



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE, TECNOLOGIA E SOCIEDADE

THAMIRIS DA SILVA AGUIAR

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA E
SEUS IMPACTOS NA VEGETAÇÃO E TEMPERATURA EM MOSSORÓ/RN:
SUBSÍDIOS PARA O PLANEJAMENTO URBANO SUSTENTÁVEL**

MOSSORÓ

2025

THAMIRIS DA SILVA AGUIAR

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA E
SEUS IMPACTOS NA VEGETAÇÃO E TEMPERATURA EM MOSSORÓ/RN:
SUBSÍDIOS PARA O PLANEJAMENTO URBANO SUSTENTÁVEL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Linha de Pesquisa: Tecnologias Sustentáveis e Recursos Naturais do Semiárido

Orientador: Narjara Walessa Nogueira de Freitas

Co-orientador: Rômulo Magno Oliveira de Freitas

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.

AA283 Aguiar, Thamiris da Silva.
g Geoprocessamento aplicado à análise da expansão urbana e seus impactos na vegetação e temperatura em Mossoró/RN: Subsídios para o planejamento urbano sustentável / Thamiris da Silva Aguiar. - 2025.
87 f. : il.

Orientadora: Narjara Walessa Nogueira de Freitas.
Coorientador: Rômulo Magno Oliveira de Freitas.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade, 2025.

1. Centros Urbanos. 2. Conforto Térmico. 3. Áreas Verdes. 4. Urbanização. I. Nogueira de Freitas, Narjara Walessa , orient. II. Oliveira de Freitas, Rômulo Magno , co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo 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.

THAMIRIS DA SILVA AGUIAR

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA E
SEUS IMPACTOS NA VEGETAÇÃO E TEMPERATURA EM MOSSORÓ/RN:
SUBSÍDIOS PARA O PLANEJAMENTO URBANO SUSTENTÁVEL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Linha de Pesquisa: Tecnologias Sustentáveis e Recursos Naturais do Semiárido

Defendida em: 28/02/2025

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Narjara Walessa Nogueira De Freitas (UFERSA)
Presidente

Prof. Dr. Rômulo Magno Oliveira de Freitas (IFRN)
Membro

Profa. Dra. Nayanne Silva Benfica (IFBA)
Membro

Dra. Zildenice Matias Guedes (UFERSA)
Membro

*Dedico todo e qualquer sucesso aos meus pais,
que, sob muito sol, me fizeram chegar aqui pela
sombra e com água fresca.
À minha Kira, que me trouxe a luz e agora
tornou-se uma estrela.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me permitir estar onde estou e ser quem eu sou, poder usufruir de todos os privilégios que me foram concebidos e todas as bênçãos e conquistas.

A meus pais, Francisco e Elita, pelo amor, dedicação, o trabalho duro e o apoio, que permitiu me dedicar completamente aos meus estudos.

A meu irmão, Thiago, por ser minha companhia e apoio durante os momentos difíceis. À minha irmã, Thais, pelo apoio e inspiração.

À minha filha de quatro patas, Kira, que foi minha maior companheira, minha amiga mais fiel, que me ofereceu o amor mais incondicional durante os anos ao meu lado e agora descansa em paz.

Às minhas fies escudeiras e amigas, Ellen e Karlinha, por caminharem comigo nessa trajetória, obrigada por compartilhar os momentos de felicidade e de ansiedade na vida acadêmica.

À UFERSA e todos meus professores que sempre foram acolhedores comigo após o meu retorno a casa.

À Banca Examinadora por ter aceito o convite.

Aos meus orientadores pelo apoio nessa jornada.

A mim, por ultrapassar mais uma barreira, você é boa e suficiente.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

GEOPROCESSAMENTO APLICADO À ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA E SEUS IMPACTOS NA VEGETAÇÃO E TEMPERATURA EM MOSSORÓ/RN: SUBSÍDIOS PARA O PLANEJAMENTO URBANO SUSTENTÁVEL

RESUMO

A qualidade ambiental e de vida nas cidades depende de fatores como a presença de elementos naturais, especialmente a vegetação, que serve como indicador socioambiental. Este estudo analisou a relação entre a expansão urbana de Mossoró/RN, a Temperatura Superficial Terrestre (TST) e a cobertura vegetal, utilizando técnicas de geoprocessamento para identificar padrões e tendências que auxiliem no planejamento urbano sustentável. Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 e 8 (2003, 2013 e 2023) do USGS, processadas no software QGIS para analisar variações espaciais e temporais da TST, da urbanização e da vegetação. A Classificação Supervisionada (CS) foi aplicada para mapear as áreas verdes e calcular o Percentual de Área Verde (PAV) e o Índice de Área Verde Total (IAVT). Os resultados, validados com dados do MapBiomas e da estação meteorológica da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), mostraram uma variação da TST, com médias de 31,14°C (2003), 32,97°C (2013) e 30,75°C (2023). As temperaturas mais elevadas ocorreram em áreas densamente urbanizadas, enquanto as amenas foram registradas próximas ao Rio Apodi/Mossoró, devido à mata ciliar. Entre 2003 e 2023, a área urbana cresceu 16,34 km², enquanto a vegetação densa reduziu 10,56%. Embora o PAV tenha se mantido estável para a área geral, a vegetação densa intraurbana caiu 20%, evidenciando uma perda significativa de áreas verdes. O uso de geotecnologias e análise espacial permitiu compreender os impactos da urbanização na vegetação e no clima urbano, reforçando a necessidade de ações para mitigar impactos climáticos e preservar a vegetação intraurbana no planejamento urbano.

Palavras-chave: Centros Urbanos; Conforto Térmico; Áreas Verdes; Urbanização.

**GEOPROCESSING APPLIED TO THE ANALYSIS OF URBAN EXPANSION AND
ITS IMPACTS ON VEGETATION AND TEMPERATURE IN MOSSORÓ/RN:
CONTRIBUTIONS TO SUSTAINABLE URBAN PLANNING**

ABSTRACT

Environmental and living quality in cities depends on factors such as the presence of natural elements, especially vegetation, which serves as a socio-environmental indicator. This study analyzed the relationship between urban expansion in Mossoró/RN, Land Surface Temperature (LST), and vegetation cover, using geoprocessing techniques to identify patterns and trends that support sustainable urban planning. Images from the Landsat 5 and 8 satellites (2003, 2013, and 2023) provided by the USGS were processed in QGIS software to analyze spatial and temporal variations in LST, urbanization, and vegetation. Supervised Classification (SC) was applied to map green areas and calculate the Green Area Percentage (GAP) and the Total Green Area Index (TGAI). The results, validated with data from MapBiomas and the meteorological station of the Federal Rural University of the Semi-Arid Region, showed variations in LST, with mean values of 31.14°C (2003), 32.97°C (2013), and 30.75°C (2023). Higher temperatures were recorded in densely urbanized areas, while lower temperatures were observed near the Apodi/Mossoró river due to the presence of riparian vegetation. Between 2003 and 2023, the urban area expanded by 16.34 km², while dense vegetation decreased by 10.56%. Although the overall GAP remained stable, intra-urban dense vegetation declined by 20%, indicating a significant loss of green areas. The use of geotechnologies and spatial analysis enabled a better understanding of urbanization impacts on vegetation and the urban climate, reinforcing the need for actions to mitigate climate impacts and preserve intra-urban vegetation in urban planning.

Keywords: Urban Centers; Thermal Comfort; Green Areas; Urbanization.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	14
CAPÍTULO 1.....	19
ANÁLISE TEMPORAL DA REDUÇÃO DA ÁREA VERDE DA CIDADE DE MOSSORÓ/RN EM CONSEQUÊNCIA DA EXPANSÃO IMOBILIÁRIA: UM ESTUDO DE CASO, 2013 A 2023.....	19
CAPÍTULO 1: ANÁLISE TEMPORAL DA REDUÇÃO DA ÁREA VERDE DA CIDADE DE MOSSORÓ/RN EM CONSEQUÊNCIA DA EXPANSÃO IMOBILIÁRIA: UM ESTUDO DE CASO, 2013 A 2023*	20
1 INTRODUÇÃO	22
2 METODOLOGIA.....	24
2.1 ÁREA DE ESTUDO	24
2.2 OBTENÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	25
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
5 REFERÊNCIAS	39
CAPÍTULO 2.....	42
A INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NA TEMPERATURA SUPERFICIAL TERRESTRE: ESTUDO DE CASO DE MOSSORÓ/RN UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO.....	42
CAPÍTULO 2: A INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NA TEMPERATURA SUPERFICIAL TERRESTRE: ESTUDO DE CASO DE MOSSORÓ/RN UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO.....	43
1 INTRODUÇÃO	45
2 METODOLOGIA.....	47
2.1 ÁREA DE ESTUDO	47
2.2 COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS	49
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
5 REFERÊNCIAS.....	59
CAPÍTULO 3.....	62
ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL NA ÁREA URBANIZADA DE MOSSORÓ/RN UTILIZANDO A CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA ENTRE 2003 E 2023	62
CAPÍTULO 3: ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL NA ÁREA URBANIZADA DE MOSSORÓ/RN UTILIZANDO A CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA ENTRE 2003 E 2023.....	63
1 INTRODUÇÃO	65

2	METODOLOGIA.....	68
2.1	ÁREA DE ESTUDO	68
2.2	ÍNDICE DE VEGETAÇÃO.....	69
2.3	COLETA E PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	70
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
5	REFERÊNCIAS.....	83

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1 – Localização dos três bairros em estudo na área urbana da cidade de Mossoró/RN.	25
Figura 2 – Comparação visual dos bairros Cidade alta nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.	28
Figura 3 – Comparação visual dos bairros Alto das brisas nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.	28
Figura 4 – Comparação visual dos bairros Nova Mossoró nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.	29
Figura 5 – Cobertura vegetal dos bairros a) Cidade alta, b) Alto das brisas e c) Nova Mossoró, nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.....	31
Figura 6 – Mapa temático de uso e ocupação da terra para o bairro Cidade Alta nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.	32
Figura 7 – Mapa temático de uso e ocupação da terra para o bairro Alto das Brisas nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.	33
Figura 8 – Mapa temático de uso e ocupação da terra para o bairro Nova Mossoró nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.	33
Figura 9 – Espacialização da temperatura superficial terrestre para o bairro Cidade Alta nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.	35
Figura 10 – Espacialização da temperatura superficial terrestre para o bairro Alto das Brisas nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.....	36
Figura 11 – Espacialização da temperatura superficial terrestre para o bairro Nova Mossoró nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.....	36

Capítulo 2

Figura 12 – Localização do município de Mossoró/RN, 2024.....	47
Figura 13 – Núcleo urbano do município de Mossoró, 2024.....	48
Figura 14 – Análise da temperatura superficial terrestre (TST) no núcleo urbano de Mossoró no período de 20 anos.....	54
Figura 15 – Análise do NDVI no núcleo urbano de Mossoró para o ano de 2003, 2013 e 2023.	56

Capítulo 3

Figura 16 – Recorte da área de estudo, núcleo urbano do município de Mossoró.....	69
---	----

Figura 17 – Análise do núcleo urbano de Mossoró/RN utilizando classificação supervisionada para o ano de 2003.....	72
Figura 18 – Análise do núcleo urbano de Mossoró/RN utilizando classificação supervisionada para o ano de 2013.....	73
Figura 19 – Análise do núcleo urbano de Mossoró/RN utilizando classificação supervisionada para o ano de 2023.....	73
Figura 20 – Uso e ocupação do solo no núcleo urbano de Mossoró/RN nos anos de 2003,2013 e 2023.	75
Figura 21 – Vegetação densa no núcleo urbano de Mossoró/RN no ano de 2003.....	77
Figura 22 – Vegetação densa no núcleo urbano de Mossoró/RN no ano de 2013.....	77
Figura 23 – Vegetação densa no núcleo urbano de Mossoró/RN no ano de 2023.....	78
Figura 24 – Expansão da estrutura urbano no recorte do núcleo urbano de Mossoró/RN nos anos de 2003, 2013 e 2023.	79

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1 – Área total dos bairros e somatório das áreas de vegetação dos anos de 2013 e 2023, 2024.....	30
Tabela 2 – Quantificação de uso e ocupação do solo para os bairros nos anos de 2013 e 2023, 2024.	34

Capítulo 2

Tabela 3 – Temperatura Superficial Terrestre (TST) para os anos de 2003, 2013 e 2023.....	52
Tabela 4 – Temperatura do ar mensal coletada na Estação Meteorológica Automática CAMPBELL SCI/LABIMC (UFERSA).....	52
Tabela 5 – Temperatura do ar anual coletada na Estação Meteorológica Automática CAMPBELL SCI/LABIMC (UFERSA).....	53

Capítulo 3

Tabela 6 – Análise do núcleo urbano de Mossoró/RN utilizando classificação supervisionada para o ano de 2003, 2013 e 2023.	72
Tabela 7 – Quantificação de uso e ocupação do solo para o núcleo urbano de Mossoró/RN nos anos de 2003, 2013 e 2023.	74
Tabela 8 – Percentual de área verde para o núcleo urbano completo nos anos de 2003, 2013 e 2023.	76
Tabela 9 – Percentual de Área Verde para recorte do núcleo urbano nos anos de 2003, 2013 e 2023.	79
Tabela 10 – Índice de Área Verde Total para recorte do núcleo urbano e para o núcleo urbano completo nos anos de 2003, 2013 e 2023.....	80

INTRODUÇÃO GERAL

De acordo com as projeções do Fundo de População das Nações Unidas (UNFPA, 2023), até 2030, cinco bilhões de pessoas viverão nas cidades, o equivalente a 60% da população mundial. Dados do IBGE (2022) mostram que a Região Nordeste do Brasil concentra 24,2% de toda a área urbanizada do país. Apenas no ano de 2021, foram registrados aproximadamente 17 municípios com mais de 1 milhão de habitantes, representando 21,9% da população total do país. O estado do Rio Grande do Norte ocupa o 16º lugar no ranking dos estados com maior percentual de áreas urbanizadas no Brasil.

Esse processo de urbanização gera consequências negativas sob a perspectiva ambiental, como o aumento da poluição do ar, desconforto térmico, riscos de enchentes, uso inadequado e impermeabilização do solo, supressão da vegetação nativa, desequilíbrio ambiental, altos níveis de estresse, doenças respiratórias, poluição sonora e, consequentemente, a perda da qualidade ambiental urbana (Duarte, 2017; Estévez; Nucci, 2015; Scanavaca, 2012).

As novas configurações das cidades contemporâneas são resultantes do crescimento populacional e do adensamento urbano, que, consequentemente, reduziram os espaços livres de acesso ao público, como praças, quadras de esportes, parques e as áreas verdes das cidades. Essas mudanças nas áreas urbanas resultam em um desequilíbrio na qualidade de vida urbana e no metabolismo ambiental, evidenciando a importância das áreas públicas vegetadas e arborizadas, que contribuem positivamente para o ecossistema da cidade, funcionando como áreas de descompressão em meio ao contexto urbano adensado (Oliveira e Ramos, 2022).

A qualidade ambiental refere-se ao estado das condições do ambiente, expresso por meio de indicadores ou índices relacionados a padrões ambientais, que incluem aspectos como qualidade da água, do ar, acesso a espaços abertos e os efeitos visuais das áreas construídas, além do impacto dessas características na saúde física e mental dos indivíduos (Buccheri Filho; Tonetti, 2011; Benini; Rosin, 2017). Dessa forma, diversos autores apontam a arborização urbana como o principal indicador da qualidade ambiental nas cidades, devido aos seus benefícios para o equilíbrio ecológico, a saúde e o bem-estar da população (Santos; Nucci, 2019; De Arruda, 2013).

Diversos estudos relacionam a saúde populacional à presença de áreas verdes e vegetação nas cidades, demonstrando benefícios como a melhoria da qualidade do ar, redução do estresse, mitigação de problemas respiratórios e da obesidade, aumento da prática de atividades físicas e maior conexão social, todos promovidos por esses espaços verdes (MMA,

2021; De Arruda, 2013; Pinheiro; Souza, 2017; Yakinlar; Akpinar, 2022; Ekkel; De Vries, 2017; WHO, 2016; Wolf, 2020).

A Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu, entre seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para a Agenda 2030, o ODS nº 11, "Cidades e Comunidades Sustentáveis", que tem como meta tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, com foco na oferta de espaços públicos inclusivos e verdes, de fácil acesso à comunidade. Além disso, busca promover relações ambientais positivas entre áreas urbanas, periurbanas e rurais, aliadas a um planejamento regional para o desenvolvimento socioeconômico. Também visa melhorar a sustentabilidade das cidades, reduzindo impactos ambientais negativos e implementando políticas e planos integrados para adaptação e mitigação das mudanças climáticas.

A arborização urbana também está diretamente relacionada ao ODS nº 13, "Ação Contra a Mudança Global do Clima", que propõe medidas urgentes para combater as alterações climáticas e seus impactos sobre a população e o planeta. Nesse sentido, a vegetação urbana e as áreas verdes desempenham um papel essencial no equilíbrio térmico e na redução do fenômeno das ilhas de calor.

O ODS nº 3, "Saúde e Bem-Estar", também é beneficiado por ações voltadas às áreas verdes urbanas, pois a ampliação desses espaços contribui para o aumento da prática de atividades físicas e a melhoria da saúde mental. Esse ODS tem como objetivo garantir o acesso à saúde de qualidade e promover o bem-estar para todos, em todas as idades.

A arborização urbana deve ser planejada conforme os serviços ecossistêmicos desejados, considerando as necessidades e especificidades de cada local. Dessa forma, as árvores e a vegetação deixam de ser vistas apenas como elementos estéticos e passam a ser reconhecidas por suas funções ambientais e sociais (Duarte, 2017). O Censo Demográfico do IBGE de 2010 foi o primeiro a reunir informações sobre a arborização urbana, auxiliando na compreensão da importância da vegetação e das oportunidades para a melhoria da qualidade urbana (IBGE, 2012).

As geotecnologias, como o sensoriamento remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), têm se consolidado como ferramentas fundamentais no monitoramento e planejamento urbanos. O geoprocessamento, em particular, permite a análise espacial de dados georreferenciados, facilitando a identificação de padrões e tendências na paisagem urbana. A Temperatura Superficial Terrestre (TST) é um dos índices amplamente utilizados nesses estudos para avaliar os efeitos da urbanização no clima local, auxiliando na identificação de ilhas de calor e na correlação entre cobertura vegetal e variações térmicas.

Assim, o uso dessas tecnologias fornece informações essenciais para a gestão ambiental e o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis (Luengo, 1998; Amaral; Silva, 2019).

Para garantir a qualidade ambiental nas cidades, é necessário formar um habitat salubre e confortável, que proporcione o essencial para a qualidade de vida humana, sempre considerando a interação de diversos fatores. Nesse contexto, os serviços ambientais oferecidos pela arborização urbana e pelos espaços verdes devem ser utilizados para compensar a perda da qualidade de vida decorrente da expansão urbana e das dinâmicas do cotidiano urbano (Velázquez; Celemín, 2011; Duarte, 2017).

Entre estudiosos e planejadores urbanos, há uma preocupação crescente com a recuperação, criação e preservação de espaços verdes urbanos, como praças, parques e áreas arborizadas (Oliveira, 2015). A avaliação das diferentes modalidades de áreas verdes urbanas e de sua acessibilidade é de grande importância para a infraestrutura pública, pois desempenha um papel crucial na qualidade de vida, no desenvolvimento social e em outros aspectos fundamentais para o bem-estar humano. Assim, tais espaços são essenciais para assegurar a efetividade da qualidade ambiental (Vujcic; Tomicevic-Dubljevic, 2018).

Esta pesquisa tem como objetivo quantificar a expansão da área urbana, realizar um levantamento da Temperatura Superficial Terrestre (TST) e gerar índices de arborização urbana e áreas verdes para o núcleo urbano de Mossoró. Este estudo é de grande importância para o planejamento urbano sustentável, pois fornece uma análise detalhada dos impactos da expansão urbana sobre a vegetação e o clima local ao longo de duas décadas, oferecendo subsídios fundamentais para a formulação de políticas públicas que minimizem os efeitos das ilhas de calor e promovam a preservação das áreas verdes.

REFERÊNCIAS

- Amaral, C. M.; Silva, L. F.; Pereira, M. G. **A utilização das geotecnologias em redução de riscos**. Engenharia e Ciências Ambientais: contribuições à gestão ecossistêmica, v. 26, p. 1–15, 2019.
- Benini, Sandra Medina; Rosin, Jeane Aparecida Rombi de Godoy. **Qualidade Ambiental Urbana**. Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes, V. 5, N. 11, 2017.
- Buccheri Filho, Alexandre Theobaldo; Tonetti, Emerson Luis. **Qualidade Ambiental Nas Paisagens Urbanizadas**. Revista Geografar, V. 6, N. 1, 2011.
- BRASIL. **Programa Cidades+Verdes**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/ptbr/assuntos/agendaambientalurbana/cidadesmaisverdes/ProgramaCidadesmaisVerdes.pdf/@download/file/ProgramaCidadesmaisVerdes.pdf>. Acesso em: 20 out. 2023.
- De Arruda, L. E.V., Souza Silveira, P. R., Vale, H. S. M., da Silva, P. C. M. **Índice de área verde e de cobertura vegetal no perímetro urbano central do município de Mossoró, RN**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 8, n. 2, p. 43, 2013.
- De Oliveira, H. F; Ramos, L. L. A. **Contribuição da praça para o microclima urbano**. MIX Sustentável, v. 8, n. 3, p. 55-66, 2022.
- Duarte, T. E. P.; Angeoletto, F. H. S.; Santos, J. W. M. C.; Da Silva Leandro, D.; Bohrer, J. F. C.; Vacchiano, M. C.; Leite, L. B. **O papel da cobertura vegetal nos ambientes urbanos e sua influência na qualidade de vida nas cidades**. Desenvolvimento em questão, v. 15, n. 40, p. 175-203, 2017.
- Ekkel, E. D.; De Vries, S. **Nearby green space and human health: Evaluating accessibility metrics**. Landscape and urban planning, 157, 214-220, 2017.
- Estêvez, L. F; Nucci, J. C. **A questão ecológica urbana e a qualidade ambiental urbana**. Revista Geografar, v. 10, n. 1, p. 26-49, 2015.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022: Resultados gerais da amostra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 out. 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico 2010.** Rio de Janeiro, 2012. Disponível: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv49230.pdf>.

Luengo, G. **Elementos para la definición y evaluación de la calidad ambiental urbana. Una propuesta teórico-metodológica.** In: SEMINÁRIO LATINOAMERICANO DE CALIDAD DE VIDA URBANA, 4., 1998, Tandil, Argentina. 1998.

Oliveira Filho, P. C.; Martins, K. G.; Evaristo, G.; Andrade, A. R.; Silva, C. A.; Maciel, A.; Barbosa, G. D. **Análise da Influência do Uso da Terra no Microclima Urbano: Caso Irati-PR.** Floresta e Ambiente, v. 22, n. 4, p. 465-471, 2015.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Objetivos do desenvolvimento sustentável.** Disponível em : <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em :20 novembro 2023.

Pinheiro, C. R.; Souza, D. D. **A importância da arborização nas cidades e sua influência no microclima.** Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 6, n. 1, p. 67-82, 2017.

SANTOS, Gleici; NUCCI, João. **Índice de Cobertura Vegetal e Índice Visual de Verde: indicadores de qualidade ambiental urbana.** GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território, n. 17, p. 229, 2019.

Scanavaca J. L. **Áreas verdes como subsídio ao planejamento urbano.** CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 16., 2012, Uberlândia. Anais. Uberlândia: Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, 2012.

UNFPA. **Estado da População Mundial 2023.** Fundo de População das Nações Unidas, 2023. Disponível em: <https://www.unfpa.org>. Acesso em: 25 out. 2023.

Velázquez, G. Á.; Celemin, J. P. **Aplicación de un índice de calidad ambiental a la Región Pampeana Argentina (2010).** Finisterra, v. 46, n. 91, 2011.

Vujcic, M.; Tomicevic-Dubljevic, J.. **Urban forest benefits to the younger population: The case study of the city of Belgrade, Serbia.** Forest policy and economics, v. 96, p. 54-62, 2018.

WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE. **Urban Green Spaces and Health. A Review of Evidence.** World Heal Organ, v. 1, p. 92, 2016.

Wolf, K. L., Lam, S. T., McKeen, J. K., Richardson, G. R., van Den Bosch, M.; Bardekjian, A. C. **Urban trees and human health: A scoping review.** International journal of environmental research and public health, 17(12), 4371. 2020.

Yakinlar, N.; Akpinar, A. **How perceived sensory dimensions of urban green spaces are associated with adults' perceived restoration, stress, and mental health?.** Urban Forestry & Urban Greening, v. 72, p. 127572, 2022.

CAPÍTULO 1
ANÁLISE TEMPORAL DA REDUÇÃO DA ÁREA VERDE DA CIDADE DE
MOSSORÓ/RN EM CONSEQUÊNCIA DA EXPANSÃO IMOBILIÁRIA: UM
ESTUDO DE CASO, 2013 A 2023

**CAPÍTULO 1: ANÁLISE TEMPORAL DA REDUÇÃO DA ÁREA VERDE DA
CIDADE DE MOSSORÓ/RN EM CONSEQUÊNCIA DA EXPANSÃO IMOBILIÁRIA:
UM ESTUDO DE CASO, 2013 A 2023*¹**

RESUMO

A partir de meados dos anos 1990, Mossoró/RN iniciou sua expansão da indústria da construção civil, com forte atuação do Estado através de políticas públicas no setor habitacional. A pesquisa teve como objetivo analisar o impacto da expansão urbana, com foco na cobertura vegetal e na temperatura superficial terrestre (TST), em três novos bairros, entre 2013 e 2023. Utilizando imagens de satélite, a metodologia permitiu visualizar o crescimento horizontal dos bairros e a supressão da vegetação. Os resultados demonstraram que a malha urbana de Mossoró expandiu-se consideravelmente: o bairro Cidade Alta emergiu durante o intervalo de dez anos, enquanto Nova Mossoró e Alto das Brisas cresceram horizontalmente. Os resultados também revelaram uma diminuição significativa na cobertura vegetal, sendo o bairro Cidade Alta o mais afetado, com 92,51% da área vegetada reduzida. Os outros bairros também apresentaram perdas preocupantes. Além disso, a TST aumentou em todos os bairros, refletindo o impacto da expansão urbana na temperatura. A importância da vegetação urbana na regulação climática e na qualidade de vida evidencia a necessidade de estratégias de planejamento urbano que mitiguem efeitos adversos da urbanização, como o desconforto térmico. Esses resultados podem fundamentar iniciativas futuras para restauração da vegetação, promovendo ambientes urbanos mais saudáveis e habitáveis em Mossoró/RN.

Palavras-chave: Cobertura vegetal. Crescimento urbano. Impactos ambientais. Conforto térmico.

¹ O artigo intitulado *ANÁLISE TEMPORAL DA REDUÇÃO DA ÁREA VERDE DA CIDADE DE MOSSORÓ/RN EM CONSEQUÊNCIA DA EXPANSÃO IMOBILIÁRIA: UM ESTUDO DE CASO, 2013 A 2023* foi aceito para publicação na revista científica: Caminhos de Geografia ISSN 1678-6343 (online), que é organizado e mantido pelo Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal de Uberlândia.

**TEMPORAL ANALYSIS OF GREEN AREA REDUCTION IN THE CITY OF
MOSSORÓ/RN DUE TO REAL ESTATE EXPANSION: A CASE STUDY, 2013 TO
2023**

ABSTRACT

It was from the mid-1990s that Mossoró/RN began its expansion in the civil construction industry, driven by strong state action through public policies in the housing sector. The research analyzed the impact of urban expansion, focusing on the evolution of vegetation cover and land surface temperature (LST) in three new neighborhoods between 2013 and 2023. Using satellite images, the methodology made it possible to visualize the horizontal growth of the neighborhoods and the suppression of vegetation. The urban fabric of Mossoró expanded considerably, with the Cidade Alta neighborhood emerging during the ten-year period, while Nova Mossoró and Alto das Brisas grew horizontally. The results revealed a significant decrease in vegetation cover, with the Cidade Alta neighborhood being the most affected, experiencing a 92.51% reduction in vegetated area. The other neighborhoods also showed concerning losses. Furthermore, LST increased in all neighborhoods, reflecting the impact of urban expansion on temperature. The study highlights the importance of urban vegetation in climate regulation and quality of life, pointing to the need for urban planning strategies that mitigate the adverse effects of urbanization, such as thermal discomfort. These results can support future initiatives to restore vegetation, promoting healthier and more habitable urban environments in Mossoró/RN.

Keywords: Vegetal cover. Urban growth. Environmental impacts. Thermal comfort.

1 INTRODUÇÃO

A migração da população para áreas urbanas tem ocorrido em ritmo acelerado em nível nacional. Em 1950, aproximadamente 30% da população mundial vivia nas cidades; essa proporção aumentou para 55% em 2018, e as projeções indicam que, até 2050, cerca de 70% da população global estará residindo em zonas urbanas (United Nations, 2022). Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) mostram que a Região Nordeste possui 24,2% de toda a área urbanizada do país. O estado do Rio Grande do Norte ocupa a 16^ª posição no ranking dos estados com maior percentual de áreas urbanizadas do Brasil.

A cidade Mossoró, localizada no estado Rio grande do Norte a partir de meados dos anos 1990 iniciou sua expansão na indústria da construção civil, impulsionada pela forte atuação do Estado por meio de políticas públicas no setor habitacional. A partir de 2009, ocorreu um “boom” imobiliário, e a produção de moradias atingiu maior dinamismo, abrangendo todos os perfis socioeconômicos da cidade (Silva Beserra; Pereira Junior, 2020).

As moradias residenciais foram o segmento que mais cresceu no setor da construção civil. Sem uma cultura consolidada de crescimento vertical e com o apoio de diversos programas de financiamento, Mossoró presenciou uma significativa modificação da sua paisagem, com um nítido crescimento horizontal da cidade (Silva Beserra; Pereira Junior, 2020).

Atualmente, no processo de planejamento urbano, as geotecnologias desempenham um papel fundamental, sendo essenciais para orientar as tomadas de decisão pelas entidades públicas, em particular as prefeituras, que têm a responsabilidade direta pela gestão municipal. As ferramentas de sensoriamento remoto tornam-se uma opção viável para a análise do ambiente urbano, pois permitem que seus usuários tenham retratos da realidade atual e anterior, favorecendo análises comparativas e permitindo a inferência de tendências (Silva; Costa; Castro, 2019).

Os estudos relativos à cobertura vegetal tornaram-se viáveis graças ao surgimento de tecnologias que permitem a detecção da assinatura espectral de elementos que compõem o solo a partir do espaço, sendo a vegetação o elemento mais notável devido à sua assinatura espectral distinta. Essa distinção possibilita uma classificação precisa das áreas (Rezende, Rosendo, 2009).

Sem um planejamento socioambiental adequado, pautado pela falta de aplicação de ferramentas e instrumentos de gestão do território, compromete-se a qualidade ambiental e de

vida dos residentes nessas áreas. Esses locais são moldados pela busca do lucro e pela contínua transformação do ambiente natural, resultando na deterioração de sistemas ambientais, especialmente o sistema climático. Isso acarreta consequências adversas, como desconforto térmico, formação de ilhas de calor e redução da umidade relativa do ar (Stanganini; Melanda; De Lollo, 2019; Silva; Dos Santos, 2023).

Dessa forma, é importante destacar que a urbanização tem contribuído para a contínua deterioração do meio ambiente. Estudos de Tostes (2012), Ribeiro (2019) e Alves, Freitas e Santos (2020) demonstram como o processo de expansão urbana impactou significativamente as cidades de Macapá, Manaus e Palmas, respectivamente, evidenciando, nas últimas décadas, a transformação contínua de áreas florestais em paisagens fragmentadas.

Grande parte desse impacto decorre da falta de controle e da ausência de integração de políticas públicas urbanas adequadas, resultando na substituição das paisagens verdes por áreas urbanizadas, o que causa um grande impacto na vegetação nativa. Salles, Grigio e Silva (2013) apontam que os problemas e impactos decorrentes desse processo de expansão urbana e desenvolvimento podem ser claramente observados em Mossoró e incluem questões como desmatamento descontrolado, construções e ocupações irregulares, falta de infraestrutura básica, carência de saneamento ambiental, disparidades sociais, especulação imobiliária, fragilização e deterioração dos ecossistemas naturais, descarte inadequado de resíduos sólidos, abastecimento de água, excesso de propagandas e poluição visual, mobilidade populacional, emissão de contaminantes atmosféricos, ampliação da poluição sonora, diminuição da biodiversidade residente, dentre outros.

O objetivo desta pesquisa foi analisar o processo de expansão urbana da cidade de Mossoró/RN, considerando a evolução da área urbana em três novos bairros, bem como os impactos na cobertura vegetal e na temperatura superficial terrestre (TST), com base em imagens de satélite referentes aos anos de 2013 e 2023.

2 METODOLOGIA

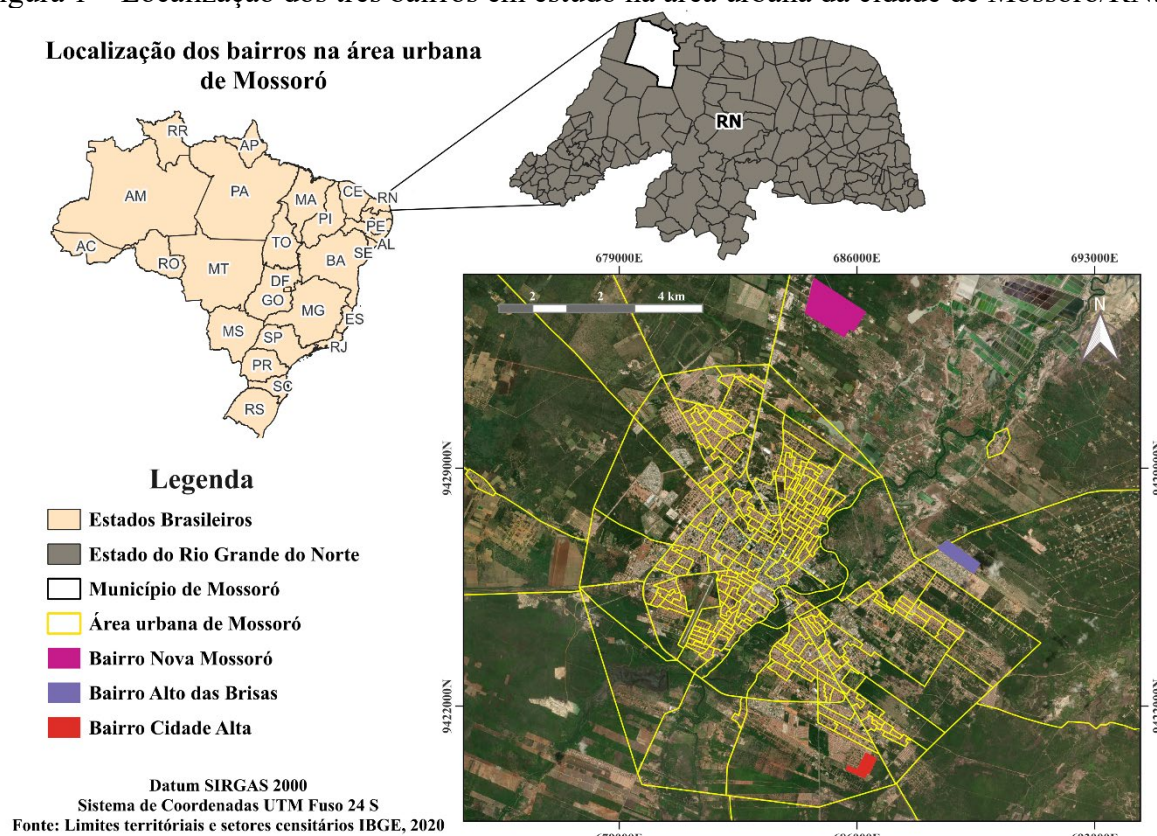
2.1 Área de estudo

O município de Mossoró está situado na mesorregião Oeste do Estado do Rio Grande do Norte, localizando-se a 5°11'15" de latitude Sul e 37°20'39" de longitude Oeste, com altitude de 16 metros e área total de 2.099,334 km², distante 245,6 km da capital potiguar. Encontra-se em uma localização estratégica, situado entre duas capitais nordestinas (Natal e Fortaleza). A cidade chegou a ser reconhecida como a Capital do Semiárido Brasileiro (Lei nº 13.568, de 21 de dezembro de 2017, BRASIL, 2017). Segundo o IBGE (2022), Mossoró possui uma população de aproximadamente 264.577 habitantes, com densidade demográfica de 126,03 hab/km². De acordo com dados apresentados pelo município, do total de habitantes, 8,68% vivem na área rural e 91,92% na área urbana, que soma 30 bairros, distribuídos principalmente na zona urbana da cidade.

A cidade de Mossoró está inserida no Semiárido Brasileiro, onde predominam fitofisionomias do bioma Caatinga, representadas por vegetação nativa de extrema importância para a região Nordeste (Pereira Júnior; Andrade; Araújo, 2012). Essa vegetação é comumente caracterizada como uma formação arbóreo-arbustiva do tipo xerófita. Distribuída em uma área de aproximadamente 826.441 km², a Caatinga ocupa cerca de 54% da região Nordeste e 10% do território brasileiro (IBGE, 2012). Devido à sua grande extensão territorial, a Caatinga apresenta grande variabilidade fitogeográfica, com fisionomia, densidade e composição de espécies diferenciadas. A região de Mossoró possui um clima tropical semiárido, caracterizado por uma temperatura média anual em torno de 28°C e dois períodos climáticos bem definidos: um período chuvoso, que ocorre entre os meses de fevereiro e maio, e um período seco, que abrange os demais meses do ano. É importante destacar que, em anos mais chuvosos, a pluviosidade anual pode atingir até 750 mm.

Nesta pesquisa, foi realizada uma análise da expansão urbana por meio de um estudo de caso em três novos bairros de Mossoró/RN: o bairro Nova Mossoró, o bairro Cidade Alta (um complexo residencial do bairro Alto do Sumaré) e o loteamento Alto das Brisas (Figura 1). Foram analisados a expansão das edificações, a supressão da vegetação existente e a TST em uma faixa temporal de 10 anos para as três áreas de estudo.

Figura 1 – Localização dos três bairros em estudo na área urbana da cidade de Mossoró/RN.



Fonte: IBGE, 2020. Elaboração: O Autor, 2023.

2.2 Obtenção e análise dos dados

As imagens de satélite utilizadas para a análise da expansão urbana e da cobertura vegetal foram obtidas por meio do Google Earth Pro, um software livre que possui imagens orbitais com resolução de um metro por um metro (1x1 m) e um bom intervalo temporal, permitindo a obtenção de imagens de qualidade no período de 10 anos, correspondente aos anos de 2013 e 2023.

As imagens dos bairros foram coletadas no formato de arquivo TIF do Google Earth Prop e, em seguida, reprojetadas e georreferenciadas. Para a produção dos mapas e imagens, utilizou-se o Sistema de Informações Geográficas (SIG) QGIS, versão 3.28.10 'Firenze', um software gratuito de geoprocessamento e análise espacial. Todos os arquivos foram georreferenciados e padronizados no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 24 Sul (31984), Datum Sirgas 2000.

Os arquivos vetoriais utilizados foram adquiridos diretamente no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a partir da base mais recente disponível, referente aos anos de 2010 e 2020. O mapeamento da cobertura vegetal foi realizado por meio

de seleção visual, delimitando-se a área vegetal existente nos bairros em cada período, para gerar os dados temporais da vegetação.

As manchas de vegetação foram identificadas por colorações verdes e texturas que indicavam diferentes tipos de cobertura. Todas as áreas vegetais visíveis foram consideradas, independentemente de serem públicas ou privadas, herbáceas ou arbóreas, ou do uso a elas destinado. A quantificação da cobertura vegetal e da área total de estudo foi realizada somando-se todas as áreas identificadas para cada bairro.

Os dados de uso e cobertura do solo dos bairros foram derivados do Projeto MapBiomas Coleção 9, que disponibiliza imagens gratuitas com escala de até 1:25.000. Foram realizados recortes das imagens de uso e cobertura para um intervalo de 10 anos, referente aos anos de 2013 e 2023.

Para as representações de temperatura, também foi utilizado como suporte o software de código aberto QGIS, versão 3.28.10 'Firenze', com imagens de satélite (órbita 216, ponto 63) adquiridas no site do projeto Serviço de Levantamento Geológico Americano, que libera as imagens de forma gratuita (USGS, 2018). Foi utilizada a banda 10 do satélite Landsat 8, que corresponde à faixa do infravermelho termal (10.6 – 11.19 μm – micrômetro), obtida pelo sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor (TIRS), com resolução espacial de 100 metros, redimensionada para 30 metros.

A metodologia aplicada para o cálculo da TST foi a de Vale *et al.* (2021). Foram aplicados parâmetros fixos para a conversão dos níveis de cinza da imagem (NC) em radiância, e, em seguida, realizou-se a conversão dos dados de radiância para temperatura em Kelvin, fundamentada na Equação 1, disponibilizada pelo Serviço Geológico Americano. Posteriormente, foi subtraído o valor absoluto (273,15), originando a Equação 2, que foi inserida na calculadora raster do QGIS 3.28.10 'Firenze', gerando assim o raster de temperatura de superfície em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2022).

$$T = K2 / \ln(K1 / L\lambda + 1) \quad (1)$$

Onde:

T: Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K);

K2: Constante de calibração 2 = 1.321.08 (K);

K1: Constante de calibração 1 = 774.89 (K);

L λ : Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts ($\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m}$).

$$TC = (1321.08 / \ln(774.89 / (3.3420\text{E-}04 * \text{"Banda_10.tiff"} + 0.10000) + 1)) - 273.15 \quad (2)$$

Posteriormente, a imagem foi vetorizada a fim de se obter uma melhor representação dos dados de temperatura para cada bairro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

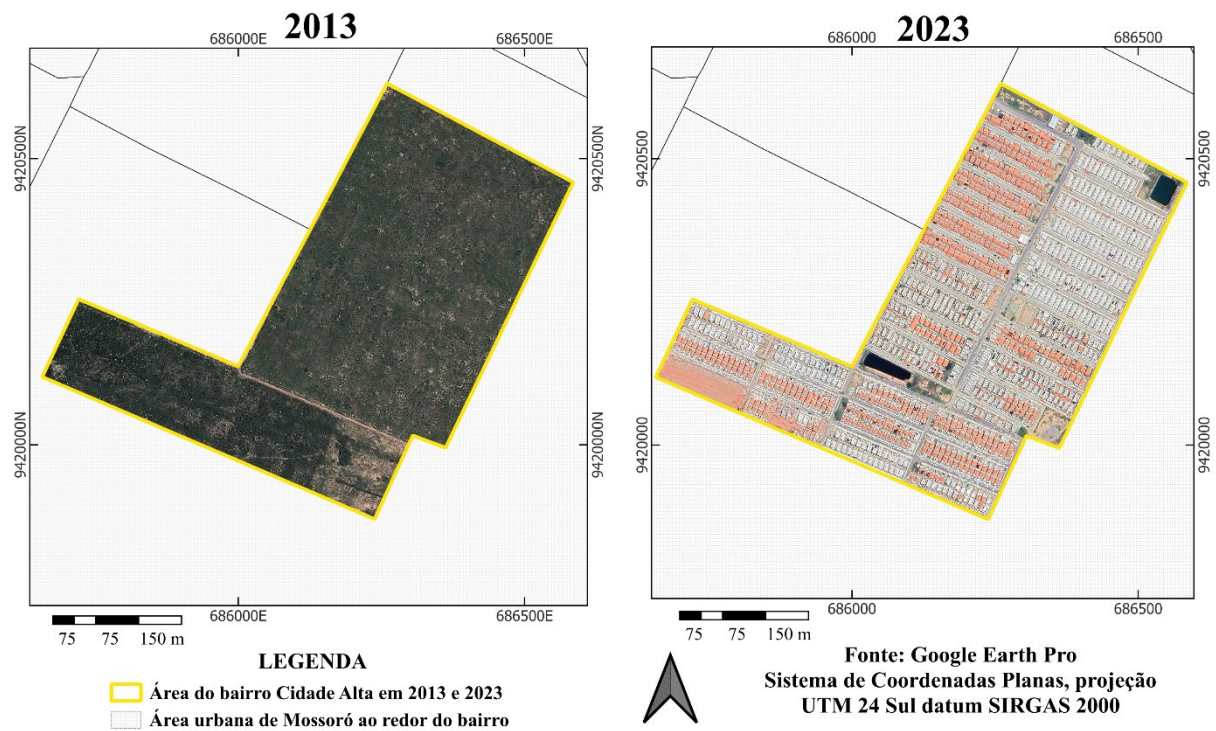
É possível observar a evolução da expansão urbana por meio das imagens de satélite comparativas dos anos de 2013 e 2023, que evidenciam o surgimento e o crescimento horizontal dos assentamentos urbanos mossoroenses. O bairro Cidade Alta surgiu completamente dentro desse intervalo de 10 anos, enquanto os bairros Alto das Brisas e Nova Mossoró surgiram no ano de 2012 e, dentro desse período, expandiram-se horizontalmente.

Com o aumento dos investimentos imobiliários no país, a cidade de Mossoró teve um grande desenvolvimento no setor da construção civil, em que, entre os diferentes tipos de novas zonas de construção, os loteamentos para moradias — sejam casas individuais, conjugadas, condomínios fechados ou apartamentos — transformaram significativamente a morfologia dos assentamentos residenciais na cidade, causando uma importante modificação na paisagem (Silva Beserra; Pereira Junior, 2020).

Também é possível observar o padrão dos empreendimentos construídos nos bairros, a maioria pertencente ao Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Esses empreendimentos foram, em sua maioria, destinados à Faixa 1 do programa, que contempla casas com a mesma metragem e plantas idênticas. O bairro Cidade Alta (Figura 2) foi completamente construído nessa configuração, o que resultou em uma paisagem padronizada, com residências sem área disponível para a promoção de espaços verdes e amplamente concretada.

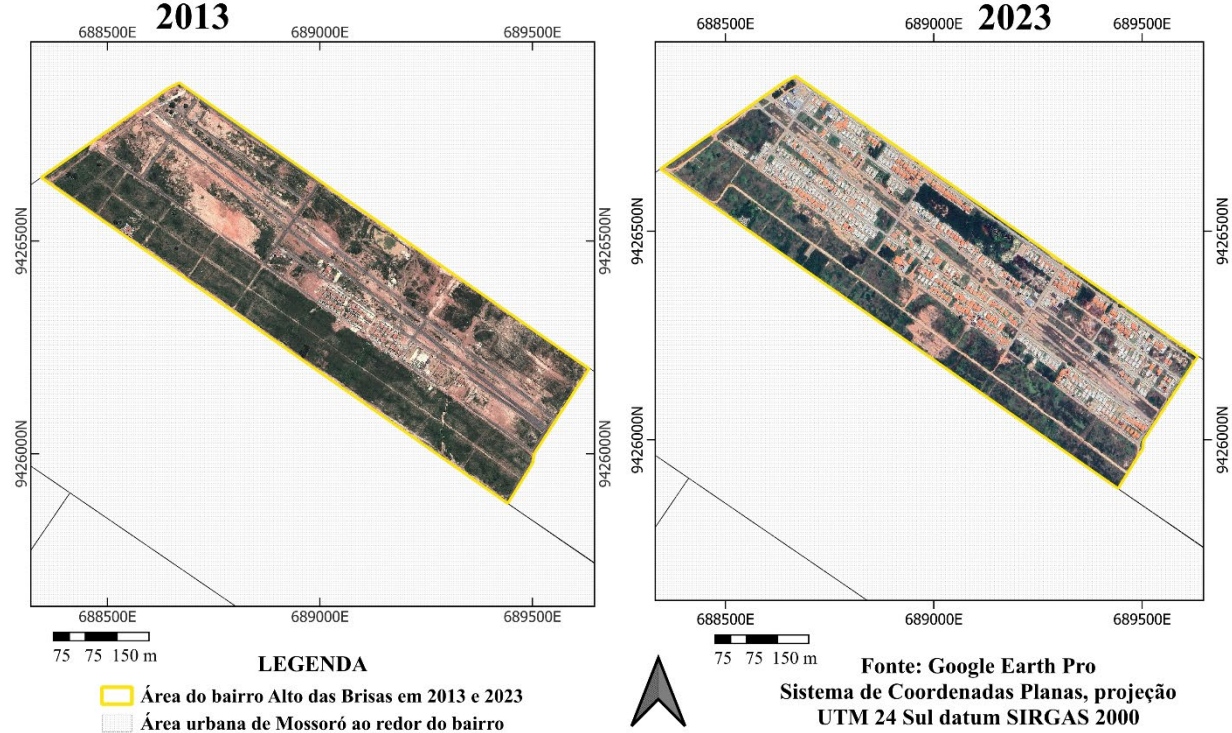
Enquanto isso, o bairro Alto das Brisas (Figura 3), por ser um loteamento de terrenos sem forte investimento das construtoras imobiliárias, ainda possui grande parte de sua área total sem construções e apresenta uma configuração mais variada, com casas de plantas diferenciadas. Já no bairro Nova Mossoró (Figura 4), é possível verificar os dois tipos de configuração. Devido ao forte investimento das construtoras na promoção de um bairro de grande porte nos últimos anos, há muitas casas pré-fabricadas com a mesma planta e uma área predominantemente concretada, mas também é possível observar casas com diferentes configurações, algumas com quintais arborizados e áreas verdes nas calçadas.

Figura 2 – Comparação visual dos bairros Cidade alta nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.



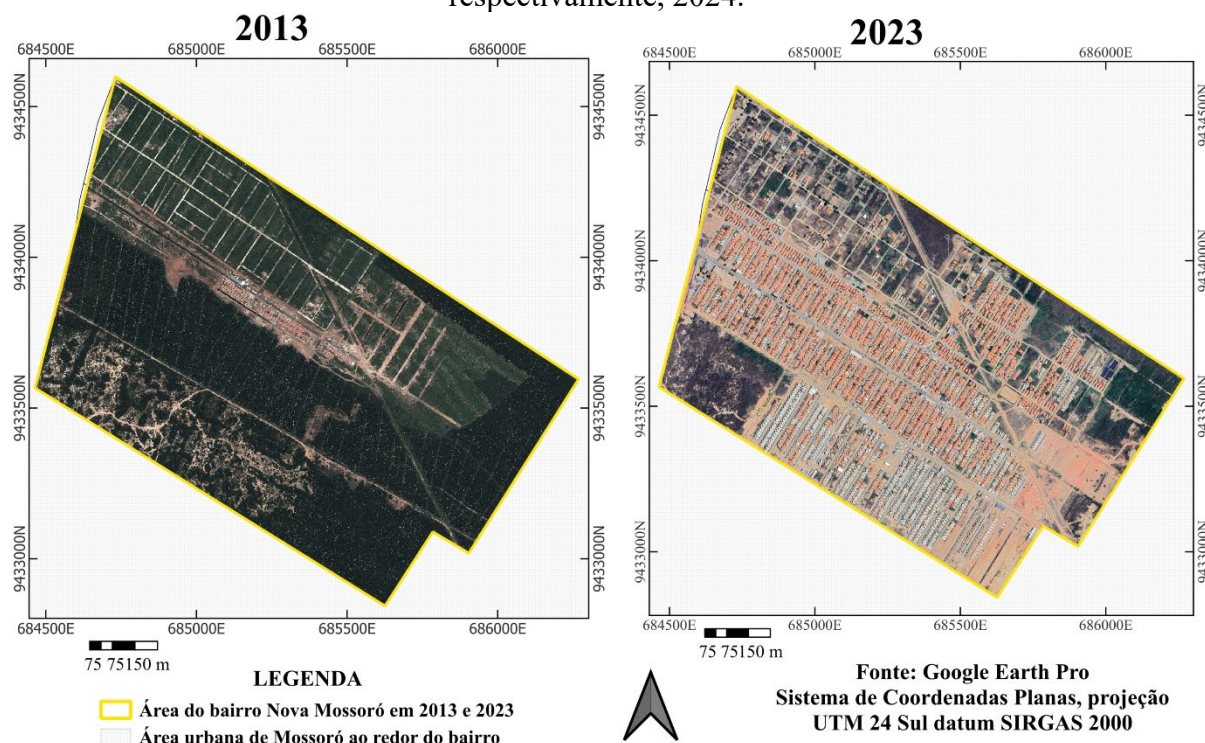
Fonte: Google Earth Pro, 2023. Elaboração: O Autor, 2023.

Figura 3 – Comparação visual dos bairros Alto das brisas nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.



Fonte: Google Earth Pro, 2023. Elaboração: O Autor, 2023.

Figura 4 – Comparação visual dos bairros Nova Mossoró nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.



Fonte: Google Earth Pro, 2023. Elaboração: O Autor, 2023.

Considerando os conceitos de Cavalheiro *et al.* (1999), Nucci (2001) e Angelis e Angelis Neto (2001) sobre cobertura vegetal, foi somada toda a área verde de cada um dos novos bairros em estudo, cujo resultado, agrupado por bairro e ano, está expresso na Tabela 01. Foi contabilizada a área total dos bairros, verificando-se que o maior bairro é Nova Mossoró, seguido de Alto das Brisas e Cidade Alta. Quanto à redução da cobertura vegetal, o bairro Alto das Brisas teve a menor perda, que foi na ordem de 7,11%, enquanto Nova Mossoró reduziu mais da metade de sua área vegetada, com um decréscimo de 59,45%. Já o bairro Cidade Alta teve a maior contração líquida de todas, com 92,51%. Esse fato, porém, é justificável, dado que esse conjunto não existia no ano de 2013 e a área era completamente vegetada. Assim, em 2023, apenas 3,66% do bairro possuía área vegetada, o que apresenta resultados preocupantes, pois, em locais sem vegetação ou com índices abaixo de 5%, a qualidade ambiental e de vida da população é significativamente inferior à desejável (Nucci, 2001).

Tabela 1 – Área total dos bairros e somatório das áreas de vegetação dos anos de 2013 e 2023, 2024

	Área total do bairro (m ²)	Área de vegetação			
		2013 (m ²)	2013 (%)	2023 (m ²)	2023 (%)
Cidade Alta	299.746,64	288.251,96	96,17	10.956,1	3,66
Alto das Brisas	463.817,68	307.821	66,37	274.870	59,26
Nova Mossoró	1.626.028,80	1.529.117,04	94,04	578.782	35,59

Fonte: IBGE, 2020; Google Earth Pro, 2023. Elaboração: O Autor, 2023.

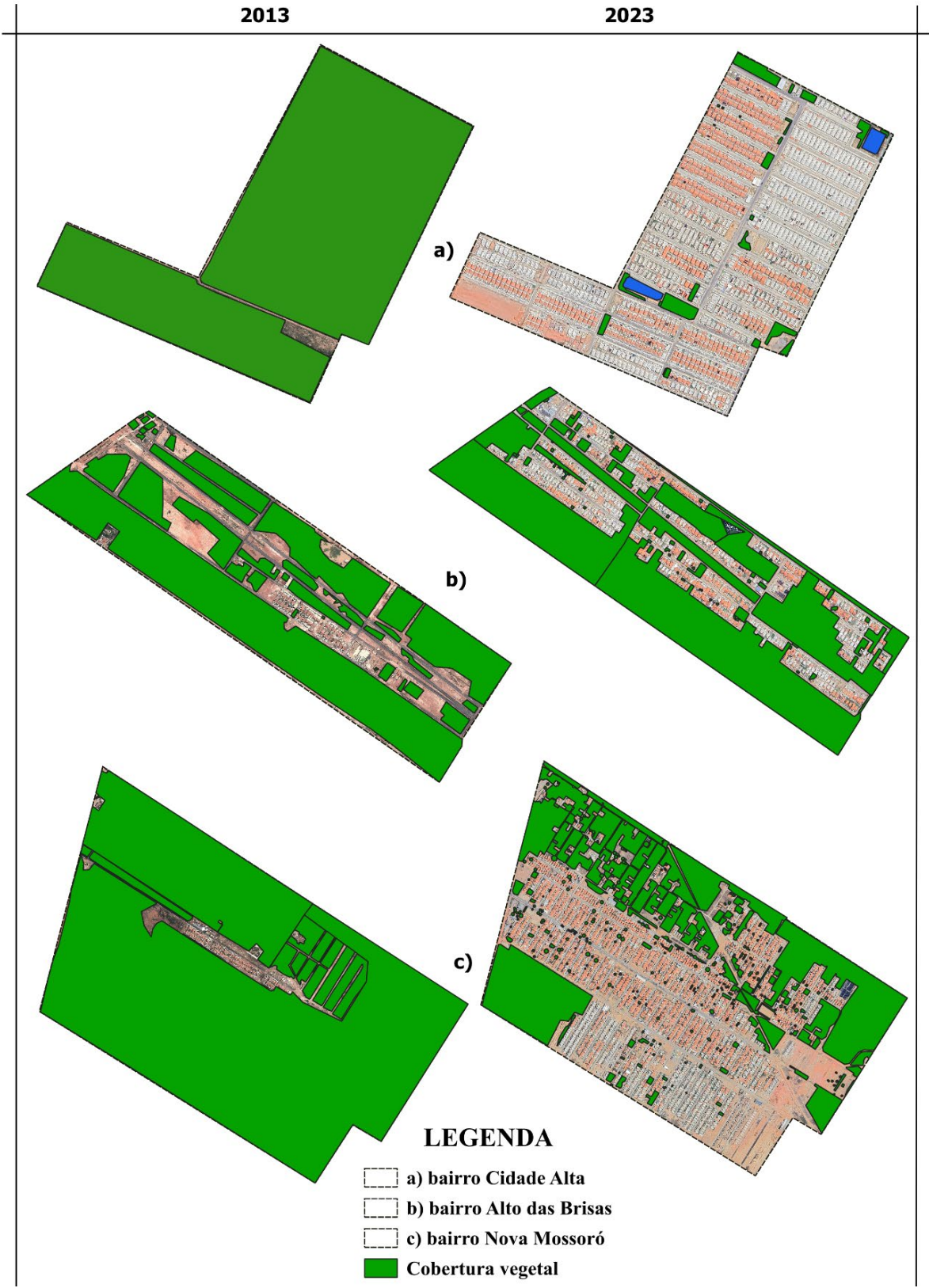
Esses resultados também corroboram os encontrados por Silva Costa, Farias e Botrel (2019), que realizaram um levantamento no bairro planejado Monte Olimpo, que começou a ser desenvolvido em 2012, o qual é um empreendimento também pertencente ao programa MCMV, do Governo Federal. Assim como o Cidade Alta, o bairro Monte Olimpo está localizado nas imediações do bairro Alto do Sumaré (Mossoró/RN), e apresenta uma cobertura vegetal extremamente baixa.

Logo, é possível notar um padrão para os bairros construídos por programas como Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV*²). Por serem um programa de casas pré-fabricadas, essas moradias não possuem área verde disponível e nenhum planejamento de arborização das vias que esteja em concordância com a fiação elétrica e calçadas de circulação dos pedestres. Sem nenhuma manutenção das mudas em estágio juvenil que são implantadas inicialmente, estas acabam morrendo, ficando a encargo dos moradores a implantação e manutenção de novos indivíduos. O que gera um cenário como o do bairro Cidade Alta, onde não se encontra quase nenhum indivíduo arbóreo ou arbustivo nas vias. Está definido no Plano Diretor de Mossoró, Lei Complementar nº. 012/2006, estabelece que “no parcelamento do solo serão destinadas áreas ao arruamento e à implantação de equipamentos públicos urbanos e comunitários e áreas verdes, obedecendo ao traçado e ao regime urbanístico estabelecido nesta lei” (Mossoró, 2006, p. 29). Porém não existe uma maior regulamentação, e até o presente momento, nenhum manual oficial do município que estabeleça técnicas e recomendações relacionadas à arborização e à criação de áreas verdes urbanas. O que afeta todos os bairros estudados, independentemente de serem bairros de classe média com um bom nível socioeconômico. Na Figura 5 é possível visualizar da

² O Programa Minha Casa, Minha Vida é um programa do Governo Federal que oferece financiamentos com juros baixos e subsídios para facilitar a aquisição de moradias em áreas urbanas e rurais. O programa atende principalmente quem ganha até um determinado limite salarial por mês. O objetivo é reduzir o déficit habitacional no Brasil e melhorar a qualidade de vida da população.

situação da cobertura verde/vegetal nos bairros, onde a coloração verde refere-se a cobertura vegetal observada para cada ano estudado.

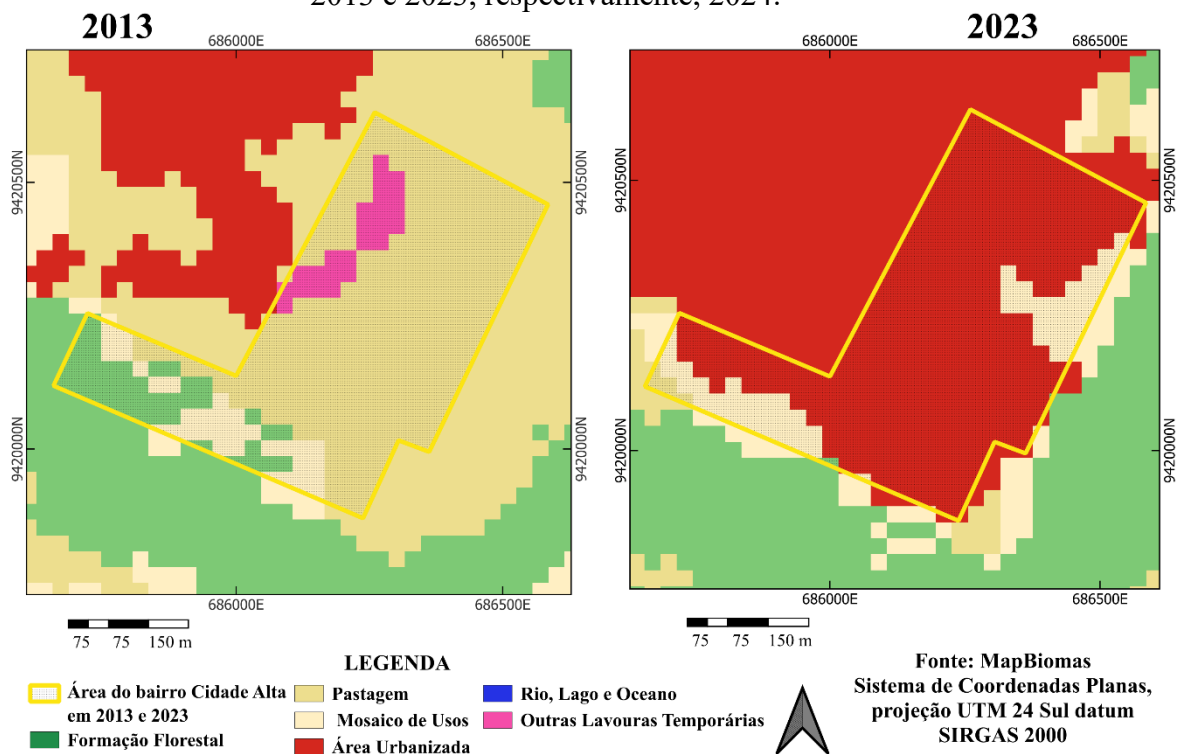
Figura 5 – Cobertura vegetal dos bairros a) Cidade alta, b) Alto das brisas e c) Nova Mossoró, nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.



Fonte: IBGE, 2020; Google Earth Pro, 2023. Elaboração: O Autor, 2023.

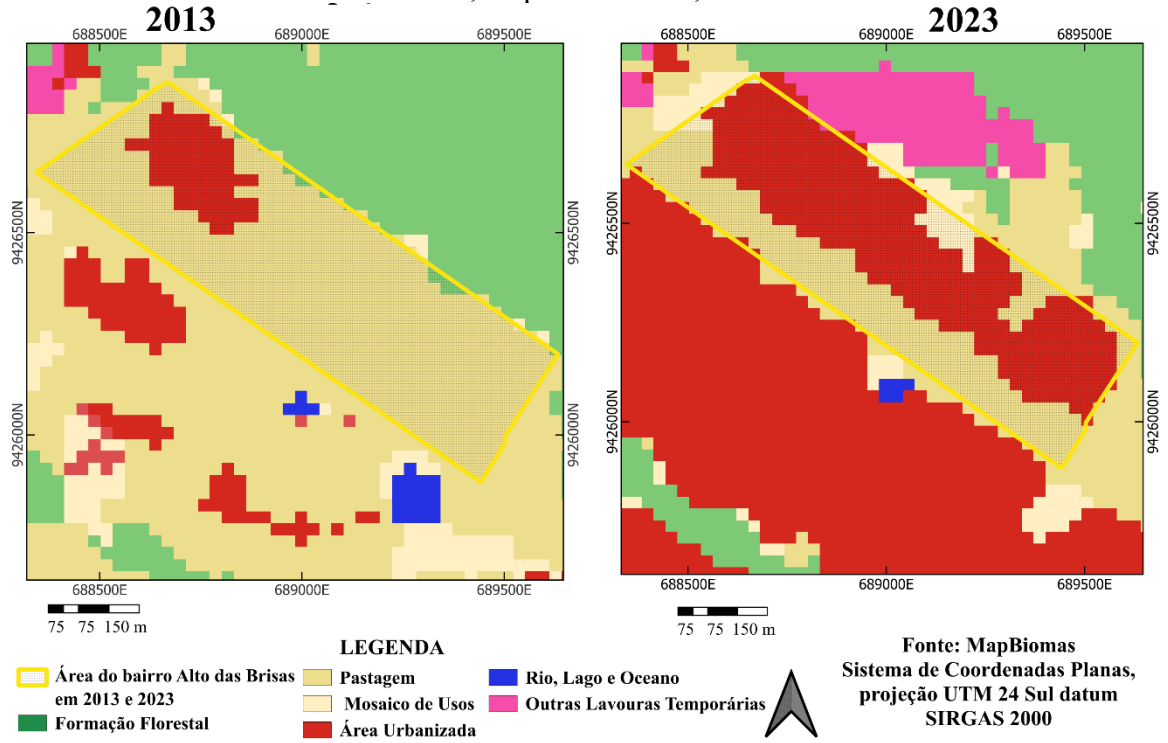
Nas Figuras 6, 7 e 8, as imagens de uso e ocupação do solo permitem observar o processo de urbanização ao longo de um intervalo de 10 anos para cada bairro. Nota-se, de forma evidente, a dinâmica da expansão urbana, tanto nas áreas delimitadas dos bairros quanto em suas imediações, bem como os impactos causados sobre os remanescentes de vegetação nativa. Stanganini, Rosendo e Lollo (2019) afirmam que a análise do uso e ocupação do solo através do geoprocessamento permite identificar o rápido crescimento da área urbana, juntamente com as mudanças ocorridas ao longo dos períodos estudados. Em seu trabalho que estuda o caso da sub-bacia do córrego do Chibarro em São Carlos/SP, os autores verificaram que um aspecto significativo identificado foi a redução das áreas de vegetação natural. Essas perdas contribuíram no aumento dos impactos ambientais, como assoreamento, erosão, degradação ambiental e supressão da vegetação.

Figura 6 – Mapa temático de uso e ocupação da terra para o bairro Cidade Alta nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.



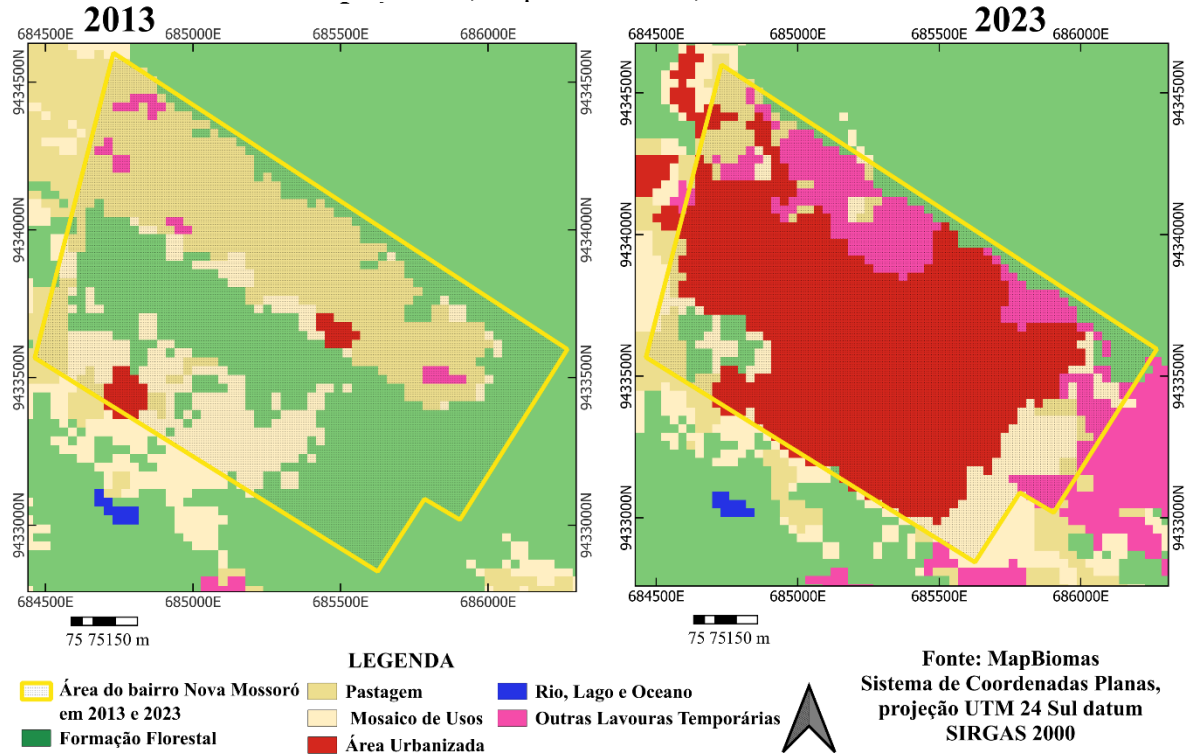
Fonte: Projeto MapBiomias, 2024. Elaboração: O Autor, 2024.

Figura 7 – Mapa temático de uso e ocupação da terra para o bairro Alto das Brisas nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.



Fonte: Projeto MapBiomias, 2024. Elaboração: O Autor, 2024.

Figura 8 – Mapa temático de uso e ocupação da terra para o bairro Nova Mossoró nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.



Fonte: Projeto MapBiomias, 2024. Elaboração: O Autor, 2024.

A Tabela 2 apresenta a evolução das classes analisadas pelo projeto MapBiomias, evidenciando uma redução significativa das áreas permeáveis (pastagem), com uma diminuição de quase 100% no bairro Cidade Alta, 56% no Alto das Brisas e 80% em Nova Mossoró. Em contrapartida, verificou-se um aumento expressivo da área urbana, passando para 251.981,38 m² no Cidade Alta, 214.584,85 m² no Alto das Brisas e 943.818 m² em Nova Mossoró, corroborando os resultados obtidos nesta pesquisa.

Tabela 2 – Quantificação de uso e ocupação do solo para os bairros nos anos de 2013 e 2023, 2024.

Classes	Cidade Alta			Alto das Brisas			Nova Mossoró		
	2013 (m ²)	2023 (m ²)	Mudança (%)	2013 (m ²)	2023 (m ²)	Mudança (%)	2013 (m ²)	2023 (m ²)	Mudança (%)
Formação Savânica	33.834,96	890,39	-97,37	6.232,75	-	-100	778.204	125.545	-83,87
Pastagem	214.584,96	1.780,79	-99,17	398.896,31	172.736,35	-56,70	547.592	107.738	-80,33
Mosaico de Usos	26.711,81	41.848,50	-56,67	-	17.807,87	100	243.077	170.956	-29,67
Área Urbanizada	-	251.981,38	-	56.094,79	270.679,64	382,54	30.273	974.091	3.117,69
Outras Áreas não vegetadas	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outras Lavouras Temp.	21.369,45	-	-	-	-	-	24.931,00	245.749	885,72
Total	296.501	296.501		461.224	461.224		1.624.078		1.624.078

Fonte: Projeto MapBiomias, 2023. Elaboração: O Autor, 2024.

Uma vez que para as cidades serem formadas a vegetação nativa é suprimida na terraplanagem e o solo é impermeabilizado, para poder dar espaço as residências, vias e empreendimentos, a qualidade ambiental é perdida e a paisagem urbana é formada com base nesse processo (Duarte *et al.*, 2017; Pereira, Nunes, Araújo, 2021). Costa, Maneschy e Lopes (2022) afirmam que os novos bairros influenciam no aumento da área urbana e diminuição da cobertura vegetal. Em seu trabalho também foi possível constatar a influência dos novos bairros na diminuição da cobertura vegetal e mudança da paisagem urbana da capital Macapá ao passar dos anos. Silva e Farias Filho (2019) analisaram a zona norte costeira de São Luís (MA) onde constataram uma diminuição de 32,18 % do total da vegetação e uma expansão de

29 % da área urbana da cidade. Da mesma forma, Lima *et al.* (2021) caracterizaram a expansão urbana da cidade de São Miguel/RN, não apenas por imagens de satélite, mas também através de arquivos públicos de registros de loteamentos e arrecadação de contribuintes, para um período de 17 anos.

As áreas ocupadas pelo processo de urbanização tornam-se mais frágeis e vulneráveis, e enfrentam maior risco ambiental devido à ausência de áreas verdes e à grande proporção de áreas impermeabilizadas. Em contrapartida, áreas com maior cobertura vegetal oferecem proteção à superfície e, conseqüentemente, reduzem fatores associados a processos de degradação ambiental, como erosão, assoreamento dos corpos d'água e enchentes (Stanganini; Melanda; De Lollo, 2019). A presença de vegetação urbana também ameniza o microclima local, ajuda na purificação do ar ao absorver partículas tóxicas e poeira, na absorção de ruídos e com a reflexão da energia solar. Isso contribui para criar um ambiente propício para a habitação (Alves, 2019).

Nas Figuras 9, 10 e 11, são apresentados os mapas referentes à TST para cada bairro e ano estudado. É possível verificar o aumento das temperaturas em no mínimo um grau para os bairros, com um aumento tanto nas temperaturas mínimas como máximas. Esse aumento é resultado da remoção da vegetação nativa e da impermeabilização do solo, evidenciando os impactos negativos que a expansão urbana acarreta para a população local.

Figura 9 – Espacialização da temperatura superficial terrestre para o bairro Cidade Alta nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.

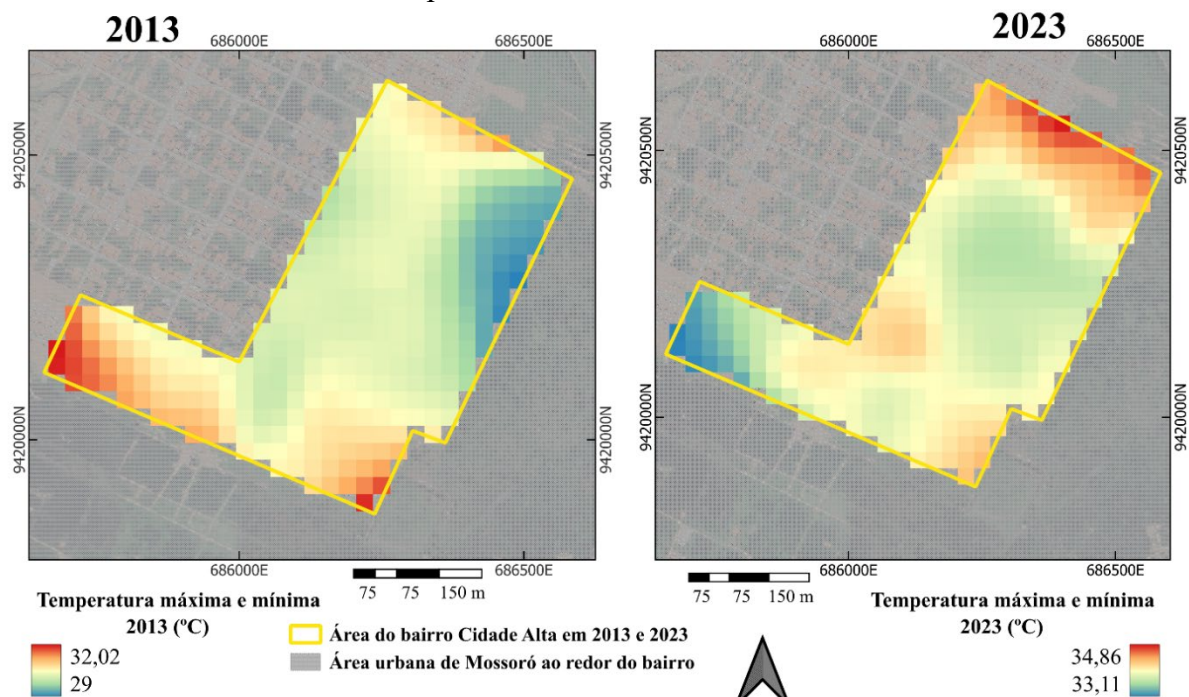
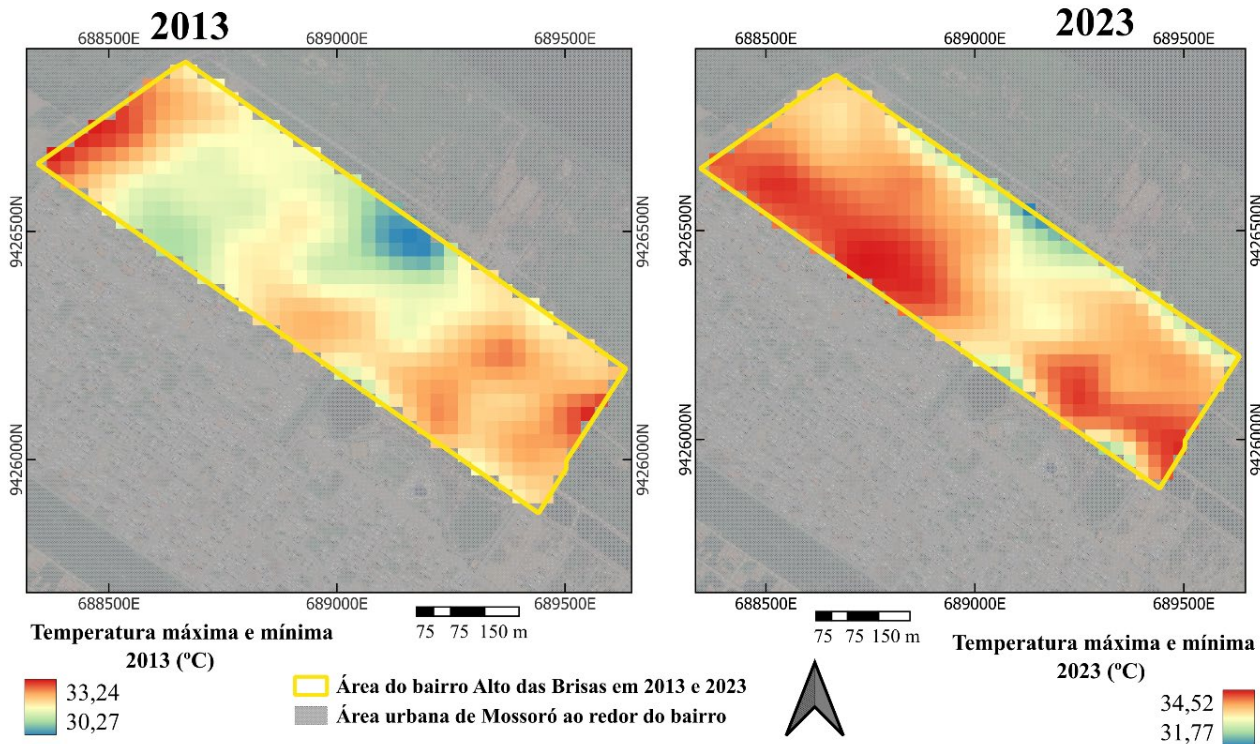
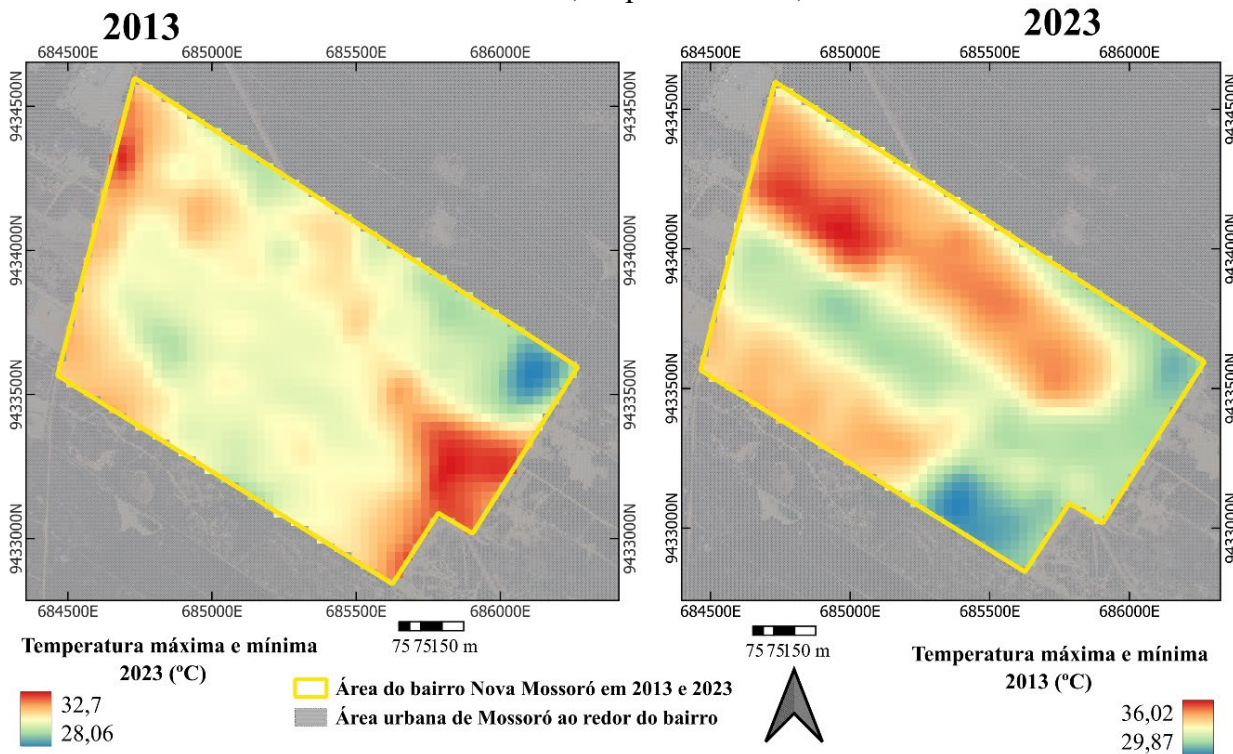


Figura 10 – Espacialização da temperatura superficial terrestre para o bairro Alto das Brisas nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.



Fonte: Landsat 8, 2023. Elaboração: O Autor, 2024.

Figura 11 – Espacialização da temperatura superficial terrestre para o bairro Nova Mossoró nos anos de 2013 e 2023, respectivamente, 2024.



Fonte: Landsat 8, 2023. Elaboração: O Autor, 2024.

É importante destacar que a cidade de Mossoró está localizada em uma região semiárida, de clima quente e de elevada incidência solar. Com as altas temperaturas na região, a presença de vegetação no ambiente urbano é fundamental, já que ela ajuda a reduzir a temperatura local, aumentar a umidade e proporcionar uma série de outros benefícios, como facilitar a mobilidade urbana e convivência social da comunidade (Goulart; Günther, 2018).

Outros estudos também comprovam o impacto que a ausência de cobertura vegetal causa na temperatura das cidades. Costa, Costa e Silva (2022) demonstram em seu trabalho, que a expansão urbana afetou diretamente o microclima da região do município do Paço do Lumiar (MA), registrando temperaturas de até 37°C no período analisado, além do fenômeno das ilhas de calor. De mesmo modo, foram registradas as menores temperaturas nas áreas de água e vegetação densa, evidenciando que áreas com maior disponibilidade de água e presença de vegetação podem ajudar a reduzir os efeitos das anomalias térmicas, como as ilhas de calor.

Aires e Bezerra (2021) realizaram uma análise da TST para a cidade de Pau dos Ferros (RN), onde registraram uma temperatura máxima de 47°C em áreas de solo exposto e de 28°C em regiões com maior índice de vegetação. Além disso, constataram que os bairros mais afastados do centro da cidade apresentam maior TST, devido ao menor vigor vegetativo. Romero *et al.* (2020), em sua pesquisa, confirmaram que a temperatura de superfície é mais alta onde há pavimentação asfáltica, telhado de amianto e telhado de metal, e ainda reforça dizendo que áreas com pouca vegetação arbórea têm um impacto direto no aumento da temperatura local da superfície, portanto, é de grande importância considerar a recomposição paisagística dessas áreas, aumentando a vegetação.

A ausência da cobertura vegetal urbana causa um impacto direto na vida diária das pessoas, afetando tanto o estado de espírito quanto a saúde, podendo levar a problemas cardiovasculares, respiratórios e mentais. Os espaços verdes devem ser avaliados, compreendidos e planejados de acordo com suas funções, podendo ser integrados em praças, corredores viários, bosques, parques, canteiros e calçadas. Isso cria um ambiente propício para uma boa qualidade de vida, que é essencial para o equilíbrio do ecossistema urbano (Borges; Marim; Rodrigues, 2010; Moura *et al.*, 2020).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da expansão urbana em Mossoró, com foco nos bairros Nova Mossoró, Alto das Brisas e Cidade Alta, evidenciou os impactos significativos do crescimento horizontal na paisagem urbana e na redução da cobertura vegetal. Através das imagens de satélites estudadas, é notável que houve um aumento significativo nos loteamentos e na variedade de residências populacionais, principalmente, para o bairro Cidade Alta, sendo sua área urbana até dez vezes maior que a registrada no ano de 2013.

Observou-se que os bairros planejados apresentam padrões construtivos que priorizam a maximização do espaço urbano em detrimento da preservação de áreas verdes, contribuindo para o aumento das superfícies impermeabilizadas e a degradação ambiental. Esse processo compromete a qualidade ambiental, intensificando os efeitos de ilhas de calor e aumentando as temperaturas médias locais, conforme demonstrado pelas análises de TST. As áreas verdes fundamentais para o equilíbrio do microclima e a promoção de uma qualidade de vida satisfatória, foram negligenciadas, reforçando a necessidade de regulamentações mais rigorosas e de um planejamento urbano sustentável.

Estudos complementares, como os de Stanganini, Melanda e Lollo (2019) e Romero *et al.* (2020), corroboram os resultados desta pesquisa, ressaltando que a ausência de vegetação e o aumento das superfícies impermeáveis impactam negativamente o microclima e a saúde ambiental das cidades. A ausência de arborização planejada e a responsabilidade transferida aos moradores para a manutenção da arborização, agravam a situação. Além disso, a falta de um manual técnico municipal para arborização e urbanização sustentável, compromete o desenvolvimento de bairros que possam conciliar expansão urbana e conservação ambiental.

É crucial que políticas públicas priorizem a criação e a manutenção de áreas verdes urbanas, considerando as particularidades do semiárido e o importante papel da vegetação no controle térmico e na melhoria da qualidade de vida. Propõem-se estudos futuros mais detalhados sobre a relação entre a perda de cobertura vegetal e seus impactos na qualidade de vida da população local. Portanto, os resultados desse estudo podem servir de base para iniciativas futuras de restauração da vegetação, além de orientar estratégias de planejamento urbano para futuros empreendimento imobiliários, com o objetivo de promover um ambiente urbano mais saudável que incorpore estratégias sustentáveis, aumentando áreas verdes e arborização planejada nos novos bairros de Mossoró/RN. Essas medidas são essenciais para mitigar os impactos negativos do crescimento urbano e promover um ambiente mais saudável e equilibrado para a população.

5 REFERÊNCIAS

- Alves, A. C.; Freitas, I. S. de.; Santos, M. Q. dos. **Análise multitemporal da expansão urbana da cidade de Manaus, Amazonas, utilizando imagens de satélite.** Geosaberes [Online] 11, 305-317, 2020. Disponível: [Http://Repositorio.Ufc.Br/Handle/Riufc/53631](http://Repositorio.Ufc.Br/Handle/Riufc/53631)
- Alves, A. D. L. Intensidade e modelagem das ilhas de calor urbanas de superfície em cidades de pequeno porte: análise da região do oeste goiano, **Boletim Geográfico de Maringá**, 37(1), 50-63. Doi: [Http://Dx.Doi.Org/10.4025/Bolgeogr.V37i1.37346](http://Dx.Doi.Org/10.4025/Bolgeogr.V37i1.37346), 2019.
- Angelis, B. L. D.; De Angelis Neto, G. **Os topônimos das praças de Maringá, estado do Paraná.** Acta Scientiarum. Technology, V. 23, P. 1561-1567, 2001.
- Borges. F. R. A. C.; Marim. G. C.; Rodrigues. J. E. C. **Análise da cobertura vegetal como indicador de qualidade ambiental em áreas urbanas: um estudo de caso no bairro da Pedreira – Belém-Pa.** Vi Seminário Latino Americano de Geografia Física. II Seminário Ibero Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra. <https://Www.Uc.Pt/Fluc/Cegot/Vislagf/Actas/Tema3/Cezar.2010>.
- Brasil. Lei Nº 13.568, De 21 De Dezembro De 2017. **Confere o título de Capital do semiárido à cidade de Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte.** Diário Oficial Da União, Brasília, DF, Seção 1, 22 de dezembro 2017.
- Mossoró. **Lei Complementar Nº 012/2006 Cap V. Seção Iii, Art. 81,** De 11 de Dezembro de 2006. Dispõe sobre o plano diretor do município de Mossoró e dá outras providências. Prefeitura Municipal De Mossoró, Gabinete Da Prefeita. Mossoró, 2006.
- Cavalheiro, F.; Nucci, J. C.; Guzzo, P.; Rocha, Y. T. **Proposição de terminologia para o verde urbano.** Boletim Informativo Da SBAU, V. 7, N. 3, P. 7, 1999.
- Costa, J. M.; Costa, J. M.; Silva, A. L. G. **Ilhas de calor e a importância da arborização urbana para o município de Paço De Lumiar, MA, Brasil.** Research, Society And Development, V. 11, N. 14, P. E175111436198-E175111436198, 2022.
- Costa, L. C. S.; Maneschy, R. Q.; Lopes, L. O. D. C. **O processo de expansão urbana e seu impacto na cobertura vegetal de Macapá.** Revista Brasileira De Geografia Física, 2022.
- Lima, D. De F.; Souza Junior, A. M. De; Lima Junior, F. Do O.De; Queiroz, J. H. De M. **Expansão urbana de São Miguel/RN: Análise no recorte temporal de 2000 a 2017.** Caminhos De Geografia, Uberlândia-Mg, V. 22, N. 80 P. 182–200, 2021. <https://Doi.Org/10.14393/Rcg228054814>
- Duarte, T. E. P.; Angeoletto, F. H. S.; Santos, J. W. M. C.; Silva Leandro, D.; Bohrer, J. F. C.; Vacchiano, M. C.; Leite, L. B. **O papel da cobertura vegetal nos ambientes urbanos e sua influência na qualidade de vida nas cidades.** Desenvolvimento Em Questão, V. 15, N. 40, P. 175-203, 2017.
- Google. **Google Earth Website.** Disponível Em: [Http://Earth.Google.Com/](http://Earth.Google.Com/), 2009. Acesso Em: 25 Out. 2023.

Goulart, F.; Günther, H. **O papel da arborização urbana na vivência do pedestre: um estudo sob a perspectiva pessoa-ambiente**. In: Pluris 2018-8th Luso-Brazilian Congress For Urban, Regional, Integrated And Sustainable Planning. 2018. P. 869-882.

Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística – Ibge. **Censo Brasileiro De 2010**. Rio De Janeiro: IBGE, 2012.

Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística – Ibge. **Base De Faces De Logradouros Do Brasil**. Rio De Janeiro, 2020. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?edicao=30138&t=sobre>

Moura, J. S.; Pereira, A.C. De M.; Dos Santos, J. S.; Santana, S. H. M.; Silva, M. A. M.; Ferreira, W. N. **Inventário florístico e percepção da população sobre a arborização urbana na cidade de Brejo Santo, Ceará**. Revista Brasileira De Desenvolvimento, 6 (10), 75773–75792. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-124>. 2020.

Nucci, J. C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano**. Environmental quality and urban growth. São Paulo: Editora Fapesp. 2001.

Pereira, P. B.; Nunes, H. K. De B.; Araújo, F. A. Da S. **Análise multitemporal de uso, ocupação e cobertura da terra na zona leste da cidade de Caxias/Maranhão/Brasil**. Revista Brasileira De Geografia Física, V. 14, N. 3, P. 1415-1428, 2021.

Pereira Júnior, L. R. P.; Andrade, A. P.; Araújo, K. D. **Composição florística e fitossociologia de um fragmento de caatinga em Monteiro, Paraíba**. Holos, V. 6, P. 73-87, 2012.

Projeto Mapbiomas – **Coleção 9. Série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil**, Disponível Em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/#> Acesso Em: 12 Out. 2024.

Qgis Development Team. **Qgis Geographic Information System**. Versão 3.28.10 ‘Firenze’. 2022. Disponível Em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso Em: 15 Mai. 2022.

Rezende, M.; Rosendo, J.D. S. **Análise da evolução da ocupação do uso da terra no município de Ituiutaba-MG utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto**. Rev. Horizonte Científico, V. 3, N. 1, 2009.

Ribeiro, N. G. R. **Análise multitemporal da cobertura vegetal no plano diretor urbano de Palmas-TO**. Dissertação (Mestrado). Porto Nacional, Uft. 2019. Disponível: <https://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/2077>. Acesso Em: 20 Dez. 2023.

Romero, C. W. D. S.; Silva, H. R.; Marques, A. P.; Macedo, F. L. D.; Faria, G. A.; Alves, M. C. **Relação entre as ilhas de calor e uso e ocupação do solo em centros urbanos de pequeno porte utilizando o sensoriamento remoto**. Geosciences= Geociências, V. 39, N. 1, P. 253-268, 2020.

Salles, M. C. T.; Grigio, A. M.; Silva, M. R. F. **Expansão urbana e conflito ambiental: uma descrição da problemática do município de Mossoró, RN-Brasil.** Sociedade & Natureza, V. 25, P. 281-290, 2013.

Silva, J. S.; Farias Filho, M. S. **Expansão urbana e impactos ambientais na zona costeira norte do município de São Luís (MA).** Ra'e Ga, V. 46, N. 1, 2019. <https://doi.org/10.5380/Raega.V46i1.52552>

Silva Costa, J. R.; De Farias, D. T.; Botrel, R. T. **Levantamento da população arbórea em bairro recém-planejado de Mossoró-RN.** Agropecuária Científica No Semiárido, 2019.

Silva, S. C. T. N.; Dos Santos, J. S. Capítulo 7, **A formação de ilhas de calor no espaço geográfico intraurbano da cidade de Mossoró/RN.** Mossoró, Rn: Edições Uern, 2023.

Silva Beserra, F. R.; Pereira Júnior, E. A. **Diferenciação espacial na escala intraurbana: Análise dos impactos da indústria da construção civil na cidade de Mossoró.** Geografares, N. 30, 2020.

Silva, L. S.; Costa, I. S.; Castro, A. A. B. C. **Geotecnologias como auxílio no planejamento urbano - o uso do Google Earth como ferramenta de visualização espacial para o planejamento urbano.** Encontro Nacional Da Associação Nacional De Pós-Graduação E Pesquisa Em Planejamento Urbano E Regional- Enanpur, 18 – Natal. Anais... 2019. Disponível: <http://Anpur.Org.Br/Xviiienanpur/Anais-Sts/#>. Acesso Em: 01 Nov. 2024.

Stanganini, F. N.; Melanda, E. A.; De Lollo, J. A. **O uso de imagens multitemporais na reconstrução do processo de crescimento urbano. Estudo de caso: sub-bacia do córrego do Chibarro em São Carlos-SP.** Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto., 2019. Santos. Anais Eletrônicos..., Inpe, 2019. Acesso Em: 01 Nov. 2024.

Tostes, J. A. **Além da linha do horizonte.** Sal Da Terra Editora. João Pessoa. 2012.

United Nations Human Settlements Programme. **World Cities Report 2022: Envisaging The Future Of Cities.** United Nations Research Institute For Social Development, 2022.

USGS. **United States Geological Survey.** Landsat 8. Sensor Oli. Canal 10. Órbita 216 Ponto 63. De 06 De Junho De 2018. 2018. Disponível Em <http://Earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso Em: 03 Jan. 2024.

Vale, W. K. S.; Diodato, M. A.; Grigio, A. M.; Saraiva, A. L. B. C.; Souza Neto, L. T. **Mapeamento da temperatura superficial terrestre (TST), com base em imagem de satélite: caso da área urbana de Mossoró/RN.** In: Antonio Conceição Paranhos Filho; Camila Leonardo Mioto; Dhonatan Diego Pessi, Roberto Macedo Gamarra; Normandes Matos Da Silva; Vinícius De Oliveira Ribeiro; Jéssica Rabito Chaves. (Org.). Geotecnologias Para Aplicações Ambientais. 1ed.Maringá: Uniedusul, 2021, V., P. 277-287.

CAPÍTULO 2
A INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NA TEMPERATURA SUPERFICIAL
TERRESTRE: ESTUDO DE CASO DE MOSSORÓ/RN UTILIZANDO
SENSORIAMENTO REMOTO

CAPÍTULO 2: A INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NA TEMPERATURA SUPERFICIAL TERRESTRE: ESTUDO DE CASO DE MOSSORÓ/RN UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO

RESUMO

A urbanização desordenada no Brasil, caracterizada pela expansão sem planejamento e pelo déficit de áreas verdes, contribui para o aumento das temperaturas urbanas, influenciando o fenômeno das ilhas de calor e reduzindo a qualidade de vida. O estudo aborda a Temperatura Superficial Terrestre (TST) no núcleo urbano de Mossoró/RN ao longo de duas décadas, destacando a relação entre urbanização e mudanças climáticas. O trabalho analisou imagens de satélite do Landsat 5 e 8, obtidas para os anos de 2003, 2013 e 2023, a fim de identificar padrões temporais e espaciais da TST e sua correlação com a cobertura vegetal. A área de estudo compreendeu o núcleo urbano de Mossoró/RN, caracterizado por clima semiárido e pela predominância da vegetação de Caatinga. A metodologia incluiu a aquisição de imagens multiespectrais do site USGS, o processamento no software QGIS e os cálculos de TST com base no método pré-determinado. Dados de temperatura do ar, obtidos pela estação meteorológica da Universidade Federal Rural do Semi-árido, foram utilizados para validação dos resultados. Os resultados revelaram uma variação da TST, com valores médios de 31,14 °C em 2003, 32,97 °C em 2013 e 30,75 °C em 2023. As temperaturas mais altas foram registradas em áreas com maior densidade urbana e menor cobertura vegetal, enquanto temperaturas mais amenas ocorreram em regiões próximas ao Rio Apodi/Mossoró, devido à presença de mata ciliar. Observou-se também que, embora a arborização urbana tenha contribuído para mitigar as temperaturas no centro da cidade, a expansão urbana e a redução da vegetação nativa nas periferias elevaram a TST ao longo do tempo. O estudo conclui que o aumento da urbanização e a falta de planejamento impactam diretamente o conforto térmico urbano, reforçando a necessidade de políticas públicas para o manejo sustentável da vegetação urbana. Os resultados oferecem subsídios para ações voltadas ao planejamento urbano e à mitigação dos impactos climáticos.

Palavras-chave: Conforto térmico. Mudanças climáticas. Planejamento urbano. Cobertura vegetal. Urbanização.

THE INFLUENCE OF URBANIZATION ON LAND SURFACE TEMPERATURE: A CASE STUDY OF MOSSORÓ/RN USING REMOTE SENSING

ABSTRACT

Unplanned urbanization in Brazil, characterized by uncontrolled expansion and a deficit of green areas, contributes to rising urban temperatures, influencing the urban heat island phenomenon and reducing quality of life. This study examines Land Surface Temperature (LST) in the urban core of Mossoró/RN over two decades, highlighting the relationship between urbanization and climate change. The research analyzed satellite images from Landsat 5 and 8, obtained for the years 2003, 2013, and 2023, to identify temporal and spatial patterns of LST and its correlation with vegetation cover. The study area encompasses the urban core of Mossoró/RN, characterized by a semiarid climate and the predominance of Caatinga vegetation. The methodology included acquiring multispectral images from the USGS website, processing them in QGIS software, and calculating LST using a predetermined method. Air temperature data from the meteorological station of the Federal Rural University of the Semi-Arid Region (UFERSA) were used to validate the results. The findings revealed LST variations, with average values of 31.14°C in 2003, 32.97°C in 2013, and 30.75°C in 2023. Higher temperatures were recorded in areas with greater urban density and lower vegetation cover, whereas milder temperatures occurred in regions near the Apodi/Mossoró River due to the presence of riparian forest. The study also observed that while urban tree cover helped mitigate temperatures in the city center, urban expansion and the reduction of native vegetation in peripheral areas led to an overall increase in LST over time. The study concludes that increasing urbanization and lack of planning directly impact urban thermal comfort, reinforcing the need for public policies for the sustainable management of urban vegetation. The results provide insights for urban planning initiatives and climate impact mitigation strategies.

Keywords: Thermal comfort. Climate change. Urban planning. Vegetation cover. Urbanization.

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Relatório Mundial das Cidades 2022, publicado pela ONU-Habitat, a população mundial será composta por 68% de habitantes urbanos até 2050, com um aumento de 2,2 bilhões de pessoas até 2050 (ONU-HABITAT, 2022). Mesmo com a desaceleração no ritmo da urbanização durante a pandemia, com o atual crescimento, a estimativa é que a população urbana passe de 56% do total global em 2021 para 68% em 2050. As concentrações urbanas, com população acima de 100 mil habitantes, destacam-se pelos processos de conurbação, centralidades e dinâmicas econômicas ligadas a grandes circuitos, sendo um recorte relevante na temática urbana. Esses centros estão em constante densificação, com aumento de edificações em áreas menores (Godoi; De Deus, 2009).

As áreas urbanas no Brasil tiveram um crescimento desenfreado e com pouquíssimo planejamento, causando um cenário de degradação social e ambiental que afeta negativamente a qualidade de vida da população. Essa falta de planejamento impacta diversos fatores importantes para o convívio humano nos centros urbanos, sendo um deles o déficit de áreas verdes, não apenas em um aspecto contemplativo, mas também em seus serviços ecossistêmicos essenciais à saúde e à qualidade de vida urbana. Esse processo de urbanização afeta o meio ambiente e influencia o efeito do aquecimento global e das mudanças climáticas (Mathew *et al.*, 2018; MMA, 2021; Mohammad *et al.*, 2022).

Com ambientes extremamente alterados pelas edificações e ocupações do solo, o espaço acaba sendo restringido, e as áreas que originalmente eram ocupadas pela vegetação arbórea acabam limitadas (Gonçalves *et al.*, 2018). Na última atualização do IBGE para o ano de 2019, sobre as áreas urbanas do Brasil, a cidade de Mossoró (RN) estava em 21º lugar na lista das concentrações urbanas mais densas do país, e com essa rápida expansão, as previsões apontam que todas as regiões do país irão enfrentar aumento nas temperaturas, nas ondas de calor, e a região Nordeste sofrerá com uma piora na escassez de chuvas (Castelhano, 2020).

Em 1972, Rao (1972) enfatizou a dificuldade de calcular os fenômenos das ilhas de calor urbano, visto que esse fenômeno era calculado com base na diferença de temperatura do ar entre estações meteorológicas urbanas e rurais, não sendo possível fazer esse levantamento em cidades pequenas ou menos desenvolvidas. Assim, em 1995, Gallo *et al.* (1995) introduziram o uso de imagens de satélite como uma ferramenta para o estudo das temperaturas. Desde então, o avanço no Sensoriamento Remoto (SR) e nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) ajudou a superar esse obstáculo, permitindo o cálculo da

temperatura nas áreas urbanas e a análise do próprio fenômeno das ilhas de calor em qualquer localidade.

A tecnologia de sensoriamento remoto oferece uma ferramenta que possibilita pesquisas que compreendem e monitoram os padrões e processos influenciados pela urbanização, como mudanças no uso e cobertura do solo, alteração na temperatura urbana e fenômenos de ilha de calor, entre outros, utilizando-se dados multiespectrais e multitemporais, bem como imagens de satélite de moderada a alta resolução espacial (Farid *et al.*, 2022). Pesquisadores de todo o mundo estão realizando estudos que relacionam o fenômeno da urbanização e seu efeito no conforto térmico urbano (Nascimento; De Oliveira, 2011; Callejas *et al.*, 2011; Dos Santos *et al.*, 2017; Mathew; Khandelwal e Kael, 2018; Vale *et al.*, 2020; Javid *et al.*, 2021; Farid *et al.*, 2022; Xu *et al.*, 2023; Kimothi *et al.*, 2023).

A Temperatura Superficial Terrestre (TST) é obtida por meio da detecção da radiação de ondas longas emitidas na faixa do infravermelho, captada por sensores orbitais, como o TIRS (Thermal Infrared Sensor), instalado a bordo dos satélites da série Landsat. Esse sensor é projetado para captar a radiação térmica emitida pela superfície terrestre na faixa do infravermelho termal. O TIRS opera em duas bandas do espectro eletromagnético no infravermelho termal, que se relacionam com parâmetros físicos atrelados ao fluxo de calor resultante do balanço de radiação de um corpo. Para calcular a temperatura superficial com base em imagens de satélite, é fundamental considerar a emissividade da superfície e corrigir os efeitos de atenuação causados pela atmosfera (Callejas *et al.*, 2011; Gusso *et al.*, 2007).

A emissividade varia de acordo com a composição do objeto, a forma de sua superfície e suas características físicas. Além disso, esse valor também pode mudar dependendo do comprimento de onda e do ângulo de observação do objeto. A estimativa da TST permite estabelecer relações entre diferentes tipos de uso e cobertura do solo, possibilitando estudos em escalas meso e micro em áreas como meio ambiente, planejamento urbano, arquitetura e urbanismo, entre outras (Callejas *et al.*, 2011).

É essencial estudar o impacto da rápida urbanização, avaliar como as cidades estão influenciando as mudanças climáticas e destacar a importância de cidades e comunidades sustentáveis, contribuindo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. Tendo em vista esse contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise temporal e espacial da TST da cidade e sua relação com a vegetação urbana no núcleo urbano de Mossoró, a partir de imagens multiespectrais do Landsat 5 e 8, de modo a fornecer subsídios para pesquisas subsequentes no campo do planejamento urbano e do conforto térmico.

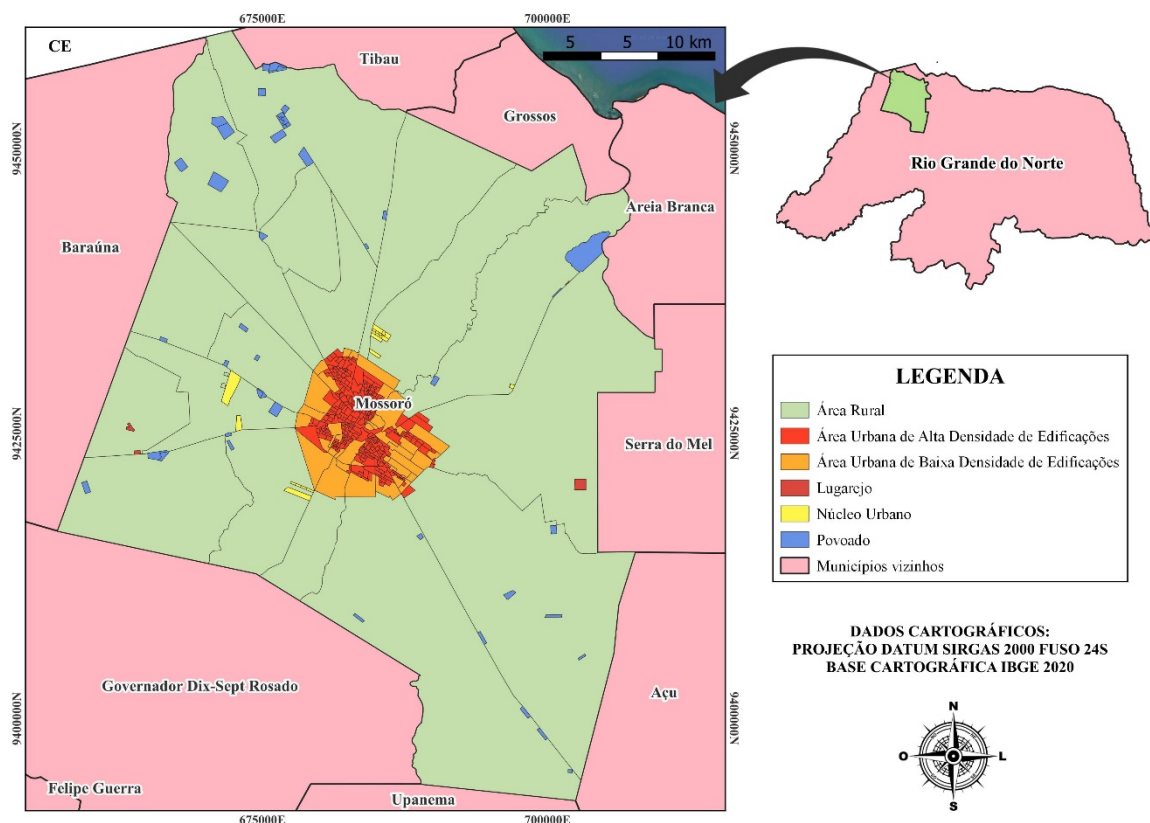
2 METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

O município de Mossoró está situado na região noroeste do Estado do Rio Grande do Norte, localizado a 5°11'15" de latitude sul e 37°20'3" de longitude oeste, com uma altitude de 16 metros e uma área total de 2.110,207 km², estando a 246 km de distância da capital. Segundo o IBGE (2022), Mossoró possui uma população de aproximadamente 264.577 habitantes, com uma densidade demográfica de 126,03 hab/km².

O Censo Rural, realizado pela Secretaria Municipal de Agricultura e Desenvolvimento Rural (SEADRU), divulgou que a população rural do município representa 10% do total em 2022, distribuída em mais de 100 comunidades rurais. Dessa forma, 90% da população reside na área urbana da cidade, que se divide em aproximadamente 30 bairros. A Figura 1 representa a localização do município de Mossoró e suas delimitações.

Figura 12 – Localização do município de Mossoró/RN, 2024.



Fonte: IBGE, 2020; O Autor, 2024.

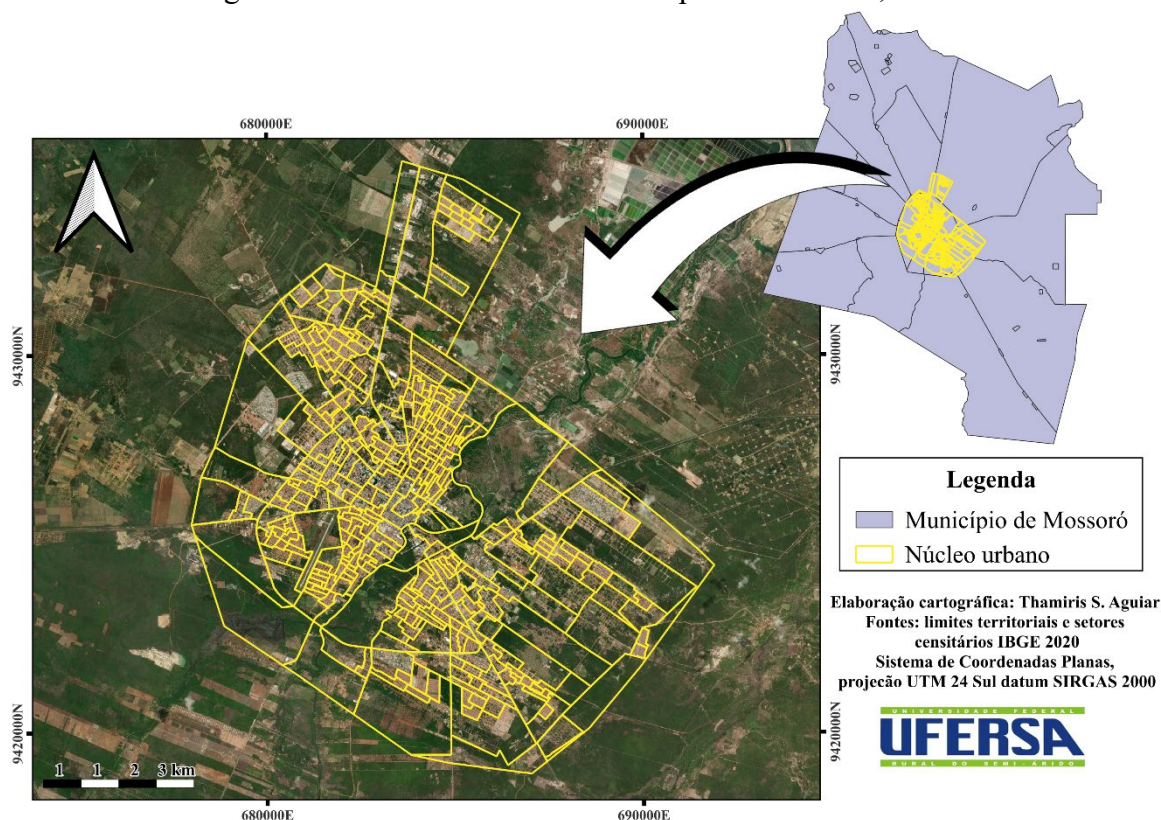
O clima predominante é o semiárido, classificado como BSw'h' segundo Köppen. Trata-se de um clima seco e muito quente, com uma estação chuvosa concentrada entre o

verão e o outono, caracterizado por um regime de 8 a 9 meses de chuvas irregulares. A temperatura média anual é de 27,4 °C, e a umidade relativa do ar é de 70% (IDEMA, 2000).

Devido às características climáticas da região, como chuvas esparsas e irregulares, alta insolação e elevados índices de evaporação e evapotranspiração, a vegetação predominante no estado é a Caatinga, que se apresenta em três tipos fitofisionômicos principais. A Caatinga hiperxerófitica caracteriza-se por uma vegetação mais seca e densa, com árvores de maior porte. A arbóreo-acentuada é composta por uma vegetação esparsa e de menor porte, adaptada a solos pedregosos e pouco férteis. Já a hipoxerófila apresenta vegetação de menor porte e menos densa, sendo também menos seca, ocupando cerca de 20% do território do estado (IDEMA, 1999).

No município de Mossoró-RN, foram identificadas três formas de vegetação: arbórea, arbustiva e herbácea. Em relação à florística do município, destacam-se os carnaubais, que compõem a vegetação das matas ciliares. A vegetação arbustiva predomina, apresentando-se pouco densa, e a flora da Caatinga encontra-se bastante escassa (Sousa, 2006). Considerando que o presente estudo tem como enfoque a qualidade de vida urbana, foi delimitado como área de estudo apenas o núcleo urbano do município de Mossoró (Figura 13), o qual concentra 90% da população, de acordo com dados da Prefeitura Municipal.

Figura 13 – Núcleo urbano do município de Mossoró, 2024.



Fonte: IBGE, 2020; O Autor, 2024.

2.2 Coleta e processamento de dados

As imagens utilizadas foram adquiridas gratuitamente no site da United States Geological Survey (USGS), provenientes dos satélites Landsat 5 e Landsat 8 (órbita 216, ponto 63). Esses satélites capturam sistematicamente imagens ópticas de alta resolução espacial (variando de 15 m a 100 m), abrangendo tanto áreas terrestres quanto águas costeiras, possibilitando o monitoramento em escalas detalhadas e com diferentes resoluções espectrais.

Foram utilizadas as bandas 2, 3, 4, 5 e 6, que correspondem às faixas espectrais do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, nos sensores do Landsat 5 e 8. Além disso, foi utilizada a banda 10, correspondente ao infravermelho termal (10,6 – 11,19 μm), captada pelo sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor) (USGS, 2018). As imagens referem-se às passagens dos satélites em 1º de setembro de 2003, 12 de setembro de 2013 e 15 de agosto de 2023, todas registradas aproximadamente ao meio-dia e apresentando menos de 10% de cobertura de nuvens.

O processamento das imagens e a elaboração dos mapas temáticos foram realizados no software QGIS 3.34.13 'Prizren', uma ferramenta gratuita e amplamente utilizada em geoprocessamento. Todos os arquivos georreferenciados foram padronizados no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 24 Sul (31984), Datum Sirgas 2000. Os dados vetoriais utilizados como referência foram adquiridos diretamente no site do IBGE, considerando os anos mais próximos às datas das imagens analisadas, sendo utilizados os de 2007, 2010 e 2020, referentes ao estado do Rio Grande do Norte, ao município de Mossoró e ao perímetro urbano da cidade.

A metodologia aplicada para o cálculo da TST seguiu a proposta de Dos Santos *et al.* (2017). Inicialmente, foi realizado o pré-processamento das imagens, incluindo reprojeção, redimensionamento e combinação de bandas. Todas as constantes necessárias para os cálculos e ajustes foram extraídas do arquivo de metadados disponibilizado pela USGS. O cálculo da TST no software QGIS foi conduzido em sete etapas, permitindo a obtenção dos resultados finais, sendo essas:

- ➔ Etapa 1 – Reflectância planetária corrigida da banda vermelha e infravermelho próximo:

$$\rho_{\lambda} = \frac{MpQ_{cal} + Ap}{\text{sen}(\theta_{se})} \quad (1)$$

Em que,

ρ_{λ} : reflectância exoatmosférica ou do topo da atmosfera (adm.);

Mp: Fator multiplicativo reescalado da reflectância para a banda específica;

Q_{cal} : Número Digital (DN) do pixel;

Ap: fator aditivo reescalado da reflectância para a banda específica.

- ➔ Etapa 2 – Radiância espectral no topo da atmosfera para a banda do infravermelho termal:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

Em que,

L_{λ} : Radiância espectral no topo da atmosfera $W/m^2 \text{ srad } \mu m$;

M_L : fator multiplicativo reescalado da radiância para a banda específica;

Q_{cal} : Número Digital (ND) do pixel;

A_L : fator aditivo reescalado da radiância para a banda específica.

- ➔ Etapa 3 – Temperatura de brilho no sensor ($^{\circ}C$) para a banda do Infravermelho termal:

$$Trad(^{\circ}C) = \left(\frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \right) - 273 \quad (3)$$

Em que,

$Trad(^{\circ}C)$: Temperatura de brilho no sensor ou temperatura radiante ($^{\circ}C$);

K_2 : Constante termal da banda específica;

K_1 : Constante termal da banda específica;

L_{λ} : Radiância espectral no topo da atmosfera ($W/m^2 \text{ srad } \mu m$).

- ➔ Etapa 4 – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI):

$$NDVI = \left(\frac{IV - VM}{IV + VM} \right) \quad (4)$$

Em que,

$NDVI$: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

IV : banda do infravermelho Próximo;

VM : banda do vermelho.

- ➔ Etapa 05 – Proporção De Vegetação (Pv):

$$Pv = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (5)$$

Em que,

Pv : É a proporção da vegetação;

$NDVI$: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

- ➔ Etapa 06 – Emissividade (E):

$$\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon_v \lambda Pv + \varepsilon_s \lambda (1 - Pv) + C_{\lambda} \quad (6)$$

Em que,

ε : emissividade;

C_{λ} : Geometria de superfície (dada pela rugosidade da superfície (no caso em superfície plana, $c=0$);

ε_s e ε_v : correspondem, respectivamente, a emissividade do solo (0,966) e da vegetação (0,973).

- ➔ Etapa 07 – Temperatura Da Superfície Terrestre (Tst)

$$Ts = \frac{BT}{\left\{ 1 + \left[\frac{\lambda * BT}{\rho} \right] * \ln(\varepsilon) \right\}} \quad (7)$$

Em que,

Ts : Temperatura da superfície terrestre ($^{\circ}C$);

BT: Temperatura do brilho no sensor (°C);
 λ : comprimento da onda central da banda utilizada (no caso, a banda 10);
 ρ : constante equivale ao valor $1,438 * 10^{-2}$ mK.
 ε : emissividade.

Finalizado os cálculos foi analisado os dados e gerado os mapas de NDVI e TST. Os resultados de TST encontrados foram comparadas com os dados de temperatura do ar coletados pela Estação Meteorológica CAMPBELL SCI e fornecidos pelo Laboratório de Instrumentação, Meteorologia e Climatologia (LAMBIMC) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), referentes aos anos estudados 2003, 2013 e 2023.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise indicam que a temperatura da superfície no núcleo urbano de Mossoró variou entre 29°C, valor mínimo registrado em 2003, e 35,14°C, valor máximo observado em 2013. Além disso, observou-se uma amplitude térmica em torno de 4°C ao longo dos anos analisados (Tabela 3).

Outros estudos que investigaram a TST ao longo de períodos prolongados apresentaram resultados semelhantes. Nascimento e De Oliveira (2011) verificaram um aumento de 7°C entre 1986 e 2010 para o município de Goiana/GO. De forma similar, Farid *et al.* (2022) registraram um aumento de 3,2°C na cidade de Lahore, Paquistão, entre 1990 e 2020. Em ambos os casos, os aumentos de temperatura estiveram diretamente relacionados ao processo de urbanização das cidades.

Tabela 3 – Temperatura Superficial Terrestre (TST) para os anos de 2003, 2013 e 2023.

Ano de referência	Temperatura (°C)			
	Média	Máxima	Mínima	Amplitude
09/2003	31,14	33,19	29,0	4,19
09/2013	32,97	35,14	30,79	4,35
08/2023	30,75	32,25	29,07	3,18

Fonte: Landsat 5 e Landsat 8, 2024.

As temperaturas registradas na Estação Meteorológica CAMPBELL SCI/LABIMC corroboram os dados encontrados na pesquisa, considerando o mesmo mês em que as imagens de satélite foram registradas (Tabela 4). As temperaturas obtidas apresentam valores próximos entre si, mesmo considerando que a estação meteorológica registra a temperatura do ar em vários momentos do dia, enquanto as imagens de satélite permitem a observação apenas da temperatura da superfície do solo no momento do registro da imagem. A amplitude térmica encontrada para o mesmo mês das imagens, variou entre 3 e 5°C, quando comparada à média de temperatura anual registrada pela estação meteorológica (Tabela 5), observa-se uma amplitude bem maior, variando entre 9 e 12°C.

Tabela 4 – Temperatura do ar mensal coletada na Estação Meteorológica Automática CAMPBELL SCI/LABIMC (UFERSA).

Ano de referência	Temperatura mensal (°C)			
	Média	Máxima	Mínima	Amplitude
09/2003	35,2	37,2	31,9	5,3
09/2013	35,4	36,9	33,5	3,4
08/2023	35,8	37,2	33,0	4,2

Fonte: Estação Meteorológica Automática CAMPBELL SCI/LABIMC (UFERSA), 2024.

Tabela 5 – Temperatura do ar anual coletada na Estação Meteorológica Automática CAMPBELL SCI/LABIMC (UFERSA).

Ano de referência	Temperatura anual (°C)			
	Média	Máxima	Mínima	Amplitude
2003	33,9	37,7	25,5	12,2
2013	34,7	38,5	27,9	10,6
2023	35,0	38,5	28,6	9,9

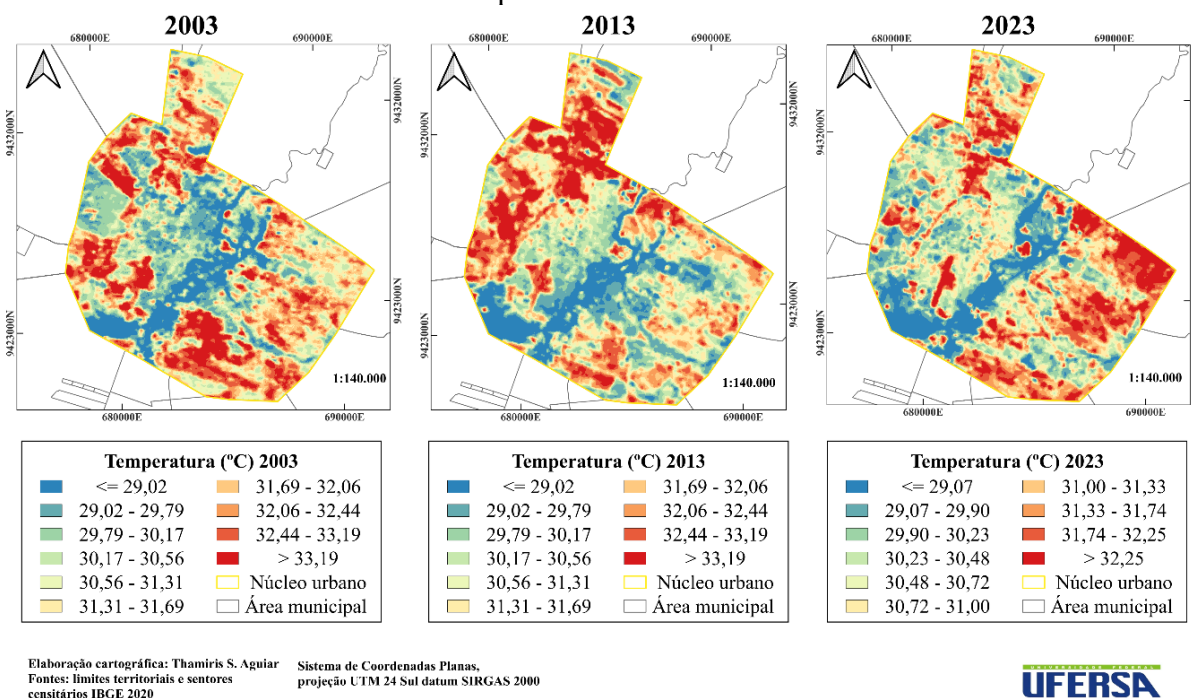
Fonte: Estação Meteorológica Automática CAMPBELL SCI/LABIMC (UFERSA), 2024.

É possível verificar as temperaturas registradas pela estação meteorológica para o mesmo dia das imagens registradas, mas apenas a partir de 2017 foi possível acessar o registro hora a hora das temperaturas, o que impossibilitou uma verificação mais precisa para os anos de 2003 e 2013. Isso ocorre porque as imagens são da temperatura do momento registrado pelo satélite, enquanto a estação fornece uma média das 24 horas do dia. No entanto, é possível observar que, nos anos de 2003 e 2013, para o mesmo dia das imagens, há uma correspondência entre os valores das temperaturas médias observadas. Segundo a estação meteorológica, as temperaturas foram de 33,9°C e 34,7°C para 2003 e 2013, respectivamente, enquanto o satélite registrou 31,14°C e 32,97°C para os mesmos anos.

No caso de 2023, com o registro das temperaturas hora a hora, foi possível a análise no mesmo horário das imagens de satélite. O registro da temperatura do ar para o horário de 12:00 foi de 35,06°C, enquanto o satélite registrou uma temperatura de 32,25°C às 12h40.

A espacialização dos dados pode ser visualizada na Figura 14, onde é exibido o intervalo de temperatura encontrado no núcleo urbano de Mossoró para cada ano estudado. Na legenda, as temperaturas estão classificadas em 10 classes, da menor para a maior, cujas cores variam do azul (temperaturas mais baixas) ao vermelho (temperaturas mais altas), passando pelo amarelo (temperaturas intermediárias).

Figura 14 – Análise da temperatura superficial terrestre (TST) no núcleo urbano de Mossoró no período de 20 anos.



Fonte: Landsat 5 e Landsat 8, 2024.

Nas imagens, é possível verificar uma constância de temperaturas mais baixas registradas no entorno do Rio Apodi-Mossoró, que corta o núcleo urbano na faixa central da cidade, onde está presente a mata ciliar do rio. Essa vegetação desempenha um papel essencial na proteção das margens, evitando erosões, inundações e desmoronamentos, além de contribuir para a manutenção de temperaturas mais baixas (Araújo, Dias e Lira, 2012). Assim, observa-se um padrão constante de amortecimento das temperaturas no centro da cidade ao longo dos 20 anos analisados.

As temperaturas do solo na área urbana de Mossoró, durante os meses de agosto e setembro dos anos estudados, mostram um aumento gradual nas regiões mais afastadas do núcleo central, além de uma variação considerável ao longo do período analisado. Dois fatores podem explicar esse fenômeno. O primeiro é o clima e a vegetação local, pois os meses analisados correspondem ao período de menor índice pluviométrico, entre setembro e dezembro, resultando em um cenário de vegetação seca e solo exposto nas extremidades menos ocupadas.

Segundo a Estação Metrológica da UFERSA, em 2023, houve um maior volume de precipitação, com 6,2 mm registrados no mês de agosto, quando a imagem foi capturada. Em comparação, o mês de setembro de 2013 registrou 1,8 mm, enquanto setembro de 2003 apresentou 0,0 mm de precipitação. Esse volume de chuva influencia diretamente a vegetação

da Caatinga, que mantém folhagem mesmo com precipitações mínimas. O segundo fator é o crescimento urbano, pois, ao longo do tempo, houve um aumento na construção de novos imóveis e empreendimentos nos bairros mais afastados, intensificando o processo de urbanização e, conseqüentemente, elevando as temperaturas.

Callejas *et al.* (2011), em seu estudo na cidade de Várzea Grande/MT, constatou que, em 1986, os maiores valores de temperatura superficial estavam concentrados nas áreas urbanas mais adensadas da região sul da cidade, onde a vegetação e o solo original foram modificados para a construção de novos bairros. Já em 2007, verificou que a região norte se tornou a mais quente devido ao desmatamento, que resultou na remoção da cobertura vegetal ao redor do conglomerado urbano, causado pelo surgimento de loteamentos e novos bairros implantados nesses 21 anos.

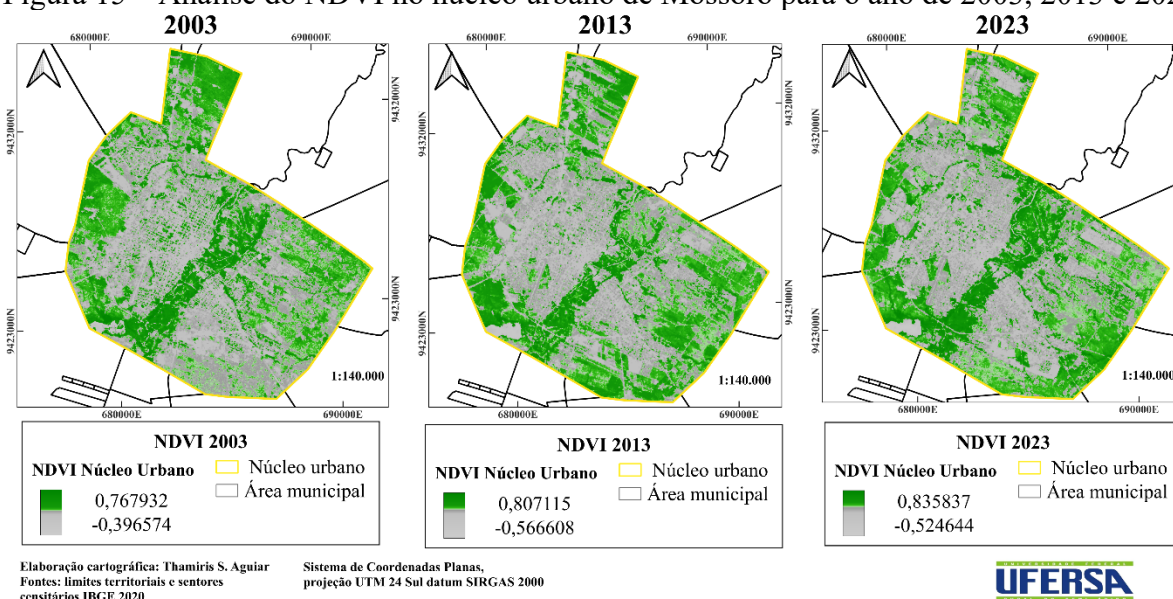
Nas etapas do cálculo da TST, também é calculado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, do inglês Normalized Difference Vegetation Index), uma métrica amplamente utilizada para avaliar a cobertura vegetal. Sua importância na análise da urbanização reside na capacidade de monitorar o impacto das atividades humanas sobre áreas verdes. O NDVI é calculado com base na diferença entre as refletâncias nos comprimentos de onda do infravermelho próximo e do vermelho, obtidas por sensores remotos. Essa abordagem permite identificar áreas urbanizadas e quantificar a perda de vegetação ao longo do tempo, fornecendo dados cruciais para a gestão ambiental. Estudos como o de Huete *et al.* (2002) destacam sua aplicação em projetos de monitoramento de ecossistemas e planejamento urbano, especialmente em contextos de rápida expansão urbana.

O NDVI para o núcleo urbano ao longo do tempo indica uma mudança na cobertura vegetal e no uso do solo (Figura 15). Os valores mínimos negativos de NDVI, que se intensificaram em 2013 (-0,5666) e 2023 (-0,5246) em comparação com 2003 (-0,3966), sugerem um aumento de superfícies sem vegetação, como construções, asfaltos ou corpos d'água, comuns em áreas urbanas. Já os valores máximos crescentes (2003: 0,7679; 2013: 0,8071; 2023: 0,8358) indicam que, apesar da urbanização, algumas áreas verdes foram mantidas ou melhoradas.

A precipitação também pode gerir influência sobre os valores de NDVI registrados. 2003 apresentou a maior precipitação anual, com 849,0 mm, seguido de 2023 com 625,6 mm. O ano de 2013 registrou uma precipitação menor que a média anual, com 478,0 mm de chuva em todo o ano. O que causou as altas temperaturas e o menor valor de NDVI entre os três anos estudados.

Jesus e Santana (2017) registraram um NDVI médio de 0,204, com um mínimo de 0,057 e um máximo de 0,469 para uma área de Caatinga na Paraíba. Já Lantz, Grenier e Wang (2021), ao estudarem o NDVI de todas as cidades do Canadá, encontraram valores que indicam uma leve diminuição do NDVI ao longo dos anos, sugerindo uma redução do índice de áreas verdes em cidades de médio porte entre 2001 e 2019. Os autores destacam que essas variações podem ser influenciadas por diversos fatores, incluindo urbanização, políticas de uso do solo e desenvolvimento de infraestrutura.

Figura 15 – Análise do NDVI no núcleo urbano de Mossoró para o ano de 2003, 2013 e 2023.



Fonte: Landsat 5 e Landsat 8, 2024.

Mesmo com a interferência dos elementos da urbanização na temperatura, podemos notar que, em 2003, o centro do núcleo urbano ainda apresentava temperaturas mais amenas do que os bairros periféricos. A arborização urbana pode ser apontada como um fator essencial para o amortecimento das temperaturas nessa região, em contraposição à periferia da cidade, que possuía mais solo exposto. Apesar disso, observa-se um aumento das temperaturas ao longo dos anos, devido ao avanço da urbanização e à falta de manutenção da vegetação urbana.

Também é possível analisar os bairros periféricos sob essa perspectiva. Quando menos urbanizados, o solo era ocupado por vegetação nativa, que, em meses de maior índice pluviométrico, apresentava temperaturas mais amenas, como analisado por Vale *et al.* (2021), que investigaram a TST para os bairros de Mossoró no mês de junho de 2018. Contudo, após um grande “boom” imobiliário, houve um aumento na construção de moradias a partir de 2009 (Silva Beserra; Pereira Júnior, 2020).

Esse novo processo de urbanização resultou no desmatamento da vegetação e no aumento das temperaturas devido à impermeabilização do solo. Segundo Romero *et al.* (2020), a pavimentação asfáltica, os telhados de amianto ou metal e outros elementos das áreas urbanas influenciam diretamente no aumento das temperaturas. Além disso, as superfícies impermeáveis absorvem rapidamente o calor, mas o emitem de forma muito lenta (Javid *et al.*, 2021). A escassa presença de arborização urbana nos novos bairros também contribui para esse cenário, pois não há nenhum mecanismo eficiente de amenização térmica, o que reforça a importância da recomposição paisagística e do aumento da vegetação urbana.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou a importância do monitoramento da Temperatura Superficial Terrestre (TST) como ferramenta para compreender os impactos da urbanização acelerada sobre o clima urbano e a qualidade de vida. A análise realizada no núcleo urbano de Mossoró/RN ao longo de duas décadas evidenciou um aumento gradual das temperaturas médias, máximas e mínimas, com destaque para a ampliação das áreas mais quentes nas periferias da cidade.

A constância de temperaturas mais baixas na área central da cidade, especialmente no entorno do Rio Apodi/Mossoró, ressalta o papel essencial da vegetação urbana na mitigação dos efeitos das ilhas de calor. Contudo, o avanço da urbanização e a redução das áreas verdes, especialmente nas zonas periféricas, contribuem para a elevação das temperaturas e a intensificação dos efeitos do aquecimento global em nível local.

Os resultados também apontam a viabilidade e confiabilidade do uso de imagens de satélite e sensoriamento remoto para o monitoramento da TST. A correspondência entre os dados obtidos por satélites e as medições da estação meteorológica reforça a precisão da metodologia aplicada.

Este estudo destaca a necessidade de políticas públicas voltadas para a ampliação e preservação de áreas verdes, bem como para o planejamento urbano sustentável, considerando a arborização como um elemento estratégico na mitigação das temperaturas. Investir em práticas que integrem infraestrutura urbana e soluções baseadas na natureza é fundamental para garantir conforto térmico e qualidade de vida à população urbana.

Por fim, os dados apresentados oferecem subsídios valiosos para futuras pesquisas no campo do planejamento urbano, conforto térmico e mudanças climáticas. É imprescindível continuar monitorando os efeitos da urbanização sobre o microclima urbano, promovendo uma ocupação mais consciente e adaptada às condições climáticas locais.

5 REFERÊNCIAS

- Araújo, D. R.; da Silva, P. C. M.; Dias, N. D. S.; Lira, D. L. C. **Estudo da área de preservação permanente do rio Mossoró no sítio urbano de Mossoró-RN por meio de técnicas de geoprocessamento.** Revista Caatinga, 25(2), 177-183. 2012.
- BRASIL. **Programa Cidades+Verdes.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/ptbr/assuntos/agendaambientalurbana/cidadesmaisverdes/ProgramaCidadesmaisVerdes.pdf/@download/file/ProgramaCidadesmaisVerdes.pdf>. Acesso em: 20 out. 2023.
- Callejas, I. J. A.; Durante, L. C.; de Oliveira, A. S.; Nogueira, M. C. D. J. A. **USO DO SOLO E TEMPERATURA SUPERFICIAL EM ÁREA URBANA** (relation between land use and land cover and superficial temperature in urban areas). Mercator, 10(23), 207-a. 2011.
- Dos Santos, A. R.; De Oliveira, F. S.; Da Silva, A. G.; Gleriani, J. M.; Gonçalves, W.; Moreira, G. L.; Silva, F. G.; Branco, E. R. F.; Moura, M. M.; Da Silva, R. G.; Juvanhil, R. S.; De Souza, K. B.; Ribeiro, C. A. A. S.; De Queiroz, V. T.; Costa, A. V.; Lorenzon, A. S.; Domingues, G. F.; Marcatti, G. E.; De Castro, N. L. M.; Resende, R. T.; Gonzales, D. E.; Telles, L. A. A.; Teixeira, T. R.; Dos Santos, G. M. A. D. A.; Mota, P. H. S. **Spatial and temporal distribution of urban heat islands.** Science of the Total Environment, v. 605, p. 946-956, 2017.
- Farid, N.; Moazzam, M. F. U.; Ahmad, S. R.; Coluzzi, R.; Lanfredi, M. **Monitoring the impact of rapid urbanization on land surface temperature and assessment of surface urban heat island using landsat in megacity (Lahore) of Pakistan.** Frontiers in Remote Sensing, 3, 897397. 2022.
- Gallo, K. P.; Tarpley, J. D.; McNab, A. L.; Karl, T. R. **Assessment of urban heat islands: a satellite perspective.** Atmospheric Research, 37(1-3), 37-43. 1995.
- Godoi, C. N.; De Deus, J. B. **A Urbanização do Brasil e as diferentes divisões territoriais do trabalho ao longo do tempo.** Caminhos de Geografia, v. 10, n. 30, p. 128-141, 2009.
- Gonçalves, A.; Camargo, L. S.; Soares, P. F. **Influência ambiental de um fragmento arbóreo localizado numa área urbana na qualidade de vida dos seus moradores.** Archives of Health Investigation, 7(8), 3912. 2018.
- Gusso, A.; Fontana, D. C.; Gonçalves, G. A. **Mapeamento da temperatura da superfície terrestre com uso do sensor AVHRR/NOAA.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, p. 231-237, 2007.
- Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E. P.; Gao, X.; Ferreira, L. G. **Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices.** Remote Sensing of Environment, 83(1-2), 195-213. 2002.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Áreas urbanizadas do Brasil: 2019.** Coordenação de Meio Ambiente. Rio de Janeiro, 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv49230.pdf>.

Javid, K.; Nawaz Akram, M. A.; Pervaiz, S.; Siddiqui, R.; Mazhar, N. **Index-based Approach in Relation to Built-Up and LST Dynamics; A Study of Lahore, Pakistan**. Int. J. Econ. Environ. Geol. 12, 32–40. doi:10.46660/ijeeg.vol12.iss1.2021.559. 2021.

Jesus, J. B.; Santana, I. D. M. **Estimation of land surface temperature in caatinga area using Landsat 8 data**. Journal of Hyperspectral Remote Sensing, v. 7, n. 3, p. 150-157, 2017.

Kimothi, S.; Thapliyal, A.; Gehlot, A.; Aledaily, A. N.; Bilandi, N.; Singh, R.; Akram, S. V. **Spatio-temporal fluctuations analysis of land surface temperature (LST) using Remote Sensing data (LANDSAT TM5/8) and multifractal technique to characterize the urban heat Islands (UHIs)**. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2023.

Lantz, N.; Grenier, M.; WANG, J. **Urban greenness, 2001, 2011 and 2019**. EnviroStats. Statistics Canada, 2021. Disponível em: <https://open.canada.ca/data/en/dataset/dc700f75-19d8-4913-9846-78615ca93784>

PROJETO MAPBIOMAS – Coleção 9. **Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**, acessado em: 12 de out. 2024, através do link: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/#>

Mathew, A.; Khandelwal, S.; Kaul, N. **Analysis of Diurnal Surface Temperature Variations for the Assessment of Surface Urban Heat Island Effect over Indian Cities**. Energy Build. 159, 271–295. doi:10.1016/j.enbuild.2017.10.062. 2018.

Mohammad, P.; Goswami, A.; Chauhan, S.; Nayak, S. **Machine Learning Algorithm Based Prediction of Land Use Land Cover and Land Surface Temperature Changes to Characterize the Surface Urban Heat Island Phenomena over Ahmedabad City, India**. Urban Clim. 42, 101116. doi:10.1016/j.uclim.2022.101116. 2022.

Nascimento, D. T. F.; De Oliveira, I. J. **Análise da Evolução do Fenômeno de Ilhas de Calor no Município de Goiânia-GO (1986-2010)**. Boletim goiano de geografia, v. 31, n. 2, p. 113-127, 2011.

ONU-Habitat. **Relatorio anual 2022 da ONU-habitat brasil**. Disponível em: <https://relatorio-anual2022.netlify.app>. 2022. Acesso em 05/2023.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Versão 3.28.10 'Firenze'. 2022. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 15 mai. 2022.

Rao, P. K. **Remote Sensing of Urban" Heat Islands" from an Environmental Satellite**. Bull. Am. meteorological Soc. 53, 647–648. 1972.

RIO GRANDE DO NORTE. **Decreto nº 14.338, de 25 de fevereiro de 1999.** Aprova o Regulamento do Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente - IDEMA. *Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte*, Natal, 26 fev. 1999.

RIO GRANDE DO NORTE. **Lei nº 7.871, de 20 de julho de 2000.** Dispõe sobre o Zoneamento Ecológico-Econômico do Litoral Oriental do Rio Grande do Norte e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte*, Natal, 21 jul. 2000.

Romero, C. W. D. S.; Silva, H. R.; Marques, A. P.; Macedo, F. L. D.; Faria, G. A.; Alves, M. C. **Relação entre as ilhas de calor e uso e ocupação do solo em centros urbanos de pequeno porte utilizando o sensoriamento remoto.** *Geosciences= Geociências*, v. 39, n. 1, p. 253-268, 2020.

SEADRU – Secretaria Municipal de Agricultura e Desenvolvimento Rural (SEADRU). **Censo Rural de Mossoró.** Prefeitura Municipal de Mossoró, 2021. Disponível em: <https://prefeiturademossoro.com.br/noticias/censo-rural-de-mossoro-ja-atingiu-mais-de-4-mil-familias-em-47-comunidades/6762> Acessado em: 25 out. 2023.

Silva Beserra, F. R.; Pereira Júnior, E. A. **Diferenciação espacial na escala intraurbana: análise dos impactos da indústria da construção civil na cidade de Mossoró.** *Geografares*, n. 30, 2020.

Sousa, A. M. **Levantamento E Preservação de Espécies Nativas da Caatinga-Bacia Hidrográfica do Apodí-Mossoró.** In: XIII Encontro de Pesquisa e Extensão da UERN – ENCOPE, 2006.

USGS. United States Geological Survey. **Landsat 8.** Sensor OLI. Canal 10. Órbita 216 ponto 63. De 06 de junho de 2018. 2018. Disponível em <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 03 jan. 2024.

Xu, X.; Pei, H.; Wang, C.; Xu, Q.; Xie, H.; Jin, Y.; Xiao, C. **Long-term analysis of the urban heat island effect using multisource Landsat images considering inter-class differences in land surface temperature products.** *Science of the Total Environment*, 858, 159777. 2023.

CAPÍTULO 3
ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL NA ÁREA URBANIZADA DE
MOSSORÓ/RN UTILIZANDO A CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA ENTRE
2003 E 2023

CAPÍTULO 3: ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL NA ÁREA URBANIZADA DE MOSSORÓ/RN UTILIZANDO A CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA ENTRE 2003 E 2023

RESUMO

A rápida expansão das áreas urbanas e a consequente redução da cobertura vegetal são questões críticas para a sustentabilidade ambiental nas cidades. Este estudo tem como objetivo a análise da evolução do uso da terra e da vegetação em Mossoró/RN, Brasil, entre 2003 e 2023, com ênfase na perda de vegetação urbana. Utilizando a Classificação Supervisionada (CS) aplicada a imagens dos satélites Landsat 5 e 8, os resultados foram comparados com dados do Projeto MapBiomas para validar a precisão das classificações de vegetação e áreas urbanizadas. A análise revelou uma expansão significativa da área urbanizada, com um aumento de 16,34 km² entre 2003 e 2023, além de uma redução de 10,56% na vegetação densa, especialmente no núcleo urbano. O Percentual de Áreas Verdes (PAV) para toda a área urbana permaneceu estável, porém a vegetação densa intraurbana sofreu uma queda acentuada de 20%, indicando uma perda considerável de áreas verdes, como árvores e espaços públicos. A vegetação ripária ao longo do rio Apodi/Mossoró manteve-se mais estável, mas a análise do MapBiomas mostrou-se menos eficaz na representação precisa da vegetação urbana, especialmente nas áreas mais densamente urbanizadas. A perda da vegetação urbana impacta diretamente a qualidade ambiental, contribuindo para o aumento da poluição, temperaturas mais altas e a redução dos espaços para lazer e socialização. A pesquisa destaca a importância do monitoramento detalhado da vegetação intraurbana para o planejamento urbano e a preservação ambiental.

Palavras-chave: Percentual de Áreas Verdes. Vegetação urbana. Expansão urbana. Índice de área verde.

ANALYSIS OF VEGETATION COVER IN THE URBAN AREA OF MOSSORÓ/RN USING SUPERVISED CLASSIFICATION BETWEEN 2003 AND 2023

ABSTRACT

The rapid expansion of urban areas and the consequent reduction in vegetation cover are critical issues for environmental sustainability in cities. This study aims to analyze the evolution of land use and vegetation in Mossoró/RN, Brazil, between 2003 and 2023, with an emphasis on urban vegetation loss. Using Supervised Classification (SC) applied to Landsat 5 and 8 satellite imagery, the results were compared with data from the MapBiomass Project to validate the accuracy of vegetation and urbanized area classifications. The analysis revealed significant urban expansion, with an increase of 16.34 km² between 2003 and 2023, alongside a 10.56% reduction in dense vegetation, particularly in the urban core. The Percentage of Green Areas (PGA) for the entire urban area remained stable; however, intra-urban dense vegetation declined sharply by 20%, indicating a considerable loss of green spaces, such as trees and public areas. Riparian vegetation along the Apodi/Mossoró River remained more stable, but the MapBiomass analysis proved less effective in accurately representing urban vegetation, especially in densely urbanized areas. The loss of urban vegetation directly impacts environmental quality, contributing to increased pollution, higher temperatures, and reduced spaces for leisure and socialization. This research highlights the importance of detailed monitoring of intra-urban vegetation for urban planning and environmental preservation.

Keywords: Percentage of Green Areas. Urban vegetation. Urban expansion. Green area index.

1 INTRODUÇÃO

A região Nordeste tem uma distribuição de 24,2% de toda a área urbanizada do país. O estado do Rio Grande do Norte se encontra em 16º, com um percentual de participação de 1,82% da área urbanizada total, e alguns municípios do país possuem mais de 80% de suas áreas ocupadas por áreas urbanizadas. Grande parte da população se encontra nas conhecidas Concentrações Urbanas, agrupamento de municípios ou arranjos populacionais com mais de 100 mil habitantes, onde a concentração populacional é grande e, pelo déficit de espaço, acaba por se aglomerar e avançar no espaço urbano, tanto horizontalmente quanto verticalmente (IBGE, 2019).

As áreas urbanas no Brasil tiveram um crescimento desenfreado e com pouquíssimo planejamento, causando um cenário de degradação social e ambiental que acaba gerando impacto em diversos fatores importantes para o convívio humano nos centros urbanos. Esse cenário acaba gerando um padrão de arborização urbana descontínuo, irregular e inapropriado em diversos municípios brasileiros. Com o ambiente extremamente alterado pelas edificações e ocupações do solo, o espaço acaba sendo restrito, e as áreas que originalmente eram ocupadas pela vegetação arbórea acabam limitadas, afetando assim a utilização do solo para as conhecidas florestas urbanas, tanto em relação ao espaço, como porte e espécies (MMA, 2021; Gonçalves *et al.*, 2018).

Essa expansão urbana acelerada causa inúmeros problemas para a cidade, sendo possível citar: as ocupações em áreas indevidas, como encostas de morro ou áreas de preservação, compactação excessiva do solo e o asfaltamento, que impede infiltração da água, causando enchentes, alagamentos e a falta de abastecimento dos lençóis freáticos, poluição do ar, as ilhas de calor, o barulho excessivo, mais estresse, propensão a doenças diversas, entre outros, que são agravados pela degradação ou a falta total de áreas verdes urbanas. Todos esses apontamentos são feitos pelo Ministério da Saúde e do Meio Ambiente, além de órgãos internacionais, como a ONU (Organização das Nações Unidas) e a OMS (Organização Mundial da Saúde) (MS, 2020; ONU, 2022).

O Código Florestal estipula que áreas verdes urbanas são definidas como "espaços, tanto públicos quanto privados, com predominância de vegetação, preferencialmente nativa, natural ou recuperada. Essas áreas estão previstas no Plano Diretor, nas Leis de Zoneamento Urbano e Uso do Solo do Município, e são indisponíveis para a construção de moradias. Elas são destinadas aos propósitos de recreação, lazer, melhoria da qualidade ambiental urbana, proteção dos recursos hídricos, manutenção ou aprimoramento paisagístico, bem como a

proteção de bens e manifestações culturais" (Lei nº 12.651/12, Seção III, Art. 25º). Assim, as normativas brasileiras reconhecem os diversos serviços ecossistêmicos oferecidos por áreas verdes dentro do cenário urbano, com seu papel crucial na melhoria da qualidade do ar, na mitigação dos impactos de eventos climáticos extremos, na segurança hídrica e na redução de várias doenças, incluindo as cardíacas, pulmonares, psicológicas e aquelas relacionadas à poluição e degradação ambiental.

No contexto social, as áreas verdes possuem importante papel em promover o convívio comunitário, concentrando os mais diversos grupos de diferentes níveis socioculturais, credos e idades nos parques e praças públicas. Além disso, também podemos apresentar outros benefícios relacionados às áreas físicas das cidades, como obstáculos contra o vento, a estabilização de superfícies por meio da fixação do solo pelas raízes das plantas, equilíbrio de umidade e temperatura, proteção de nascentes, de mananciais, abrigo de fauna e flora, valorização visual e ornamental do ambiente, o que acaba causando uma valorização econômica do espaço, entre outros (De Lira Filho, 2012).

A arborização urbana contribui significativamente para a redução da temperatura, promovendo sombra, diminuindo a temperatura do ar e da superfície, e consequentemente gerando conforto térmico para os pedestres. Uma rua ou vizinhança com muita vegetação (com árvores nas ruas e outras formas de arborização pública) estimula os moradores a usarem a caminhada como meio de transporte. Esta concepção reforça a argumentação de que a arborização urbana pode aprimorar tanto os indicadores de saúde física quanto mental da população, ao mesmo tempo em que contribui de maneira indireta para a redução das emissões de carbono nos espaços urbanos. Além disso, a promoção da mobilidade urbana ativa, como a caminhada, desempenha um papel significativo na diminuição das emissões de gases de efeito estufa nas cidades, o que, por sua vez, auxilia na atenuação dos impactos das mudanças climáticas (Koohsari *et al.*, 2013; Lopes e Aguiar, 2021; Bordim *et al.*, 2022; de Moraes Goulart *et al.*, 2023).

A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2016) trouxe um levantamento com comprovações científicas dos benefícios relacionados às áreas verdes urbanas, podendo citar, além dos já citados, melhorias no funcionamento do sistema imunológico, redução de obesidade, amortecimento de ruídos e produção de sons naturais, maior relaxamento, melhoria da saúde mental e da função cognitiva, como também exposição otimizada à luz solar e sono melhorado, a redução da morbidade, diabetes tipo 2, redução da mortalidade e outros.

Em resumo, a presença de árvores e espaços verdes urbanos está ligada a diversos benefícios à saúde, mas apenas quando existe um acesso adequado a essas áreas para a população. Estudos revelam que frequentemente há desigualdades na distribuição das árvores em áreas urbanas, com uma maior concentração de árvores em bairros de maior renda familiar. Desta forma, adotar uma abordagem de equidade em saúde no planejamento e gestão de áreas verdes urbanas, além de identificar as diferenças e vulnerabilidades dos locais onde as pessoas vivem e trabalham, pode assegurar uma distribuição mais justa das árvores entre cidades e bairros, auxiliando no desenvolvimento de estratégias de desenvolvimento ou mitigação, que possam maximizar os benefícios para a saúde, garantindo que todos os moradores possam usufruir dos benefícios das árvores para o bem-estar urbano (Wolf *et al.*, 2020; Yakinlar e Akpınar, 2022).

Nucci (2001) já afirmava há muito tempo a importância da vegetação na paisagem urbana, e como esse fator é sempre levado em consideração, visto que esta é um dos componentes mais importantes no cenário urbano, com inúmeros benefícios tanto diretos como indiretos. No Brasil, há escassez de dados consolidados sobre a cobertura vegetal em áreas urbanas. Os estudos existentes são fragmentados e, em sua maioria, não seguem uma metodologia padronizada, nem consideram as condições ambientais e a distribuição espacial das áreas verdes de forma adequada para o planejamento urbano (Santos e Nucci, 2019).

O trabalho tem como objetivo analisar as áreas verdes do núcleo urbano de Mossoró/RN por meio do cálculo do Percentual de Área Verde (PAV) utilizando geoprocessamento. A partir dessa análise, busca-se avaliar a proporção dessas áreas em relação ao território urbano, identificando a necessidade de preservação e ampliação, além de contribuir para a melhoria da qualidade ambiental e do bem-estar da população. O estudo se destaca por ser a primeira iniciativa a aplicar o cálculo do PAV especificamente ao núcleo urbano de Mossoró, trazendo uma abordagem inédita à região.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

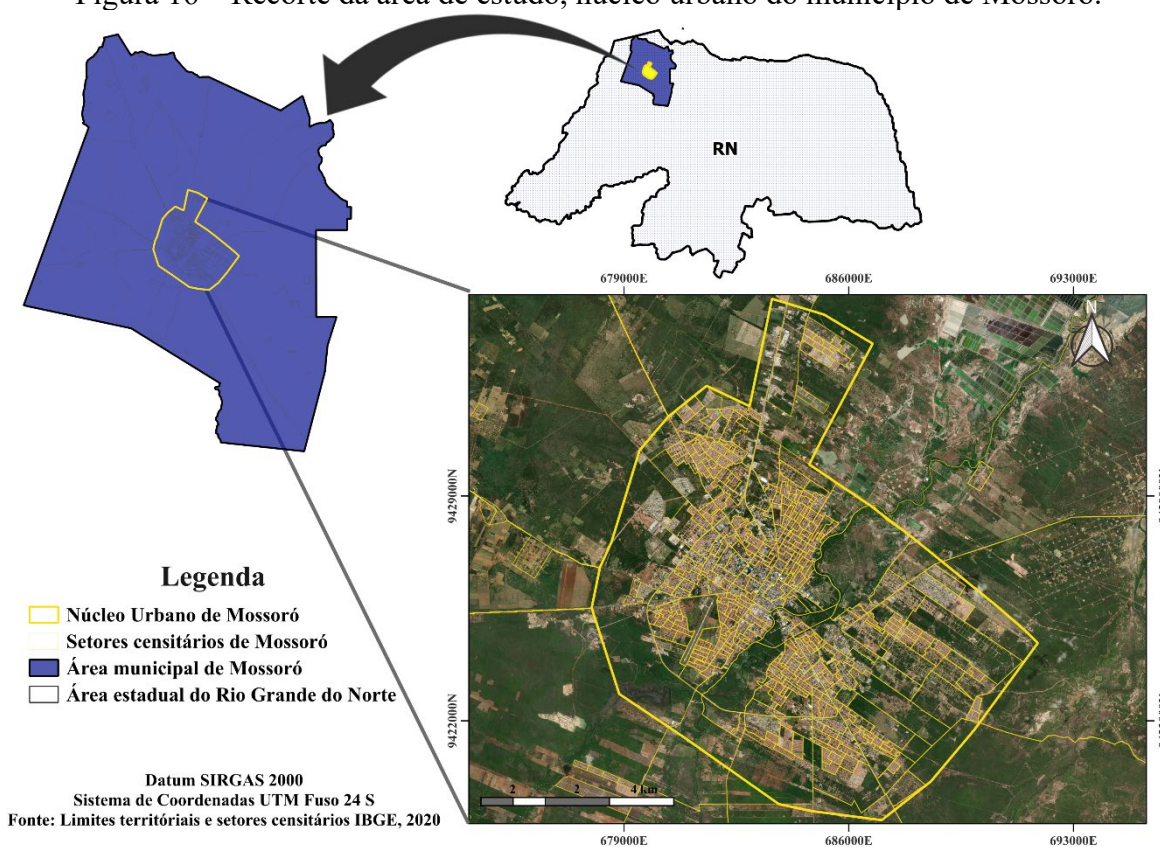
Mossoró está localizada na mesorregião oeste do estado do Rio Grande do Norte, destaca-se por sua posição estratégica entre as capitais Natal e Fortaleza, a 245,6 km da primeira. O município está situado a 5°11'15"S de latitude e 37°20'39"O de longitude, com uma altitude de 16 metros e uma área total de 2.099,334 km². Mossoró possui, segundo o IBGE (2022), uma população estimada de 264.577 habitantes e uma densidade demográfica de 126,03 hab/km². A maior parte de seus moradores (91,92%) reside na área urbana, distribuída em 30 bairros, enquanto 8,68% vivem na zona rural.

A cidade está inserida no semiárido brasileiro, onde as condições climáticas da região, como chuvas esparsas, alta insolação e elevados índices de evaporação e evapotranspiração, favorecem a predominância da vegetação de Caatinga no estado, vegetação nativa essencial para a região Nordeste. Essa formação vegetal é caracterizada por espécies arbóreo-arbustivas adaptadas ao clima árido, ocupando cerca de 826.441 km², o que corresponde a 54% do Nordeste e 10% do território brasileiro. O clima predominante na região é o semiárido, classificado como BSw'h' de acordo com Köppen, caracterizado por ser seco e muito quente, com uma estação chuvosa concentrada entre o verão e o outono, e um regime de chuvas irregulares que se estende por 8 a 9 meses. A temperatura média anual é de 27,4°C, enquanto a umidade relativa do ar gira em torno de 70% (IDEMA, 2000; Júnior; Andrade; Araújo, 2012; IBGE, 2012).

Em Mossoró-RN, foram identificadas três formas de vegetação: árvores, arbustos e ervas. No que diz respeito à flora local, destacam-se os carnaubais presentes nas matas ciliares. A vegetação predominante é arbustiva, apresentando-se pouco densa, e a flora característica da Caatinga encontra-se bastante escassa (Sousa, 2006).

O recorte espacial adotado para este estudo, considerando que o foco é a qualidade de vida urbana, delimitou-se como área de análise apenas o núcleo urbano de Mossoró (Figura 16), que, segundo dados da prefeitura, abriga mais de 90% da população do município. As áreas verdes públicas selecionadas incluem parques urbanos, parques fluviais, praças e canteiros, praças esportivas, jardim botânico, cemitérios, terrenos baldios, faixas de ligação entre áreas verdes, arborização de vias, quintais e toda vegetação verde presente no núcleo urbano, seja pública ou privada, desde que apresente solo parcialmente permeável. O período analisado abrange os anos de 2003, 2013 e 2023.

Figura 16 – Recorte da área de estudo, núcleo urbano do município de Mossoró.



Fonte: IBGE, 2020; O Autor, 2024.

2.2 Índice de Vegetação

A Área Verde Urbana vem sendo definida ao longo do tempo de uma forma bem concisa. Salvador (1978) definiu os “espaços abertos” criados por agentes públicos ou privados e destinados ao uso coletivo, incluindo praças, mirantes, jardins, áreas de circulação e parques de estacionamento. Oliveira (1996) conceituou áreas verdes como “áreas permeáveis” públicas ou privadas com capacidade de proporcionar um microclima distinto no ambiente urbano, em relação à temperatura, luminosidade ou outros parâmetros do bem-estar humano. Nogueira e Wantuelfer (2002) utilizam o conceito de área verde como propriedade pública ou privada que possui vegetação, arbórea ou não, e que seja utilizada com objetivos ecológicos, sociais, culturais ou científicos.

A análise das áreas verdes públicas selecionadas para Mossoró/RN foi realizada com base no cálculo do Percentual de Área Verde (PAV), considerando o núcleo urbano. O objetivo foi relacionar a área total ocupada pelas áreas verdes urbanas com o território do perímetro urbano, permitindo avaliar a necessidade de manutenção e expansão dessas áreas. Essa análise busca contribuir para a melhoria da qualidade ambiental, devido às funções ecológicas desempenhadas pelas áreas verdes, e para a qualidade de vida da população, por

meio do usufruto desses espaços. Esse indicador é muito utilizado para a avaliação da qualidade ambiental urbana e é amplamente reconhecido como um indicador relevante em estudos de sustentabilidade e urbanização, sendo frequentemente utilizado em pesquisas que analisam o impacto da infraestrutura verde em ambientes urbanos (Oliveira, 1996; Chiesura, 2004; Jim e Chen, 2009; Silva e Amorim, 2017; Teixeira e Oliveira, 2015).

O cálculo do PAV é feito por meio da seguinte fórmula:

$$PAV = \left(\frac{\sum AV}{AT} \right) \times 100$$

PAV = Percentual de Áreas Verdes (%);

$\sum AV$ = somatório do total de Áreas Verdes (m²);

AT = área do perímetro do núcleo urbano (m²).

O resultado expressa o percentual de áreas verdes em relação à área urbana total, permitindo a comparação entre diferentes regiões ou o acompanhamento das mudanças ao longo do tempo.

Para o cálculo do índice de área verde total, será considerado o somatório das áreas verdes, expresso em metros quadrados (m²), dividido pelo número total de habitantes do município. O índice utilizado é o Índice de Área Verde Total (IAVT).

$$IAVT = \frac{\sum \text{das áreas verdes totais (m}^2\text{)}}{\text{n}^\circ \text{ de habitantes da cidade}}$$

IAVT = Índice de Área Verde Total (m²/hab);

$\sum AV$ = somatório do total de Áreas Verdes do município(m²);

n^o = número de habitantes para cada ano estudado.

2.3 Coleta e processamento dos dados

As imagens utilizadas neste estudo foram obtidas de forma gratuita no site da United States Geological Survey (USGS) e correspondem aos satélites Landsat 5 e Landsat 8 (órbita 216, ponto 63). Esses satélites possuem a capacidade de capturar imagens ópticas de alta resolução espacial, com variações de 15m a 100m, o que possibilita um monitoramento detalhado da superfície terrestre e das águas costeiras em diversas resoluções espectrais. Foram analisadas as bandas espectrais 2, 3, 4, 5 e 6, que abrangem as faixas do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, para ambos os satélites. As imagens foram adquiridas nas

datas de 1º de setembro de 2003, 12 de setembro de 2013 e 15 de agosto de 2023, todas registradas aproximadamente ao meio-dia, com cobertura de nuvens inferior a 10%.

O processamento das imagens e a elaboração dos mapas temáticos foram realizados utilizando o software gratuito QGIS 3.34.13 'Prizren'. Todos os arquivos georreferenciados foram ajustados para o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 24 Sul (31984), com o Datum Sirgas 2000. Os dados vetoriais utilizados como base foram obtidos no site do IBGE e correspondem aos anos mais próximos às datas das imagens: 2007, 2010 e 2020. Esses dados abrangem o estado do Rio Grande do Norte, o município de Mossoró e os setores censitários da cidade.

A classificação de imagens desempenha um papel fundamental na extração de informações da área de estudo e no mapeamento da superfície terrestre. Neste trabalho, foi adotada a técnica de Classificação Supervisionada (CS), utilizando o plugin SCP (Semi-Automatic Classification) versão 7.10.11 'Matera', de uso gratuito, que fornece diversas ferramentas para o pré-processamento, o pós-processamento e o cálculo de imagens raster. Inicialmente, as imagens orbitais foram processadas, e a combinação de bandas espectrais utilizada foi B6, B5 e B4, que apresentava uma melhor coloração para a seleção da área vegetal. Após essa etapa, foram gerados recortes específicos do núcleo urbano com base na camada de delimitação criada anteriormente.

Por fim, foi aplicada a classificação supervisionada baseada em objetos, na qual foram coletadas amostras de treinamento para categorizar as diferentes classes presentes na área estudada. Foram definidas cinco categorias para análise, sendo essas: Água/áreas inundadas, edificações e instalações urbanas, vegetação densa, vegetação rasteira/pouco densa e, por último, solo exposto/não vegetado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

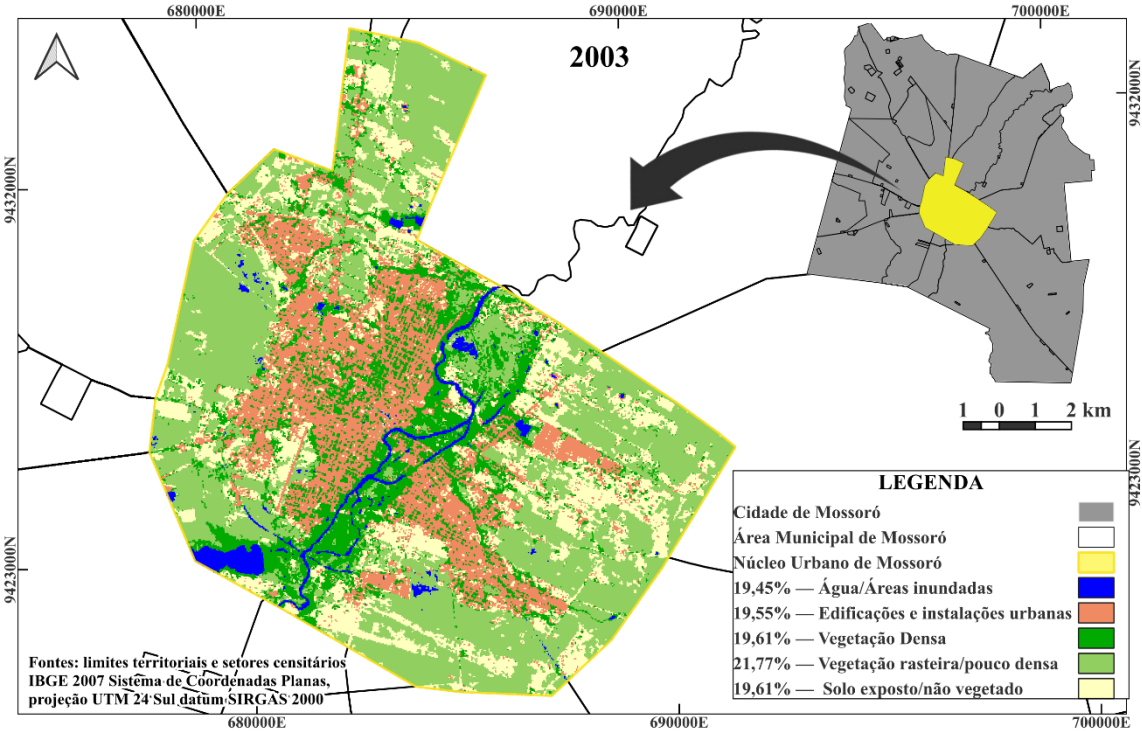
Através da CS utilizando o plugin SCP foi determinada a localização e vetorização das categorias previamente definidas, gerando as informações de concentração da área urbana e vegetação existente no núcleo urbano para os três anos estudados. As quantificações de área e porcentagem para cada categoria está exposta na Tabela 6 e as imagens produto dessa classificação estão exibidas a seguir (Figuras 17, 18 e 19).

Tabela 6 – Análise do núcleo urbano de Mossoró/RN utilizando classificação supervisionada para o ano de 2003, 2013 e 2023.

Classes	2003,		2013		2023		Mudança (km²)	Mudança (%)
	Área (km²)	Área (%)	Área (km²)	Área (%)	Área (km²)	Área (%)		
Vegetação Densa	21,15	17,17	21,92	17,79	8,14	6,61	-13,00	-10,56
Vegetação rasteira/pouco densa	49,51	40,19	47,27	38,37	61,66	50,06	12,16	9,87
Área urbanizada	24,72	20,07	31,55	25,61	41,07	33,34	16,34	13,27
Solo exposto	24,75	20,09	19,88	16,13	9,67	7,85	-15,08	-12,24
Água	3,06	2,48	2,57	2,08	2,64	2,15	-0,41	-0,34
Total	123,19	100	123,19	100	123,19	100		

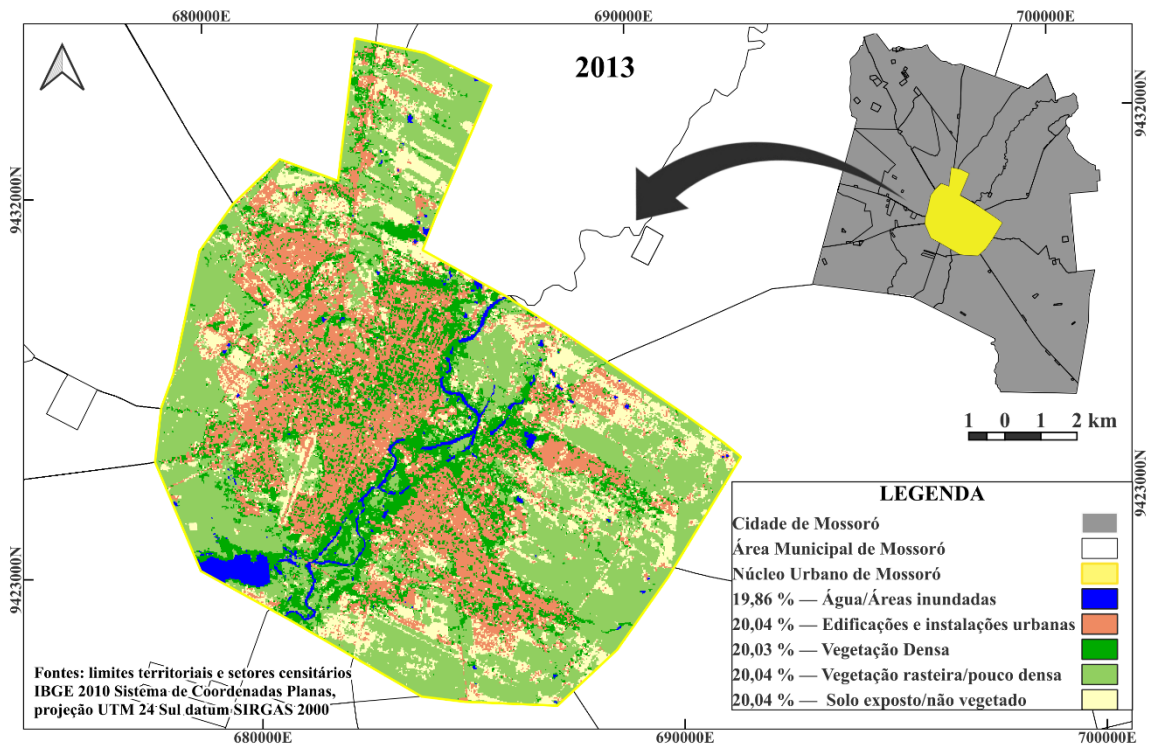
Fonte: Landsat 5 e 8, 2024. Elaboração: O Autor, 2024.

Figura 17 – Análise do núcleo urbano de Mossoró/RN utilizando classificação supervisionada para o ano de 2003.



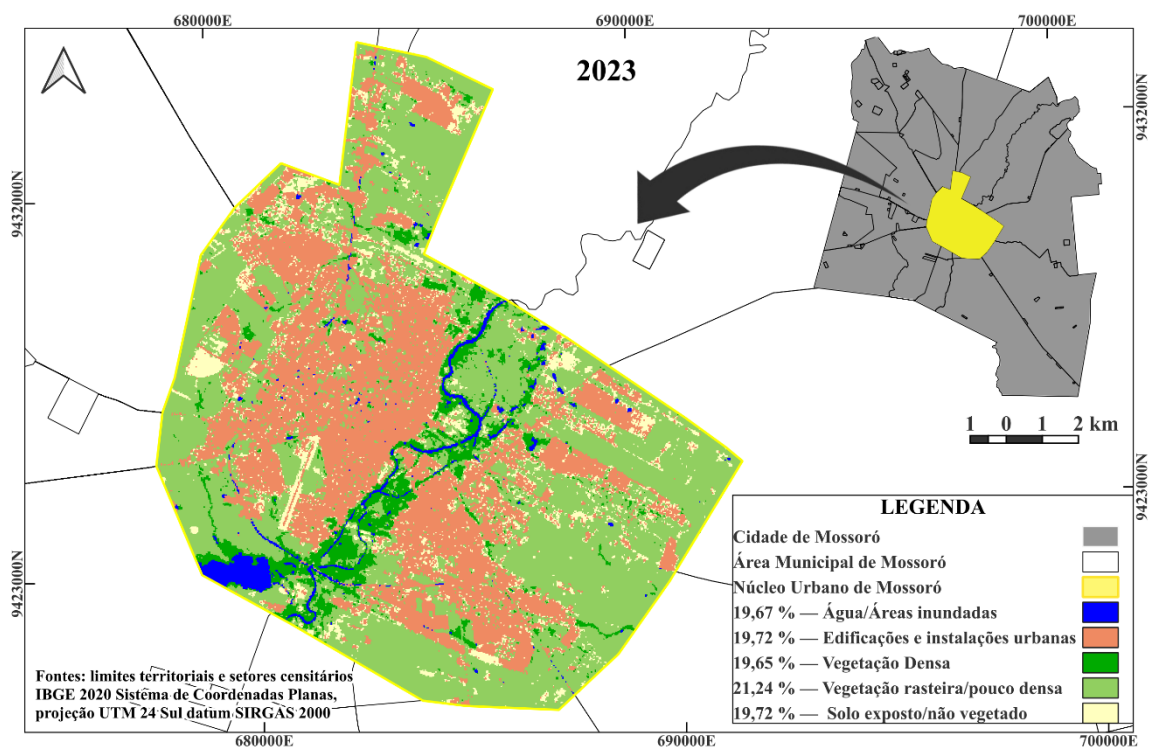
Fonte: Landsat 5, 2024. Elaboração: O Autor, 2024.

Figura 18 – Análise do núcleo urbano de Mossoró/RN utilizando classificação supervisionada para o ano de 2013.



Fonte: Landsat 8, 2024. Elaboração: O Autor, 2024.

Figura 19 – Análise do núcleo urbano de Mossoró/RN utilizando classificação supervisionada para o ano de 2023.



Fonte: Landsat 8, 2024. Elaboração: O Autor, 2024.

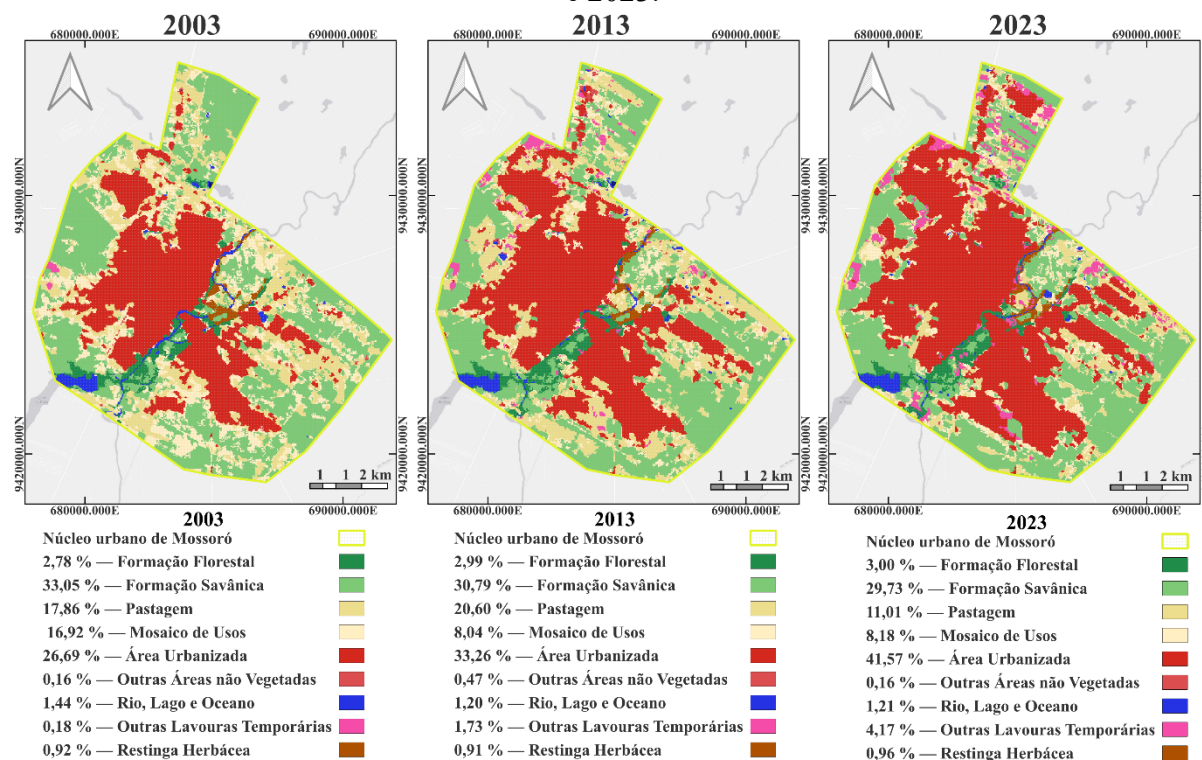
As informações de uso e cobertura do solo disponibilizadas pelo Projeto MapBiomias (Tabela 7) foram utilizadas como métrica de comparação para os dados gerados pela classificação supervisionada. Entre as cinco classes que foram estudadas, a classe referente à urbanização da cidade foi a que apresentou maior semelhança. O MapBiomias mostrou um crescimento de 18,33 km² de área urbanizada, enquanto a CS determinou um crescimento aproximado de 16,34 km². No entanto, é possível verificar, através da Figura 20, que a representação do MapBiomias não é tão precisa quanto à vegetação urbana, não sendo possível quantificar a vegetação urbana e as áreas verdes existentes dentro da cidade.

Tabela 7 – Quantificação de uso e ocupação do solo para o núcleo urbano de Mossoró/RN nos anos de 2003, 2013 e 2023.

	2003		2013		2023			
Classes	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)	Mudança (km ²)	Mudança (%)
Formação Florestal	3,42	2,78	3,68	2,99	3,70	3,00	0,27	-0,42
Formação Savânica	40,71	33,05	37,93	30,79	36,62	29,73	-4,09	-10,98
Pastagem	22,01	17,87	25,38	20,60	13,56	11,01	-8,45	-11,00
Mosaico de Usos	20,84	16,92	9,91	8,04	10,08	8,18	-10,76	-12,66
Área Urbanizada	32,88	26,69	40,97	33,26	51,21	41,57	18,33	8,69
Outras Áreas não vegetadas	0,19	0,16	0,58	0,47	0,20	0,16	0,01	-0,03
Rio, Lago e Oceano	1,78	1,44	1,48	1,20	1,49	1,21	-0,25	-0,53
Outras Lavouras Temp.	0,22	0,18	2,13	1,73	5,13	4,17	4,91	3,95
Restinga Herbácea	1,13	0,92	1,12	0,91	1,18	0,96	0,05	-0,17
Total	123,19	100	123,19	100	123,19	100		

Fonte: Projeto MapBiomias, 2024. Elaboração: O Autor, 2024.

Figura 20 – Uso e ocupação do solo no núcleo urbano de Mossoró/RN nos anos de 2003, 2013 e 2023.



Fonte: Projeto MapBiomias, 2024. Elaboração: O Autor, 2024.

Visto que a vegetação urbana não é devidamente representada nas imagens do MapBiomias, é possível notar uma diferença nas categorias Formação Florestal e Vegetação Densa, que se referem às árvores e áreas verdes urbanas mais densas. Com isso, é possível verificar, através da CS, a perda crescente da vegetação urbana nesses 20 anos, enquanto o MapBiomias não apresentou uma diferença significativa. No entanto, outras áreas ainda mostram sua similaridade, como a categoria de água, que apresentou a mesma variação em ambos os levantamentos nesse período de tempo.

Dessa forma, é viável afirmar que a CS, quando realizada com uma boa amostragem da vegetação urbana, densa e rasteira, além de considerar todas as variações da área urbana, é muito eficaz para realizar levantamentos de vegetação e determinar índices de vegetação urbana através do uso de geotecnologias. Utilizando-se desse levantamento da vegetação, obtemos uma melhor precisão quanto à vegetação intraurbana, ou seja, aquela que está dentro da urbe, em forma de praças, canteiros, jardins, arborização de vias, parques, quintais, entre outros, tornando possível calcular índices com maior exatidão.

O Percentual de Áreas Verdes (PAV) é utilizado para avaliação de qualidade ambiental e independe do adensamento populacional, concentrando-se mais na quantidade de vegetação no espaço físico pré-definido (Oliveira, 1996). Para o núcleo urbano completo,

anteriormente apresentado, que abrange tanto a urbe da cidade quanto as intercessões entre os bairros, áreas vazias, vegetação à margem de estradas, espaços remanescentes de vegetação nativa e, principalmente, toda a mata ciliar que acompanha o rio Apodi/Mossoró, que corta todo o município de Mossoró/RN, foi encontrado o seguinte PAV para os anos estudados (Tabela 8).

Tabela 8 – Percentual de área verde para o núcleo urbano completo nos anos de 2003, 2013 e 2023.

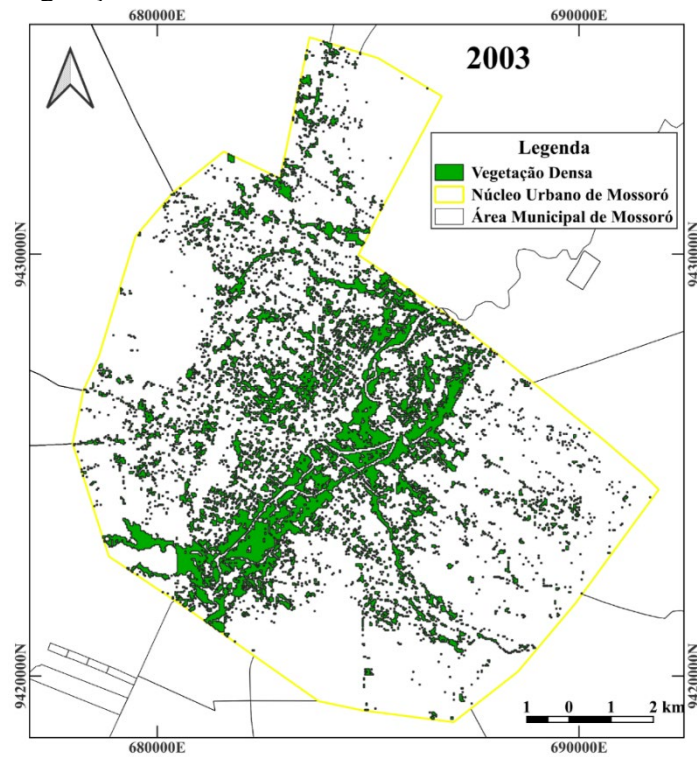
Núcleo Urbano Completo			
PAV (%)	2003	2013	2023
Vegetação densa + rasteira	57,36	56,17	56,67
Vegetação densa	17,17	17,79	6,61

Fonte: Landsat 5 e 8, 2024. Elaboração: O Autor, 2024.

As áreas verdes foram divididas em duas categorias: Vegetação densa + rasteira, que engloba tanto a vegetação de grande porte, como as árvores, quanto a vegetação rasteira, arbustiva e herbácea, representada pelas áreas de vegetação nativa (Caatinga) restante e todas as que se encontram no núcleo urbano; e Vegetação densa, que se refere apenas à vegetação mais densa encontrada dentro da urbe, como aglomerados de árvores, praças com arborização, vias arborizadas, quintais, cemitérios, entre outros.

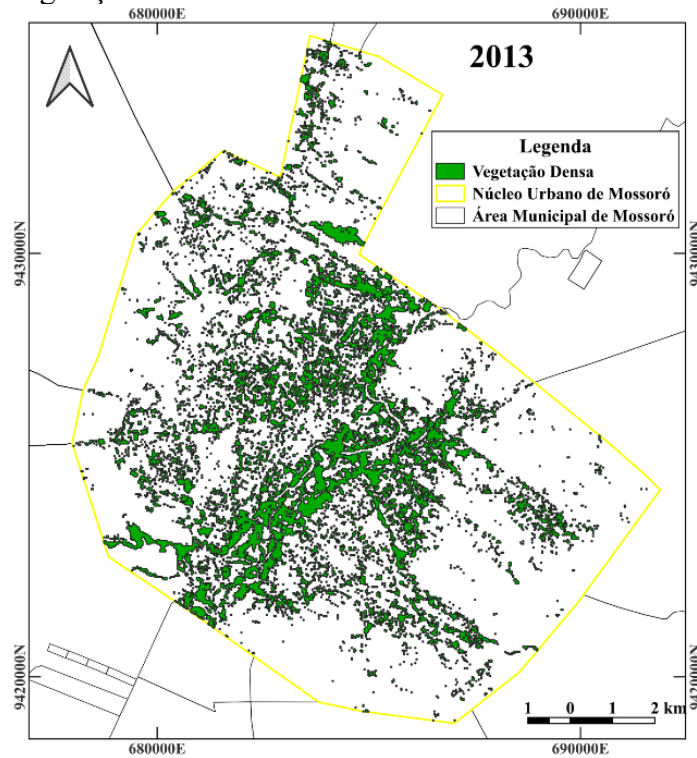
Na primeira categoria, é possível verificar uma constância ao longo dos anos, uma vez que ela agrupa uma maior quantidade de vegetação de diferentes tipos em comparação com a área total do núcleo urbano. No entanto, na segunda categoria, observou-se uma diminuição considerável no ano de 2023, indicando uma drástica redução na vegetação intraurbana de maior densidade. Através da representação visual (Figuras 21, 22 e 23), é possível perceber mais claramente onde ocorreu essa perda significativa de área verde densa, localizada principalmente dentro da urbe. Ou seja, as áreas verdes, árvores e espaços verdes que se encontravam nas áreas mais urbanizadas da cidade foram perdidos, resultando na remoção da vegetação de possíveis áreas que antes não eram construídas e foram cobertas por novas edificações, juntamente com aquelas situadas nas periferias do núcleo urbano, que foram removidas devido à expansão urbana acelerada a partir de 2009 (Silva Beserra; Pereira Júnior, 2020).

Figura 21 – Vegetação densa no núcleo urbano de Mossoró/RN no ano de 2003.



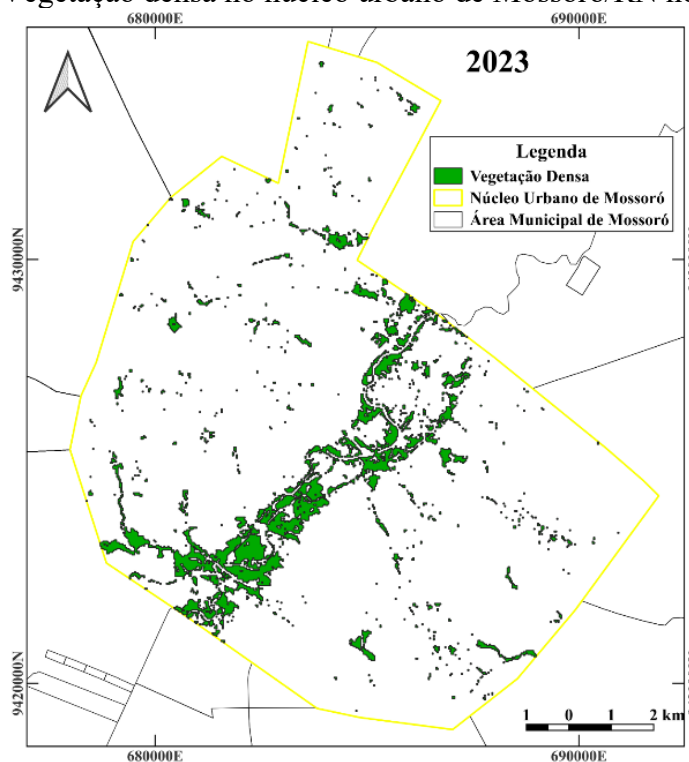
Fonte: Landsat 5, 2024. Elaboração: O Autor, 2024.

Figura 22 – Vegetação densa no núcleo urbano de Mossoró/RN no ano de 2013.



Fonte: Landsat 8, 2024. Elaboração: O Autor, 2024.

Figura 23 – Vegetação densa no núcleo urbano de Mossoró/RN no ano de 2023.

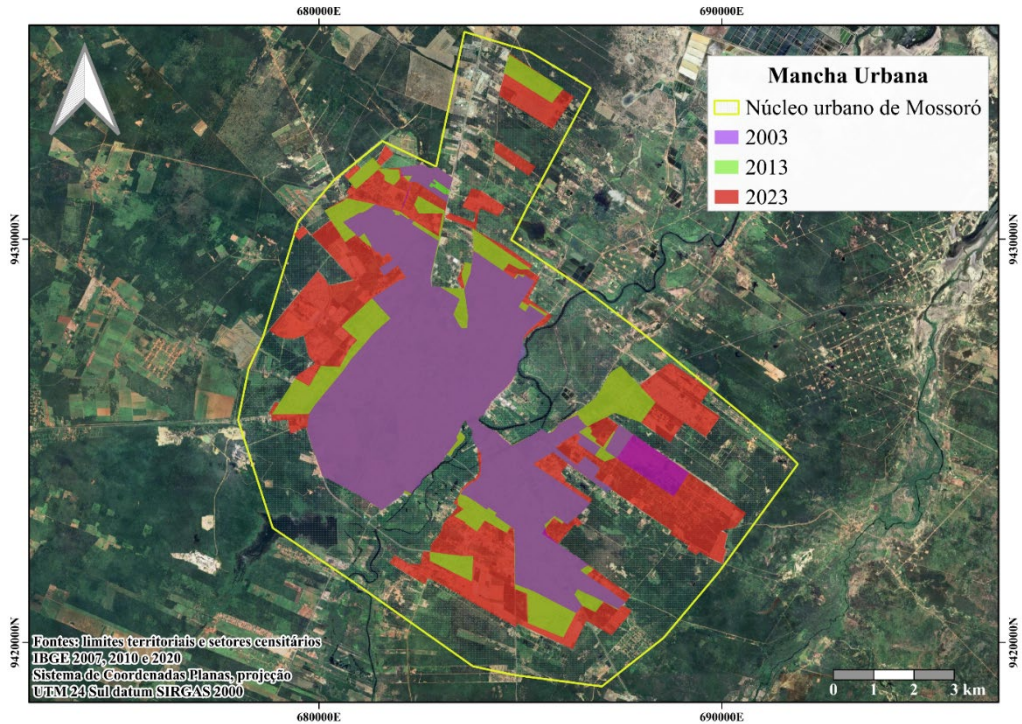


Fonte: Landsat 8, 2024. Elaboração: O Autor, 22024.

É importante destacar que a maior constância de vegetação em todos os levantamentos está relacionada à mata ciliar que acompanha o rio Apodi/Mossoró, que atravessa a cidade e se expande lateralmente ao longo de sua faixa. Silva *et al.* (2015) realizaram uma análise da paisagem ao longo de todo o trecho do rio Apodi/Mossoró que corta o núcleo urbano de Mossoró e constataram que as margens do rio são compostas principalmente por solo exposto e fragmentos florestais (vegetação arbórea). Outras áreas são ocupadas por cultivos agrícolas, enquanto algumas estão sendo afetadas pela urbanização, com a construção de imóveis e edificações nas margens do rio que corta a zona urbana. Em sua pesquisa, também foi observada a ausência de mata ciliar arbustivo-arbórea em algumas áreas, além de locais de risco devido ao avanço das edificações em direção ao leito do rio. De Ávila e Pancher (2015) também ressaltam que, embora fragmentada, a mata ciliar é fundamental para a composição das áreas verdes, e que são necessárias políticas públicas de conservação dessa vegetação.

No entanto, Mossoró continua a se expandir, e, para realizar uma análise mais detalhada da vegetação urbana no perímetro estrutural e periférico, onde estão localizados os imóveis e equipamentos públicos, e, consequentemente, de maior movimentação da população, é necessário delimitar essas áreas nos diferentes anos estudados (Figura 24).

Figura 24 – Expansão da estrutura urbano no recorte do núcleo urbano de Mossoró/RN nos anos de 2003, 2013 e 2023.



Fonte: Landsat 5 e 8, 2024. Elaboração: O Autor, 2024.

A mata ciliar associada a esse corpo d'água é amplamente composta por espécies do gênero *Prosopis* L., conhecidas como invasoras, incluindo a algaroba (classificada como complexo *Juliflora-Pallida* devido à coexistência dessas duas espécies). Esse complexo tem a característica de formar aglomerados densos que acabam dominando a paisagem da região, mas, ao mesmo tempo, proporciona uma cobertura vegetal significativa (Vale *et al.*, 2020). Como o Percentual de Área Verde (PAV) é um índice que considera a quantidade de vegetação em relação ao tamanho da área estudada, a retirada da área do leito que acompanha o rio, além das áreas de mata periférica que rodeiam os bairros, gerou grande impacto nos resultados (Tabela 9).

Tabela 9 – Percentual de Área Verde para recorte do núcleo urbano nos anos de 2003, 2013 e 2023.

Recorte do núcleo urbano			
PAV (%)	2003	2013	2023
Vegetação densa			
+ rasteira	29,13	33,50	30,54
Vegetação densa	23,28	25,98	2,65

Fonte: Landsat 5 e 8, 2024. Elaboração: O Autor, 2024.

Com uma diminuição de 20% do PAV entre os anos de 2003 e 2023, é notável que não apenas a mata nativa foi eliminada com a expansão urbana, mas também a vegetação presente dentro da urbe, como áreas verdes, canteiros, arborização de vias e outros. Nesse recorte urbano, onde apenas as edificações estão localizadas, um PAV de apenas 2,65% no ano de 2023 é preocupante, visto que é nesses locais que a população passa a maior parte do seu tempo. Pancher e Ávila (2012) calcularam o PAV para o município de Americana/SP, e encontraram um PAV de 6,73%, considerando a população de 209.648 habitantes e apenas o perímetro urbano do município. Já Araújo e Ferreira (2016) encontraram um PAV que variou entre 0 e 34,3%, considerando somente parques, praças e canteiros, para diferentes setores da cidade de Juiz de Fora/MG. Todos consideram diferentes recortes da área urbana e diferentes formas de contabilizar a área verde urbana.

É nos espaços urbanos que a população trabalha e reside, além de se locomover diariamente entre casa e trabalho. Uma urbe com poucas árvores gera um ambiente urbano com mais poluição sonora, visual e do ar, além de altas temperaturas que causam desconforto térmico. Poucas árvores em passeios e calçadas diminuem a caminhabilidade das vias, obrigando os moradores a utilizarem automóveis movidos a combustíveis fósseis para locomoção, reduzindo as atividades físicas ao ar livre e os espaços comunitários para socialização, o que afeta a saúde mental e física da população. Estudos já mostram o efeito positivo que áreas verdes urbanas causam na qualidade de vida da população, quanto ao fator social, ambiental, saúde e longevidade (Silva, M. S.; Teixeira, A. M.; Oliveira, S. M., 2015; Amorim, M. C. C. T., 2017; Gonçalves, A.; Camargo, L. S.; Soares, P. F., 2018; Gonçalves, L. M., *et al.*, 2018; Wolf, K. L., *et al.*, 2020; Yakinlar, N.; Akpınar, A., 2022; Nieuwenhuijsen *et al.*, 2022).

Com os dados de vegetação gerados, também foi possível calcular o índice de área verde total (IAVT) para o núcleo completo e o recorte da urbe para os anos de 2003, 2013 e 2023, com as mesmas divisões utilizadas para o cálculo do PAV (Tabela 10). O IAVT considera a quantidade de vegetação em relação ao número de habitantes do local.

Tabela 10 – Índice de Área Verde Total para recorte do núcleo urbano e para o núcleo urbano completo nos anos de 2003, 2013 e 2023.

IAVT (m ² /hab)	Núcleo completo		Recorte do núcleo urbano	
	Vegetação densa + rasteira	Vegetação densa	Vegetação densa + rasteira	Vegetação densa
2003	44,29	98,89	44,29	35,40
2013	49,85	81,23	49,85	38,66
2023	74,59	30,78	74,59	6,48

Fonte: Landsat 5 e 8. Elaboração: O Autor.

Os resultados de IAVT mostraram algumas semelhanças com o PAV em relação à vegetação completa, que se manteve constante entre 2003 e 2013 e teve um aumento em 2023, tanto no núcleo completo quanto no recorte. Isso é compreensível, já que é um índice baseado no número de habitantes. Já a vegetação completa compreende as áreas de vegetação rasteira, que, muitas vezes, são áreas de vegetação nativa ou pequenas áreas de recuperação, que perdem as folhas durante a estação seca e não geram forte impacto na população. No entanto, quando analisada a vegetação densa, que compreende áreas verdes mais densas e locais com mais árvores, nota-se um declínio constante, chegando a 6,48 m²/hab, uma diminuição de 28,92 m²/habitantes em 20 anos.

Arruda *et al.* (2013) calcularam o IAVT para quatro bairros centrais de Mossoró no ano de 2010 e obtiveram um valor de 0,57 m²/habitante, sem considerar a vegetação de vias e canteiros, apenas praças e áreas verdes públicas nesses quatro bairros. Silva, Dos Santos e De Oliveira (2016) calcularam o IAVT de Gurupi/TO, considerando apenas as praças e parques de vizinhança e bairros, e encontraram um IAVT de 1,46 m²/habitante. Mena *et al.* (2011) calcularam, para Parral no Chile, um IAVT de 4,82 m²/habitante, utilizando também CS. Nascimento, Brito e Chaves (2021) encontraram um IAVT que variou de 6,9 a 45,2 m²/habitante, considerando apenas os parques urbanos em diferentes bairros da cidade de Teresina/PI. Assim como o PAV, o IAVT considera diferentes recortes urbanos e tipologias de vegetação e espaço verde a serem contabilizados.

Todos os pesquisadores apontam a importância das áreas verdes e como a gestão pública desses municípios tem papel fundamental na manutenção, conservação e promoção de novas áreas verdes e vegetação urbana em cada cidade. Quando abordamos a Governança Climática a produção acadêmica já é parte essencial, fornecendo conhecimento e pesquisas que permitem a tomada de decisões com um embasamento científico. Governos e institutos já reconhecem o papel importante do planejamento estratégico da urbanização na perspectiva ambiental (ICLEI, 2016; Cognuck González; Numer, 2020).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças na dinâmica de uso e cobertura do solo observadas no núcleo urbano de Mossoró/RN refletem o impacto do crescimento urbano sobre as áreas naturais. A análise revelou uma redução significativa na vegetação densa, principalmente nas áreas centrais, enquanto houve um aumento na urbanização e na substituição de espaços naturais por infraestrutura urbana. Essas alterações destacam a necessidade de políticas públicas voltadas para a conservação e recuperação de áreas verdes, especialmente em ambientes urbanos, onde esses espaços desempenham um papel crucial na qualidade de vida da população.

O uso da Classificação Supervisionada (CS) demonstrou ser uma ferramenta eficiente para identificar e quantificar essas mudanças com maior precisão em comparação a metodologias convencionais, como as do MapBiomas. Isso reforça a importância de integrar técnicas de análise espacial mais detalhadas para subsidiar a gestão territorial e o planejamento urbano sustentável. O monitoramento contínuo da cobertura vegetal em áreas urbanas é essencial para mitigar os efeitos negativos da urbanização acelerada e promover um equilíbrio entre desenvolvimento e preservação ambiental.

Estudos adicionais com recortes mais específicos e metodologias complementares podem enriquecer a análise, incluindo avaliações sazonais e o uso de tecnologias mais avançadas, como imagens de alta resolução, além de uma análise sobre a distribuição e acesso da população às áreas verdes.

5 REFERÊNCIAS

- Araujo, C. M. A.; Ferreira, C. C. M. **Percentual de Áreas Verdes Públicas em Juiz de Fora: Parques, Praças e Canteiros**. Revista de Geografia-PPGEO-UFJF, v. 6, n. 1, 2016.
- Araújo, D. R.; da Silva, P. C. M.; Dias, N. D. S.; Lira, D. L. C. **Estudo da área de preservação permanente do rio Mossoró no sítio urbano de Mossoró-RN por meio de técnicas de geoprocessamento**. Revista Caatinga, 25(2), 177-183. 2012.
- Arruda, L. E. V.; de Souza Silveira, P. R.; Vale, H. S. M.; da Silva, P. C. M. **Índice de área verde e de cobertura vegetal no perímetro urbano central do município de Mossoró, RN**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 8(2), 43. 2013.
- Bargos, D.C. **Mapeamento e Análise das Áreas Verdes Urbanas como Indicador da Qualidade Ambiental Urbana: estudo de caso de Paulínia-SP**. 151 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2010.
- Bordim, M. H. S.; Longo, R. M.; Bordim, B. S. **Urban environmental sustainability: analysis of the influence of vegetation in environmental parameters**. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 11, n. 1, p. 1-23, 2022.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e nº 7.754, de 14 de abril de 1989; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 maio 2012. Seção 1, p. 1. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 24 jan. 2025.
- BRASIL. **Programa Cidades+Verdes**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/ptbr/assuntos/agendaambientalurbana/cidadesmaisverdes/ProgramaCidadesmaisVerdes.pdf/@download/file/ProgramaCidadesmaisVerdes.pdf>. Acesso em: 20 out. 2023.
- Callejas, I. J. A.; Durante, L. C.; de Oliveira, A. S.; Nogueira, M. C. D. J. A. **USO DO SOLO E TEMPERATURA SUPERFICIAL EM ÁREA URBANA** (relation between land use and land cover and superficial temperature in urban areas). Mercator, 10(23), 207-a.
- Chiesura, A. **The role of urban parks for the sustainable city**. Landscape and Urban Planning, v. 68, n. 1, p. 129-138, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.003>. Acesso em: 11 jan. 2025.
- Cognuck González, Sara; Numer, Emilia. **O que é governança climática? Um guia para entender a governança climática nacional e as negociações climáticas internacionais**. Panamá: Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), 2020.
- De Ávila, M. R.; Pancher, A. M. **Estudo das áreas verdes urbanas como indicador de qualidade ambiental no Município de Americana-sp**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 67, n. 3, p. 527-544, 2015.

De Lira Filho, J. A. **Paisagismo: princípios básicos**. Aprenda Fácil, Vol. 1, 2012.

Farid, N.; Moazzam, M. F. U.; Ahmad, S. R.; Coluzzi, R.; Lanfredi, M. **Monitoring the impact of rapid urbanization on land surface temperature and assessment of surface urban heat island using landsat in megacity (Lahore) of Pakistan**. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 897397. 2022.

Gallo, K. P.; Tarpley, J. D.; McNab, A. L.; Karl, T. R. **Assessment of urban heat islands: a satellite perspective**. *Atmospheric Research*, 37(1-3), 37-43. 1995.

Godoi, C. N.; De Deus, J. B. **A Urbanização do Brasil e as diferentes divisões territoriais do trabalho ao longo do tempo**. *Caminhos de Geografia*, v. 10, n. 30, p. 128-141, 2009.

Gonçalves, A.; Camargo, L. S.; Soares, P. F. **Influência ambiental de um fragmento arbóreo localizado numa área urbana na qualidade de vida dos seus moradores**. *Archives of Health Investigation*, 7(8), 3912. 2018.

Gonçalves, L. M.; da Silva Monteiro, P. H.; dos Santos, L. S.; Maia, N. J. C.; Rosal, L. F. **Arborização urbana: a importância do seu planejamento para qualidade de vida nas cidades**. *Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde*, 22(2), 128-136. 2018.

Gusso, A.; Fontana, D. C.; Gonçalves, G. A. **Mapeamento da temperatura da superfície terrestre com uso do sensor AVHRR/NOAA**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, p. 231-237, 2007.

ICLEI – **Governos Locais pela Sustentabilidade América do Sul**; Programa Cidades Sustentáveis. Guia de Ação Local pelo Clima. 2016.

Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística – Ibge. **Base De Faces De Logradouros Do Brasil**. Rio De Janeiro, 2020. Disponível: <https://Www.Ibge.Gov.Br/Geociencias/Organizacao-Do-Territorio/Malhas-Territoriais/15774-Malhas.Html?Edicao=30138&T=Sobre>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Áreas urbanizadas do Brasil: 2019**. Coordenação de Meio Ambiente. Rio de Janeiro, 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico de 2022, Primeiros Resultados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

Javid, K.; Nawaz Akram, M. A.; Pervaiz, S.; Siddiqui, R.; Mazhar, N. **Index-based Approach in Relation to Built-Up and LST Dynamics; A Study of Lahore, Pakistan**. *Int. J. Econ. Environ. Geol.* 12, 32–40. doi:10.46660/ijeeg.vol12.iss1.2021.559. 2021

Jim, C. Y.; Chen, W. Y. **Ecosystem services and valuation of urban forests in China.** *Cities*, v. 26, n. 4, p. 187-194, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2009.03.003>. Acesso em: 11 jan. 2025.

Júnior, L. R. P.; De Andrade, A. P.; Araújo, K. D. **Composição florística e fitossociologia de um fragmento de caatinga em Monteiro, Paraíba.** *Holos*, v. 6, p. 73-87, 2012.

Kimothi, S.; Thapliyal, A.; Gehlot, A.; Aledaily, A. N.; Bilandi, N.; Singh, R.; Akram, S. V. **Spatio-temporal fluctuations analysis of land surface temperature (LST) using Remote Sensing data (LANDSAT TM5/8) and multifractal technique to characterize the urban heat Islands (UHIs).** *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2023.

Koohsari, M. J.; Karakiewicz, J. A.; Kaczynski, A. T. **Public open space and walking: the role of proximity, perceptual qualities of the surrounding built environment, and street configuration.** *Environment and Behavior*, v. 45, n. 6, p. 706-736, 2013.

Lima, A. M. L. P.; Cavalheiro, F.; Nucci, J. C.; Sousa, M. D. L.; Fialho, N. D. O.; Picchia, P. C. D. **Problemas e utilização na conceituação de termos como espaços livres, áreas verdes e correlatos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 2, 1994. p.539-553. São Luís. Brasileira de Arborização Urbana, 1994.

Mathew, A.; Khandelwal, S.; Kaul, N. **Analysis of Diurnal Surface Temperature Variations for the Assessment of Surface Urban Heat Island Effect over Indian Cities.** *Energy Build.* 159, 271–295. doi:10.1016/j.enbuild.2017.10.062. 2018.

Mena, C.; Ormazábal, Y.; Morales, Y.; Santelices, R.; Gajardo, J. **Índices de área verde y cobertura vegetal para la ciudad de Parral (Chile), mediante fotointerpretación y SIG.** *Ciência Florestal*, 21(3), 521-531. 2011.

Ministério da Saúde. **Plano Nacional de Saúde 2020-2023**, Brasília/DF. Fevereiro de 2020.
 Mohammad, P.; Goswami, A.; Chauhan, S.; Nayak, S. **Machine Learning Algorithm Based Prediction of Land Use Land Cover and Land Surface Temperature Changes to Characterize the Surface Urban Heat Island Phenomena over Ahmedabad City, India.** *Urban Clim.* 42, 101116. doi:10.1016/j.uclim.2022.101116. 2022.

Moraes Goulart, F.; Gunther, H.; Vargas, J. C. B. **Antecedentes da arborização urbana à caminhabilidade: um estudo exploratório no Brasil.** *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 12(2), e23476-e23476. 2023.

Nascimento, D. T. F.; De Oliveira, I. J. **Análise da Evolução do Fenômeno de Ilhas de Calor no Município de Goiânia-GO (1986-2010).** *Boletim goiano de geografia*, v. 31, n. 2, p. 113-127, 2011.

Nascimento, M. C. D.; Brito, J. S.; Chaves, S. V. V. **Índice de área verde em parques ambientais da zona centro/norte de Teresina, Piauí.** *Revista da Academia de Ciências do Piauí*, v. 2, n. 2, 2021.

Nieuwenhuijsen, M. J.; Dadvand, P.; Márquez, S.; Bartoll, X.; Barboza, E. P.; Cirach, M.; Zijlema, W. L. **The evaluation of the 3-30-300 green space rule and mental health.** *Environmental research*, 215, 114387. 2022.

NOGUEIRA, A.; WANTUELFER, G. **Florestas Urbanas planejamento para melhoria da qualidade de vida**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2002.

Nucci, J. C. **Qualidade Ambiental e adensamento urbano**. Environmental quality and urban growth. São Paulo: Editora Fapesp. 2001.

Oliveira, C. H. **Planejamento ambiental na cidade de São Carlos com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes: diagnóstico e propostas**. 181f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais). Centro de Ciências Biológicas e Saúde. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP. 1996.

ONU-Habitat. **Relatorio anual 2022 da ONU-habitat brasil**. Disponível em: <https://relatorio-anual2022.netlify.app>. 2022. Acesso em 05 out. 2023.

Pancher, A. M.; De Ávila, M. R. **O uso de geotecnologias na determinação do percentual de áreas verdes urbanas no município de Americana-SP**. Revista Geonorte, v. 3, n. 5, p. 1662–1673-1662–1673, 2012.

PROJETO MAPBIOMAS – Coleção 9. **Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. Acesso em: 12 de out. 2024, através do link: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/#>

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Versão 3.28.10 'Firenze'. 2022. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 15 mai. 2022.

Rao, P. K. **Remote Sensing of Urban" Heat Islands" from an Environmental Satellite**. Bull. Am. meteorological Soc. 53, 647–648. 1972.

RIO GRANDE DO NORTE. **Decreto nº 14.338, de 25 de fevereiro de 1999**. Aprova o Regulamento do Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente - IDEMA. *Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte*, Natal, 26 fev. 1999.

RIO GRANDE DO NORTE. **Lei nº 7.871, de 20 de julho de 2000**. Dispõe sobre o Zoneamento Ecológico-Econômico do Litoral Oriental do Rio Grande do Norte e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte*, Natal, 21 jul. 2000.

Romero, C. W. D. S.; Silva, H. R.; Marques, A. P.; Macedo, F. L. D.; Faria, G. A.; Alves, M. C. **Relação entre as ilhas de calor e uso e ocupação do solo em centros urbanos de pequeno porte utilizando o sensoriamento remoto**. Geosciences= Geociências, v. 39, n. 1, p. 253-268, 2020.

SALVADOR. Prefeitura Municipal. **Áreas Verdes e espaços abertos**. Salvador: OCEPLAN; PLANDURB, 211 p. 1978.

Santos, G.; Nucci, J. **Índice de Cobertura Vegetal e Índice Visual de Verde: indicadores de qualidade ambiental urbana**. GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território, n. 17, p. 229, 2019.

SCP - Semi-Automatic Classification. Versão 7.10.11 'Matera'. [Software]. Disponível em: <https://download.exelisvis.com/SCP>. Acesso em: 26 jan. 2025.

SEADRU – Secretaria Municipal de Agricultura e Desenvolvimento Rural (SEADRU). **Censo Rural de Mossoró.** Prefeitura Municipal de Mossoró, 2021. Disponível em: <https://prefeiturademossoro.com.br/noticias/censo-rural-de-mossoro-ja-atingiu-mais-de-4-mil-familias-em-47-comunidades/6762> Acessado em: 25 out. 2023.

Silva Beserra, F. R.; Pereira Júnior, E. A. **Diferenciação espacial na escala intraurbana: análise dos impactos da indústria da construção civil na cidade de Mossoró.** Geografares, n. 30, 2020.

Silva, A. A.; Da Silva Costa, D. F.; Grigio, A. M.; De Medeiros Rocha, R. **Análise da paisagem aplicada à caracterização e planejamento ambiental da mata ciliar no trecho urbano do Rio Apodi-Mossoró (Mossoró/RN-Brasil).** Boletim Gaúcho de Geografia, 42(1). 2015.

Silva, A. D. P.; Dos Santos, A. F.; De Oliveira, L. M. **Índices de área verde e cobertura vegetal das praças públicas da cidade de Gurupi, TO.** Floresta, Curitiba, PR, v. 46, n. 3, p. 353-361, 2016.

Silva, M. S.; Amorim, M. C. C. T. **O Percentual de Área Verde como indicador de sustentabilidade urbana: uma análise aplicada.** Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, v. 19, n. 2, p. 234-252, 2017.

Sousa, A. M. **Levantamento E Preservação de Espécies Nativas da Caatinga-Bacia Hidrográfica do Apodí-Mossoró.** In: XIII Encontro de Pesquisa e Extensão da UERN – ENCOPE, 2006.

Teixeira, A. M.; Oliveira, S. M. **Planejamento urbano sustentável: o papel das áreas verdes e do PAV.** Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 4, n. 1, p. 89-104, 2015.

USGS. United States Geological Survey. **Landsat 8.** Sensor OLI. Canal 10. Órbita 216 ponto 63. De 06 de junho de 2018. 2018. Disponível em <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 03 jan. 2024.

WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE. **Urban Green Spaces and Health. A Review of Evidence.** World Heal Organ, v. 1, p. 92, 2016.

Wolf, K. L.; Lam, S. T.; McKeen, J. K.; Richardson, G. R.; van Den Bosch, M.; Bardekjian, A. C. **Urban trees and human health: A scoping review.** International journal of environmental research and public health, 17(12), 4371. 2020.

Xu, X.; Pei, H.; Wang, C.; Xu, Q.; Xie, H.; Jin, Y.; Xiao, C. **Long-term analysis of the urban heat island effect using multisource Landsat images considering inter-class differences in land surface temperature products.** Science of the Total Environment, 858, 159777. 2023.

Yakinlar, N.; Akpinar, A. **How perceived sensory dimensions of urban green spaces are associated with adults' perceived restoration, stress, and mental health?**. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 72, p. 127572, 2022.