken place in all of its region. Using the *Google Earth Engine* cloud processing platform and the *JavaScript* programming language, georeferenced images of the study area were obtained from the database of the *TM Landsat 5* and *OLI Landsat 8* satellites, referring to the years 1992 and 2021, respectively. The biophysical parameters, Normalized Difference Built-Up Index (*NDBI*), Normalized Difference Vegetation Index (*NDVI*) and *Built-Up*, and land use and occupation were then calculated. The results showed that there was an increase in the value of *NDBI* and *Built-Up* in 2021, compared to 1992, as a consequence of changes in land use and occupation, and also of the expansion of built areas in the region. The results of the biophysical indices were consistent with the land use and occupation data obtained by the *MapBiomas* project, showing that the urban area land use class suffered a significant increase over the years, indicating, therefore, the expansion of the region's urban centers. The technique used therefore proved to be suitable for use by public managers, being quick and efficient, in defining plans and actions that involve the urbanization process.

Keywords: biophysical indices. urban growth. remote sensing.

INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, ao longo do tempo, os territórios dos centros urbanos têm passado por diversas transformações resultantes de processos naturais, históricos e socioeconômicos. Tais mudanças

impactam significativamente as paisagens do mundo e influenciam a distribuição espacial das diferentes atividades humanas, sendo uma das transformações mais notáveis a expansão urbana, que advém do crescimento acelerado das cidades e do surgimento de novos centros urbanos. Conforme Sakuno *et al.* (2017), a expansão urbana é um fenômeno que envolve uma intensa modificação antrópica do ambiente, visando torná-lo completamente funcional para atender às necessidades humanas. No entanto, de acordo com os autores, essas alterações podem resultar em impactos ambientais negativos, como impermeabilização do solo e perda da cobertura vegetal de determinadas áreas.

No cenário da expansão urbana se inserem as Regiões Geográficas Imediatas, que, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2017), têm na rede urbana o seu principal elemento de referência. Em 2017, o IBGE alterou a divisão territorial brasileira devido ao aumento verificado na diferenciação interna do espaço territorial como resultado de modificações econômicas, demográficas, políticas e ambientais, demarcando as denominadas Regiões Imediatas. De forma geral, pode se entender que essas regiões correspondem às áreas que procuram centros urbanos próximos para satisfação de necessidades imediatas, tais como: compras de bens de consumo duráveis e não duráveis, emprego, serviços de saúde e educação e prestação de serviços públicos, como postos de atendimento do Instituto Nacional do Seguro Social – INSS, do Ministério do Trabalho e de serviços judiciários, entre outros (Agência de Notícias - IBGE, 2017). Tais serviços tornam as Regiões Imediatas pontos relevantes de análise e, nesse contexto, o Sensoriamento Remoto (SR) constitui um instrumento

essencial para monitorar, de forma precisa, a expansão urbana e suas diversas características.

Para Sakuno *et al.* (2017), a crescente geração de imagens orbitais de alta resolução e a abrangência do espaço terrestre em diferentes escalas fornecem subsídios valiosos para pesquisas que, aliadas ao Sistema de Informação Geográfica (SIG), podem desempenhar um papel significativo no planejamento e na implementação de políticas públicas ambientais urbanas eficazes. Neste contexto, os principais índices aplicados para avaliar a expansão urbana e a alteração da cobertura vegetal oriunda das ações antrópicas são o Índice de Diferença Normalizada para Áreas Construídas (*Normalized Difference Built-Up Index - NDBI*), o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index - NDVI*) e o *Built-Up*. Pesquisas que envolvem áreas urbanas e periurbanas buscam monitorar e acompanhar o crescimento e a distribuição espacial tanto de regiões urbanas quanto de áreas verdes (Jensen, 2009; Costa; Augusto; Seabra, 2017).

Proposto por Rouse *et al.* (1973), o índice *NDVI* permite detectar mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e nas atividades da vegetação, fornecendo informações sobre o perfil temporal de crescimento e umidade desta. Esse indicador varia de -1 a +1, com valores entre 0 e 1 indicando superfícies com vegetação verde densa ou escassa, enquanto valores abaixo de 0 predominam em áreas de água ou nuvens (Rouse *et al.*, 1973).

Já o índice *NDBI*, por sua vez, foi desenvolvido por Zha, Gao e Ni (2003) e é competente na detecção de áreas construídas (França; Tavares Júnior; Moreira Filho, 2012). Esse índice se baseia no aumento da resposta espectral observada em áreas construídas nas bandas do infravermelho médio e infravermelho próximo.

Os valores do *NDBI* variam de -1 a 1, onde valores positivos indicam áreas construídas, conforme observado por Zha Gao e Ni, 2003. Conforme Xu (2008), comumente o *NDBI* se mistura com ruídos presentes em imagens de outras classes de uso, como solo exposto, devido à proximidade dos valores de reflectância¹ com os das áreas urbanas.

O indicador *Built-Up* foi, segundo He *et al.* (2010), proposto para aprimorar a distinção entre áreas construídas (superfícies impermeáveis) e não construídas (superfícies permeáveis), permitindo o destaque de áreas urbanas impermeabilizadas e de vegetação em ambientes urbanos. De acordo com Jensen (2009), o resultado *Built-up* é uma imagem que contém somente *pixels* das áreas construídas e estéreis, as quais apresentam valores positivos, enquanto todas as outras classes de cobertura terrestre apresentam valores negativos. Essa técnica demonstrou uma precisão de 92%.

Diante do exposto, este estudo tem por objetivo detectar as alterações ocorridas na Região Imediata de Araripina em decorrência das alterações espaciais sofridas e da expansão urbana, aplicando o processamento em nuvem dos índices *NDBI* e *NDVI*, do indicador *Built-Up*, além do uso e da ocupação do solo para os anos de 1992 e 2021.

¹ “A proporção de energia radiante incidente que é refletida por uma superfície. A reflectância varia de acordo com os comprimentos de onda da energia radiante incidente e com a cor e composição da superfície” (Reflectância, 2023).

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a Região Geográfica Imediata de Araripina, uma das 17 Regiões Imediatas situadas no estado de Pernambuco, região Nordeste do Brasil. Localizada na Região Geográfica Intermediária de Petrolina, a Região Imediata em questão apresenta uma população estimada de 329.583 habitantes e uma área total de 11.803,677 km², estando nas coordenadas 7° 34' 41" de latitude sul e 40° 29' 48" de longitude oeste (Figura 1).

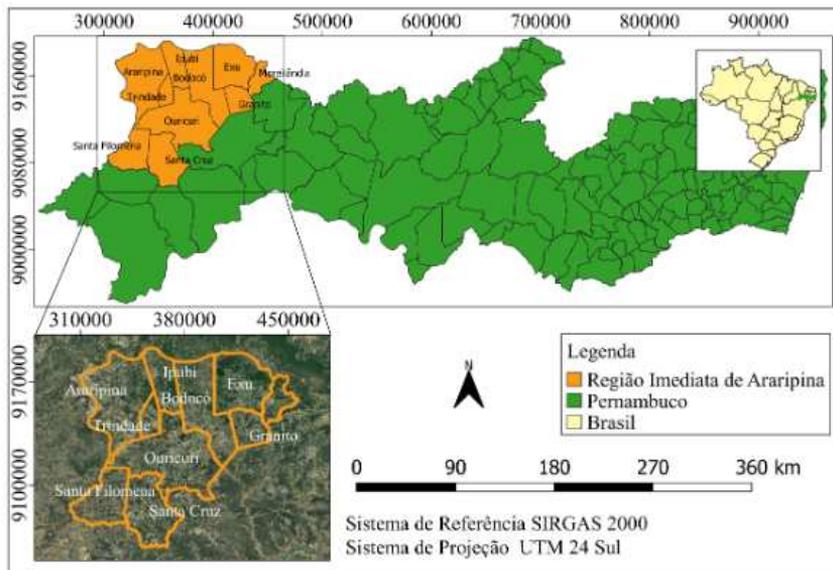


Figura 1. Localização da área de estudo

Fonte: Os autores (2023).

Além disso, é composta por dez municípios, sendo eles: Araripina, Ipupi, Bodocó, Exu, Moreilândia, Granito, Ouricuri, Santa Cruz e Santa Filomena. Os municípios que a compõem constituem o maior polo gesso do Brasil, tendo assim uma signifi-

cativa importância para a compreensão do crescimento urbano dessa região. Araripina é atualmente o município mais populoso da Região Imediata, com 85.088 habitantes, conforme o IBGE (2023).

Índices pluviométricos

Para a compressão do aporte hídrico da cobertura vegetal da região nos anos de estudo, realizou-se uma análise dos seus índices pluviométricos, na qual foram exportados os dados pluviométricos mensais do banco de dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima de Pernambuco (APAC), obtidos da estação automática instalada no município de Araripina. Para isto, foram utilizadas duas estações devido à disponibilidade de dados nos anos selecionados para o estudo: Araripina – IPA (código 3), para a obtenção dos dados de precipitação mensal referentes ao ano de 1992, e Araripina – PCD (código 225), para os dados mensais referentes ao ano de 2021. A partir dos dados mensais acumulados de precipitação pluviométrica, foram confeccionados gráficos de barra para a análise da pluviometria da região (Figura 2). O ano de 1992 apresentou uma precipitação acumulada anual de 629,5 mm, valor aproximado ao observado no ano de 2021 (627,0 mm). Os meses de novembro a abril em especial apresentam maiores valores de precipitação mensal, caracterizando o período chuvoso da região, enquanto os meses de maio a outubro apresentam os menores valores de precipitação mensal, caracterizando o período seco.

O mês selecionado para análise foi o mês de agosto, devido à disponibilidade de imagens de satélite com menor presença de nuvens nos dois anos de estudo. Em agosto de 1992 não houve períodos de precipitação, porém, com relação ao ano de 2021, foi observado uma precipitação acumulada mensal de 2,60 mm.

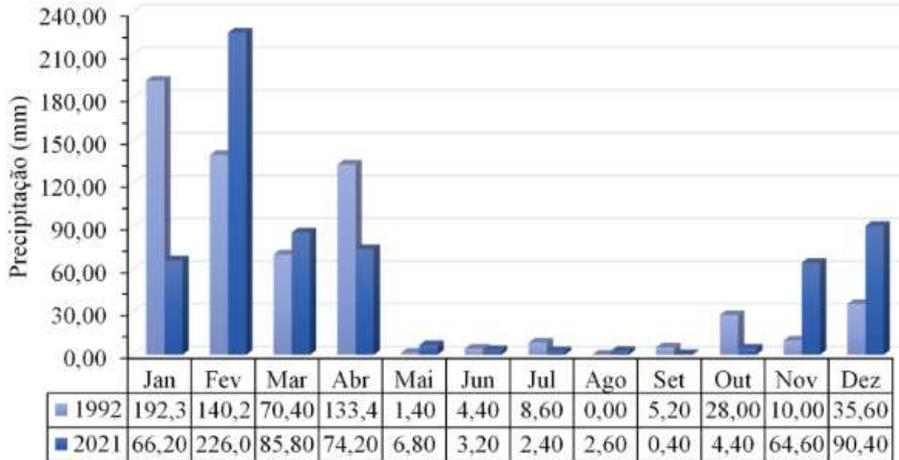


Figura 2. Precipitação pluviométrica na área de estudo nos anos de 1992 e 2021
Fonte: Os autores (2023).

Processamento dos parâmetros biofísicos

A aquisição e o processamento dos dados orbitais foram realizados em linguagem de programação *JavaScript* no editor de código da plataforma de processamento em nuvem *Google Earth Engine*. Por meio de uma extensa pesquisa, selecionou-se as imagens disponíveis para a área de estudo com menor incidência de nuvens. Dessa forma, foram selecionadas as imagens referentes aos dias 24 de agosto de 1992, proveniente do satélite *Landsat 5*, equipado com o sensor *Thematic Mapper (TM)*, e 24 de agosto de 2021, proveniente do satélite *Landsat 8*, equipado com o sensor *Operational Land Imager (OLI)*, conforme descrito na Tabela 1.

| Data | Hora (UTM) | Ângulo de elevação do Sol | Órbita | Ponto | Resolução |
|------------|-------------|---------------------------|--------|-------|-----------|
| 24/08/1992 | 12:10:01,47 | 48,08 | 217 | 65 | 30 m |
| 24/08/1992 | 12:10:25,39 | 47,27 | 217 | 66 | 30 m |
| 24/08/2021 | 12:47:47,89 | 56,35 | 217 | 65 | 30 m |
| 24/08/2021 | 12:48:11,81 | 55,38 | 217 | 66 | 30 m |

Tabela 1. Informações da imagem e do ponto do satélite

Fonte: *Google Earth Engine* (2023).

As imagens orbitais e os arquivos vetoriais foram projetados novamente para o Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), Universal Transversa de Mercator (UTM) fuso 24 Sul. As imagens selecionadas foram mescladas e, em seguida, processadas, considerando o recorte da cena conforme a área de interesse. Para a composição dos mapas, com as imagens dos parâmetros biofísicos processados (*NDVI*, *NDBI* e *Built-Up*), os mapas foram estruturados por meio da utilização da ferramenta de composição de impressão do *software QGIS* versão 3.16.16. O processamento dos parâmetros biofísicos foi realizado com o editor de códigos do *Google Earth Engine*. As refletâncias planetárias corrigidas para cada banda foram obtidas pelos satélites *Landsat 5 TM Collection 2 Tier 1 calibrated top-of-atmosphere (TOA) reflectance* e *Landsat 8 Collection 2 Tier 1 calibrated top-of-atmosphere (TOA) reflectance*.

O cálculo do *NDVI* foi realizado aplicando a Equação 1.

$$NDVI = \frac{\rho_{IVp} - \rho_V}{\rho_{IVp} + \rho_V}$$

Em que: ρ_{IVp} é a refletância da banda do infravermelho próximo e ρ_V é a refletância da banda do vermelho.

O cálculo do *NDBI* foi realizado aplicando a Equação 2.

$$NDBI = \frac{\rho_{IVm} - \rho_{IVp}}{\rho_{IVm} + \rho_{IVp}}$$

Em que: ρ_{IVm} é a reflectância da banda do infravermelho médio e ρ_{IVp} é a reflectância da banda do infravermelho próximo.

Para destacar as áreas impermeabilizadas e a vegetação em ambientes urbanos, considerou-se a relação entre o *NDBI* e o *NDVI* (Equação 3).

$$Built - Up = NDBI - NDVI$$

Uso e Ocupação do solo

A análise do uso e ocupação do solo foi conduzida por meio de produtos fornecidos pelo Projeto MapBiomias. Esse projeto consiste na criação de mapas anuais de cobertura e uso do solo, os quais são gerados através da classificação *pixel a pixel* de imagens dos satélites *Landsat*. Esse processo utiliza algoritmos de aprendizado de máquina na plataforma *Google Earth Engine* (MapBiomias, 2022), conforme apresentado na Figura 3.

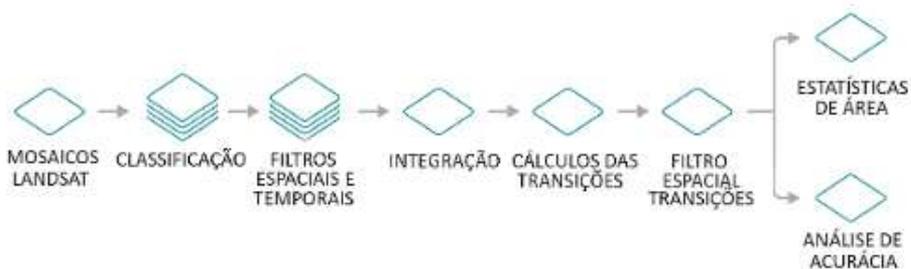


Figura 3. Etapas de processamento do MapBiomias

Fonte: MapBiomias (2022).

Para o processamento, foi realizado o carregamento dos arquivos do *shapefile*² da Região Imediata de Araripina. Em seguida, utilizou-se um *script*³ no *Google Earth Engine* para baixar os mapas do Projeto MapBiomas Brasil, versão 7.0, restringindo a região de interesse pelo polígono de máscara⁴. Os anos de estudo (1992 e 2021) foram, então, selecionados para análise. Posteriormente, os mapas gerados e a tabela com as áreas das diferentes classes de uso e ocupação do solo foram exportados. As imagens resultantes foram enviadas para o *software* QGIS, versão 3.16.16, para a criação dos mapas de análise.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As cartas georreferenciadas nos anos 1992 e 2021 do *NDVI* indicam a variabilidade da cobertura vegetal (Figura 4). No ano de 1992, é possível evidenciar *pixels* com valores mais altos de *NDVI* nos municípios de Exu e Moreilândia, classificados entre 0,263 a 0,751 e identificados pela coloração verde, indicativa de maior densidade vegetativa na região.

2 Shapefile é um formato de armazenamento de dados de vetor da empresa Esri para armazenar a posição, a forma e os atributos de feições geográficas (Shapefile, 2022).

3 Instruções que guiam o computador a executar alguma tarefa (Roveda, 2022).

4 É uma função gráfica que permite o desenho de um polígono sobre uma área selecionada (Dassault Systemes, 2021).

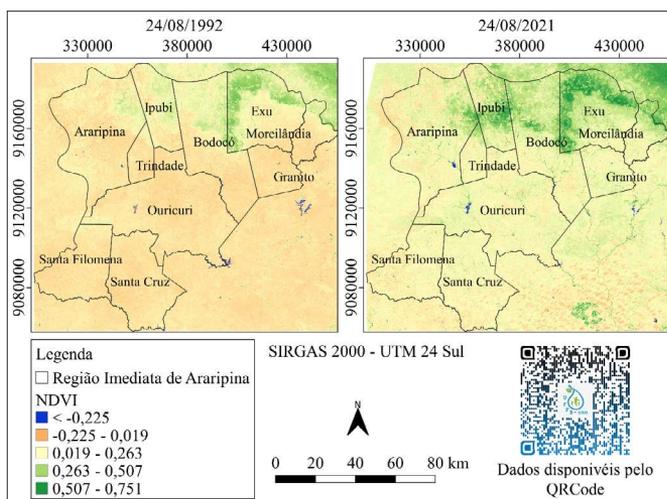


Figura 4. NDVI da Região Imediata de Araripina nos anos de 1992 a 2021

Fonte: Os autores (2023).

De forma geral, o *NDVI* é usado para quantificar a densidade da vegetação e avaliar as mudanças no desenvolvimento da planta, sendo um dos índices mais amplamente utilizados para monitoramento regional e global da dinâmica da vegetação (Alademomi *et al.*, 2022). No ano de 1992, observou-se nos municípios de Santa Filomena, Santa Cruz, Ouricuri, Trindade, Araripina e Granito valores mais baixos de *NDVI*, classificados entre -0,225 e 0,019 e indicados pela coloração laranja, o que denota menor presença ou vigor da vegetação. Tal fato pode estar relacionado a várias condições, como ausência de vegetação, vegetação sob estresse hídrico ou cobertura vegetal escassa.

Na Tabela 2, verificou-se a variação estatística do índice entre os anos de análise, evidenciando um aumento do valor do *NDVI* para o ano de 2021, em comparação com o ano de 1992, ou seja, houve aumento da cobertura vegetal da área de estudo no ano de 2021. A região dos municípios de Santa Filomena, Santa Cruz, Ouricuri, Trindade, Araripina, Ipubi, Bodocó e Granito apresentaram valo-

res de *NDVI* entre 0,019 e 0,507 e, segundo Alademomi *et al.* (2022), valores de *NDVI* até 0,3 caracterizam área com vegetação de baixo porte. Os resultados do *NDVI* no ano de 2021 para a região de estudo corroboram com os dados evidenciados por Caixeta e Senna (2023). Conforme os autores, as áreas caracterizadas por valores de *NDVI* entre 0,380 e 0,520 são indicativas da presença de vegetação de porte moderado.

| Data | Máximo | Média | Mínimo | Desvio Padrão |
|------------|--------|-------|--------|---------------|
| 24/08/1992 | 0,682 | 0,227 | -0,364 | 0,108 |
| 24/08/2021 | 0,828 | 0,330 | -0,785 | 0,139 |

Tabela 2. Dados estatísticos do *NDVI* nos anos de 1992 e 2021

Fonte: Os autores (2023).

A aplicação do *NDBI*, por sua vez, permite identificar regiões de áreas permeáveis e impermeáveis. Na Figura 5, pode-se observar o *NDBI* processado para a Região Imediata de Araripina nos anos de 1992 e 2021.

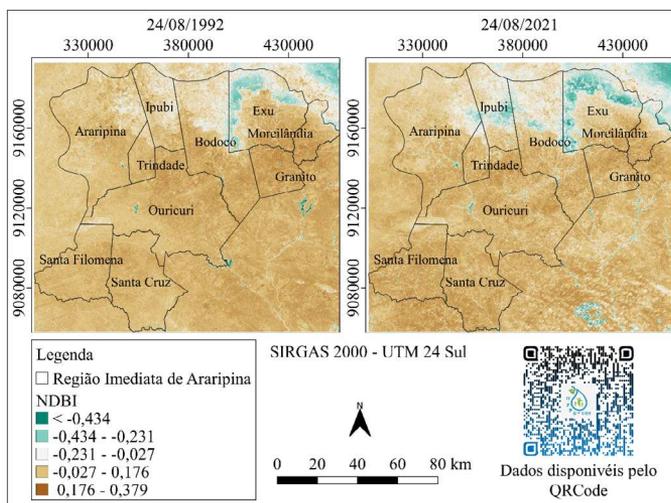


Figura 5. NDBI da Região Imediata de Araripina nos anos de 1992 e 2021

Fonte: Os autores (2023).

Evidencia-se que as regiões demarcadas por menores valores de *NDVI*, isto é, os municípios de Santa Filomena, Santa Cruz, Ouricuri, Trindade, Araripina, Ipubi, Bodocó e Granito, apresentam maiores valores de *NDBI*, classificados entre -0,027 e 0,379, os quais indicam áreas com menor permeabilidade. Conforme Costa, Augusto e Seabra (2017), esses valores são característicos da cobertura vegetal da região, visto que a resposta espectral das vegetações de restinga e caatinga se assemelha à resposta espectral da superfície urbana.

Observa-se, na Tabela 3, que houve aumento do valor do *NDBI* no ano de 2021 em comparação com o ano de 1992, tal fator é justificado pelas alterações no uso e ocupação do solo e pela expansão das áreas construídas na região. Segundo Choudhury, Das e Das (2019), a expansão de áreas construídas/impermeáveis altera as características físicas e geométricas de uma superfície terrestre em comparação com a cobertura natural do solo, resultando na alteração de energia da superfície e de balanços de radiação.

| Data | Máximo | Média | Mínimo | Desvio Padrão |
|-------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|
| 24/08/1992 | 0,427 | 0,142 | -0,796 | 0,125 |
| 24/08/2021 | 0,622 | 0,121 | -0,790 | 0,147 |

Tabela 3. Dados estatísticos do *NDBI* nos anos de 1992 e 2021

Fonte: Os autores (2023).

A análise do *NDVI* ressaltou que nos municípios de Exu e Moreilândia, demarcados pelos maiores valores desse índice, há maior predominância de valores negativos de *NDBI*. Para o ano de 1992, são observados valores de *NDBI* entre -0,434 e -0,231, indicando predominância de cobertura terrestre não construída na área analisada. Para o ano de 2021, observa-se a expansão das áreas com

valores negativos de *NDBI*, áreas estas também classificadas por valores menores que -0,434, corroborando com o resultado destacado pelo *NDVI* de que nessa região ocorreu aumento da cobertura vegetal ao comparar os anos de análise.

O *Built-Up* é aplicado para a caracterização e análise de áreas urbanas, proporcionando uma análise mais otimizada das áreas construídas que o *NDBI*. Os valores do *Built-Up* para a área de estudo estão apresentados na Figura 6. A análise do *Built-Up* indicou valores mais elevados nas regiões dos municípios de Santa Filomena, Santa Cruz, Ouricuri, Trindade, Araripina, Ipubi, Bodocó e Granito, classificados entre -0,313 e 0,454, e identificados pela coloração marrom. O ano de 2021 apresentou o valor máximo do índice, que foi de 1,407, sendo superior ao valor máximo observado no ano de 1992, que foi de 0,454 (Tabela 4).

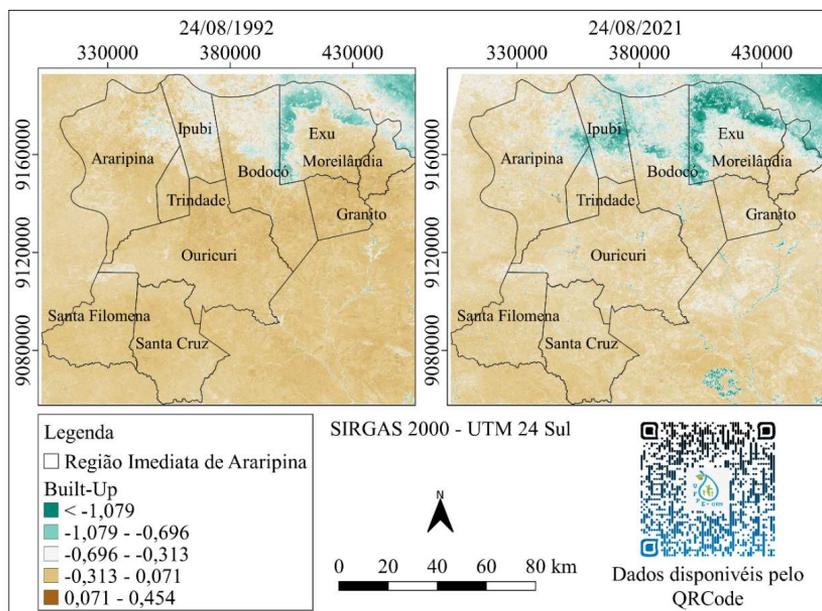


Figura 6. *Built-Up* da Região Imediata de Araripina nos anos de 1992 e 2021

Fonte: Os autores (2023).

| Data | Máximo | Média | Mínimo | Desvio Padrão |
|------------|--------|--------|--------|---------------|
| 24/08/1992 | 0,454 | -0,084 | -1,079 | 0,214 |
| 24/08/2021 | 1,407 | -0,209 | -1,411 | 0,273 |

Tabela 4. Dados estatísticos do *Built-Up* nos anos de 1992 a 2021

Fonte: Os autores (2023).

Em Exu e Moreilândia são visualizados os menores valores de *Built-Up*, entre -1,079 e -0,696, os quais são indicativos de áreas permeáveis, sendo que o valor mínimo observado no ano de 2021 foi de -1,411, enquanto o valor mínimo observado no ano de 1992 foi de -1,079. Destaca-se que ocorreu uma redução do valor do índice nas áreas permeáveis, corroborando com os resultados obtidos nas cartas georreferenciadas do *NDBI* e do *NDVI*.

Para compreensão das alterações sofridas na cobertura vegetal da região, utilizou-se a classificação de uso e ocupação do solo desenvolvida pelo projeto MapBiomias nos anos de 1992 e 2021 (Figura 7).

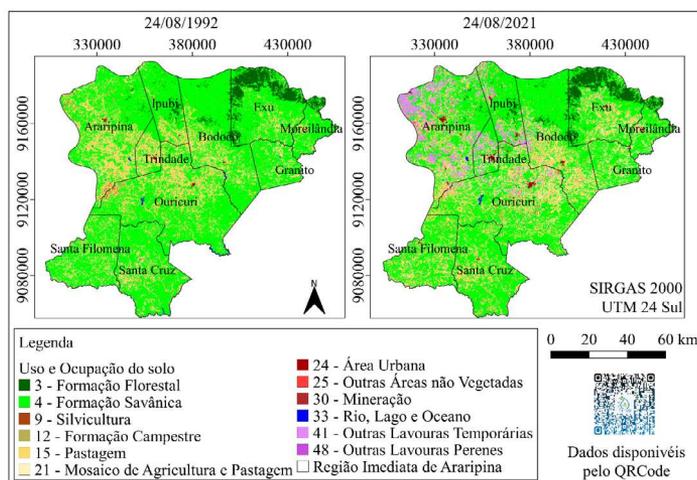


Figura 7. Uso e ocupação do solo da Região Imediata de Araripina nos anos de 1992 a 2021

Fonte: Os autores (2023).

No que se refere à utilização do solo, nos locais em que foram identificados maiores valores de *NDVI* e menores valores de *NDBI* e *Built-Up* (municípios de Exu e Moreilândia), foram identificadas a classe de Formação Florestal, comprovando a presença de vegetação mais densa nestas regiões. É possível observar que nos municípios de Araripina, Ipubi, Trindade e Ouricuri houve o desenvolvimento de áreas de lavouras perenes e temporárias, identificadas pela coloração lilás. No ano de 1992, essas áreas eram de 0,03 km² e 0,24 km², respectivamente. Já no ano de 2021, estas aumentaram para 0,11 km² e 650,98 km², respectivamente (Tabela 5).

| Código | Classificação | Área (Km ²) | |
|--------|-----------------------------------|-------------------------|---------|
| | | 1992 | 2021 |
| 3 | Formação Florestal | 458,57 | 455,49 |
| 4 | Formação Savânica | 8063,60 | 6794,97 |
| 12 | Formação Campestre | 181,02 | 184,98 |
| 15 | Pastagem | 2282,22 | 2405,60 |
| 21 | Mosaico de Agricultura e Pastagem | 463,19 | 913,50 |
| 24 | Área Urbana | 13,19 | 47,62 |
| 25 | Outra Áreas não Vegetadas | 52,54 | 66,50 |
| 30 | Mineração | 0,73 | 5,90 |
| 33 | Rio, Lago e Oceano | 29,12 | 18,79 |
| 41 | Outras Lavouras Temporárias | 0,24 | 650,98 |
| 48 | Outras Lavouras Perenes | 0,03 | 0,11 |

Tabela 5. Classes de uso e ocupação do solo da Região Imediata de Araripina – em 1992 e em 2021

Fonte: Os autores (2023).

Outra classe que apresentou crescimento significativo no decorrer dos 29 anos de estudo foi o Mosaico de Agricultura e Pastagem, que no ano de 1992 correspondia a uma área de 463,19 km², aumentando para 913,50 km² em 2021. Constata-se também que

ocorreu a expansão dos centros urbanos da região, sendo assim, a classe de Área Urbana, identificada pela coloração vermelha, sofreu aumento expressivo: em 1992, correspondia a uma área de 13,19 km², passando a abranger, em 2021, uma área de 47,62 km².

Conforme Pedreira e Cruz (2023), o MapBiomas apresenta elevada exatidão do mapeamento da cobertura vegetal. Os autores afirmam que a aplicação do projeto é pautada no potencial de colaborar com estudos que concernem à dinâmica da vegetação em grandes extensões territoriais com sua série histórica.

CONCLUSÃO

A aplicação das técnicas de sensoriamento remoto para a análise da expansão urbana e alteração no uso e ocupação do solo da Região Imediata de Araripina apresentou elevada eficiência, assim como o processador em nuvem do *Google Earth Engine* para tratamento das imagens georreferenciadas e cálculo dos parâmetros biofísicos.

A análise do *NDVI* identificou elevação do valor do índice para o ano de 2021 em comparação com o ano de 1992, denotando a ocorrência de um aumento na cobertura vegetal da área de estudo. A análise das cartas georreferenciadas indicaram valores mais altos de *NDVI* nos municípios de Exu e Moreilândia, classificados entre 0,263 e 0,751, apresentando os demais municípios valores entre 0,019 e 0,507.

Os valores do processamento do *NDBI* e *Built-Up* consolidaram os resultados analisados do índice de vegetação. Também percebeu-se um aumento dos valores do *NDBI* e do *Built-Up* no ano de 2021 em comparação com o ano de 1992, justificado pela atuação

antrópica e consequentes alterações no uso e ocupação do solo, além da expansão das áreas construídas da região.

Os resultados dos índices biofísicos foram condizentes com os dados obtidos para o uso e a ocupação do solo pelo projeto MapBio-mas, sendo que a classe de Área Urbana sofreu aumento expressivo ao longo dos anos: em 1992 correspondia a uma área de 13,19 km² e, no ano de 2021, passou a abranger uma área de 47,62 km², indicando, portanto, a expansão dos centros urbanos da região.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA de Notícias - IBGE. Compreendendo o território através de suas articulações. *Agência de Notícias – IBGE*, 2017. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/10542-compreendendo-o-territorio-atraves-de-suas-articulacoes>. Acesso em: 8 jan. 2024.

ALADEMOMI, A. S. *et al.* The interrelationship between LST, NDVI, NDBI, and land cover change in a section of Lagos metropolis, Nigeria. *Applied Geomatics*, [S. l.], v. 14, p. 299-314, mar. 2022.

CAIXETA, A. C. M.; SENNA, J. A. Análise temporal de 2017 a 2022 do índice de vegetação (NDVI) na área adjacente ao parque estadual do Biribiri em Diamantina (MG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 20., 2023, Florianópolis. *Anais eletrônicos [...]*. São José dos Campos: INPE, 2023. p. 3360-3363. Disponível em: <https://bit.ly/4a8gZYT>. Acesso em: 29 nov. 2023.

CHOUDHURY, D.; DAS, K.; DAS, A. Assessment of land use land cover changes and its impact on variations of land surface temperature in Asansol-Durgapur Development Region. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, Cairo, v. 22, n. 2, p. 203-218, ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.05.004>. Acesso em: 27 dez. 2023.

COSTA, E. C. P.; AUGUSTO, R. C.; SEABRA, V. S. Análise da eficiência dos índices Built-Up e NDBI para classificação de áreas urbanas em imagens Landsat 8 OLI. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 18., 2017, Santos. *Anais [...]*. São José dos Campos: INPE, 2017. p. 6632-6639. Disponível em: <http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP6W34M/3PSMDA4>. Acesso em: 29 nov. 2023.

DASSAULT SYSTEMES. Criar uma máscara. *Solidworks*, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/4atoYj1>. Acesso em: 8 jan. 2024.

FRANÇA, A. F.; TAVARES JÚNIOR, J. R.; MOREIRA FILHO, J. C. C. Índices de NDVI, NDWI, e NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da Lagoa Olho D'Água, em Jaboatão dos Guararapes. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO*, 4., 2012, Recife. *Anais [...]*. Recife: UFPE, 2012. p. 001-009.

GOOGLE EARTH ENGINE. *Editor de códigos*. Disponível em: <https://code.earthengine.google.com/>. Acesso em: 12 jul. 2023.

HE, C. *et al.* Improving the normalized difference Built-Up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. *Remote Sensing Letters*, [S. l.], v. 1, n. 4, p. 213-221, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/233088045_Improving_the_normalized_difference_built-up_index_to_map_urban_built-up_areas_using_a_semiautomatic_segmentation_approach. Acesso em: 9 jan. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo demográfico de Araripina de 2022*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/araripina/panorama>. Acesso em: 14 jul. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias*: 2017. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Geografia, 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100600.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2024.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. 2. ed. São Paulo: Parêntese Editora, 2009.

MAPBIOMAS. Coleções MapBiomas. *MapBiomas*, 2022. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 27 dez. 2023.

PEDREIRA, J. P. N. C.; CRUZ, C. B. M. Avaliação da acurácia temática do MapBiomas para a classificação de áreas verdes intraurbanas. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 20., 2023, Florianópolis. *Anais [...]*. Florianópolis: [S. n.], 2023. p. 2103-2106.

REFLECTÂNCIA. *In: Dicionários GIS de Suporte da Esri*. California: Esri, 2023. Disponível em: <https://support.esri.com/pt-br/gis-dictionary/reflectance>. Acesso em: 29 dez. 2023.

ROUSE, J. W. *et al.* Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). NASA. Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symp., v. 1, Sect. A, p. 10-14. 1974.

ROVEDA, U. Script: o que é, suas vantagens e as melhores linguagens de script. *Blog Kenzie Academy Brasil – Programação e tecnologia*, 2022. Disponível em: <https://kenzie.com.br/blog/script/?amp=1>. Acesso em: 8 jan. 2024.

SAKUNO, N. R. R. *et al.* Mapeamento de superfícies impermeáveis em áreas urbanas utilizando imagens índices geradas pelo sistema Landsat-5 Thematic Mapper. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA*, 17., 2017, Campinas. *Anais [...]*. São Paulo: USP, 2017. p. 5221-5233.

SHAPEFILE. *In: Portal for ArcGIS Enterprise*. Califórnia: Esri, 2022. Disponível: <https://enterprise.arcgis.com/pt-br/portal/latest/use/shapefiles.htm>. Acesso em: 8 jan. 2024

XU, H. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, [s. l.], v. 29, n. 14, p. 4269-4276, 2008. Disponível em: <https://bit.ly/3VxISF9>. Acesso em: 9 jan. 2024.

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, [S. l.], v. 24, n. 3, p. 583-594, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/248977308_Use_of_normalized_difference_built-up_index_in_automatically_mapping_urban_areas_from_TM_imagery. Acesso em: 9 jan. 2024.