



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

DAVID MATEUS FONSECA DA SILVA

**ANÁLISE DO PROCESSO DE EXPANSÃO URBANA DE MOSSORÓ-RN: USO E  
OCUPAÇÃO DO SOLO COM GEOTECNOLOGIAS**

MOSSORÓ

2025

DAVID MATEUS FONSECA DA SILVA

**ANÁLISE DO PROCESSO DE EXPANSÃO URBANA DE MOSSORÓ-RN: USO E  
OCUPAÇÃO DO SOLO COM GEOTECNOLOGIAS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Moura da Silva.

Coorientador: Vinicius Navarro Varela Tinoco.

MOSSORÓ

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586a Silva, David Mateus Fonseca .  
Análise do processo de expansão urbana de  
Mossoró-RN: uso e ocupação do solo com  
geotecnologias / David Mateus Fonseca Silva. -  
2025.  
34 f. : il.

Orientador: Paulo César Moura Silva.  
Coorientador: Vinicius Navarro Varela Tinoco.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de --Selecione um  
Curso ou Programa--, 2025.

1. Expansão urbana. 2. Sensoriamento remoto.  
3. QGIS. 4. Landsat. 5. classificação  
supervisionada. I. Silva, Paulo César Moura,  
orient. II. Tinoco, Vinicius Navarro Varela, co-  
orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade  
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência  
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva  
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

DAVID MATEUS FONSECA DA SILVA

**ANÁLISE DO PROCESSO DE EXPANSÃO URBANA DE MOSSORÓ-RN: USO E  
OCUPAÇÃO DO SOLO COM GEOTECNOLOGIAS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 26 / 03/ 2025.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Paulo César Moura da Silva. (UFERSA)  
Presidente

---

Vinicius Navarro Varela Tinoco. (UFERSA)  
Membro Examinador

---

Francisco Nélio da Silva Júnior. (CONVIDADO EXTERNO)  
Membro Examinador

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, Senhor do universo, Criador do céu e da terra, princípio e fim de todas as coisas, por ser minha fortaleza e refúgio em todos os momentos.

Agradeço aos meus pais, Edna Maria e Elias Ferreira, por todo o apoio emocional e financeiro ao longo dessa jornada. Sem vocês, essa caminhada teria sido muito mais difícil. Agradeço também à minha avó, Francisca Luiza, por todo o carinho e suporte incondicional. Aos meus irmãos, Elias Júnior e Maria Luiza, por estarem sempre ao meu lado, compartilhando comigo essa caminhada e sendo parte essencial da minha vida. Minha gratidão eterna a todos vocês.

À minha namorada, Ana Gabriela, pelo apoio, paciência e incentivo em todos os momentos, tornando essa trajetória mais leve e significativa.

Aos meus amigos Gerson Lopes, Henrique Carlos, Igor Marques, Ítalo Jhon e Jorge Ivan, que compartilharam comigo tantos momentos dessa caminhada. A amizade e o apoio de vocês foram essenciais para superar os desafios e tornar essa fase ainda mais especial.

Agradeço ao Núcleo de Pesquisa e Extensão Acesso à Terra Urbanizada, pelo aprendizado e pelas experiências enriquecedoras que contribuíram para minha formação.

Agradeço ao meu orientador, Paulo César, pela orientação durante o desenvolvimento deste trabalho, e à banca, composta por Vinícius Navarro e Francisco Nélío, pela participação e pelas valiosas contribuições. Em especial, agradeço a Nélío pelos ensinamentos ao longo desses anos.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação, meu sincero obrigado.

É uma disciplina que promove, com visão integrada, o gerenciamento e o compartilhamento de todo o ativo de informação possuído pela empresa. Esta informação pode estar em um banco de dados, documentos, procedimentos, bem como em pessoas, através de suas experiências e habilidades.

Gartner Group

## RESUMO

A expansão urbana é um fenômeno que altera a paisagem das cidades e impacta diretamente o planejamento territorial. O avanço das geotecnologias possibilita a análise dessas mudanças por meio de imagens de satélite e técnicas de sensoriamento remoto. Este trabalho tem como objetivo analisar a expansão da mancha urbana de Mossoró-RN ao longo das últimas quatro décadas, utilizando imagens dos satélites Landsat 5 e 8. As imagens foram obtidas na plataforma USGS Earth Explorer e processadas no software QGIS 3.22.9, utilizando o plugin DZetsaka para classificação supervisionada. Além da análise espacial, o estudo investiga a relação entre o crescimento urbano e fatores ambientais e socioeconômicos. Para realizar essa análise, foram classificadas imagens de satélite em diferentes períodos, segmentando a área de estudo em classes como urbanização, vegetação e corpos d'água. O processo incluiu a correção atmosférica das imagens por meio do plugin *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), garantindo maior precisão nos resultados. Os dados indicam um crescimento acelerado da urbanização entre 1994 e 2005, com um aumento de 239,79%, seguido por uma desaceleração até 2024. Além da ampliação da área urbanizada, observou-se a diminuição da vegetação rasteira e do solo exposto, evidenciando a transformação da paisagem da cidade. Os achados desta pesquisa reforçam a importância do uso de geotecnologias para compreender a dinâmica urbana e subsidiar o planejamento territorial. O monitoramento contínuo da expansão urbana permite identificar padrões de crescimento e minimizar impactos ambientais e sociais. Além da relevância acadêmica, este estudo pode servir como base para gestores públicos e planejadores urbanos na elaboração de políticas voltadas à organização do espaço urbano, garantindo um crescimento mais sustentável para Mossoró.

**Palavras-chave:** Expansão urbana, sensoriamento remoto, QGIS, Landsat, classificação supervisionada.

## ABSTRACT

Urban expansion is a phenomenon that alters city landscapes and directly impacts territorial planning. The advancement of geotechnologies enables the analysis of these changes through satellite images and remote sensing techniques. This study aims to analyze the urban sprawl of Mossoró-RN over the past four decades using images from the Landsat 5 and 8 satellites. The images were obtained from the USGS Earth Explorer platform and processed in QGIS 3.22.9 software, utilizing the DZetsaka plugin for supervised classification. In addition to spatial analysis, the study investigates the relationship between urban growth and environmental and socioeconomic factors. To conduct this analysis, satellite images from different periods were classified, segmenting the study area into classes such as urbanization, vegetation, and water bodies. The process included atmospheric correction of the images using the Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), ensuring greater accuracy in the results. The data indicate rapid urban growth between 1994 and 2005, with an increase of 239.79%, followed by a slowdown until 2024. Besides the expansion of urbanized areas, there was a decrease in low vegetation and exposed soil, highlighting the transformation of the city's landscape. The findings of this research reinforce the importance of using geotechnologies to understand urban dynamics and support territorial planning. Continuous monitoring of urban expansion allows for identifying growth patterns and minimizing environmental and social impacts. Beyond its academic relevance, this study can serve as a foundation for public managers and urban planners in developing policies aimed at organizing urban space, ensuring more sustainable growth for Mossoró.

**Keywords:** Urban expansion, remote sensing, QGIS, Landsat, supervised classification.



## LISTA DE FIGURAS

|          |   |                                                                                                 |    |
|----------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 | – | Localização do Município de Mossoró-RN.....                                                     | 21 |
| Figura 2 | – | Classificação de pixels em 1994.....                                                            | 25 |
| Figura 3 | – | Classificação de pixels em 2005.....                                                            | 26 |
| Figura 4 | – | Classificação de pixels em 2015.....                                                            | 26 |
| Figura 5 | – | Classificação de pixels em 2024.....                                                            | 27 |
| Figura 6 | – | Mapas da expansão urbana de Mossoró nas décadas de 1980 (a), 1990 (b), 2000 (c) e 2010 (d)..... | 29 |

## **LISTA DE GRÁFICOS**

|           |   |                              |    |
|-----------|---|------------------------------|----|
| Gráfico 1 | – | Evolução da urbanização..... | 31 |
|-----------|---|------------------------------|----|

## LISTA DE QUADROS

|          |   |                                                         |    |
|----------|---|---------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 | – | Análise Temporal da Cobertura do Solo (1994-2024) ..... | 28 |
| Quadro 2 | – | Taxa de crescimento em relação a data anterior.....     | 30 |

## LISTA DE TABELAS

|          |   |                                                              |    |
|----------|---|--------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 | – | Faixas espectrais das bandas utilizadas dos sensores Landsat |    |
|          |   | 5.....                                                       | 23 |
| Tabela 2 | – | Faixas espectrais das bandas utilizadas dos sensores Landsat |    |
|          |   | 8.....                                                       | 23 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

|      |                                                |
|------|------------------------------------------------|
| Bel  | Bacharel                                       |
| Dr   | Doutor                                         |
| Esp  | Especialista                                   |
| GE   | Gestão do Conhecimento                         |
| GI   | Gestão da Informação                           |
| IES  | Instituição de Ensino Superior                 |
| Me   | Mestre                                         |
| P&D  | Pesquisa e Desenvolvimento                     |
| PG&C | Perspectivas em Gestão & Conhecimento          |
| SBGC | Sociedade Brasileira de Gestão do Conhecimento |
| UI   | Unidade de Informação                          |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|    |                  |
|----|------------------|
| @  | Arroba           |
| ©  | Copyright        |
| ®  | Marca registrada |
| %  | Porcentagem      |
| \$ | Cifrão           |

## SUMÁRIO

|          |                                                                                 |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                         | <b>16</b> |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS .....</b>                                                          | <b>17</b> |
| 2.1      | Objetivos principais .....                                                      | 17        |
| 2.2      | Objetivos secundários .....                                                     | 17        |
| <b>3</b> | <b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                                                 | <b>18</b> |
| 3.1      | Expansão urbana .....                                                           | 18        |
| 3.2      | Geotecnologias .....                                                            | 19        |
| 3.3      | Classificação supervisionada.....                                               | 19        |
| 3.4      | Aprendizado de máquina na classificação de imagens de sensoriamento remoto..... | 20        |
| <b>4</b> | <b>METODOLOGIA .....</b>                                                        | <b>21</b> |
| 4.1      | Área de estudo .....                                                            | 21        |
| 4.2      | Software.....                                                                   | 22        |
| 4.3      | Conjunto de dados.....                                                          | 22        |
| 4.4      | Correção atmosférica.....                                                       | 23        |
| 4.5      | Classificação de imagens.....                                                   | 24        |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>                                            | <b>25</b> |
| <b>6</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                               | <b>32</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                        | <b>33</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Mossoró, localizada estrategicamente entre as capitais Fortaleza e Natal, possui uma posição geográfica que favorece o desenvolvimento econômico, especialmente nos setores de petróleo, sal e fruticultura, tornando-se um polo de oportunidades no interior do Nordeste. A expansão urbana é um fenômeno que se intensificou nas últimas décadas, impulsionado por fatores políticos, ambientais e geográficos. Esse processo resulta em modificações significativas na paisagem, despertando o interesse de pesquisadores preocupados com as consequências dessa expansão (GONÇALVES et al., 2019). Essas transformações podem impactar diretamente a organização das cidades, exigindo estratégias de planejamento que minimizem os efeitos negativos do crescimento desordenado. A urbanização acelerada, muitas vezes desordenada, pode gerar desafios no planejamento e desenvolvimento sustentável das cidades.

Nas últimas três décadas, a população de Mossoró-RN apresentou um crescimento significativo. De acordo com o Censo Demográfico de 2000, o município possuía 213.841 habitantes. Em 2010, esse número aumentou para 259.815, conforme dados do IBGE. Estimativas de 2014 indicam uma população de 284.288 habitantes. Dados preliminares do Censo 2022 apontam que Mossoró atingiu 264.181 habitantes. Esses números refletem um aumento populacional expressivo, evidenciando a necessidade de um planejamento urbano adequado para atender às demandas crescentes da cidade. Compreender as mudanças no processo de expansão urbana é essencial para garantir um planejamento adequado, minimizando impactos negativos e promovendo o desenvolvimento sustentável. Para isso, o uso de geotecnologias, como dados de satélite e técnicas de sensoriamento remoto, possibilita um monitoramento preciso das alterações na ocupação do solo, contribuindo para análises mais detalhadas e embasadas (SONDE; BALAMWAR; OCHAWAR, 2020).

A expansão das áreas urbanas tem impactado consideravelmente a cobertura e o uso da terra em escala global, substituindo superfícies naturais por estruturas construídas. Esse fenômeno tem sido amplamente estudado, considerando que a modificação das paisagens naturais pode acarretar desequilíbrios ambientais e socioeconômicos (FORGET et al., 2021). A evolução das metodologias de monitoramento tem sido fundamental para a compreensão dessas mudanças.

Historicamente, as primeiras classificações de uso e cobertura da terra eram baseadas em levantamentos de campo. Contudo, a partir da década de 1970, o avanço das geotecnologias permitiu que a análise da ocupação do solo fosse realizada por meio de imagens de satélite e



técnicas de classificação digital, proporcionando maior precisão e agilidade na identificação das transformações espaciais (STEINER, 1970).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos principais**

Analisar a expansão da mancha urbana de Mossoró-RN ao longo das últimas três décadas utilizando imagens de satélite e sensoriamento com imagens de média resolução, aplicando classificação supervisionada com uso de algoritmos de *machine learning*.

### **2.2 Objetivos secundários**

- Classificar e mapear as áreas urbanizadas e não urbanizadas com base em imagens de satélite;
- Monitorar as alterações espaciais da mancha urbana ao longo do tempo, identificando padrões de crescimento;

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Expansão urbana

A paisagem urbana é um reflexo direto da interação entre o tempo e as atividades humanas. Ginzburg (1989) destaca que a paisagem deve ser compreendida como um fenômeno correlacionado ao tempo, sendo influenciada pelos processos históricos e sociais que moldam seu desenvolvimento.

A expansão urbana pode ser definida como um processo contínuo e inerente ao crescimento das cidades. Japiassú (2014, p.15) afirma que esse fenômeno ocorre desde a origem dos assentamentos urbanos e pode apresentar diferentes intensidades ao longo do tempo. Esse crescimento pode ser analisado sob diversas perspectivas, incluindo a demográfica e a territorial, que se refere à ampliação física do espaço urbano:

Expansão urbana é um processo pelo qual as cidades passam constantemente desde o momento de sua existência, podendo ser em maior ou menor intensidade. De toda forma implica em crescimento. Esse crescimento pode ser analisado por diversas perspectivas, como, por exemplo, pelo aspecto demográfico ou ainda, pelo aspecto territorial, crescimento físico do território da cidade. (JAPIASSÚ, 2014, p. 15).

O uso e a ocupação do solo no Brasil são regulamentados pela Lei Federal nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (Brasil, 1979), que estabelece normas para o parcelamento do solo urbano e outras disposições. Estados, o Distrito Federal e os Municípios têm a competência para criar regras complementares, permitindo a adaptação das diretrizes dessa lei às especificidades regionais e locais.

Para que o desenvolvimento urbano ocorra de maneira adequada, é indispensável um planejamento eficiente. Apesar das particularidades de cada cidade, o zoneamento e a definição de parâmetros para o uso do solo são práticas comuns. Contudo, para garantir um crescimento ordenado e sustentável, torna-se essencial analisar a expansão urbana.

### **3.2 Geotecnologias**

As geotecnologias englobam um conjunto de ferramentas e técnicas utilizadas para a coleta, processamento, análise e representação de dados espaciais. Entre essas tecnologias, destacam-se o Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento, que desempenham um papel fundamental na análise de mudanças na paisagem e na dinâmica do uso e ocupação do solo.

O Sensoriamento Remoto é definido como um conjunto de tecnologias e atividades que permitem a obtenção de informações da superfície terrestre sem a necessidade de contato direto entre o sensor e o objeto de estudo (MORAES, 2002). Essas informações são adquiridas por sensores que medem quantitativamente as interações entre os objetos terrestres e a radiação eletromagnética, como a luz solar refletida na superfície terrestre (MENEZES; ALMEIDA, 2012).

Aliado ao Geoprocessamento, o Sensoriamento Remoto possibilita a análise das mudanças na paisagem por meio do estudo de imagens orbitais. Essas imagens fornecem informações essenciais para monitoramento ambiental, planejamento urbano e diversas outras aplicações relacionadas à gestão territorial (MUSA; HASHIM; REBA, 2017). Dessa forma, o uso dessas tecnologias torna-se imprescindível para a compreensão da expansão urbana, permitindo a avaliação de padrões espaciais e temporais do crescimento das cidades.

### **3.3 Classificação supervisionada**

A classificação supervisionada é uma técnica amplamente utilizada na interpretação de imagens de sensoriamento remoto. Esse método se baseia na escolha de amostras de referência conhecidas pelo analista, que são utilizadas para treinar o algoritmo de classificação. Assim, o modelo desenvolvido pode categorizar os demais pixels da imagem com base nos padrões identificados. Esse processo possibilita a segmentação da imagem em diferentes classes temáticas, como áreas urbanas, vegetação, corpos d'água e solo exposto, garantindo uma análise detalhada do uso e ocupação do solo.

Um dos principais propósitos do sensoriamento remoto é obter informações sobre a superfície terrestre. Para que isso seja possível, é necessário a análise dos elementos que compõem a paisagem através das propriedades de cor, tonalidade, textura, sombras e homologia (MENEZES; ALMEIDA, 2012). A classificação digital de imagens visa, através de algoritmos de classificação, rotular cada pixel da imagem de acordo com padrões de classes temáticas reduzindo a influência da subjetividade da interpretação humana (MOREIRA, 2001). Esse

processo é fundamental para garantir maior precisão na análise de imagens, tornando os resultados mais confiáveis e replicáveis em diferentes estudos.

Assim, a classificação supervisionada é composta pelo treinamento do algoritmo seguido da fase de classificação. Buscando treinar o algoritmo para diferenciar as classes de interesse, o analista deve fornecer pequenas amostras de pixels por ele reconhecidas (através de dados coletados em campo, mapas, ou outras fontes) que representem o padrão a ser reconhecido pelo algoritmo na etapa de classificação (MENEZES; ALMEIDA, 2012).

### **3.4 Aprendizado de máquina na classificação de imagens de sensoriamento remoto**

O aprendizado de máquina é um método de análise de dados que desenvolve modelos por meio do uso de algoritmos que aprendem interativamente a partir de entradas de dados, possibilitando que os computadores encontrem resultados preditivos com base no que aprenderam (CARVALHO, 2011). No contexto do sensoriamento remoto, essa capacidade preditiva permite detectar padrões de ocupação urbana e realizar projeções futuras, auxiliando no planejamento territorial e na gestão urbana.

O aprendizado de máquina tem sido amplamente aplicado na classificação de imagens de sensoriamento remoto para otimizar a identificação de padrões espectrais e espaciais em grandes conjuntos de dados. O aprendizado de máquina compreende um conjunto de técnicas que possibilitam que softwares extraiam, de forma automatizada, informações relevantes ao reconhecer padrões em grandes volumes de dados, algo que seria inviável para um ser humano aprender apenas com os próprios dados (SILVA, 2019). Esses algoritmos são aplicados na identificação do uso e ocupação do solo, monitoramento ambiental, detecção de mudanças na paisagem e análise da expansão urbana, sendo ferramentas essenciais para estudos baseados em imagens de sensoriamento remoto.

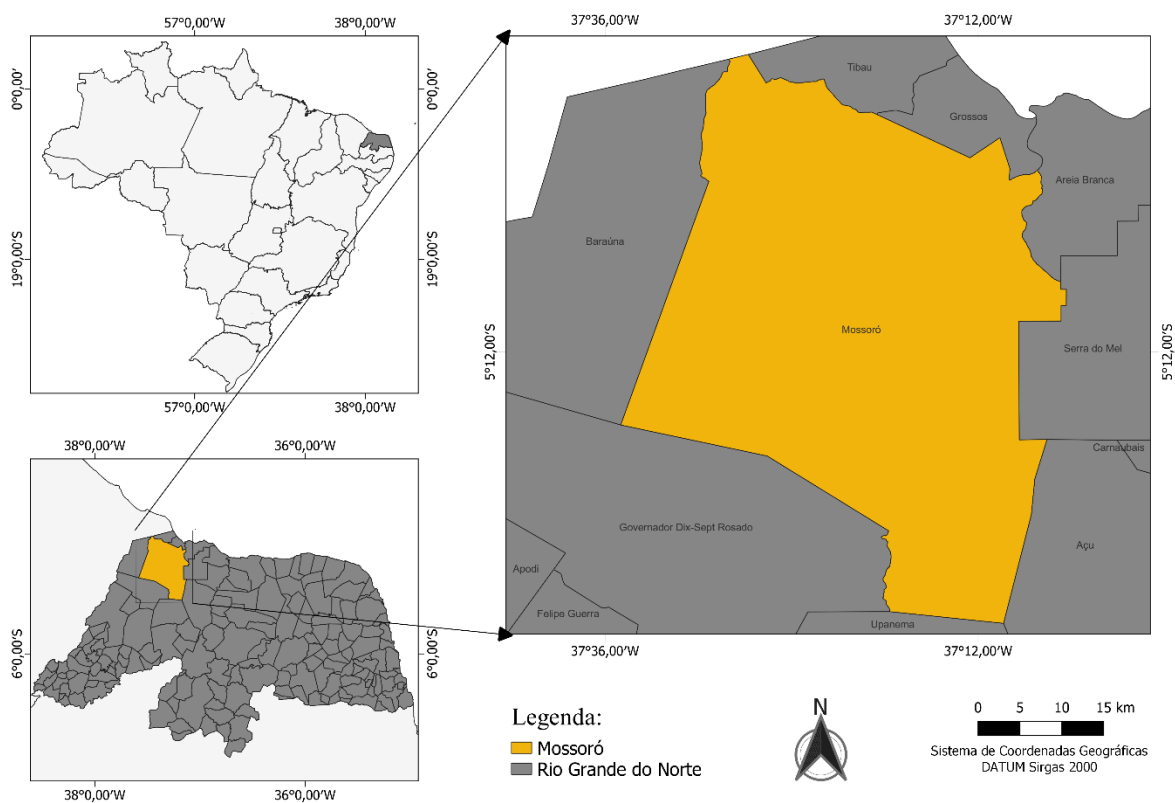
Nos últimos anos, avanços em machine learning impulsionaram a precisão e a eficiência dos métodos de classificação de imagens. Modelos como Random Forest, Support Vector Machines (SVM) e redes neurais artificiais demonstraram alto desempenho na categorização de diferentes tipos de cobertura do solo, reduzindo erros de classificação e aprimorando a interpretação dos dados de sensoriamento remoto.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Área de estudo

Localizado no estado do Rio Grande do Norte, na mesorregião Oeste Potiguar, o município de Mossoró (Figura 1) possui uma população estimada de 264.181 habitantes e uma área territorial de aproximadamente 2.110,207 km<sup>2</sup>, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022).

Figura 1: Localização do Município de Mossoró



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Mossoró se destaca como um dos principais polos econômicos do estado, impulsionado por setores como a extração de petróleo e gás, a produção salineira e a fruticultura irrigada, especialmente a produção de melão para exportação. A cidade também tem grande relevância no setor educacional, abrigando instituições de ensino superior como a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) e a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), além de centros de pesquisa voltados para tecnologia e desenvolvimento sustentável.

De acordo com CARMO FILHO e OLIVEIRA, (1995) e segundo a classificação climática de Köppen, o clima de Mossoró é do tipo BSw<sub>h</sub>, isto é, semiárido muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, apresentando temperatura média de 27,4°C, com precipitação pluviométrica anual muito irregular e com umidade relativa média do ar de 68,9%

## 4.2 Software

Para a realização deste trabalho, foi utilizado o software SIG QGIS, versão 3.22.9, para a análise das imagens de satélite adquiridas. Esse software se destaca por ser uma ferramenta robusta e gratuita, sendo amplamente empregado em todo o mundo no processamento de imagens e arquivos vetoriais, além de ser utilizado na elaboração de mapas e outros produtos cartográficos.

## 4.3 Conjunto de dados

Para realização das análises, foram utilizadas imagens multiespectrais obtidas por meio do programa Landsat, desenvolvido pela NASA, com dados captados pelos satélites Landsat 5 e Landsat 8. As imagens são de acesso público e foram adquiridas por meio da plataforma *USGS Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Durante o processo de seleção, foram aplicados filtros para garantir que as cenas cobrissem integralmente a área urbana do município de Mossoró-RN.

A escolha das datas das imagens foi baseada em critérios específicos. Foram selecionadas cenas correspondentes aos anos de 1994, 2005, 2015 e 2024, com captações realizadas entre os meses de junho e setembro. Essa decisão foi tomada considerando a menor incidência de nuvens nesse período, bem como a condição da vegetação, que ainda se apresenta em estágio inicial de desenvolvimento após o período chuvoso ocorrido nos meses anteriores. Adicionalmente, estabeleceu-se um limite máximo de 10% de cobertura de nuvens para garantir a qualidade das imagens selecionadas.

A seleção das bandas espectrais foi realizada com base em estudos prévios, que recomenda a utilização das bandas 7, 5, 4 e 3 para a composição de imagens em falsa-cor, especialmente em estudos que envolvem a análise do comportamento urbano e da dinâmica de uso e ocupação do solo, com faixas espectrais conforme as tabelas 1 e 2.

**Tabela 1** – Faixas espectrais das bandas utilizadas dos sensores Landsat 5

| Banda | Nome          | Faixa Espectral<br>( $\mu\text{m}$ ) | Resolução Espacial (m)     |
|-------|---------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 1     | Visible Blue  | 0.45 - 0.52                          | 30                         |
| 2     | Visible Green | 0.52 - 0.60                          | 30                         |
| 3     | Visible Red   | 0.63 - 0.69                          | 30                         |
| 4     | Near-Infrared | 0.76 - 0.90                          | 30                         |
| 5     | Mid-Infrared  | 1.55 - 1.75                          | 30                         |
| 6     | Thermal       | 10.40 - 12.50                        | 120 (reprocessado para 30) |
| 7     | Mid-Infrared  | 2.08 - 2.35                          | 30                         |

Fonte: Adaptado de USGS (2025).

**Tabela 2** – Faixas espectrais das bandas utilizadas dos sensores Landsat 8

| Banda | Nome                 | Faixa Espectral<br>( $\mu\text{m}$ ) | Resolução Espacial (m)     |
|-------|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 1     | Coastal/Aerosol      | 0.43 - 0.45                          | 30                         |
| 2     | Visible Blue         | 0.45 - 0.51                          | 30                         |
| 3     | Visible Green        | 0.53 - 0.59                          | 30                         |
| 4     | Visible Red          | 0.64 - 0.67                          | 30                         |
| 5     | Near-Infrared        | 0.85 - 0.88                          | 30                         |
| 6     | Shortwave-Infrared 1 | 1.57 - 1.65                          | 30                         |
| 7     | Shortwave-Infrared 2 | 2.11 - 2.29                          | 30                         |
| 8     | Panchromatic         | 0.50 - 0.68                          | 15                         |
| 9     | Cirrus               | 1.36 - 1.38                          | 30                         |
| 10    | Thermal Infrared 1   | 10.60 - 11.19                        | 100 (reprocessado para 30) |
| 11    | Thermal Infrared 2   | 11.50 - 12.51                        | 100 (reprocessado para 30) |

Fonte: Adaptado de USGS (2025).

#### 4.4 Correção atmosférica

A correção atmosférica das imagens foi realizada por meio do plugin *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) utilizando o método DOS (Dark Object Subtraction), desenvolvido por Congedo. Este plugin é amplamente reconhecido na comunidade científica por sua eficiência na correção de distorções causadas por efeitos atmosféricos em imagens de satélite. O SCP foi aplicado na plataforma QGIS, software de código aberto, permitindo a normalização das cenas do Landsat e a obtenção de dados mais precisos para as análises subsequentes.

A correção atmosférica é essencial para minimizar os efeitos causados pela interação da luz solar com partículas e gases presentes na atmosfera, garantindo que os valores de reflectância registrados pelos sensores representem com maior precisão as características da

superfície terrestre. Sem essa etapa, as imagens de satélite podem apresentar variações artificiais devido a fatores como dispersão e absorção da luz, dificultando a comparação entre diferentes períodos e comprometendo a confiabilidade das análises.

#### **4.5 Classificação das imagens**

Segundo De Souza (2020), o plugin dzetsaka trabalha de forma rápida e eficaz, permitindo uma segmentação precisa das áreas analisadas e otimizando o tempo de processamento dos dados. Programado inicialmente para treinar amostras utilizando o algoritmo Gaussian Mixture Model, o plugin também permite realizar o treinamento utilizando o algoritmo Random Forest (RF) após a instalação de um pacote de dados adicionais.

A classificação consiste na utilização de algoritmos, para nomear os pixels em uma imagem de forma a representar tipos específicos de cobertura terrestre, na pesquisa os pixels foram classificados em 5 categorias: corpos d'águas, urbanização, solo exposto, vegetação densa e vegetação rasteira. A pesquisa utilizou o SIRGAS 2000/UTM 24 S como projeção cartográfica para a adição de imagens raster e para a classificação supervisionada.

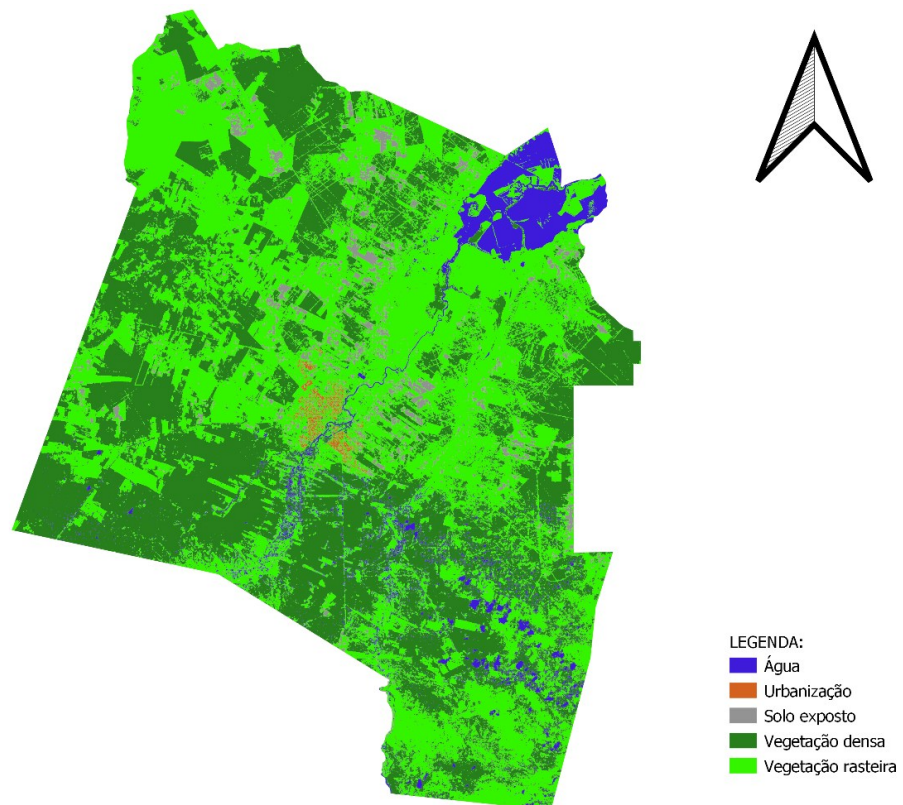
A definição das cinco categorias de classificação foi estabelecida com base na relevância desses elementos para a análise da expansão urbana e nas características espectrais distintas que permitem sua diferenciação nas imagens de satélite. Estudos anteriores que investigaram a dinâmica do uso e ocupação do solo, como o realizado por (Silva et al.,2023), adotaram categorias similares para avaliar mudanças espaciais ao longo do tempo.



#### 4 RESULTADOS E DISCUSSOES

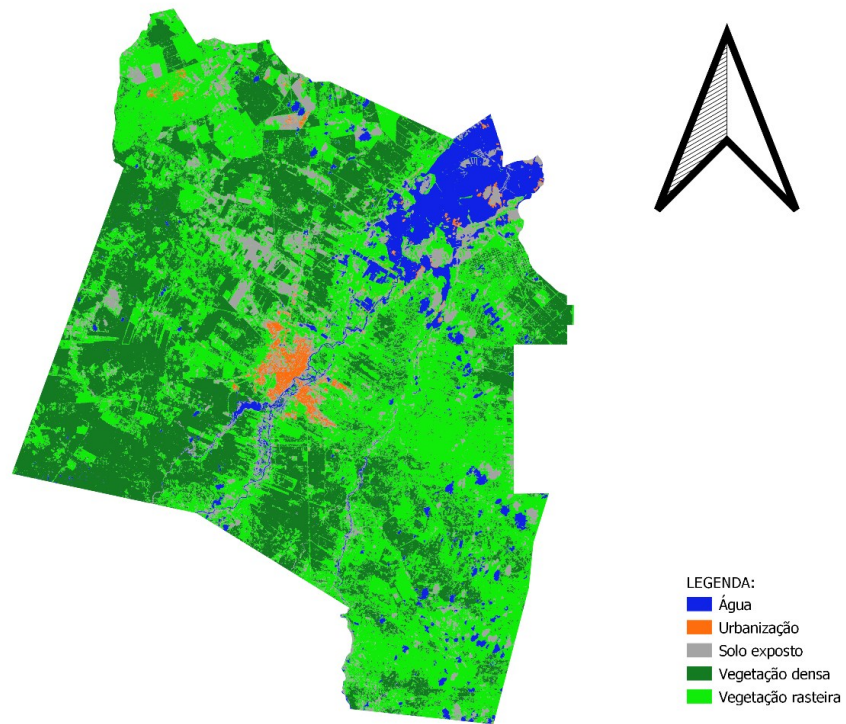
Nas Figuras 2,3,4 e 5 pode-se analisar a diferenciação do pixel foi perceptível por causa da composição falsa-cor, foi usado cores diferentes para que se pudesse perceber com clareza a área a qual foi identificado, vermelho para urbanização, verde para vegetação e azul para copos d'águas. A precisão da classificação pode variar conforme o refinamento e o treinamento do algoritmo, estando sujeita a possíveis erros, pois não se trata de um processo totalmente preciso, o que é perceptível ao ver alguns pontos dispersos no mapa.

**Figura 2 - Classificação de pixels em 1993**



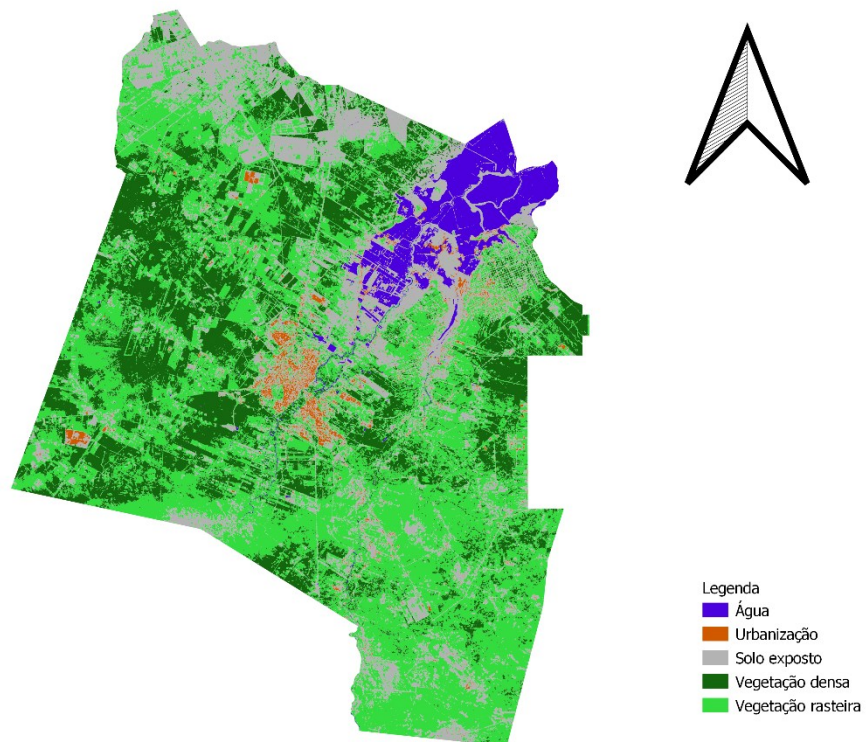
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

**Figura 3** - Classificação de pixels em 2005



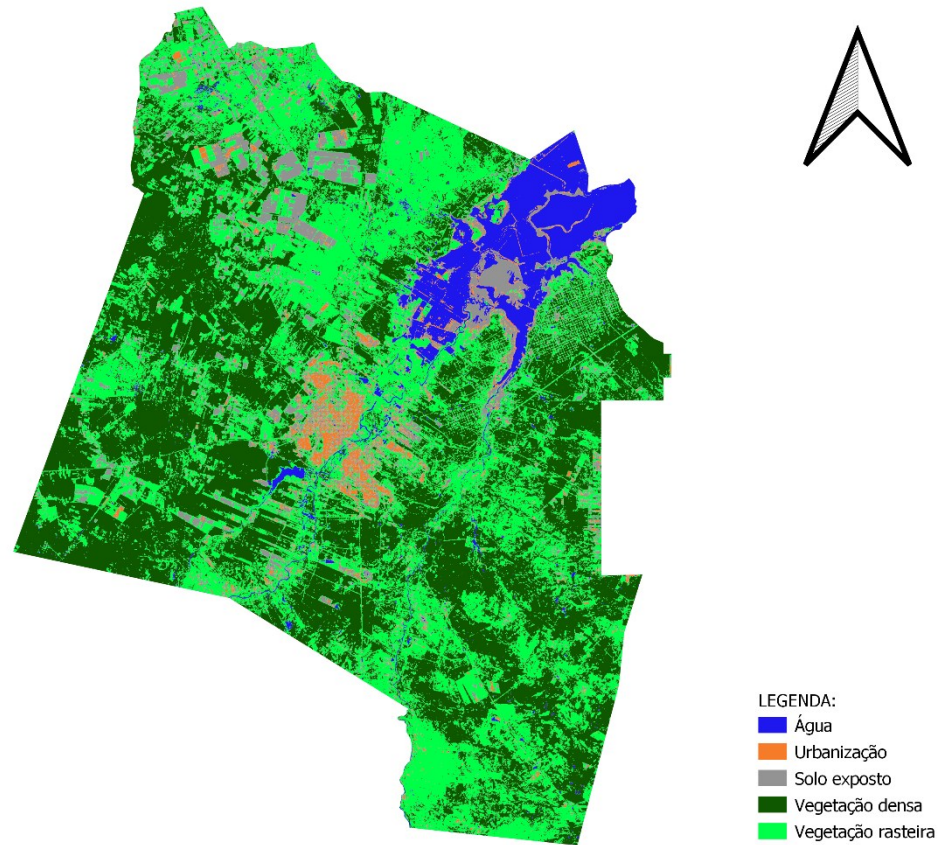
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

**Figura 4** - Classificação de pixels em 2015



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

**Figura 4** - Classificação de pixels em 2024



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O Quadro 1 apresenta a análise temporal da cobertura do solo entre 1994 e 2024, exibindo as variações nas classes mapeadas. Nota-se uma redução da vegetação rasteira ao longo do período, enquanto a vegetação densa teve oscilações, com uma queda significativa em 2015, seguida de recuperação em 2024. O solo exposto atingiu seu pico em 2015, apontando possíveis processos de desmatamento ou expansão urbana nesse intervalo. A urbanização mostrou crescimento contínuo, refletindo o avanço da ocupação do solo. Já a classe água apresentou variações ao longo dos anos, o que pode estar relacionado a fatores climáticos ou mudanças nos corpos hídricos da região. Essas alterações podem ser influenciadas por fenômenos climáticos amplamente conhecidos, como períodos de seca e cheia, que impactam diretamente a disponibilidade hídrica e a vegetação. Eventos como o El Niño, que pode intensificar secas na região Nordeste do Brasil, podem ter contribuído para a redução da vegetação densa e a variação nos corpos d'água observada em determinados anos. Da mesma

forma, anos com maior índice pluviométrico podem estar associados à recuperação da vegetação e ao aumento da superfície de corpos hídricos. Durante a análise das imagens, observou-se que alguns pixels foram classificados erroneamente, o que pode ter ocorrido devido a semelhanças espectrais entre determinadas classes, variações sazonais ou limitações no conjunto de treinamento utilizado. Para minimizar possíveis erros e fortalecer as interpretações do estudo, pode-se empregar técnicas como o aumento da quantidade e qualidade das amostras de treinamento, além da correlação dos resultados com dados climáticos históricos e registros de eventos extremos.

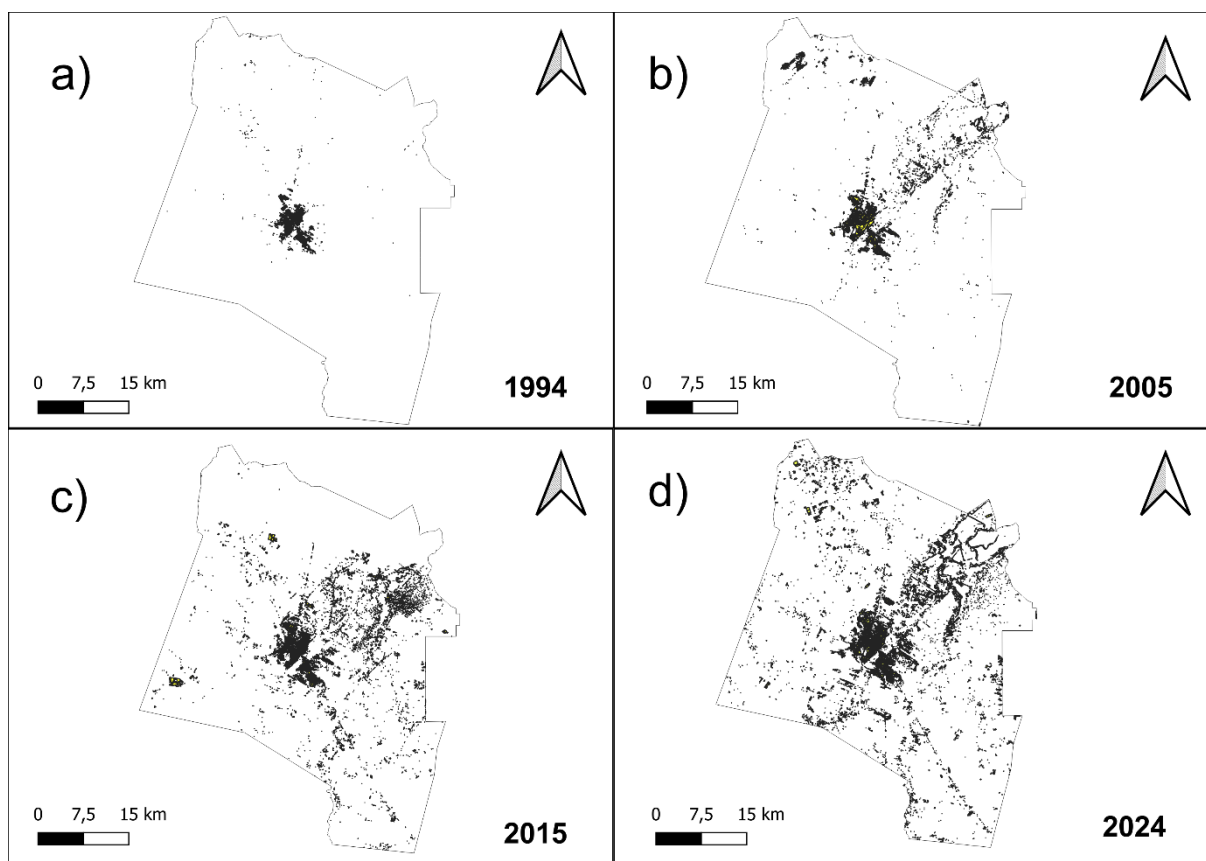
**Quadro 1 - Análise Temporal da Cobertura do Solo (1994-2024)**

| Classificação dzetsaka (km²) |         |        |        |        |
|------------------------------|---------|--------|--------|--------|
| Anos                         | 1994    | 2005   | 2015   | 2024   |
| Vegetação rasteira           | 1020,47 | 947,62 | 984,18 | 817,87 |
| Vegetação densa              | 907,17  | 797,69 | 550,24 | 933,42 |
| Solo exposto                 | 59,93   | 175,10 | 412,81 | 150,19 |
| Urbanização                  | 8,37    | 28,44  | 37,33  | 54,22  |
| Água                         | 103,40  | 150,49 | 114,78 | 143,65 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A Figura 3 representa a distribuição dos pixels correspondentes à mancha urbana da cidade, organizados em quatro partes para destacar sua evolução ao longo dos anos. Após a etapa de recorte e classificação, foram geradas imagens comparativas que permitem visualizar de forma clara as mudanças na ocupação do solo. Os resultados das distribuições espaciais das áreas urbanas e da expansão de Mossoró entre 1994 e 2024 podem ser observados servindo como base para identificar o padrão da evolução da mancha urbana no município.

**Figura 3** - Mapas da expansão urbana de Mossoró nas décadas de 1980 (a), 1990 (b), 2000 (c) e 2010 (d)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os mapas da Figura 3 mostram a evolução da urbanização entre os anos de 1994, 2005, 2015 e 2024. Observa-se que, em 1994, a ocupação urbana era significativamente menor, concentrada principalmente no centro do município. A partir de 2005, há uma expansão visível para as áreas periféricas, tendência que se acentua em 2015 e 2024, com a ocupação urbana se espalhando por novas regiões do município.

O quadro 2 apresenta a evolução da urbanização ao longo de quatro décadas, indicando a área urbanizada e a taxa de crescimento percentual em relação ao período anterior. Os dados evidenciam um expressivo crescimento da urbanização ao longo do tempo, com variações significativas nas taxas de expansão. Entre 1994 e 2005, observou-se o maior crescimento urbano relativo (239,79%), possivelmente impulsionado pela expansão das atividades

econômicas locais, como o crescimento da fruticultura irrigada e o avanço do setor petrolífero no Rio Grande do Norte, que atraíram novos moradores e incentivaram a ocupação urbana. No período seguinte, 2005-2015, a taxa de crescimento desacelerou para 31,26%, o que pode estar relacionado à crise do setor petrolífero e à redução de investimentos públicos e privados na região. Já entre 2015 e 2024, houve uma retomada do crescimento (45,26%), potencialmente atrelada à diversificação econômica, ao aumento da oferta de empreendimentos imobiliários e à migração de populações de áreas rurais para o meio urbano.

Um padrão observado ao longo das últimas décadas foi a criação de condomínios residenciais horizontais em pontos mais afastados do centro da cidade, refletindo uma tendência de urbanização descentralizada. Esse processo pode estar relacionado ao aumento da demanda por moradias em áreas menos densas, impulsionado por fatores como melhor qualidade de vida, maior oferta de terrenos e incentivos do mercado imobiliário. Esse fenômeno também pode indicar uma mudança na dinâmica de crescimento urbano, com a formação de novos polos habitacionais que podem influenciar a infraestrutura e a mobilidade urbana da cidade.

**Quadro 2. Taxa de crescimento em relação a data anterior.**

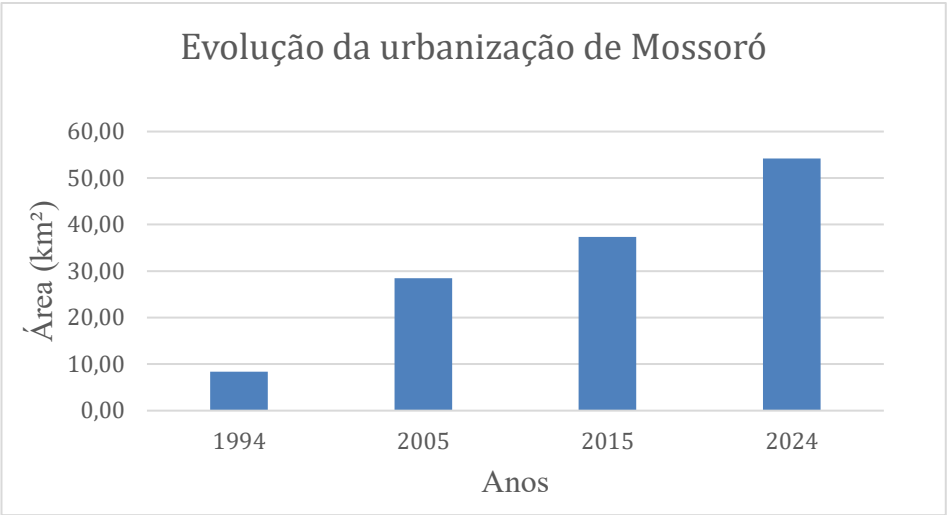
| Ano  | Urbanização | Crescimento (%) |
|------|-------------|-----------------|
| 1994 | 8,37        | -               |
| 2005 | 28,44       | 239,79          |
| 2015 | 37,33       | 31,26           |
| 2024 | 54,22       | 45,26           |

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).



O gráfico 1 evidencia a evolução da urbanização da cidade ao longo das quadros décadas. A representação gráfica facilita a visualização da tendência de crescimento contínua apresentada no Quadro 2.

**Gráfico 1. Evolução da urbanização.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da expansão urbana de Mossoró ao longo das últimas décadas evidenciou um crescimento expressivo da mancha urbana, refletindo a influência de fatores socioeconômicos e ambientais no desenvolvimento da cidade. O uso de geotecnologias, especialmente o sensoriamento remoto e a classificação supervisionada de imagens de satélite, permitiu identificar padrões espaciais de urbanização e quantificar as transformações na ocupação do solo.

Os resultados demonstram que a cidade apresentou um crescimento urbano acelerado em determinados períodos, acompanhado por alterações significativas na paisagem. Essas mudanças destacam a importância de estratégias eficientes de planejamento territorial para garantir um crescimento ordenado, minimizar impactos ambientais e otimizar a infraestrutura urbana. Dessa forma, a pesquisa reforça o papel fundamental das ferramentas geoespaciais na tomada de decisões voltadas à gestão do espaço urbano.

Além da relevância acadêmica, estudos deste tipo podem servir de base para planejadores urbanos e gestores públicos interessados em monitorar a expansão das cidades e propor soluções mais eficazes para o ordenamento territorial. A metodologia utilizada pode ser adaptada para estudos em diferentes contextos urbanos alterando a classe a ser monitorada, possibilitando uma compreensão mais aprofundada das dinâmicas de crescimento das cidades.

Diante dos achados deste trabalho, recomenda-se a continuidade de pesquisas que não apenas avaliem a expansão da mancha urbana, mas também investiguem como a população se distribui dentro desse espaço ao longo do tempo. Compreender os padrões de concentração populacional em relação à infraestrutura urbana pode fornecer subsídios importantes para a formulação de políticas públicas voltadas à mobilidade, ao acesso a serviços essenciais e à melhoria da qualidade de vida dos habitantes.



## REFERÊNCIAS

- CARMO FILHO, F.; OLIVEIRA, O. F. Mossoró: um município do semi-árido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico. Mossoró: ESAM, 1995. (Coleção Mossoroense, Série B).
- CARVALHO, A. Inteligência Artificial: Uma Abordagem de Aprendizado de Máquina. 1. ed. São Paulo: LTC, 2011. 394 p.
- FORGET, Y. et al. Mapping 20 years of urban expansion in 45 urban areas of sub-Saharan Africa. *Remote Sensing*, v. 13, n. 3, p. 1–20, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs13030525>.
- GINZBURG, C. Mitos, emblemas, sinais: morfologia e história. 2. ed. São Paulo, 1989.
- GONÇALVES, T. M. et al. Simulating Urban Growth Using Cellular Automata Approach (SLEUTH) - A Case Study of Praia City, Cabo Verde. *IEEE Access*, v. 7, p. 156430–156442, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2949689>.
- JAPIASSÚ, Luana Andressa Teixeira; LINS, Regina Dulce Barbosa. As diferentes formas de expansão urbana. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 2, n. 13, 2014.
- MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Brasília: CNPq, v. 1, 2012. 256 p.
- MORAES, Elisabete Caria de. Fundamentos de Sensoriamento Remoto. In: MORAES, Elisabete Caria de; ÁVILA, João. Curso de Uso de Sensoriamento Remoto no Estudo do Meio Ambiente. São José dos Campos: DSR/INPE, 2002. Cap. 1, p. 1-23.
- MUSA, S. I.; HASHIM, M.; REBA, M. N. A review of geospatial-based urban growth models and modelling initiatives. *Geocarto International*, v. 6049, p. 1–21, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1213891>.

SILVA, C. Q. Redes neurais aplicadas no reconhecimento de símbolos matemáticos manuscritos online. São Paulo: USP, 2019.

SILVA, [Nome(s) completo(s) do(s) autor(es)]. Análise da paisagem no tempo e espaço por meio da classificação supervisionada do município de Belém no período 2008 a 2020. *Research, Society and Development*, v. 12, n. 3, e16912338022, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i3.38022>.

SONDE, P.; BALAMWAR, S.; OCHAWAR, R. S. Urban sprawl detection and analysis using unsupervised classification of high-resolution image data of Jawaharlal Nehru Port Trust area in India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 17, p. 1–9, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100282>.

USGS. United States Geological Survey. Disponível em: <https://www.usgs.gov/>. Acesso em: 05 jan. 2025.