

+



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI – URCA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - DCBIO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIVERSIDADE BIOLÓGICA E RECURSOS
NATURAIS - PPGDR

MARIA GIRLENE DOS SANTOS QUEIROZ

ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DA ARBORIZAÇÃO URBANA DE CINCO
MUNICÍPIOS DO SUL DO CEARÁ

CRATO - CEARÁ
2025

MARIA GIRLENE DOS SANTOS QUEIROZ

**ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DA ARBORIZAÇÃO URBANA DE CINCO
MUNICÍPIOS DO SUL DO CEARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Diversidade Biológica e Recursos Naturais – PPGDR, da
Universidade Regional do Cariri – URCA, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Mestra em Diversidade
Biológica e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Marivando Barros

CRATO - CEARÁ
2025

Ficha Catalográfica elaborada pelo autor através do sistema
de geração automático da Biblioteca Central da Universidade Regional do Cariri - URCA

Queiroz, Maria Girlene Dos Santos

Q3a ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DA ARBORIZAÇÃO URBANA DE CINCO MUNICÍPIOS DO SUL DO CEARÁ. / Maria Girlene Dos Santos Queiroz. CRATO - CE, 2025.

78p. il.

Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Recursos Naturais da Universidade Regional do Cariri - URCA.

Orientador(a): Prof. Dr. Luiz Marivando Barros

Coorientador(a): Prof. Dr. João Tavares Calixto Júnior

1.Geoprocessamento, 2.Silvicultura urbana, 3.Diversidade arbórea; I.Título.

CDD: 577

Eu, Maria Girlene dos Santos Queiroz, autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica elaborada pelo autor através do sistema de geração automático da Biblioteca Central da Universidade Regional do Cariri - URCA

MARIA GIRLENE DOS SANTOS QUEIROZ

ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DA ARBORIZAÇÃO URBANA DE CINCO MUNICÍPIOS DO SUL DO CEARÁ. Dissertação do Mestrado em Diversidade Biológica e Recursos Naturais apresentada à Universidade Regional do Cariri – URCA, para obtenção do título de Mestra em Diversidade Biológica e Recursos Naturais.

Aprovada em: 29/07/2025

BANCA EXAMINADORA:

Dr. Luiz Marivando Barros

(Orientador)

Universidade Regional do Cariri - URCA

Dr. José Vinícius Leite Lima

(Membro Externo)

Universidade Regional do Cariri - URCA

Dr. Antônio Álamo Feitosa Saraiva

(Membro Interno)

Universidade Regional do Cariri – URCA

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

Aos meus filhos Tarsila e Túlio, por todo o apoio, incentivo e encorajamento para que eu pudesse prosseguir.

A meu esposo João por todo o acompanhamento e compreensão durante a realização do curso.

A meu orientador Luiz Marivando Barros, por toda a ajuda, desde a proposição da pesquisa, até as correções finais deste trabalho.

À Secretária do PPGDR, Aninha, pela ajuda no decorrer desses dois anos de mestrado.

Aos meus colegas de curso, Leonardo, Maria Fernanda, Brenda e outros, pela ótima companhia e aprendizados compartilhados.

Aos professores do PPGDR, por tantos conhecimentos adquiridos.

A

Odete Santos Queiroz, minha mãe tão amada,
que infelizmente nos deixou enquanto eu estava
na fase de escrita dessa dissertação e meu pai querido,

Benedito Gomes de Queiroz (*in memoriam*)

Dedico

Se você sonha, ou pensa que pode, comece.
Toda caminhada começa com o primeiro passo.
Sabe o que é impossível?
Aquilo que ninguém fez, até que alguém o faça.
(Goethe)

Resumo

A arborização urbana é considerada um dos componentes bióticos mais importantes das cidades, proporcionando-as múltiplos benefícios ambientais, sociais e econômicos, além de beleza paisagística, constituindo-se fator determinante da salubridade ambiental por ter influência direta sobre o bem-estar do homem e sua qualidade de vida. Métodos adequados de sua amostragem e o reconhecimento de sua diversidade e estrutura são fundamentais para execução de políticas ambientais nos municípios, visando monitoramento eficaz da flora arbórea urbana. O presente estudo objetivou analisar a arborização urbana em municípios do sul do Ceará, utilizando ferramentas de geotecnologia para estimar a abundância e caracterizar a estrutura e composição florística das árvores em vias públicas, com o intuito de subsidiar políticas públicas e estratégias de manejo voltadas à sustentabilidade urbana no semiárido nordestino. Entre dezembro de 2023 e fevereiro de 2025, foram amostradas 60 vias urbanas em cinco municípios do Ceará, a partir de imagens do Google Earth Pro. As áreas amostrais (quatro quadrantes de 12 ha por município) tiveram três vias selecionadas cada. O comprimento das vias e o número de árvores foram estimados por imagem e validados *in loco*, considerando indivíduos com DAP ≥ 5 cm e altura ≥ 2 m. Foram aplicadas análises fitossociológicas, regressão, ANOVA, teste de Tukey ($p < 0,01$), índice de Jaccard e UPGMA. O RStudio foi usado para diagramas de Venn e análise de espécies exclusivas e compartilhadas. Nos cinco municípios, Fabaceae se apresenta como a família mais representativa em número de espécies (17), mas é a terceira em número de indivíduos, com Meliaceae (980) e Moraceae (480) se destacando pela alta abundância da exótica invasora *Azadiractha indica* e de espécies exóticas do gênero *Ficus*. O município de Crato apresentou maior riqueza (55 ssp.) e maior número de espécies exclusivas pelo Diagrama de Venn (17) e todos os municípios apresentaram número de indivíduos acima de 85% de exóticas. O número de indivíduos arbóreos/km apontou que dois municípios (Araripe: 21,62 ind.km⁻¹ e Assaré: 20,14 ind.km⁻¹) apresentam valores pouco acima do considerado crítico e que novas medidas de implementação de árvores são necessárias. A similaridade florística indicou coesão entre os cinco municípios do Cariri, com Lavras da Mangabeira e Araripe mostrando maior afinidade ($J' = 0,559$). A maioria das árvores apresentou DAP entre 10,1–24 cm, com destaque para o Crato. Quanto à altura, 62% dos indivíduos mediram entre 2 e 6 m, refletindo uma arborização jovem ou em crescimento. O uso do software mostrou-se eficiente para estimar o número de árvores com amostragem reduzida, sugerindo aplicação em políticas de manejo. Os resultados reforçam a necessidade de diversificar a flora urbana com foco em espécies nativas e manejo adaptado às condições locais.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Silvicultura urbana; Diversidade arbórea.

ABSTRACT

Urban forestry is considered one of the most important biotic components of cities, providing multiple environmental, social, and economic benefits, as well as landscape beauty. It is a determining factor for environmental health due to its direct influence on human well-being and quality of life. Appropriate sampling methods and the recognition of its diversity and structure are essential for implementing environmental policies in municipalities, aiming for effective monitoring of urban tree flora. This study aimed to analyze urban forestry in municipalities in southern Ceará, using geotechnology tools to estimate abundance and characterize the structure and floristic composition of street trees, with the purpose of supporting public policies and management strategies focused on urban sustainability in the northeastern semi-arid region. Between December 2023 and February 2025, 60 urban streets across five municipalities in Ceará were sampled using Google Earth Pro images. Sampling areas consisted of four 12-hectare quadrants per municipality, with three streets selected in each. Street lengths and the number of trees were estimated via imagery and validated on-site, considering individuals with a diameter at breast height (DBH) ≥ 5 cm and height ≥ 2 m. Phytosociological analyses, regression, ANOVA, Tukey's test ($p < 0.01$), Jaccard index, and UPGMA clustering were applied. RStudio was used to create Venn diagrams and analyze exclusive and shared species. Across the five municipalities, Fabaceae was the most representative family in species number (17 species) but ranked third in individual abundance, with Meliaceae (980 individuals) and Moraceae (480 individuals) standing out due to the high abundance of the exotic invasive *Azadirachta indica* and exotic species of the genus *Ficus*. The municipality of Crato showed the greatest species richness (55 spp.) and the highest number of exclusive species according to the Venn diagram (17), while all municipalities exhibited over 85% of individuals as exotic species. The number of trees per km indicated that two municipalities (Araripe: 21.62 ind./km and Assaré: 20.14 ind./km) have values slightly above the critical threshold, signaling the need for new tree planting initiatives. Floristic similarity indicated cohesion among the five Cariri municipalities, with Lavras da Mangabeira and Araripe showing the closest affinity ($J' = 0.559$). Most trees had a DBH between 10.1 and 24 cm, especially in Crato. Regarding height, 62% of individuals measured between 2 and 6 meters, reflecting a young or growing urban forest. The use of software proved efficient for estimating tree numbers with reduced sampling effort, suggesting its application in management policies. The results emphasize the need to diversify urban flora with a focus on native species and management adapted to local conditions.

Keywords: Geoprocessing; Urban Silviculture; Tree Diversity.

Sumário

INTRODUÇÃO	14
METODOLOGIA	16
Artigo I - Geotecnologia de acesso livre para estimativa de abundância arbórea por amostragem de quadrantes: um modelo para gestão da arborização urbana no nordeste brasileiro	17
Artigo II - A flora arbórea urbana reflete a diversidade florística da vegetação adjacente? Um estudo da estrutura e similaridade da arborização no Ceará.....	20
REFERÊNCIAS	22
RESULTADOS E DISCUSSÃO	244
Artigo I: Geotecnologia de acesso livre para estimativa de abundância arbórea por amostragem de quadrantes: um modelo para gestão da arborização urbana no nordeste brasileiro	244
Artigo II: A flora arbórea urbana reflete a diversidade florística da vegetação adjacente? Um estudo da estrutura e similaridade da arborização no Ceara, Brasil	54
CONCLUSÃO GERAL.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica dos cinco municípios que compreendem a área de estudo no sul do Estado do Ceará, nordeste do Brasil.....17

Artigo I: Geotecnologia de acesso livre para estimativa de abundância arbórea por amostragem de quadrantes: um modelo para gestão da arborização urbana no nordeste brasileiroErro! Indicador não definido.4

Figura 1. Localização geográfica dos cinco municípios que compreendem a área de estudo no sul do Estado do Ceará, nordeste do Brasil.....29

Figura 2. Layout dos componentes essenciais para a visualização de imagens de satélite em vias públicas de cinco municípios do sul do Estado do Ceará, nordeste do Brasil, com identificação dos quadrantes (Q1-Q4). Linhas transversais dividem a zona urbana e polígonos delimitam as áreas amostrais em diferentes cores nas imagens. Onde: A – Araripe; B – Assaré; C – Crato; D – Lavras da Mangabeira e E – Milagres.....30

Figura 3. Aspecto da arborização das vias amostradas nos quadrantes selecionados de forma aleatória no levantamento in loco.....35

Figura 4. Diagrama de Venn apresentando a composição e distribuição de espécies arbóreas exclusivas e compartilhadas entre cinco municípios do sul do Ceará, Nordeste do Brasil.....41

Figura 5. Análise comparativa entre a quantidade de árvores observadas e amostradas em cinco municípios no sul do Ceará, Nordeste do Brasil.....42

Capítulo II: A flora arbórea urbana reflete a diversidade florística da vegetação adjacente? Um estudo da estrutura e similaridade da arborização no Ceara, Brasil54

Figura 1. Localização geográfica dos cinco municípios (Araripe, Assaré, Crato, Milagres, Lavras da Mangabeira) estudados no sul do Ceará, nordeste brasileiro.....57

Figura 2. Dendrograma gerado pelo índice de similaridade de Jaccard entre 13 estudos em vias urbanas no Nordeste do Brasil. A - Araripe - CE; B - Assaré - CE; C - Crato - CE; D - Lavras da Mangabeira - CE; E - Milagres - CE; F - Aurora - CE; G - Brejo Santo - CE; H - Tauá - CE; I - Santana do Ipanema - AL; J - Campina Grande - PB; K - Pombal - PB; L - Picos - PI; M - Balsas - MA; N - Valença - BA.....62

Figura 3. Distribuição do número de indivíduos arbóreos por classes diamétricas nos cinco municípios estudados localizados na região do Cariri cearense.....66

Figura 4. Distribuição do número de indivíduos arbóreos por classes de altura nos cinco municípios estudados localizados na região do Cariri cearense.....69

LISTA DE TABELAS

Capítulo I: Geotecnologia de acesso livre para estimativa de abundância arbórea por amostragem de quadrantes: um modelo para gestão da arborização urbana no nordeste brasileiro

Tabela 1. Dados referentes a área amostral (Quadrantes – Q1 a Q4) e comprimentos de vias públicas observados por imagem via satélite em cinco município do sul do Estado do Ceará, nordeste do Brasil...31

Tabela 2 – Quantitativo de árvores observadas e amostradas por imagem de satélite em quatro quadrantes (Q1–Q4) nos cinco municípios do sul do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. Número total de árvores identificadas nas imagens (observadas), o número de árvores efetivamente amostradas na área selecionada (amostradas), o comprimento total das vias públicas analisadas (CVP, em metros), e a porcentagem da área urbana do município coberta pela amostragem (AAM%).....33

Tabela 3 – Estimativa da quantidade de árvores (AEM) e medição total das vias públicas (MVP) nos cinco municípios da região sul do Ceará, Nordeste do Brasil.....34

Tabela 4 – Comparação entre o número de árvores observadas em campo, estimadas via geoprocessamento, o índice de correção (razão entre os indivíduos observados e estimados) e a estimativa final (árvores estimadas × índice de correção) do número de árvores para os cinco municípios estudados na região sul do Ceará, Nordeste do Brasil.....35

Tabela 5. Lista de espécies observadas no levantamento *in loco* em cinco municípios do sul do Estado do Ceará, nordeste do Brasil. Em que: Ar – Araripe, As – Assaré, Cr – Crato, Lv – Lavras da Mangabeira e Mi – Milagres. Categorias de conservação: LC – menos preocupante; NE – não avaliada; NT – quase ameaçada e VU – vulnerável. Origem: N – nativa; E – exótica e EI – exótica invasora.....36

Tabela 6 – Resultados estatísticos da comparação entre a quantidade de árvores estimadas e observadas em campo em cinco municípios do sul do Ceará, nordeste do Brasil.....41

Capítulo II: A flora arbórea urbana reflete a diversidade florística da vegetação adjacente? Um estudo da estrutura e similaridade da arborização no Ceara, Brasil

Tabela 1. Características físicas e demográficas dos cinco municípios analisados no sul do Ceará.....57

Tabela 2. As 15 espécies de maiores IDF dos cinco municípios estudados, Brasil. Onde: IDF = índice de densidade e frequência (%); Ar = Araripe; As = Assaré; Cr = Crato; Lv = Lavras da Mangabeira; Mi = Milagres.....60

Tabela 3. Similaridade da matriz Jaccard para os cinco municípios analisados e os nove estudos comparativos no nordeste do Brasil. A - Araripe - CE; B - Assaré - CE; C - Crato - CE; D - Lavras da Mangabeira - CE; E - Milagres - CE; F - Aurora - CE; G - Brejo Santo - CE; H - Tauá - CE; I - Santana do Ipanema - AL; J - Campina Grande - PB; K - Pombal - PB; L - Picos - PI; M - Balsas - MA; N - Valença - BA.....63

Tabela 4. Características ambientais dos cinco municípios do Cariri cearense estudados e de outros municípios do Nordeste brasileiro.....63

Tabela 5. Síntese dos perfis estruturais da arborização urbana nos municípios do Cariri Cearense.....71

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

AB – Abundância
AEM – Número de árvores estimadas
AQA – Área dos quadrantes amostrados
Ar – Araripe
As – Assaré
AT – Área total urbana
ATQ – Árvores amostradas em todos os quadrantes
Cr - Crato
CVP – Comprimento das vias públicas amostradas
DAP – Diâmetro a altura do peito
DD – Dados insuficientes
E – Exótica
GEE – Gases de efeito estufa
HCDAL - Herbário Caririense Dárdano de Andrade Lima
IVI – Índice de valor de importância
LC – Pouco preocupante
LECOV – Laboratório de Ecofisiologia Vegetal
LEFLORE – Laboratório de Estudos da Flora Regional do Cariri
LV – Lavras da Mangabeira.
MI – Milagres
MVP – Medição do total das vias públicas
N – Nativa
NE – Não avaliado
NT – Quase ameaçado
RMC – Região Metropolitana do Cariri
URCA – Universidade Regional do Cariri
VU – Vulnerável

INTRODUÇÃO

A arborização urbana é um dos componentes bióticos mais importantes das cidades, pois proporciona diversos benefícios para o meio ambiente e para a população, além de beleza paisagística das cidades (Sopchaki, 2010; Lima; Araújo, Amaro, 2020). É um fator determinante da salubridade ambiental, por ter influência direta sobre o bem-estar do ser humano, a arborização colabora para o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, conforme assegurado pelo artigo 225 presente na Constituição Brasileira (Brasil, 1988).

O plantio de árvores em vias urbanas é uma estratégia amplamente adotada para mitigar os impactos das mudanças climáticas, funcionando como infraestrutura viva que oferece múltiplos benefícios ambientais e sociais (Zhang; Brack, 2021). Com o agravamento da crise climática e o aumento das populações urbanas, a arborização ganha destaque na pesquisa e em políticas públicas, sendo considerada essencial para a sustentabilidade das cidades (Eisenman *et al.*, 2024; Powning *et al.*, 2024), por proporcionar benefícios como a filtração de poluentes, a mitigação do efeito de ilha de calor e a redução das emissões de gases de efeito estufa (Maleknia; Salehi, 2024; Ardoin; Bowers, 2025).

Devido a sua importância, a gestão deve receber atenção constante de formuladores de políticas e da sociedade, consolidando-se como uma solução baseada na natureza para os desafios urbanos contemporâneos (Lafortezza *et al.*, 2018; Day *et al.*, 2022). A preocupação mundial com as mudanças climáticas tem aumentado significativamente, impulsionada principalmente pelo aumento nas emissões de dióxido de carbono (CO₂) e de outros gases de efeito estufa (GEE), resultantes da decomposição da matéria orgânica e, sobretudo, de processos de combustão (Gayathri *et al.*, 2021). No Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022) é relatado que globalmente, as emissões de GEE aumentaram ao longo da última década, atingindo 59 gigatoneladas de CO₂ equivalente (GtCO₂e) em 2019, cerca de 12% a mais do que em 2010 e 54% a mais que em 1990.

Apresentado em junho, o PL 3.113/2023, de autoria do senador Efraim Filho (União/PB), institui a Política Nacional de Arborização Urbana (Pnau), que tem como objetivo manter e até expandir as áreas verdes em espaços urbanos a partir da formulação de planos estaduais e municipais para municípios de mais de 20 mil

habitantes. São escassos os trabalhos relacionados à arborização urbana de municípios do Ceará, entretanto, alguns se relacionam apenas a variáveis quantitativas sendo poucas as informações sobre características qualitativas da arborização de ruas, praças e áreas verdes urbanas. Porém, antes de realizar um plano de arborização é necessário fazer um levantamento sobre a quantidade de árvores nas vias públicas de uma cidade para analisar a viabilidade de implantação do projeto.

Nesse contexto, o uso de geotecnologias tem se consolidado como uma ferramenta essencial para a coleta e análise de dados em áreas urbanas. Segundo Lima (2011), o avanço tecnológico tem ampliado a oferta de imagens de alta resolução espacial gratuitas, além do desenvolvimento de softwares livres. Com isso, o planejamento ambiental passou a ser cada vez mais executado por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permitem simular a realidade do espaço geográfico, integrar informações espaciais e gerar mapas por meio do geoprocessamento (Castro, 2016). O SIG também se mostra indispensável para levantar dados sobre a distribuição espacial das árvores nas cidades, além de informações sobre a composição das espécies, fitossanidade e demais condições (Pauleit; Duhme, 2000; Augusto; Rodrigues; Bovério, 2020).

Assim, com o objetivo de subsidiar estratégias adequadas para a implementação da arborização urbana, este estudo utiliza ferramentas de Geotecnologia (Google Earth Pro) para estimar a abundância de indivíduos arbóreos em cinco municípios do sul do Ceará, assim como a análise das suas características qualitativas, o que poderá subsidiar tomada de decisões por políticas públicas voltadas à arborização urbana no Nordeste Brasileiro.

O primeiro capítulo, intitulado "Geotecnologia de acesso livre para estimativa de abundância arbórea por amostragem de quadrantes: um modelo para gestão da arborização urbana no nordeste brasileiro", buscou responder: É possível estimar o número total de árvores em diferentes municípios amostrando aleatoriamente apenas 12 vias públicas com imagens de satélite? Essa estimativa é eficaz (semelhança estatística) quando se compara aos resultados *in loco*? O número de árvores/(km) nas vias urbanas dos municípios é considerado satisfatório? Qual a proporção de espécies de plantas exóticas nas áreas urbanas selecionadas? A metodologia pode ser sugerida para uso no monitoramento pelos municípios com o advento da nova Política Nacional de Arborização Urbana? Diante desse cenário, este estudo analisou o papel da arborização viária no interior do Estado do Ceará como elemento para a mitigação das mudanças

climáticas, destacando-se a importância dessas áreas arborizadas e explorando como elas contribuem para o bem-estar dos ecossistemas urbanos através do seu planejamento atual e futuro.

O segundo capítulo, tem como objetivo analisar a estrutura da arborização urbana em municípios do estado do Ceará, avaliando se: (i) a similaridade florística entre os municípios do Cariri é elevada e está mais relacionada a fatores antrópicos, tais como a escolha das espécies para plantio e as práticas de manejo urbano, do que a variáveis ambientais locais, como altitude, pluviosidade e temperatura; e (ii) a arborização urbana desses municípios é composta predominantemente por indivíduos arbóreos em estágios iniciais a intermediários de desenvolvimento, refletindo processos recentes de plantio e renovação da vegetação arbórea nas áreas urbanas.

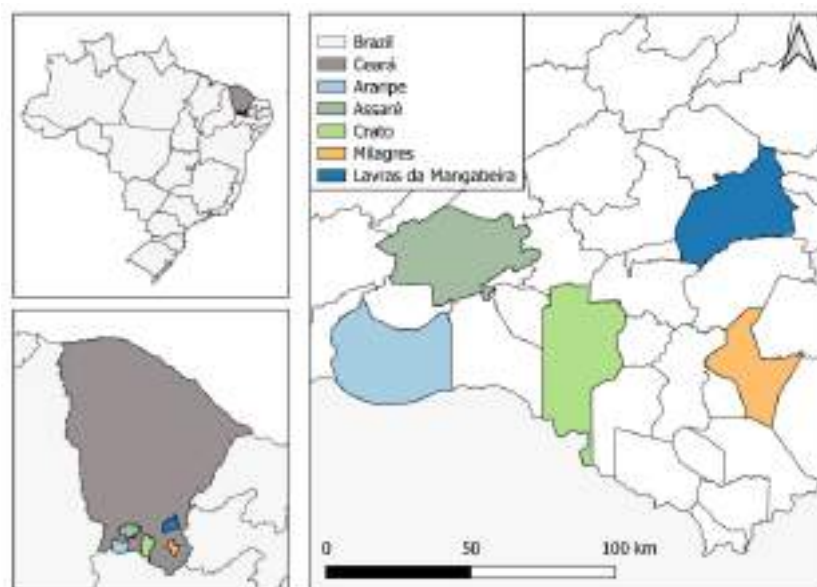
METODOLOGIA

Área de Estudo

O estudo foi conduzido em cinco municípios localizados no sul do Estado do Ceará (Araripe, Assaré, Crato, Lavras da Mangabeira e Milagres), no Nordeste do Brasil. Esses municípios integram a região do Cariri e estão situados nas proximidades da Região Metropolitana do Cariri (RMC), um importante polo urbano e econômico do semiárido brasileiro. Juntos, somam uma população total de 229.232 habitantes (IBGE, 2022), sendo o Crato o mais populoso (131.050 habitantes) e Araripe o de menor população (19.783). A área total corresponde a 4.914,97 km², sendo Assaré o município de maior extensão territorial (1.155,12 km²) e Milagres o de menor (579,09 km²). A área total urbanizada é de 45,23 km², sendo o Crato aquele com a maior extensão urbanizada (32,21 km²) (IBGE, 2022).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região do Cariri é caracterizado como BSh (Alvares *et al.*, 2014), apresentando características de clima tropical quente, com a estação chuvosa de janeiro a abril e a estação seca de maio a dezembro, com precipitação média anual entre os municípios variando de 800 a 1000 mm, com média de 910,2 mm (IPECE, 2017). As coordenadas dos municípios que compreendem a área de estudo são as seguintes: Araripe: 7°12'06,43"S 40°01'55,13"W e 605m Alt.; Assaré: 6°52'26,27"S 39°52'30,19"W e 470m Alt.; Crato: 7°13'46,87"S 39°24'32,28"W e 426m Alt.; Lavras da Mangabeira: 6°45'10,57"S 38°58'19,28"W e 239m Alt. e Milagres: 7°18'46,09"S 38°56'45,41"W e 334m Alt. (Figura 1).

Figura 2. Localização geográfica dos cinco municípios que compreendem a área de estudo no sul do Estado do Ceará, nordeste do Brasil.



Fonte: o autor

Artigo I - Geotecnologia de acesso livre para estimativa de abundância arbórea por amostragem de quadrantes: um modelo para gestão da arborização urbana no nordeste brasileiro

Coleta de Dados Via Geoprocessamento

Inicialmente, imagens via satélite foram analisadas por meio do software de livre acesso *Google Earth Pro* versão 7.3.6.10201 (2025). Em cada núcleo urbano foram delimitados os quadrantes a partir de duas linhas traçadas de forma imaginária, com a intersecção na área central, formando-se com isto, um ângulo de 90°. Na sequência foi demarcado o contorno da área amostral de quatro quadrantes (Q1, Q2, Q3 e Q4) por meio da ferramenta “polígono”, de forma aleatória, mas de tal maneira que englobasse 12 ha de área amostral em cada quadrante. Essa ferramenta determinou o perímetro e a área de cada quadrante, objeto de avaliação. Logo após foram selecionadas três ruas em cada área amostral por meio da ferramenta “caminho”, que também possibilita mensurar o comprimento de cada via identificada nos quadrantes, assim como o número de árvores identificadas durante a contagem por meio da observação visual da imagem.

Após a verificação do comprimento de cada percurso da via pública foram definidos os comprimentos totais dos percursos em cada quadrante, assim como o

número de árvores total de cada quadrante. Foi definido também o somatório de todos os comprimentos de cada percurso em cada quadrante, por meio da ferramenta “régua”, que possibilita a mensuração do comprimento de cada via. Com isto, foi possível a indicação da extensão de todas as vias urbanas de cada município.

O comprimento total de calçada (passeio público) assim como o comprimento de calçada amostrada pode ser observado como o resultado da duplicidade do comprimento total das vias públicas de cada município, conforme estabelecido por Iwama (2014), por se considerar os dois lados da calçada. Com isto foi possível estipular a taxa de árvores/km, resultado da razão entre o comprimento total das calçadas (km) pelo número total de árvores em cada município. O número de árvores amostradas pela distância (m) é resultado da razão entre árvores amostradas pelo comprimento de calçadas (passeio público) amostradas.

Para o cálculo da quantidade de árvores estimadas no município (AEM) foram utilizados os dados do somatório de todos dos comprimentos das vias públicas (CVP), somatório das áreas dos quadrantes amostrados (AQA), somatório de árvores amostradas em todos os quadrantes (ATQ) e a área total urbana (AT), somando a área total urbana de cada quadrante, é possível obter a medição total das vias públicas (MVP):

$$MVP = \frac{CVP \times AT}{AQA}$$

Com isto é possível estimar a quantidade de árvores estimadas em cada município (AEM) analisado, através da seguinte equação:

$$AEM = \frac{MVP \times ATQ}{CVP}$$

Para averiguar a precisão dos dados estimados do número de árvores e dos dados dos comprimentos de todas as vias urbanas (de cada lado do passeio público) para cada município foi realizado o somatório do número de unidades arbóreas observadas e das unidades arbóreas estimadas e através da razão entre o número de árvores observadas/estimadas, obteve-se um índice de correção, utilizado como indicativo do número aproximado de árvores em cada município, ao ser multiplicado pelo resultado da quantidade de árvores estimadas.

Levantamento da Flora Arbórea Urbana *in loco*

Para comparar as informações obtidas pela coleta de dados via geoprocessamento foi realizado levantamento *in loco* do número de árvores das vias amostradas (AVA), entre dezembro de 2023 e fevereiro de 2025 nos cinco municípios estudados. Como critério de inclusão foram inventariados todos os indivíduos arbóreos com o DAP (Diâmetro a altura do peito) igual ou superior a 5 cm e altura igual ou superior a 2m que estivessem nas vias selecionadas por satélite. A altura das árvores foi determinada pelo uso de hipsômetro Laser Lcd Pf3S e o DAP foi observado com o auxílio de suta dendrométrica milimetrada.

A identificação das espécies foi realizada por meio de comparação com material depositado no Herbário Caririense Dárdano de Andrade Lima – HCDAL da Universidade Regional do Cariri - URCA, assim como por meio de consultas a bibliotecas especializadas e especialistas. As espécies foram classificadas de acordo com o sistema de classificação taxonômica do Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV, 2016) e a grafia e autoria de binômios e sinonímias específicas foram confirmadas de acordo com o banco de dados "Flora e Funga do Brasil" (Flora e Funga, 2024). Quanto à origem fitogeográfica foram consideradas espécies nativas aquelas originárias de formações vegetais brasileiras, enquanto espécies exóticas englobaram espécimes originários de outros países, incluindo os naturalizados e cultivados. Essa classificação segue os critérios adotados pelo banco de dados "Flora e Funga do Brasil" (Flora e Funga, 2024), juntamente com informações sobre endemismo.

Análise Estatística

Para avaliar as variações significativas dos dados, utilizou-se um modelo de regressão não linear para as curvas e análise de variância (ANOVA). Foram considerados os quadrantes como blocos (4) e as vias públicas de cada quadrante, consideradas como tratamentos (V1, V2, V3 e V4). Empregou-se o teste de Tukey para examinar o impacto de cada variável no número de árvores em cada tratamento (vias), considerando que quando $p < 0,01$, as correlações são significativas. Não foi estabelecido um tamanho uniforme das unidades amostrais em cada quadrante, já que há diferenças de tamanho nas áreas urbanas dos municípios, mas foi garantido um número igualitário

de vias públicas amostradas, assim como a casualidade na escolha da área amostral e das vias públicas.

O software RStudio foi utilizado como ambiente para realizar operações de análise de dados (Diagrama de Venn), utilizando funções específicas para manipulação de conjuntos, geração de combinações e cálculos de interseções referentes às espécies e indivíduos observados no levantamento *in loco*. As operações de conjunto e as funções do R permitiram identificar de maneira eficiente as espécies exclusivas e compartilhadas entre municípios, resultando em uma visão detalhada da distribuição das espécies.

Artigo II - A flora arbórea urbana reflete a diversidade florística da vegetação adjacente? Um estudo da estrutura e similaridade da arborização no Ceará.

Coleta e análises de dados

A coleta de dados foi conduzida entre dezembro de 2023 e fevereiro de 2025, em trechos de avenidas urbanas nos cinco municípios selecionados. Inicialmente, as áreas amostrais foram identificadas e delimitadas por meio da análise de imagens de satélite, utilizando-se o software Google Earth Pro (versão 7.3.6.10201, 2025) e a plataforma Google Maps. Em cada núcleo urbano, foram estabelecidos quatro quadrantes virtuais, centrados na área urbana principal, com área individual de 12 hectares. Em seguida, três vias foram selecionadas aleatoriamente em cada quadrante para a realização do inventário arbóreo em campo, totalizando 60 vias amostradas.

A contagem e mensuração dos indivíduos arbóreos foram realizadas presencialmente, considerando todos os exemplares localizados nas vias selecionadas que apresentavam diâmetro à altura do peito (DAP) igual ou superior a 5 cm e altura mínima de 2 metros. A estimativa da altura foi realizada com o auxílio de um hipsômetro a laser (LCD PF3S), enquanto o DAP foi mensurado com uma suta dendrométrica graduada em milímetros. Após essa etapa, foram elaborados gráficos da estrutura hipsométrica e diamétrica, organizados em seis e sete classes, respectivamente, com o objetivo de analisar aspectos qualitativos da arborização urbana.

As diferenças nos atributos estruturais (altura e DAP) entre os municípios foram avaliadas por meio de modelo de regressão não linear e análise de variância (ANOVA). Para identificação de diferenças significativas entre os grupos, aplicou-se o

teste de Tukey, com nível de significância de $p < 0,01$. As análises foram utilizadas para compreender as variações da arborização urbana entre os diferentes contextos geográficos e urbanos.

A identificação das espécies foi realizada por meio da comparação com exemplares depositados no Herbário Caririense Dárdano de Andrade Lima (HCDAL), da Universidade Regional do Cariri (URCA), além de consultas a bibliotecas especializadas e à orientação de especialistas. A classificação taxonômica seguiu o sistema do Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV, 2016), enquanto a grafia, autoria dos binômios e sinônimas foram verificadas com base no banco de dados Flora e Funga do Brasil (Flora e Funga, 2025).

Análise fitossociológica

Os dados florísticos foram processados no Microsoft Excel®, por meio do cálculo dos parâmetros fitossociológicos: Densidade Relativa (DR%) e Frequência Relativa (FR%). A importância ecológica das espécies foi representada pelo Índice Densidade-Frequência (IDF), que corresponde à soma de DR% e FR%, inspirado no Índice de Valor de Importância (IVI) proposto por Curtis & McIntosh (1951), adaptado neste estudo devido à ausência de estimativas de área basal.

Análise de Similaridade Florística

Para identificar a similaridade florística da arborização urbana entre os municípios estudados e outras localidades urbanas do Nordeste brasileiro foi elaborada uma matriz de presença/ausência com base nas espécies arbóreas registradas em inventários florísticos disponíveis na literatura. Para isso, foram consideradas as espécies registradas nos seguintes estudos: Araújo et al. (2019) (Campina Grande – PB), Rodolfo Júnior et al. (2019) (Pombal – PB), Lima et al. (2019) (Tauá – CE), Moura et al. (2020) (Brejo Santo – CE), Silva Júnior et al. (2020) (Valença – BA), Sousa et al. (2021) (Balsas – MA), Silva et al. (2021) (Santana do Ipanema – AL), Moura et al. (2022) (Aurora – CE) e Coelho Júnior et al. (2023) (Picos – PI).

A comparação entre os municípios foi realizada por meio do índice de similaridade de Jaccard (J'), que mensura a proporção de espécies compartilhadas entre os locais, desconsiderando as ausências simultâneas. A matriz de similaridade resultante

foi utilizada na análise de agrupamento, aplicada pelo método de União pelas Médias Aritméticas Não Ponderadas (UPGMA), utilizando-se a distância euclidiana como medida de dissimilaridade. Todas as análises foram conduzidas no software PAST, versão 3.23 (Hammer et al., 2001), amplamente utilizado em estudos ecológicos para análises multivariadas.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- APG IV - THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP; CHASE, M. W.; CHRISTENHUSZ, M. J. M.; FAY, M. F.; BYNG, J. W.; JUDD, W. S.; SOLTIS, D. E.; MABBERLEY, D. J.; SENNIKOV, A. N.; SOLTIS, P. S.; STEVENS, P. F. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, v. 181, n. 1, p. 1–20, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/boj.12385>.
- ARDOIN, N. M.; BOWERS, A. W. Collective action impacts on climate change mitigation. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, v. 63, p. 101503, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2025.101503>.
- AUGUSTO, E. E.; RODRIGUES, G. A.; BOVÉRIO, M. A. Estimativa de arborização na cidade de Américo Brasiliense/SP. *Sitefa*, v. 3, n. 1, p. 348–357, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.33635/sitefa.v3i1.144>.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm.
- Castro, 2016
- DAY, S. D.; RIES, P.; BASSETT, C. G.; WISEMAN, P. E.; O'HERRIN, K. Support for a new credential in urban forestry: Results from a survey of urban forest professionals. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 73, p. 127588, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127588>.
- EISENMAN, T. S.; FLANDERS, T.; HARPER, R. W.; HAUER, R. J.; LIEBERKNECHT, K. Traits of a bloom: A nationwide survey of U.S. urban tree planting initiatives (TPIs). *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 61, p. 127006, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127006>.
- Flora e Funga, 2024
- GAYATHRI, R. et al. A review on biological carbon sequestration: A sustainable solution for a cleaner air environment, less pollution and lower health risks. *Journal of King Saud University Science*, v. 2, p. 33, 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Juazeiro do Norte - Ceará: dados geográficos e populacionais. 2022.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). Perfil básico municipal: Juazeiro do Norte. Fortaleza, 2017.
- IPCC. Climate change 2022: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.
- IWAMA, A. Y. Indicador de arborização urbana como apoio ao planejamento de

cidades brasileiras. REVSBAU, Piracicaba – SP, v. 9, n. 3, p. 156-172, 2014.
 LAFORTEZZA, R.; CHEN, J.; KONIJNENDIJK VAN DEN BOSCH, C.; RANDRUP, T. B. Nature-based solutions for resilient landscapes and cities. *Environmental Research*, v. 165, p. 431-441, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.038>.
 Lima (2011)
 LIMA, V. Y. M.; ARAÚJO, A. L. D.; AMARO, M. A. Ajuste de equações hipsométricas, volumétricas, de biomassa e carbono do fuste de árvores utilizadas na arborização urbana no Parque da Maternidade em Rio Branco-Acre. *Scientia Naturalis*, v. 2, n. 2, p. 569-582, 2020.
 MALEKNIA, R.; SALEHI, T. Exploring the drivers behind women's intentions towards climate change mitigation through urban forest conservation. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 97, p. 128395, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128395>.
 PAULEIT, S.; DUHME, F. GIS assessment of Munich's urban forest structure for urban planning. *Journal of Arboriculture*, v. 26, n. 3, p. 133-141, 2000.
 POWNING, C. B.; HARPER, R. W.; BLONJARZ, D. V.; KAHL, K. J.; MARKOWITZ, E. M. Reviewing the use of research interviews and qualitative inquiry in urban forestry: Understanding human-tree relationships in the built landscape. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 98, p. 128387, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128387>.
 RACHID, C.; COUTO, H. T. Z. Estudo da eficiência de dois métodos de amostragem de árvores de rua na cidade de São Carlos – SP. *Scientia Forestalis*, n. 56, p. 59-68, 1999.
 RODRIGUES, G. A.; FERRAREZZI, L. A.; BOVÉRIO, M. A. Metodologia para determinação da abundância de árvores urbanas utilizando recursos de geotecnologias de acesso livre. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 8, n. 3, p. 172-178, 2020.
 SOPCHAKI, D. P. S. Levantamento florístico das árvores e palmeiras e avaliação da arborização do Parque da Maternidade no município de Rio Branco, AC. 2010. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Acre, 2010.
 ZHANG, B.; BRACK, C. L. Urban forest responses to climate change: A case study in Canberra. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 57, p. 126910, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.126910>.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Artigo I: Open-Source Geotechnology for Estimating Tree Abundance by Quadrant Sampling: A Model for Urban Tree Management in Northeastern Brazil

Artigo submetido ao periódico *Cities* (Fator de impacto: 6.6 e percentil 97%).

Geotecnologia de acesso livre para estimativa de abundância arbórea por amostragem de quadrantes: um modelo para gestão da arborização urbana no nordeste brasileiro

Resumo: O planejamento adequado da arborização urbana assegura benefícios ecológicos, sociais e econômicos, sendo o geoprocessamento uma ferramenta útil para seu monitoramento. Este estudo teve como objetivo estimar o número de árvores na zona urbana de cinco municípios do sul do Ceará (Araripe, Assaré, Crato, Lavras da Mangabeira e Milagres), utilizando imagens do Google Earth Pro, com posterior verificação em campo para fins comparativos e aplicação em modelos de gestão ambiental. As áreas foram delimitadas em quadrantes para estimar a densidade arbórea, com validação in loco de indivíduos com $DAP \geq 5$ cm e altura ≥ 2 m. A identificação botânica seguiu o sistema APG IV, com confirmação no Herbário HCDAL e na Flora e Funga do Brasil. As análises estatísticas (ANOVA, regressão e teste de Tukey) e o uso do RStudio permitiram avaliar espécies exclusivas e compartilhadas. Os resultados indicaram que não houve diferença significativa entre os dados estimados por imagem e os obtidos em campo. Nos cinco municípios, Fabaceae se apresenta como a família mais representativa em número de espécies (17), mas é a terceira em número de indivíduos, com Meliaceae (980) e Moraceae (480) se destacando pela alta abundância da exótica invasora *Azadiractha indica* e de espécies exóticas do gênero *Ficus*. O Crato apresentou maior riqueza (55 ssp.) e maior número de espécies exclusivas pelo Diagrama de Venn (17) e todos os municípios apresentaram número de indivíduos acima de 85% de exóticas. O número de indivíduos arbóreos/km apontou que dois municípios (Araripe: 21,62 ind.km⁻¹ e Assaré: 20,14 ind.km⁻¹) apresentam valores pouco acima do considerado crítico e que novas medidas de implementação de árvores são necessárias. Conclui-se que o uso de imagens de satélite foi eficaz e viável para estimar o número total de árvores urbanas, indicando potencial como ferramenta auxiliar em políticas públicas de manejo e planejamento ambiental.

Palavras-chave: Densidade arbórea; Planejamento ambiental; semiárido brasileiro.

1. Introdução

A arborização urbana, peça essencial na construção de cidades sustentáveis e acolhedoras, consiste na implementação estratégica de áreas arborizadas nas zonas urbanas. Esta prática não apenas aprimora a qualidade de vida da população, mas também desempenha um papel vital na redução da poluição e na promoção da

biodiversidade (Bonametti, 2020). Em um mundo cada vez mais urbanizado, as árvores representam elementos essenciais da natureza inseridos no ambiente urbano e a arborização tem a capacidade de estabelecer uma aproximação do ser humano com a natureza (Wolf et. al, 2020; Ćurić et al., 2022).

Seus benefícios são amplos: compensam o aquecimento e mitigam o impacto das mudanças climáticas (Ragula; Chandra, 2020); reduzem os efeitos da poluição do ar, agindo como um sumidouro de emissões atmosféricas (Storch-Böhm, 2020); aumentam as áreas permeáveis, melhorando as condições ecológicas das cidades (Varol et. al, 2019); contribuem para a regeneração ambiental de áreas urbanas (Grote et al., 2016; Selmi et al., 2016; Muresan, 2022); oferecendo, portanto, muitos benefícios ecológicos e à saúde humana (Walhowe, 2022).

Os inventários florestais são necessários para quantificar os benefícios fornecidos pelas árvores urbanas, como conforto térmico, redução de ilhas de calor, efeitos de águas pluviais, conectividade de paisagens e habitats, conservação da biodiversidade, potencial de sequestro de carbono e outros (Tan et al., 2021; Cavender-Bares et al., 2022; Pereira; Couto, 2024). Ações voltadas para o aumento da riqueza e abundância das espécies utilizadas na arborização urbana são necessárias e determinantes para o desenvolvimento de cidades sustentáveis (Wiesel et al., 2021). Essas intervenções melhoram as questões estruturais das vias urbanas e fortalecem a identidade dos espaços, tornando-se referências emblemáticas nas cidades (Bonametti, 2020).

Consequentemente, muitos estudos quantitativos foram conduzidos para capturar a oferta e a demanda de espaços verdes e medir a disponibilidade, acessibilidade e visibilidade com o objetivo de avaliar o progresso em direção ao alcance de metas de desenvolvimento sustentável (Chen et al., 2022). No Brasil, a implementação da infraestrutura verde está se destacando cada vez mais nos centros urbanos como uma abordagem holística, refletindo a crescente demanda por soluções sustentáveis e resilientes para lidar com os desafios das cidades modernas (Machado et al., 2020; Santos; Enokibara, 2021).

Embora o Brasil seja reconhecido como um país de megadiversidade, muitas cidades brasileiras têm um número esmagador de árvores exóticas em seus ambientes urbanos (Moro; Castro, 2015). Espécies de plantas exóticas invasoras representam ameaças significativas à função e estabilidade dos ecossistemas, pois alteram os padrões naturais de perturbação e nutrientes e os orçamentos de energia de espécies nativas (Crystal-Ornelas; Lockwood, 2020; Kim et al., 2025). Espécies invasoras são a

principal razão para a diminuição da biodiversidade global, que está intimamente ligada ao bem-estar humano, segurança alimentar e manutenção dos serviços ecossistêmicos (Rai; Singh, 2020).

A perturbação antropogênica e o transporte mediado por humanos permitiram que plantas invasoras rompessem barreiras naturais e habitassem novas zonas climáticas (Kueffer, 2017; Kim et al., 2025). As áreas urbanas são locais importantes no contexto de invasões biológicas, pois representam pontos críticos de imigração a partir dos quais espécies exóticas se espalham para a área circundante (Lososová et al. 2012; Lubarda et al., 2024).

O processo de urbanização, no Brasil, acelerou a partir da década de 1950 com o aumento do êxodo rural, dessa forma, a degradação do meio ambiente foi intensificada, resultando na supressão da cobertura vegetal, impermeabilização do solo, contaminação dos corpos hídricos, emissão de ruídos e gases poluentes, entre diversas outras consequências (Alves et al., 2023). Esses mesmos autores apresentaram um panorama da arborização urbana no Brasil e concluíram que na arborização das cidades brasileiras, apesar de haver alta diversidade de espécies e considerável número de espécies nativas, ainda é predominante o uso de exóticas, levando a uma repetição das paisagens urbanas no País.

Diante dos desafios e problemas ambientais históricos enfrentados pelas áreas urbanas, iniciativas legislativas têm sido propostas para integrar a arborização ao planejamento urbano no Brasil, como o Projeto de Lei 3.113/2023, em discussão no Congresso Nacional (Lisboa et al., 2024), que objetiva implementar o plano nacional e planos estaduais e municipais de plantio de árvores urbanas, vinculados à Política Nacional de Arborização Urbana (PNAU) (SENADO, 2023). Esses planos incluem mapeamento das áreas urbanas, estabelecimento de metas e promoção contínua do plantio, especialmente em municípios com mais de 20 mil habitantes, assegurando recursos para sua implementação. Tais ações são essenciais para a redução de desigualdades e para o fortalecimento da sustentabilidade das cidades.

No entanto, apesar de iniciativas e avanços legislativos, ainda que tardios, são poucos os estudos que investigam metodologias de amostragem da arborização urbana em municípios de pequeno e médio porte (Rachid; Couto, 1999; Meneghetti, 2003; Paiva, 2009; Silva; Sousa, 2018; Silva et al., 2018; Rodrigues et al., 2020), sobretudo, no interior do Nordeste brasileiro, uma lacuna preocupante diante da crescente urbanização e seus impactos ambientais iminentes.

O uso de geotecnologias e geoprocessamento de imagens tem-se mostrado um instrumento eficaz na manutenção e monitoramento da arborização urbana. Essas tecnologias permitem identificar áreas que necessitam de intervenção, otimizando recursos e esforços, resultando na redução de custos operacionais. Com um acompanhamento detalhado de cada árvore plantada, é possível registrar um diagnóstico observacional por sistema de satélites (Mendonça et al., 2020). Os SIGs são ferramentas computacionais fundamentais para o georreferenciamento, facilitando a criação de bancos de dados com imagens e dados espaciais.

Essa capacidade de compilar e processar informações espaciais é crucial para a tomada de decisões em áreas como planejamento urbano, gestão ambiental e arborização (Lotti et al., 2022). O SIG representa uma oportunidade para uma análise ambiental urbana integrada, em que permite, de maneira prática, análises que direcionam o planejamento urbano e orientam a arborização urbana de forma consistente. Através das técnicas de geoprocessamento é possível mapear situações diversas tais como, problemas fitossanitários, conflitos com redes de eletricidade, sinalização, ou quaisquer tipos de caracteres, os quais assumem papel fundamental para o manejo da arborização (Jerônimo et al., 2021).

O *Google Earth Pro* é uma das versões avançadas do software gratuito disponibilizado pela Google, que permite a visualização do planeta Terra de maneira tridimensional e altamente realista, proporcionando uma experiência imersiva para os usuários (Cazetta, 2011). Essa ferramenta possibilita obtenção de dados da superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os objetos e materiais que constituem a paisagem. Isso abre caminho para a supervisão, medição e análise de características biofísicas e atividades humanas relevantes (Galdino; Ferreira, 2023). Conforme Rodrigues et al. (2020), o uso desse software possibilita ferramentas capazes de dar suporte aos departamentos de planejamento urbano de cidades de pequena população.

Com isto, este estudo foi conduzido visando responder aos seguintes questionamentos: (1) É possível estimar o número total de árvores em diferentes municípios amostrando aleatoriamente em apenas 12 vias públicas com imagens de satélite? (2) Essa estimativa é eficaz (semelhança estatística) quando se compara aos resultados *in loco*? (3) O número de árvores/(km) nas vias urbanas dos municípios é considerado satisfatório? (4) Qual a proporção de espécies de plantas exóticas nas áreas urbanas selecionadas? (5) A metodologia pode ser sugerida para uso no monitoramento

pelos municípios com o advento da nova Política Nacional de Arborização Urbana?

Sendo assim, busca-se analisar o papel da arborização viária no interior do Estado do Ceará como elemento para a mitigação das mudanças climáticas, destacando-se a importância dessas áreas arborizadas e explorando como elas contribuem para o bem-estar dos ecossistemas urbanos através do seu planejamento atual e futuro. Além disso, este trabalho investiga relações de semelhança em termos de diversidade da flora arbórea urbana, avaliando como a riqueza e a abundância relativa das espécies variam nos municípios estudados e se refletem a diversidade florística nativa da área geográfica em que estão inseridos.

2. Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado em cinco municípios (Araripe, Assaré, Crato, Lavras da Mangabeira e Milagres) localizados ao sul do Estado do Ceará, nordeste do Brasil, nas proximidades de uma área metropolitana de grande importância na região semiárida brasileira (Região Metropolitana do Cariri - RMC). Os municípios possuem população total de 236.404 habitantes (IBGE, 2022), sendo o Crato o mais populoso (138.222 habitantes) e Araripe o de menor população (19.783). A área total corresponde a 5.154,39 km², sendo Araripe o município de maior extensão territorial (1.347 km²) e Milagres o de menor (605,19). A área total urbanizada é de 51,08 km² (IBGE, 2022), sendo Crato o município de maior área urbanizada (32,2 km²).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como BSh (Alvares et al., 2014), apresentando características de clima tropical quente, com a estação chuvosa de janeiro a abril e a estação seca de maio a dezembro, com precipitação média anual entre os municípios variando de 800 a 1000 mm, com média de 910,2 mm (IPECE, 2017). As coordenadas dos municípios que compreendem a área de estudo são as seguintes: Araripe: 7°12'06,43"S 40°01'55,13"W e 605m Alt.; Assaré: 6°52'26,27"S 39°52'30,19"W e 470m Alt.; Crato: 7°13'46,87"S 39°24'32,28"W e 426m Alt.; Lavras da Mangabeira: 6°45'10,57"S 38°58'19,28"W e 239m Alt. e Milagres: 7°18'46,09"S 38°56'45,41"W e 334m Alt. (Fig. 1).

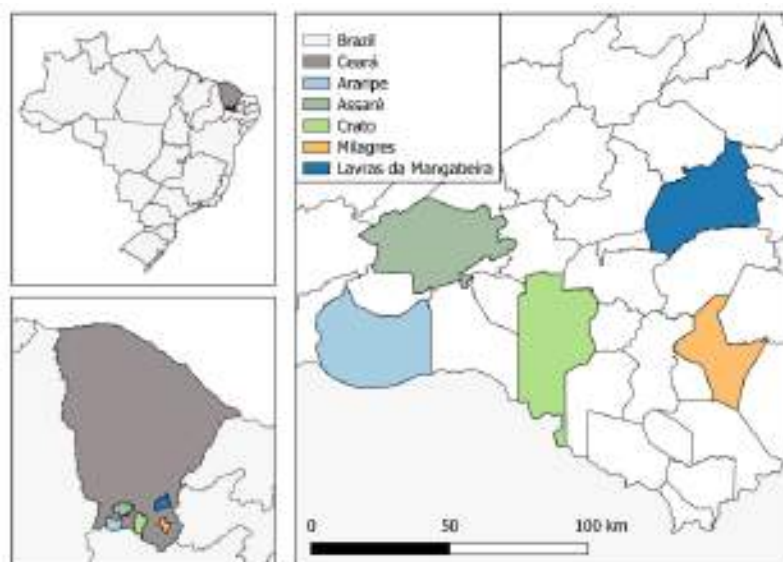


Fig. 3. Localização geográfica dos cinco municípios que compreendem a área de estudo no sul do Estado do Ceará, nordeste do Brasil.

2.2 Coleta de dados via geoprocessamento

Inicialmente, imagens via satélite foram analisadas por meio do software de livre acesso *Google Earth Pro* versão 7.3.6.10201 (2025). Em cada núcleo urbano foram delimitados os quadrantes a partir de duas linhas traçadas de forma imaginária, com a intersecção na área central, formando-se com isto, um ângulo de 90°. Na sequência foi demarcado o contorno da área amostral de quatro quadrantes (Q1, Q2, Q3 e Q4) por meio da ferramenta “polígono”, de forma aleatória, mas de tal maneira que englobasse 12 ha de área amostral em cada quadrante. Essa ferramenta determinou o perímetro e a área de cada quadrante, objeto de avaliação. Logo após foram selecionadas três ruas em cada área amostral por meio da ferramenta “caminho”, que também possibilita mensurar o comprimento de cada via identificada nos quadrantes, assim como o número de árvores identificadas durante a contagem por meio da observação visual da imagem (Fig. 2).

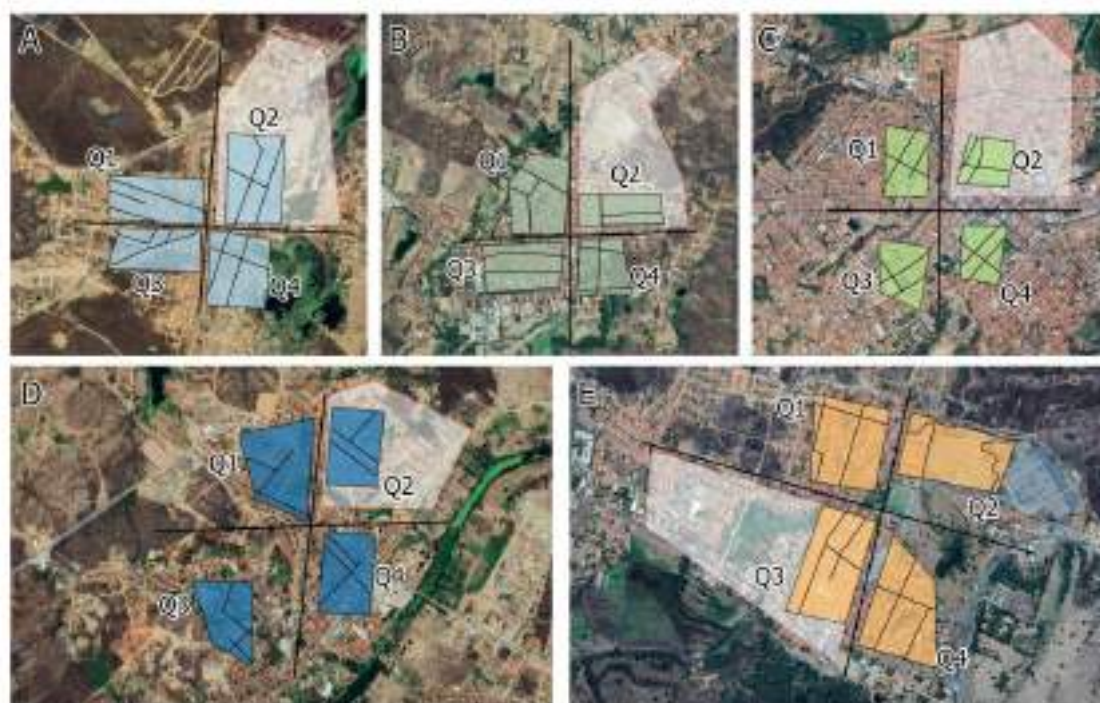


Fig. 2 – Layout dos componentes essenciais para a visualização de imagens de satélite em vias públicas de cinco municípios do sul do Estado do Ceará, nordeste do Brasil, com identificação dos quadrantes (Q1-Q4). Linhas transversais dividem a zona urbana e polígonos delimitam as áreas amostrais em diferentes cores nas imagens. Onde: A – Araripe; B – Assaré; C – Crato; D – Lavras da Mangabeira e E – Milagres.

Após a verificação do comprimento de cada percurso da via pública foram definidos os comprimentos totais dos percursos em cada quadrante, assim como o número de árvores total de cada quadrante. Foi definido também o somatório de todos os comprimentos de cada percurso em cada quadrante, por meio da ferramenta “régua”, que possibilita a mensuração do comprimento de cada via. Com isto, foi possível a indicação da extensão de todas as vias urbanas de cada município. O comprimento total de calçada (passeio público) assim como o comprimento de calçada amostrada pode ser observado como o resultado da duplicidade do comprimento total das vias públicas de cada município, conforme estabelecido por Iwama (2014), por se considerar os dois lados da calçada.

Com isto foi possível estipular a taxa de árvores/km, resultado da razão entre o comprimento total das calçadas (km) pelo número total de árvores em cada município. O número de árvores amostradas pela distância (m) é resultado da razão entre árvores amostradas pelo comprimento de calçadas (passeio público) amostradas. Os dados referentes a área amostral e comprimentos das vias públicas analisadas a partir das imagens de satélite em cada município estão organizados na tabela 1.

Tabela 1 – Dados referentes a área amostral (Quadrantes – Q1 a Q4) e comprimentos de vias públicas observados por imagem via satélite em cinco município do sul do Estado do Ceará, nordeste do Brasil. Onde: Ar: Araripe; As: Assaré; Cr: Crato; Lv: Lavras da Mangabeira e Mi: Milagres.

Município	Comprimento das vias amostradas (m)					Área do quadrante (ha)				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Total	Q1	Q2	Q3	Q4	Total
Ar	1.069,78	935,33	1.019,8	1.057,34	4.082,4	48,1	33,1	34	37	152,2
As	903,89	909,6	1.129,2	841,9	3.784,59	53,6	29,13	51,52	22,6	156,85
Cr	992,5	1.054,2	999,8	1.054,25	4.100,75	79,31	78,46	89,63	87,6	335
Lv	919,64	891,86	837,5	751,25	3.400,25	44,5	30,4	41,8	34,6	151,3
Mi	964,6	910,5	1.045,7	837,8	3.758,6	46,2	34,9	25,9	23,2	130,2

Para o cálculo da quantidade de árvores estimadas no município (AEM) foram utilizados os dados do somatório de todos dos comprimentos das vias públicas (CVP), somatório das áreas dos quadrantes amostrados (AQA), somatório de árvores amostradas em todos os quadrantes (ATQ) e a área total urbana (AT), somando a área total urbana de cada quadrante, é possível obter a medição total das vias públicas (MVP):

$$MVP = \frac{CVP \times AT}{AQA}$$

Com isto é possível estimar a quantidade de árvores estimadas em cada município (AEM) analisado, através da seguinte equação:

$$AEM = \frac{MVP \times ATQ}{CVP}$$

Para averiguar a precisão dos dados estimados do número de árvores e dos dados dos comprimentos de todas as vias urbanas (de cada lado do passeio público) para cada município foi realizado o somatório do número de unidades arbóreas observadas e das unidades arbóreas estimadas e através da razão entre o número de árvores observadas/estimadas, obteve-se um índice de correção, utilizado como indicativo do número aproximado de árvores em cada município, ao ser multiplicado pelo resultado da quantidade de árvores estimadas.

2.3 Levantamento da flora arbórea urbana *in loco*

Para comparação dos dados obtidos por meio de geoprocessamento, realizou-se

um levantamento presencial do número de indivíduos arbóreos presentes nas vias amostradas (AVA), no período de dezembro de 2023 a fevereiro de 2025, nos cinco municípios analisados. Foram considerados para o inventário todos os indivíduos localizados nas vias previamente selecionadas por imagens de satélite, com diâmetro à altura do peito (DAP) igual ou superior a 5 cm e altura mínima de 2 metros. A estimativa da altura das árvores foi realizada com o auxílio de um hipsômetro a laser modelo LCD PF3S, enquanto a mensuração do DAP foi efetuada com o uso de uma suta dendrométrica graduada em milímetros.

A identificação das espécies foi realizada por meio de comparação com material depositado no Herbário Caririense Dárdano de Andrade Lima – HCDAL da Universidade Regional do Cariri - URCA, assim como por meio de consultas a bibliotecas especializadas e especialistas. As espécies foram classificadas de acordo com o sistema de classificação taxonômica do Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV, 2016) e a grafia e autoria de binômios e sinônimas específicas foram confirmadas de acordo com o banco de dados "Flora e Funga do Brasil" (Flora e Funga, 2024). Quanto à origem fitogeográfica foram consideradas espécies nativas aquelas originárias de formações vegetais brasileiras, enquanto espécies exóticas englobaram espécimes originários de outros países, incluindo os naturalizados e cultivados. Essa classificação segue os critérios adotados pelo banco de dados "Flora e Funga do Brasil" (Flora e Funga, 2025), juntamente com informações sobre endemismo.

A densidade arbórea da área de estudo foi calculada para se entender a relação entre a quantidade de árvores amostradas e a área urbana. A densidade é expressa em árvores por hectare (árvores/ha), obtidos pela fórmula:

$$DA = \frac{AVA}{AUQ}$$

Onde: DA = Densidade arbórea; AVA = Número de árvores das vias amostradas; AUQ = Área urbana do quadrante.

2.4 Análise Estatística

Para avaliar as variações significativas dos dados, utilizou-se um modelo de regressão não linear para as curvas e análise de variância (ANOVA). Foram considerados os quadrantes como blocos (4) e as vias públicas de cada quadrante, consideradas como tratamentos (V1, V2 e V3). Empregou-se o teste de Tukey para examinar o impacto de cada variável no número de árvores em cada tratamento (vias),

considerando que quando $p < 0,01$, as correlações são significativas. Não foi estabelecido um tamanho uniforme das unidades amostrais em cada quadrante, já que há diferenças de tamanho nas áreas urbanas dos municípios, mas foi garantido um número igualitário de vias públicas amostradas, assim como a casualidade na escolha da área amostral e das vias públicas.

O software RStudio foi utilizado como ambiente para realizar operações de análise de dados (Diagrama de Venn), utilizando funções específicas para manipulação de conjuntos, geração de combinações e cálculos de interseções referentes às espécies e indivíduos observados no levantamento *in loco*. As operações de conjunto e as funções do R permitiram identificar de maneira eficiente as espécies exclusivas e compartilhadas entre municípios, resultando em uma visão detalhada da distribuição das espécies.

3. Resultados

3.1 Amostragem via imagens de satélite

O número de árvores observadas e de árvores amostradas nos quatro quadrantes na zona urbana de cada município, assim como dados sobre o comprimento das vias públicas observadas (CVP) e da área amostrada do município em porcentagem (AAM%) são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Quantitativo de árvores observadas e amostradas por imagem de satélite em quatro quadrantes (Q1–Q4) nos cinco municípios do sul do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. Número total de árvores identificadas nas imagens (observadas), o número de árvores efetivamente amostradas na área selecionada (amostradas), o comprimento total das vias públicas analisadas (CVP, em metros), e a porcentagem da área urbana do município coberta pela amostragem (AAM%).

Município	Árvores observadas					Árvores amostradas					CVP	AAM(%)
	Q1	Q2	Q3	Q4	Total	Q1	Q2	Q3	Q4	Total		
Araripe	213	258	209	248	928	60	24	48	111	226	21.453,2	31,53
Assaré	258	226	238	243	965	77	75	107	17	267	23.707,54	30,60
Crato	1844	1769	1550	1418	6581	456	259	45	51	811	36.834,28	14,32
Lavras	721	502	385	387	1.805	98	190	65	89	484	24.106,34	31,72
Milagres	722	433	399	205	1.605	130	54	84	103	380	23.518,54	36,86

Considerando-se que a relação de indivíduos arbóreos/km estuda cada lado da calçada (passeio público) é possível observar, nos dados da tabela 1, que uma vez duplicando a metragem total das vias públicas (observadas) e dividindo-se pelo número de indivíduos arbóreos observados, tem-se os resultados: Crato (89,33 ind.km⁻¹), Lavras da Mangabeira (37,43 ind.km⁻¹), Milagres (33,71 ind.km⁻¹), Araripe (21,62 ind.km⁻¹), Assaré (20,14 ind.km⁻¹).

O resultado do cálculo da quantidade de árvores estimadas (AEM) para cada município, obtido a partir dos dados da somatória de todos os comprimentos das vias públicas amostradas (CVP), as somatórias das áreas dos quadrantes amostrados (AQA - ha), o somatório de árvores amostradas em todos quadrantes (ATQ), a área total urbana (AT) (ha), o somatório da área total urbana de cada quadrante (AT) (não incluindo as áreas urbanas dos distritos e vilas) e a medição do total das vias públicas (MVP) (m) de cada município, está representado na tabela 3.

Tabela 3 – Estimativa da quantidade de árvores (AEM) e medição total das vias públicas (MVP) nos cinco municípios da região sul do Ceará, Nordeste do Brasil.

Município	MVP	AEM
Araripe	12.970,12	715,02
Assaré	12.298,00	867,00
Crato	28.619,00	6.186,00
Lavras da Mangabeira	10.717,00	1.525,48
Milagres	10.195,20	1.030,74

Para averiguar a precisão dos dados estimados do número de árvores e dos dados dos comprimentos de todas as vias urbanas (de cada lado do passeio público) foi realizado o somatório de todas as árvores, de cada via pública, do número de unidades arbóreas observadas e das unidades arbóreas estimadas. Através da razão entre o número de árvores observadas/estimadas, tem-se os resultados de um índice de correção, que variou de 1,06 a 1,55, para cada município (tabela 4).

Tabela 4 – Comparação entre o número de árvores observadas em campo, estimadas via geoprocessamento, o índice de correção (razão entre os indivíduos observados e estimados) e a estimativa final (árvores estimadas × índice de correção) do número de árvores para os cinco municípios estudados na região sul do Ceará, Nordeste do Brasil.

Município	Árvores Observadas	Árvores Estimadas	Índice de Correção (Obs/Est)	Estimativa final (Est × Índice)
Araripe	928	715,02	1,29	922,35
Assaré	965	867,00	1,11	962,37
Crato	6.581	6.186,00	1,06	6.557,16
Lavras da Mangabeira	1.805	1.525,48	1,18	1.800,00
Milagres	1.605	1.030,74	1,55	1.597,00

3.2 Levantamento da Flora Arbórea *in loco*.

Foram registrados 2.161 indivíduos arbóreos nos cinco municípios analisados, distribuídos em 24 famílias, 61 gêneros e 67 espécies botânicas (Tabela 5). Esses dados referem-se ao levantamento realizado em campo, com o propósito de verificar e comparar os resultados obtidos por meio da análise remota via Google Maps. Aspectos da arborização urbana das áreas amostradas dos cinco municípios estudados são apresentados na figura 3.



Fig. 3 – Aspecto da arborização das vias amostradas nos quadrantes selecionados de forma aleatória no levantamento *in loco*. Onde: zona urbana da sede do município de Araripe: (A) Rua Santo Antônio, com destaque para a presença da nativa *Bauhinia monandra* Kurz; (B) Rua Monsenhor Alexandrino, com presença de *Terminalia catappa* Linn.; (C) Av. José Loiola Alencar, com destaque para *Roystonea olearacea* (Jack.) O.F. Cook no canteiro central; zona urbana da sede do município de Assaré: (D) Rua Moacir Mota, com presença única de *Ficus benjamina* L.; (E) Rua Dr. Paiva, apresentando indivíduos de *Ficus benjamina* L.; (F) Rua coronel Francisco Gomes, com presença de *Moquilea tomentosa* (Benth.); zona urbana da sede do município de Crato: (G) Rua Nélson Alencar, com indivíduos de *Azadirachta indica* A. Juss.; (H) Rua cel. Antônio Luiz, arborizada com *Tecoma stans* (L.) Juss ex. Kenth.; (I) Av. Duque de Caxias, com destaque para a Chapada do Araripe ao fundo; zona urbana da sede do município de Lavras da Mangabeira: (J) Rua Elesbão de Almeida Crispim, com presença de *Ficus benjamina* L.; (K) BR-230, com indivíduos de *Azadirachta indica* A. Juss.; (L) Rua Major Ildefonso, com indivíduos de *Senna siamea* (Lam.) e *Azadirachta indica* A. Juss.; zona urbana da sede do município de Milagres: (M e N) Av. Prefeito Gilvan Morais, com destaque para *Azadirachta indica* A. Juss. e (O) Av. Prisca Sobreira Dantas, com indivíduos de *Roystonea olearacea* (Jack.) O.F. Cook no canteiro central.

Nos cinco municípios analisados, a família Fabaceae destacou-se como a mais

representativa em termos de riqueza de espécies, com 17 espécies registradas, seguida por Bignoniaceae, com cinco espécies, e por Anacardiaceae, Arecaceae, Malvaceae, Moraceae e Myrtaceae, cada uma com quatro espécies. Embora a Fabaceae tenha se destacado como a família com maior riqueza de espécies, ocupou a terceira posição em número total de indivíduos. As famílias mais abundantes foram Meliaceae, com 980 indivíduos, e Moraceae, com 480, em razão da elevada ocorrência da espécie exótica invasora *Azadirachta indica* das espécies do gênero *Ficus* nos centros urbanos analisados. Esse padrão de representatividade das famílias, em termos de abundância relativa, também se manteve quando considerados os municípios individualmente (Tabela 5).

Tabela 5. Lista de espécies observadas no levantamento *in loco* em cinco municípios do sul do Estado do Ceará, nordeste do Brasil. Em que: Ar – Araripe, As – Assaré, Cr – Crato, Lv – Lavras da Mangabeira e Mi – Milagres. Categorias de conservação: LC – menos preocupante; NE – não avaliada; NT – quase ameaçada e VU – vulnerável. Origem: N – nativa; E – exótica e EI – exótica invasora.

Família	Espécie	Origem	Conservação	Ar	As	Cr	Lv	Mi	Total
Anacardiaceae									
	<i>Astronium urundeuva</i> (M.Allemao) Engl.	N	LC	-	-	-	-	03	03
	<i>Mangifera indica</i> L.	E	NE	-	-	02	06	02	10
	<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	N	LC	-	-	03	-	-	3
	<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.	N	NE	01	-	12	-	-	13
	<i>Spondias purpurea</i> L.	EI	NE	-	01	02	-	-	3
Annonaceae									
	<i>Polyalthia longifolia</i> (Sonn.) Thwaites	E	NE	-	-	01	-	-	01
Apocynaceae									
	<i>Plumeria pudica</i> Jacq.	EI	NE	-	06	13	08	11	38
	<i>Thevetia peruviana</i> (Pers.) K.Schum.	N	NE	-	-	01	-	-	01
Arecaceae									
	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.	N	NE	01	-	01	06	-	08
	<i>Cocos nucifera</i> L.	E	NE	-	-	02	08	04	14
	<i>Copernicia prunifera</i> (Mill.) H.E.Moore	N	NE	01	-	01	09	-	11
	<i>Roystonea oleracea</i> Jacq.	E	NE	07	-	10	11	04	32
Bignoneaceae									

	<i>Handroanthus albus</i> (Cham.) Mattos.	N	LC	-	-	-	-	03	03
	<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	N	LC	-	-	08	-	04	12
	<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	E	NT	02	03	18	04	06	33
	<i>Tabeluia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith.	N	NE	-	-	-	-	11	11
	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. Ex Kunth	EI	NE	04	01	26	03	04	38
Caricaceae									
	<i>Carica papaya</i> L.	E	NE	-	-	01	-	-	01
Chrysobalanaceae									
	<i>Microdesmia rigida</i> (Benth.) Sothers & Prance	N	LC	-	-	01	-	02	03
	<i>Moquilea tomentosa</i> Benth.	N	LC	01	14	26	22	08	71
Combretaceae									
	<i>Terminalia catappa</i> L.	EI	NE	07	02	24	04	12	49
Euphorbiaceae									
	<i>Jatropha gossypifolia</i> L.	N	NE	-	-	02	-	-	02
	<i>Reutealis trisperma</i> (Blanco) Airy Shaw	E	VU	-	-	04	-	-	04
Fabaceae									
	<i>Adenanthera pavonina</i> L.	E	NE	01	01	06	01	01	10
	<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.	N	NT	-	-	-	-	02	02
	<i>Bauhinia monandra</i> Kurz	N	NE	07	-	02	-	-	09
	<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw	E	NE	01	01	09	08	02	21
	<i>Cassia ferruginea</i> (Schrad.) Schrad. ex DC.	N	NE	-	-	02	-	05	07
	<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook). Raf.	EI	LC	07	02	06	02	02	19
	<i>Erythrina variegata</i> L.	E	NE	-	-	02	06	-	08
	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	N	LC	-	-	-	03	-	03
	<i>Leucena leucocephala</i> (Lam) de Wit	E	NE	01	-	04	01	02	08
	<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	N	NE	01	-	03	-	05	09
	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	N	NE	01	-	-	-	01	02

	<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	E	NE	-	-	04	03	-	07
	<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	N	LC	01	-	01	-	-	02
	<i>Prosopis juliflora</i> Sw.	E	NE	02	01	03	04	04	14
	<i>Pterocarpus violaceus</i> Vogel	N	NE	-	-	01	-	-	01
	<i>Senna siamea</i> Lam.	E	NE	05	07	29	69	27	137
	<i>Tamarindus indica</i> L.	EI	NE	-	01	02	-	02	05
Lauraceae									
	<i>Cinnamomum verum</i> J.Presl	E	NE	-	-	01	-	-	01
Malpighiaceae									
	<i>Malpighia emarginata</i> DC.	EI	NE	-	01	-	-	-	01
Malvaceae									
	<i>Brachychiton acerifolius</i> (A. Cunn. ex G. Don) Macarthur	E	LC	-	-	02	-	-	02
	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i> L.	E	NE	-	-	04	12	01	17
	<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	N	NE	02	-	03	-	-	05
	<i>Talipariti tiliaceum</i> (L.) Fryxell	E	NE	04	-	04	01	01	10
Meliaceae									
	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss	EI	NE	101	131	406	154	195	987
	<i>Swietenia macrophylla</i> King	N	VU	-	-	03	-	-	03
Moraceae									
	<i>Ficus benjamina</i> L.	E	NE	51	95	114	85	55	400
	<i>Ficus retusa</i> L.	E	NE	02	-	12	25	-	39
	<i>Ficus microcarpa</i> L.	E	NE	05	-	6	01	02	14
	<i>Ficus</i> sp.	-	-	01	-	-	26	-	27
Moringaceae									
	<i>Moringa oleifera</i> Lam.	E	NE	-	-	03	-	02	05
Myrtaceae									
	<i>Callistemon salignus</i> (Sm.) Colv. Ex Sweet	E	NE	-	-	01	-	-	01
	<i>Plinia peruviana</i> (Poir.) Govaerts	N	LC	-	-	01	-	-	01
	<i>Psidium guajava</i> L.	N	NE	-	01	02	-	-	03
	<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	E	NE	-	02	02	-	-	04
Oleaceae									
	<i>Olea europea</i> L.	E	NE	-	-	-	-	02	02

Primulaceae	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	N	NE	-	-	01	-	-	01
Rhamnaceae	<i>Sarcomphalus joazeiro</i> (Mart.) Hauenschild	N	LC	-	-	-	01	-	01
Rubiaceae	<i>Coutarea hexandra</i> (Jacq.) K.Schum.	E	NE	-	-	-	-	01	01
	<i>Morinda citrifolia</i> L.	EI	NE	-	-	-	-	03	03
Rutaceae	<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	E	NE	-	-	02	-	-	02
	<i>Citrus aurantium</i> L.	E	NE	-	-	02	-	-	02
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum</i> sp.	-	-	01	-	-	-	-	01
Solanaceae	<i>Cestrum nocturnum</i> L.	E	NE	-	-	01	-	-	01
	<i>Solanum scuticum</i> M.Nee	N	NE	-	-	01	-	-	01
Total				218	270	803	483	389	2.163

Em Araripe, observou-se que 37,1% dos indivíduos presentes nas vias urbanas são de espécies exóticas, enquanto 54,5% pertencem ao grupo das exóticas invasoras. Em Assaré, os valores foram semelhantes, com 40,7% de espécies exóticas e 53,7% de invasoras. No município do Crato, 31% dos indivíduos são de espécies exóticas e 59,6% de espécies consideradas invasoras. Já em Lavras da Mangabeira, 50,7% da arborização urbana é composta por espécies exóticas, e 35,4% por exóticas invasoras. Em Milagres, foram registrados 29,8% de indivíduos exóticos e 58,8% invasores, indicando uma predominância significativa de espécies não nativas e com potencial de invasão ecológica na maioria dos municípios analisados.

A presença de espécies nativas na arborização urbana foi consideravelmente menor em todos os municípios avaliados. Araripe apresentou apenas 7,3% de indivíduos nativos, enquanto Assaré contou com 5,5%. O município do Crato teve uma proporção um pouco maior, com 9,3% de espécies nativas, seguido por Lavras da Mangabeira, com 8,4%, e Milagres, que se destacou com 11,3% de indivíduos nativos. Esses dados evidenciam a baixa representatividade de espécies da flora regional na composição da arborização viária dessas localidades.

No que diz respeito ao estado de conservação, o número de indivíduos

pertencentes a espécies ameaçadas também foi baixo. Em Araripe, apenas dois indivíduos (0,9%) foram classificados como “Quase Ameaçados” (NT). Em Assaré, foram três indivíduos (1,1%) na mesma categoria. O Crato apresentou maior diversidade e quantidade, com dezoito indivíduos (2,2%) classificados como NT e outros sete (0,8%) como “Vulneráveis” (VU). Lavras da Mangabeira registrou quatro indivíduos (0,82%) na categoria NT, enquanto em Milagres foram observados oito indivíduos (2%) também classificados como NT.

A análise da distribuição de espécies entre os municípios revelou padrões de exclusividade e compartilhamento de espécies pelo Diagrama de Venn. Foram identificadas espécies únicas para a arborização de cada município, bem como um conjunto de espécies compartilhadas. Crato apresentou o maior número de espécies exclusivas (17): *Brachychiton acerifolius*, *Callistemon salignus*, *Carica papaya*, *Cestrum nocturnum*, *Cinnamomum verum*, *Citrus aurantium*, *Jatropha gossypifolia*, *Murraya paniculata*, *Myrsine guianensis*, *Plinia peruviana*, *Polyalthia longifolia*, *Pterocarpus violaceus*, *Reutealis trisperma*, *Schinopsis brasiliensis*, *Solanum scuticum*, *Swietenia macrophylla* e *Thevetia peruviana*. Milagres apresentou sete espécies exclusivas: *Amburana cearensis*, *Astronium urundeuva*, *Coutarea hexandra*, *Handroanthus albus*, *Morinda citrifolia*, *Olea europaea* e *Tabebuia roseoalba*. Lavras da Mangabeira apresentou duas espécies exclusivas (*Hymenaea courbaril* e *Sarcomphalus joazeiro*), enquanto Assaré e Araripe apresentaram apenas uma espécie exclusiva, *Malpighia emarginata* e *Chrysophyllum sp.* respectivamente. Foram apontadas 11 espécies compartilhadas entre os municípios estudados: *Adenanthera pavonina*, *Azadirachta indica*, *Caesalpinia pulcherrima*, *Delonix regia*, *Ficus benjamina*, *Handroanthus impetiginosus*, *Moquilea tomentosa*, *Prosopis juliflora*, *Senna siamea*, *Tecoma stans* e *Terminalia catappa* (Fig. 4).

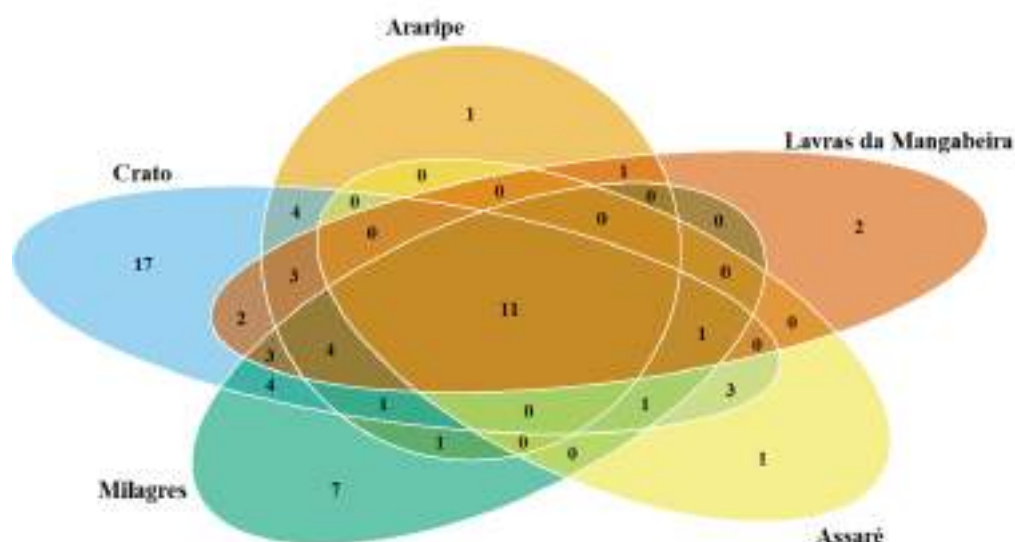


Fig. 4. Diagrama de Venn apresentando a composição e distribuição de espécies arbóreas exclusivas e compartilhadas entre cinco municípios do sul do Ceará, Nordeste do Brasil.

3.3 Análise Estatística

O teste estatístico indicou ausência de diferença significativa entre o número de árvores estimados e os valores observados *in situ* nos municípios analisados ($p = 0,236$). Esse resultado, acima do nível de significância de 0,05, confirma que as médias dos dois conjuntos de dados não diferem estatisticamente. A diferença média foi de 2.8 unidades, o que significa que, em média, as amostras superaram os valores de campo por essa quantidade. Além disso, o intervalo de confiança indica que a diferença entre as médias das amostras e os valores de campo pode ser zero, ou seja, as médias podem ser iguais (Tabela 6).

Tabela 6 – Resultados estatísticos da comparação entre a quantidade de árvores estimadas e observadas em campo em cinco municípios do sul do Ceará, nordeste do Brasil.

Município	Estimadas	Observadas	Desvio Padrão
Araripe	226	221	5
Assaré	267	269	2
Crato	818	809	9
Lavras da Mangabeira	848	481	3
Milagres	380	381	1
Valores estatísticos			
Valor t	1.3931		
Graus de liberdade (df)	4		
Valor de p	0.236		
Intervalo de confiança 95%	[-2.78, 8.38]		
Diferença média	2.8		

A Figura 5 apresenta um gráfico de barras comparando duas variáveis para cada município: o número de árvores estimadas por meio de imagens de satélite e o número de indivíduos registrados em levantamentos de campo. O gráfico inclui barras de erro que representam o desvio padrão para cada categoria, o qual expressa a dispersão dos dados em torno da média, permitindo avaliar a variabilidade entre as amostras e, por consequência, a precisão das estimativas. Essa comparação visa verificar a consistência entre os métodos utilizados, identificando possíveis divergências entre os valores estimados e os observados. O cálculo do desvio padrão entre essas duas variáveis forneceu subsídios para compreender o grau de precisão das medições e a confiabilidade dos dados obtidos por geoprocessamento em relação aos dados empíricos de campo.

Com base nos resultados do teste t pareado, não há evidências suficientes para afirmar que as amostras são significativamente diferentes dos valores de campo. Isso sugere que as variáveis podem ser consideradas equivalentes em termos estatísticos, com a diferença observada provavelmente ocorrendo pela retirada ou implementação de indivíduos arbóreos pela gestão municipal ou pelos próprios moradores.

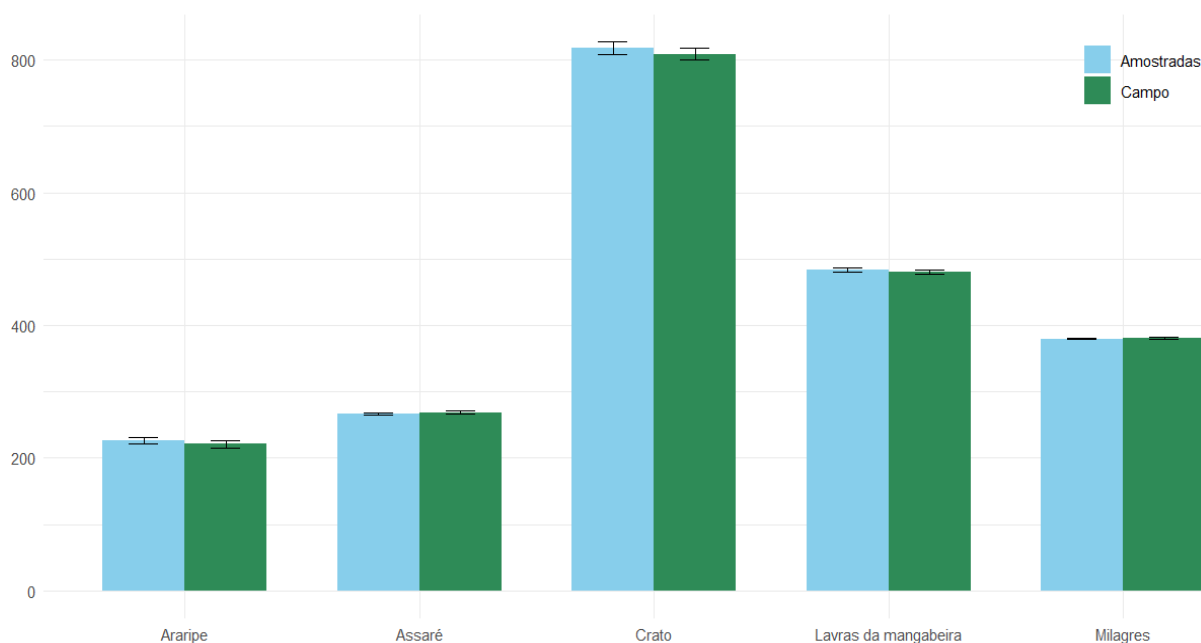


Fig. 5: Análise comparativa entre a quantidade de árvores observadas e amostradas em cinco municípios no sul do Ceará, Nordeste do Brasil.

4. Discussão

Os municípios de Araripe e Assaré apresentaram resultados considerados críticos,

com pouco mais de 20 árvores por quilômetro linear (ind.km^{-1}). Com base no estudo de Iwama (2014), que analisou dados quantitativos de arborização urbana utilizando um indicador espacial da relação árvores por quilômetro (árv/km), valores inferiores a 20 árv/km indicam situações mais críticas, enquanto valores acima de 80 árv/km correspondem a contextos menos críticos. Assim, os resultados encontrados para Araripe e Assaré apontam para uma condição preocupante em relação à arborização urbana.

De acordo com os últimos censos do panorama das cidades do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010; IBGE, 2019), os municípios de Araripe e Assaré apresentam, respectivamente, uma urbanização de vias públicas de 5,8% e 5,7% e arborização de vias públicas de 80,8% e 91,8%, o que não condiz com os valores observados neste estudo. Os demais municípios (Crato - 58,3% de arborização de vias públicas e urbanização de 3,5%; Lavras da Mangabeira - 95,7% de arborização e urbanização de 8,3% e Milagres - urbanização de 11,1% e arborização de vias públicas de 85,5%), também apresentam discrepâncias com os resultados desse estudo. Apenas o município de Crato apresentou um valor de quantidade de árvores/km considerado satisfatório (89 ind.km^{-1}), enquanto Milagres ($33,71 \text{ ind.km}^{-1}$) e Lavras da Mangabeira ($37,43 \text{ ind.km}^{-1}$) estão dentro do que é considerado acima do valor crítico.

As observações das imagens proporcionadas pelo satélite (Fig. 2) e as imagens *in loco* (Fig. 3) mostram notoriamente que há muito espaço vazio nos dois lados dos passeios públicos, o que naturalmente deveria ser ocupado por novos indivíduos arbóreos. Resultados semelhantes foram observados por Rodrigues *et al.* (2020), ao estudarem a arborização urbana por meio de imagens de satélite em Taiacu, interior de São Paulo, onde observaram o valor de 23 indivíduos arbóreos/km; e Priano *et al.* (2020) em Taquaritinga, São Paulo, também utilizando amostragem via geotecnologia.

Quanto à precisão do método analisado em comparação com a amostragem *in loco*, foi observado grande semelhança quanto ao número de indivíduos amostrados pelas imagens de satélite. Isso também foi evidenciado por De Jesus *et al.* (2021), que utilizando o software Google Earth Pro como ferramenta para determinação de espécies usadas na arborização de duas ruas de Campo de Brito, Sergipe, concluíram que o uso do Street View do Google Earth Pro se mostrou muito preciso na determinação e contabilização de árvores urbanas, com apenas um indivíduo a mais anotado no trabalho *in situ* em comparação com a análise por satélite. No entanto, a metodologia de amostragem por satélite utilizada neste trabalho pode apresentar alguma limitação para

cidades muito grandes. No caso de Crato, pode-se perceber que mesmo que a área urbana total tenha sido delimitada conforme estabelecido na metodologia, de forma semelhante aos outros municípios (de menor área urbana), há grande parte da zona urbana não amostrada, em virtude da presença de loteamentos e novos bairros não compreendidos na faixa amostral. No entanto, a possibilidade de se mensurar o número de árvores por estimativa de menos de 10% no comprimento de vias públicas facilita o trabalho das equipes de gestão ambiental dos municípios.

Os resultados dessa pesquisa são promissores, mas deve-se observar ainda que há pequena variação no índice multiplicador dos municípios estudados. Conforme Rodrigues et al. (2020), o método de amostragem por satélite mostra-se uma ferramenta de fácil execução e custo baixo e pode ser utilizado por prefeituras ou empresas especializadas em serviços de poda nos municípios. Essa técnica pode ser aperfeiçoada e está cada vez mais sendo utilizada em trabalhos de arborização urbana, mostrando um potencial a ser explorado e que pode auxiliar na articulação e integração de planos urbanísticos (planos diretores e afins) com planos de arborização urbana (Iwama, 2014). Os resultados deste trabalho apontam para o potencial da aplicação de métodos de amostragem para estudos de arborização urbana nas cidades do interior do Nordeste brasileiro, que carecem de iniciativas para implantação e manejo da arborização urbana.

O uso dessa técnica, bem como a organização de um banco de dados relacional a partir das análises espaciais são fundamentais para um planejamento prévio da arborização nessas cidades. O uso de geotecnologias, tal qual o geoprocessamento e o sensoriamento remoto, pode ser uma importante ferramenta no monitoramento da arborização urbana, uma vez que a utilização da imagem de satélite de alta resolução mostra-se bastante eficiente na quantificação da cobertura vegetal (Lima; Vieira, 2009; Rodrigues et al., 2020), e a associação com trabalho de campo amplia ainda mais as informações para o poder público local no gerenciamento do ambiente em espaços urbanos, conforme observado por Meneghetti (2003), Guilherme et al. (2018) e Silva et al. (2018), que realizaram visitas *in loco* e puderam observar maiores custos no desenvolvimento do trabalho de campo.

É importante salientar que a proposta desse estudo foi de quantificar os indivíduos arbóreos por meio do software Google Earth Pro, que dispõe de ferramentas para visualização a nível de solo de árvores nas ruas e avenidas que são georreferenciadas (Google Street View), facilitando o trabalho de equipes ligadas à arborização urbana nos municípios, na observação da fitossanidade e até identificação das espécies.

Observações de satélite estão sendo cada vez mais utilizadas para caracterizar a cobertura de espaços com ou sem muita exposição de área verde e avaliação de igualdade para estudos ambientais e de saúde. Espaços verdes urbanos como parques, árvores de rua e florestas urbanas, devem ser vistos como um componente básico de infraestrutura verde nas cidades já que fornecem múltiplos benefícios biofísicos, estéticos e socioeconômicos (Wu et al., 2023).

Um ponto importante a ser destacado nas observações das imagens é a ausência ou deficiência do planejamento estratégico de arborização nos municípios, em detrimento da necessidade do plantio de árvores em locais onde é observada a ausência. Essa análise permitiu identificar os municípios que necessitam de maior atenção em seus planos urbanísticos e de arborização urbana em relação à densidade arbórea em vias públicas, apontando a seguinte sequência: Assaré<Araripe<Milagres<Lavras da Mangabeira<Crato. Apesar de o município do Crato ter apresentado um resultado maior referente ao número de árvores/km nas ruas, sabe-se que a existência de grande número de árvores ou ainda de variedade de espécies em uma cidade não é garantia de melhoria ambiental. Em Águas de São Pedro, interior de São Paulo, município com indicador alto de 133 árvores/km (Silva Filho; Bortoleto, 2005), apesar de apresentar alta riqueza ou variedade maior em relação a outras cidades, mostra que há uma tendência de plantio de espécies arbustivas no município que é preocupante e não garante uma diversidade ideal (Iwama (2014), na proporção adequada de espécies para a arborização urbana (Grey; Deneke, 1978). Além disso, uma grande quantidade (ou alta densidade) de árvores nas calçadas não caracteriza uma arborização urbana bem planejada, sendo necessário considerar fatores como a dimensão e a qualidade da copa da árvore (Paiva; Gonçalves, 2002; Almeida; Rondon Neto, 2010; Iwama, 2014).

Os dados deste estudo indicam uma predominância significativa de espécies exóticas (29,8% a 50,7%) e exóticas invasoras (35,4% a 59,6%) na arborização urbana dos municípios analisados. Esses resultados corroboram com estudos anteriores realizados em municípios do Ceará, que também apontam para a alta participação de espécies não nativas na composição arbórea urbana.

Por exemplo, Moura *et al.* (2020), estudando a arborização da cidade de Brejo Santo, também no sul do Estado, verificaram *Azadirachta indica*, *Ficus benjamina* e *Mangifera indica*, totalizando 87% do total de indivíduos. Calixto Júnior *et al.* (2009), ao realizarem inventário censo da arborização urbana de Lavras da Mangabeira, observaram pequena riqueza de espécies, com apenas três (*Ficus benjamina*, *Senna*

siemea e *Azadiractha indica*) correspondendo a 92,95% do total de indivíduos arbóreos e com o percentual de árvores exóticas de 95,3%. Lisboa *et al.*, (2024), estudando o efeito da flora arbórea de praças públicas no sequestro de carbono em três municípios do Sul do Ceará (Barbalha, Crato e Juazeiro do Norte), apontaram para o grande número de espécies exóticas existentes. No município de Icapuí, litoral leste do Ceará, observou-se 67% de exóticas e 33% de nativas (Oliveira Júnior *et al.*, 2020).

Moro e Castro (2015), registraram 158 espécies exóticas em um universo de 219 espécies em Fortaleza, Ceará. Em estudo realizado no município de Valença, litoral leste da Bahia, verificou-se também a maioria das espécies (69,6%) identificadas como exóticas (Silva Júnior *et al.*, 2020). Silva e Moreno (2020), estudando a arborização de Catalão, sudeste de Goiás ao longo de 11 anos, observaram predominância de espécies exóticas em 74,3%, com prevalência significativa de espécies das famílias Fabaceae, Moraceae e Arecaceae. Santos *et al.* (2021), ao analisarem a arborização da região central de Osório, Rio Grande do Sul, apresentam resultados semelhantes aos deste trabalho, com valores altos de número de espécies e indivíduos da flora exótica nas vias públicas. Áreas urbanas com baixa cobertura arbórea no Brasil são encontradas também na Amazônia, destacando as disparidades no acesso aos benefícios da arborização urbana. Resultados de inventário florístico realizado por Jiménez *et al.* (2024), indicam que a maioria das árvores urbanas em Macapá, Amapá são exóticas, não frutíferas e de tamanho médio.

Assim como no interior e em capitais do Brasil, estudos em vários países do mundo tem atentado para o perigo da introdução e uso de espécies de árvores exóticas em ambientes urbanos. No contexto internacional, a rápida expansão de espécies invasoras também é um problema crescente, como exemplificado pelo aumento significativo na Coreia do Sul entre 2011 e 2013 (Jeong *et al.*, 2016).

A riqueza florística das áreas urbanas está intimamente relacionada ao seu tamanho e à presença de tipos específicos de habitat (Rigo; Barina, 2020). As áreas urbanas são locais importantes no contexto de invasões biológicas, pois representam pontos críticos de imigração a partir dos quais espécies exóticas se espalham para a área circundante (Lososová *et al.* 2012; Lubarda *et al.*, 2024). O uso de espécies de origem exótica não deve ser recomendado na arborização urbana, já que as mesmas podem apresentar vantagens competitivas sobre as nativas, ocasionando sua dominância e consequentemente, a perda de indivíduos ou até de espécies nativas em remanescentes naturais. O uso dessas espécies em detrimento das nativas é uma prática corriqueira na

implantação da arborização nas cidades brasileiras, sendo reflexo da herança cultural europeia (Bobrowski *et al.*, 2022). Esses resultados refletem a falta de planejamento da arborização urbana destas cidades.

Azadirachta indica (Nim-indiano), arbórea de maior abundância relativa em todos os municípios estudados (987 ind.) é classificado como espécie exótica invasora de alto risco (Leão *et al.*, 2011). Algumas de suas características como a capacidade de produzir substâncias com potentes efeitos alelopáticos, assim como impedir a ecdise de insetos e influenciar a disposição de colônias de polinizadores, fazem da espécie uma grave ameaça à biodiversidade local, sendo apontada como perigosa pelo registro de altos índices de susceptibilidade de invasão biológica para a região do Cariri cearense (Fabricante *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2022).

O *Ficus benjamina*, espécie com segunda maior abundância relativa nos municípios estudados (400 indivíduos), é exótica excessivamente utilizada na arborização de municípios de pequeno porte no Brasil, embora não seja recomendada já que seu sistema radicular pode apresentar podridão e afloramento (Fernandes *et al.*, 2020), danificando as estruturas das vias e passeios públicos, além de ser vulnerável à queda.

Nesse íterim, o uso de espécies nativas é importante porque estas são adaptadas às condições de clima e solo regionais, auxiliam na construção de uma área semelhante a natural, sendo também uma forma de divulgação e valorização da flora local, que contribui para a manutenção da biodiversidade (Alvarez; Gallo, 2012). Como observado nesse estudo, a riqueza e a abundância relativa das espécies variam nos municípios estudados e não refletem a diversidade florística nativa da área geográfica em que estão inseridos.

O município do Crato, localizado nas imediações da Chapada do Araripe, embora tenha apresentado o segundo maior índice de nativas na arborização urbana (9,3%) (Tabela 3) e o maior valor de espécies exclusivas anotadas pelo diagrama de Veen (Figura 4), não reflete na arborização a identidade florística da Chapada do Araripe, que compreende quatro fitofisionomias bem definidas (cerrado *sensu stricto*, cerradão, carrasco e mata úmida) (Silva *et al.*, 2022). No entanto, apresenta espécies do Domínio Biogeográfico da Caatinga (*Schinopsis brasiliensis* e *Copernicia prunifera*) em suas vias e que ocorrem em alguma fitofisionomia da Chapada: *Plathymania reticulata*, *Handroanthus heptaphyllus* e *Acrocomia aculeata*.

5. Conclusões

A estimativa da abundância de árvores por amostragem aleatória de 12 vias públicas com imagens de satélite foi possível nos cinco municípios estudados, mostrando significância estatística na comparação com os resultados *in loco* e apresentando-se como alternativa para uso no monitoramento e em outras políticas de gestão da arborização urbana.

O número de árvores/km nas vias urbanas de Assaré e Araripe é considerado insatisfatório, sendo necessário planejamento técnico e intervenções urgentes na arborização desses municípios.

É alarmante a abundância relativa de árvores exóticas nas áreas urbanas selecionadas, evidenciando-se a baixa riqueza florística e o número insuficiente de espécies que refletem a diversidade da flora arbórea nativa da área geográfica que engloba os cinco municípios do sul do Ceará.

Agradecimentos

À Universidade Regional do Cariri (URCA); ao Laboratório de Ecofisiologia Vegetal (LECOV/URCA); ao Laboratório de Estudos da Flora Regional do Cariri (LEFLORE/URCA) e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) - Projeto: BP4-0172 00213. 01.00/20).

6. Referências

- Almeida, D. N., & Rondon Neto, R. M. (2010). Análise da arborização urbana de três cidades da região norte do Estado de Mato Grosso. *Acta Amazonica*, 40, 647-656.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Moraes, J. L., Sparovek, G. (2014). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Berlin, 22, 6, 711-728.
- Alvarez, I. A., & Gallo, B. C. (2012). Quantificação da arborização urbana viária de Campinas, SP. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. (Comunicado Técnico, n.30, 1-8).
- Alves, L. P., Costa, J. A. S., & Costa, C. B. (2023). Arborização urbana dominada por espécies exóticas em um país mega diverso: falta de planejamento ou desconhecimento? *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(3), 1304-1375.

Bobrowski, R., et al. (2022). Methods for the estimation of sampling sufficiency in urban forest inventories: The case of non-patterned compositions of trees on sidewalks. *Urban Forestry & Urban Greening*.

Bonametti, J. H. (2020). Arborização urbana. *Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa*, 19(36), 51-55. Disponível em: <http://publicacoes.unifil.br/index.php/Revistateste/article/view/1412/1355>.

Calixto Júnior, J. T., Santana, G. M., & Lira-Filho, J. A. (2009). Análise quantitativa da arborização urbana de Lavras da Mangabeira, Nordeste do Brasil. *REVSBAU*, 4(3), 99-109.

Cavender-Bares, J. M., et al. (2022). The hidden value of trees: Quantifying the ecosystem services of tree lineages and their major threats across the contiguous US. *PLOS Sustainability and Transformation*, 1(4), e0000010. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000010>.

Cazetta, R. (2011). *Google Earth: novas fronteiras para a geotecnologia e educação*. São Paulo: Editora Acadêmica.

Chen, B., et al. (2022). Beyond green environments: Multi-scale difference in human exposure to greenspace in China. *Environmental International*, 166. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107348>.

Crystal-Ornelas, R., & Lockwood, J. L. (2020). The 'known unknowns' of invasive species impact measurement. *Biological Invasions*, 22, 1513–1525. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02200-0>.

Ćurić, M., Zafirovski, O., & Spiridonov, V. (2020). Essentials of medical abundance of urban trees using geotechnologies of free access. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 8(3).

De Jesus, L. F. R., Reis, D. O., & Fabricante, J. R. (2021). Avaliação do uso do Google Earth Pro como ferramenta para estudos de arborização urbana. *Revista Multidisciplinar De Educação E Meio Ambiente*, 2(2), 72. Disponível em: <https://doi.org/10.51189/rema/1092>.

Fabricante, J. R., et al. (2021). Invasive alien plants in Sergipe, north-eastern Brazil. *Neotropical Biology and Conservation*. <https://doi.org/10.3897/neotropical.16.e56427>.

Fernandes, T. P., & Ximenes, L. C. (2020). Comportamento de *Ficus* na arborização urbana do bairro Santa Clara, Santarém/Pará. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11(1), 29-39.

Ferreira, W. N. (2020). Inventário florístico e percepção da população sobre a arborização urbana na cidade de Brejo Santo, Ceará. *Brazilian Journal of Development*, 6(10), 75773-75792. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-124>.

Flora e Funga, 2024

Galdino, S. J., & Ferreira, M. E. M. C. (2023). Análise de NDVI e temperatura de superfície em áreas urbanas de pequenas cidades da microrregião de Goioerê-PR. *Revista Percurso – NEMO*, 15(1), 25-51. <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Percurso/article/view/66761>.

Grey, C., & Deneke, F. (1978). *Urban Forestry*. Chichester: John Wiley.

Grote, R., et al. (2016). Functional traits of urban trees: air pollution mitigation potential. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(10), 543-550.

Guilherme et al. (2018) e

IBGE. (2010). *Panorama - Ceará*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/panorama>. Acesso: 09 de junho de 2025.

IBGE (2019). *Panorama - Ceará*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/panorama>. Acesso: 09 de junho de 2025.

IBGE (2022). *Censo Demográfico 2022*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html>. Acesso em: 05 de junho de 2025.

IPECE (2017). Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Crato_2017.pdf. Acesso em: 05 de junho de 2025.

Iwama, A. Y. (2014). Indicador de arborização urbana como apoio ao planejamento de cidades brasileiras. *REVSBAU*, 9(3), 156-172.

Jeong, S. Y., et al. (2016). Invasive alien plants in South Korea. *Korea National Arboretum*.

Jerônimo, F. F., et al. (2021). Spatial analysis of the conflicts of urban treatment of the City of Rio Tinto - PB. *Research, Society and Development*, 10(5), e9310514571. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14571>.

Jimenez, L. A., et al. (2024). Equidade ambiental e arborização urbana no extremo nordeste da Amazônia brasileira. *Urban Ecosystems*, 27, 2349-2365.

Kim, I., Sou, H. D., Cho, H. J., et al. (2025). Impacto da estrutura da floresta urbana, diversidade de espécies nativas e comunidade de vegetação na riqueza de espécies de

plantas invasoras. *Urban Ecosystems*, 28(6). <https://doi.org/10.1007/s11252-024-01658-3>.

Kueffer, C. (2017). Plant invasions in the Anthropocene. *Science*, 358, 724-725. <https://doi.org/10.1126/science.aao6371>.

Leão, T. C. C., et al. (2011). Espécies Exóticas Invasoras no Nordeste do Brasil: contextualização, manejo e políticas públicas. Recife: CEPAN.

Lima, M. O & Vieira, V. C. B. (2009). Uso de geotecnologias para análises da cobertura vegetal urbana. *Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal, RN, Brasil. 14. pp. 731-738. Recuperado de <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.17.21.02/doc/731-738.pdf>

Lisboa, M. A. N., et al. (2024). Diversity, structure, and carbon sequestration potential of the woody flora of urban squares in the Brazilian semiarid region. *Trees, Forests and People*, 16, 100561. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100561>.

Lososová *et al.*, 2012;

Lotti, J. D., et al. (2022). Uso de geotecnologia para estimar a arborização no município de Ibitinga-SP. *Perspectiva em Educação, Gestão & Tecnologia*, 11(22).

Lubarda, B., Rat, M., Petronić, S., et al. (2024). Urban floristic diversity in Bosnia and Herzegovina — a reflection of nature. *Urban Ecosystems*, 27, 1067-1083. <https://doi.org/10.1007/s11252-024-01509-1>.

Machado, D. S., et al. (2020). Infraestrutura verde em áreas urbanas. *Gestão Ambiental e Urbana*. <https://www.gestaourbana.org>.

Meneghetti, G. I. P. (2003). Estudo de dois métodos de amostragem para inventário da arborização de ruas dos bairros da Orla Marítima do Município de Santos (SP). 100 p. f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) -Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

Moro, M. F., & Castro, A. S. F. (2015). A checklist of plant species in the urban forestry of Fortaleza, Brazil: Where are the native species in the country of megadiversity? *Urban Ecosystems*, 18, 47-71. <https://doi.org/10.1007/s11252-014-0380-1>.

Muresan, A. N., et al. (2022). Assessment of air pollutants removal by green infrastructure and urban and peri-urban forests management for a greening plan in the Municipality of Ferrara, Italy. *Ecological Indicators*, 135(6), e108554.

Oliveira Júnior, F. V. L., et al. (2020). Diagnóstico quantitativo e qualitativo da arborização de uma praça pública e de um mirante no município de Icapuí-CE. *Brazilian Journal of Development*, 6(8), 58645-58653.

Paiva, H. N.; Gonçalves, W. (2002). *Florestas urbanas: planejamento para melhoria da qualidade de vida*. Viçosa: Aprenda Fácil Editora, Pereira; Couto, 2024

Priano, T. C. B. S.; Bovério, M. A.; Bruno D. R.; Rodrigues, G. A. (2020). Uso de geotecnologias para estimar a arborização no município de Taquaritinga-SP. 9, 18.

Rachid, C. & Couto, H. T. Z. (1999). Estudo da eficiência de dois métodos de amostragem de árvores de rua na cidade de São Carlos (SP). *Scientia Forestalis*, Piracicaba, 56, 59-68.

Ragula, A. A. & Chandra, K. K. (2020). Tree species suitable for roadside afforestation and carbon sequestration in Bilaspur, India. *Carbon Management*, 369-380.

Rai, K. P. & Singh, J. S. (2020). Invasive Alien Plant Species: Their Impact on Environment, Ecosystem Services and Human Health. *Ecological Indicators*, 111, Article ID: 106020.

Rigó, A. & Barina, Z. (2020) Methodology of the habitat classification of anthropogenic urban areas in Budapest (Hungary). *Biologia Futura*, 71, 53-68.

Rodrigues *et al.* (2020)

Santos, M. F. N. & Enokibara, M. (2021). Infraestrutura verde: conceitos, tipologias e terminologia no Brasil. *Paisagem e Ambiente*. [online] 32.

Selmi, W., et al. (2016). Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France. *Urban Forestry & Urban Greening*, 17, 192-201.

Silva, L. P. & Moreno, M. I. C. (2020). Acompanhamento da arborização urbana de Catalão (GO) ao longo de 11 anos. *Brazilian Journal of Development* [online] 6.

Silva, N. C., Thomé, M. P. M., Thomé, C. C. S. V. (2022). Levantamento da arborização urbana em cinco bairros do município de Aperibé-RJ. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação* [online] 8.

Silva Filho, D. F. & Bortoleto, S. (2005) Uso de indicadores de diversidade na definição de plano de manejo da arborização viária de Água de São Pedro (SP). *Revista Árvore*, Viçosa, 29, 973-982.

Silva Júnior, A. S., Freitas, R. M. O., Matias, M. I. A. S., Lucena, E. A. R. M. (2020). Levantamento de espécies arbóreas em vias públicas do Município de Valença - Bahia. *Brazilian Journal of Development*, 6, 2, 93958–93974.

- Silva, P. H. S. & Souza, D. D. (2020). Diagnóstico quantitativo da vegetação arbóreoarbustiva de duas praças localizadas no bairro José e Maria no município de PetrolinaPE. *REVSBAU*, Curitiba – PR, 15, 3,70- 81.
- Storch-Böhm, R. F., Somensi, C. A., Cotelle, S., Deomar-Simões, M. J., Poyer-Radetski, L., Dalpiaz, F. L., Pimentel-Almeida, W., Férard, J.-F., & Radetski, C. M. (2020). Sensitivity of different parameters for selection of higher plants in urban afforestation: exposure of guabiroba (*Campomanesia xanthocarpa* O. Berg.) to diesel engine exhaust. *Environmental Pollution*, 265, 114675.
- Tan. B. A., Gaw, L. Y., Masoudi, M., Richards, D. R. (2021). Nature-Based Solutions for Urban Sustainability: An Ecosystem Services Assessment of Plans for Singapore’s First “Forest Town”. *Frontiers in Environmental Science*, 9,45-56.
- Varol, M., & Yilmaz, C. H. (2019). Environmental, ecological and health risks of trace elements, and their sources in soils of Harran Plain, Turkey. *Chemosphere*. 16, 22-29/
- Wallhowe, J. L. (2022). Land manager decision-making practices when establishing public fruit-bearing plants in Hennepin county municipalities, Minnesota. *Urban Forestry & Urban Greening*, 74, 127659. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127659>.
- Wiesel, P. G., Dresch, E., Santana, E. R. R., Lobo, E. A., (2021). Urban afforestation and its ecosystem balance contribution: a bibliometric review. *Management of Environmental Quality: An International Journal* [online] 323.
- Wolf, K. L., Lam, S. T., McKeen, J. K., Richardson, G. R. A., van den Bosch, M., Bardekjian, A. (2020). Urban Trees and Human Health: A Scoping Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(12), 4371.
- Wu, S., et al. (2023). Remote sensing of urban greenspace exposure and equality: Scaling effects from greenspace and population mapping. *Urban Forestry & Urban Greening*, 90, 128136. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128136>.

Artigo II: A flora arbórea urbana reflete a diversidade florística da vegetação adjacente? Um estudo da estrutura e similaridade da arborização no Ceará, Brasil

Artigo a ser submetido à revista *Environmental Development* (Fator de impacto 4.7 e 90% de percentil).

Resumo: Cidades modernas enfrentam desafios climáticos agravados pela urbanização desordenada, como o aumento das ilhas de calor. No Brasil, a concentração urbana reforça a necessidade de políticas sustentáveis que valorizem a arborização, responsável por serviços ecossistêmicos essenciais. Contudo, a gestão das árvores urbanas é muitas vezes negligenciada, especialmente em regiões semiáridas. Este estudo investiga a arborização urbana em cinco municípios do Cariri (CE), com foco em: (i) analisar se a similaridade florística reflete mais escolhas antrópicas (espécies e manejo) do que fatores ambientais; e (ii) verificar se a composição arbórea é predominantemente de indivíduos em estágios iniciais a intermediários de desenvolvimento. O estudo analisou 60 vias urbanas ao total, inventariando árvores com DAP ≥ 5 cm e altura mínima de 2 m. A estrutura da arborização foi avaliada por gráficos hipsométricos e diamétricos, com análises estatísticas. A fitossociologia considerou densidade, frequência e índice densidade-frequência, enquanto a similaridade florística foi avaliada pelo índice de Jaccard e agrupamento UPGMA. Os resultados revelaram a presença de 2.161 indivíduos arbóreos, pertencentes a 24 famílias, 61 gêneros e 67 espécies, com forte dominância das exóticas *Azadirachta indica* (46%) e *Ficus benjamina* (19%), que juntas representaram mais de 60% da amostragem, indicando baixa equitatividade e estrutura florística desequilibrada. A análise de similaridade florística mostrou que os cinco municípios do Cariri formam um grupo coeso, com Lavras da Mangabeira apresentando os maiores índices de similaridade, especialmente com Araripe ($J' = 0,559$). A maioria das árvores registradas pertenceu à segunda classe diamétrica (10,1–24 cm), com destaque para o Crato, que concentrou 384 indivíduos nessa faixa. Em termos de altura, 62% dos indivíduos apresentaram entre 2 e 6 metros, sendo as faixas de 2–4 m (32%) e 4,1–6 m (30%) as mais representativas, o que indica uma arborização composta majoritariamente por indivíduos jovens ou em desenvolvimento. Os resultados apontam a urgência de políticas públicas voltadas à diversificação da flora urbana, com ênfase em espécies nativas e estratégias de manejo adaptadas às condições locais.

Palavras-chave: Estrutura lenhosa. Planejamento urbano. Semiárido.

INTRODUÇÃO

As cidades contemporâneas enfrentam sérios desafios decorrentes das mudanças climáticas, como o aumento das temperaturas médias, alterações nos regimes de precipitação e a intensificação de eventos extremos, como enchentes e ondas de calor (Mullanet et al., 2015; Tan et al., 2021; Kumar et al., 2024). Esses fenômenos agravam o efeito de ilha de calor urbana (ICU), impactando diretamente a saúde física e mental das populações, ao elevar o risco de estresse térmico, doenças cardiovasculares e respiratórias (Ferreira et al., 2023). Paralelamente, o crescimento desordenado das cidades tem provocado alterações significativas na cobertura do solo, contribuindo para a degradação ambiental e a intensificação de problemas climáticos em escala local (Santos et al., 2012).

No Brasil, mais de 85% da população vive atualmente em áreas urbanas (IBGE, 2022), o que evidencia a necessidade urgente de políticas públicas eficazes voltadas à sustentabilidade urbana (Castro; Alvin, 2024). Entre os diversos impactos ambientais decorrentes da urbanização acelerada, destaca-se a remoção da vegetação urbana ou sua ausência nos planejamentos urbanos, fator crucial a ser considerado (Pinheiro et al., 2022). A expectativa de crescimento contínuo da urbanização nas próximas décadas reforça a importância da adoção de soluções baseadas na natureza, como a presença de florestas urbanas e árvores nas vias e espaços públicos, que desempenham papel fundamental na mitigação dos impactos ambientais e na promoção da qualidade de vida nas cidades (Lian et al., 2024).

Nesse contexto, as árvores urbanas constituem elementos essenciais da infraestrutura verde, oferecendo uma ampla gama de serviços ecossistêmicos, como a regulação térmica por meio de sombreamento e evapotranspiração, a melhoria da qualidade do ar, a redução da poluição sonora e benefícios psicológicos e sociais à população (de Vries et al., 2013; Nowak; Ogren 2021; D'Amato et al., 2023; D'Amato et al., 2025). Além disso, agregam valor estético e econômico à paisagem urbana, podendo inclusive aumentar o valor de imóveis (Donovan; Butry, 2010; Von Dohren; Haase, 2019). Do ponto de vista ecológico, contribuem para a biodiversidade urbana, funcionando como habitat e corredor para diversas espécies (Caneva et al., 2020; Bartoli et al., 2022).

Apesar desses benefícios, a arborização urbana ainda é frequentemente negligenciada no planejamento das cidades brasileiras, especialmente em regiões

semiáridas, como o estado do Ceará. A ausência de planejamento técnico adequado, a escolha de espécies sem critérios ecológicos e a falta de diretrizes unificadas comprometem o desenvolvimento, a funcionalidade e a sustentabilidade da vegetação urbana. Em resposta a essa realidade, iniciativas legais e institucionais têm sido formuladas com o intuito de integrar a arborização ao planejamento urbano. Um exemplo é o Projeto de Lei nº 3.113/2023, atualmente em tramitação no Senado Federal, que propõe a obrigatoriedade da elaboração de planos de arborização urbana para municípios com mais de 20 mil habitantes. Tais planos serão condição para o acesso a recursos federais e estaduais destinados à promoção da arborização, alinhando-se às diretrizes da Política Nacional de Arborização Urbana (Senado, 2023). A proposta busca mitigar os efeitos da ilha de calor e adaptar os espaços urbanos às exigências climáticas atuais e futuras. Ao enfrentar os impactos da urbanização acelerada, o projeto de lei contribui para a construção de cidades mais resilientes e habitáveis (Nascimento et al., 2025).

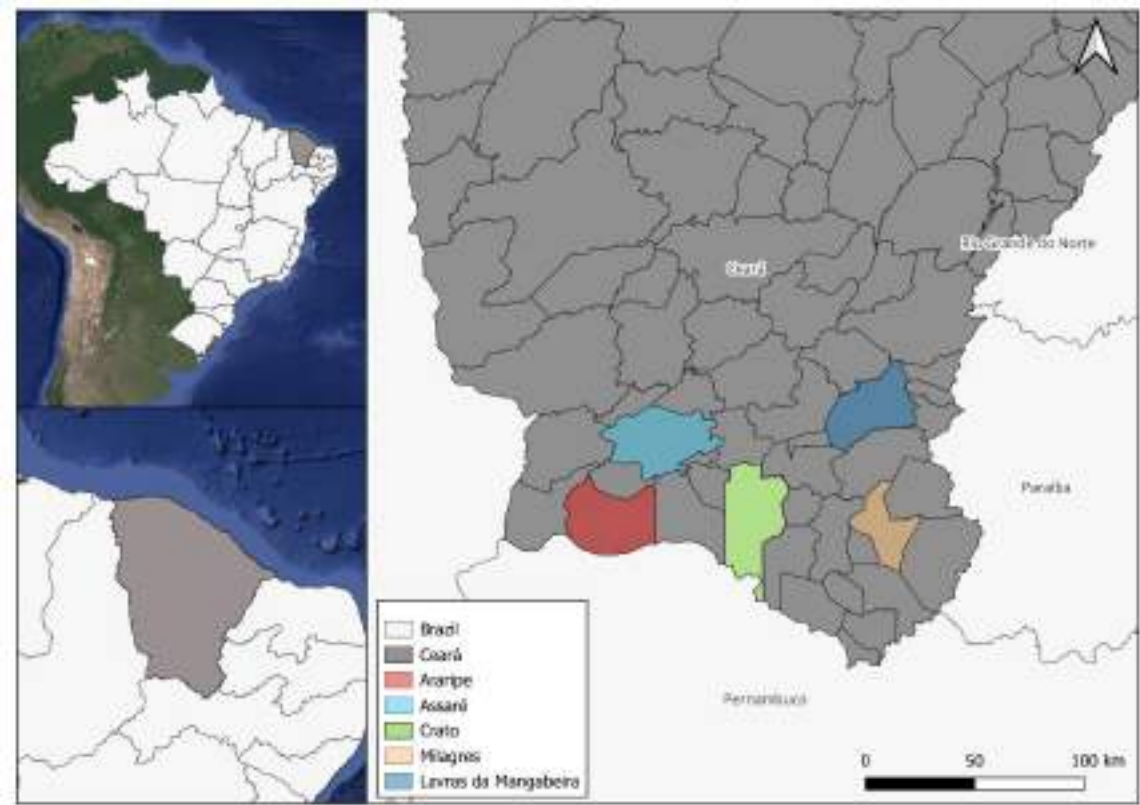
Diante do exposto, torna-se essencial analisar a estrutura da arborização urbana, pois a comparação entre diferentes municípios possibilita a identificação de padrões espaciais e funcionais, além de subsidiar práticas de manejo mais eficazes e adaptadas às condições locais, com base em evidências técnicas. O presente estudo tem como objetivo analisar a estrutura da arborização urbana em municípios do estado do Ceará, avaliando se: (i) a similaridade florística entre os municípios do Cariri é elevada e está mais relacionada a fatores antrópicos, tais como a escolha das espécies para plantio e as práticas de manejo urbano, do que a variáveis ambientais locais, como altitude, pluviosidade e temperatura; e (ii) a arborização urbana desses municípios é composta predominantemente por indivíduos arbóreos em estágios iniciais a intermediários de desenvolvimento, refletindo processos recentes de plantio e renovação da vegetação arbórea nas áreas urbanas.

METODOLOGIA

Área de estudo

A pesquisa foi realizada em cinco municípios situados no sul do estado do Ceará, no Nordeste do Brasil: Araripe, Assaré, Crato, Lavras da Mangabeira e Milagres (figura 1). Esses municípios estão localizados nas proximidades da Região Metropolitana do Cariri (RMC), considerada um dos principais centros urbanos e estratégicos do semiárido brasileiro.

Figura 1. Localização geográfica dos cinco municípios (Araripe, Assaré, Crato, Milagres, Lavras da Mangabeira) estudados no sul do Ceará, nordeste brasileiro.



Juntos possuem uma população estimada em cerca de 236 mil habitantes (IBGE, 2022), sendo Crato o mais populoso, com aproximadamente 131 mil moradores, e Araripe o de menor contingente, com cerca de 20 mil (tabela 1). A área total abrange aproximadamente 5.154 km², destacando-se Assaré pela maior extensão territorial (1.155 km²) e Milagres pela menor (em torno de 579,09 km²). A superfície urbanizada soma cerca de 51 km², com Crato concentrando a maior parte (32,2 km²), conforme os dados do IBGE (2022). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima predominante é o BSh (Alvares et al., 2014), característico de regiões tropicais semiáridas, com chuvas entre janeiro e abril e estiagem prolongada de maio a dezembro. A média anual de precipitação varia de 800 a 1.000 mm (IPECE, 2017).

Tabela 1. Características físicas e demográficas dos cinco municípios analisados no sul do Ceará.

Município	Altitude (m)	Área total (km ²) (2024)	Área urbanizada (km ²) (2019)	População estimada (2022)
Araripe	605	1.097,345	3,43	19.783

Assaré	470	1 155,124	3,33	21.697
Crato	426	1.138,150	32,21	131.050
Lavras da Mangabeira	239	945,263	3,69	30.802
Milagres	334	579,09	6,73	25.900

Fontes: IBGE (2024); IBGE (2022); IBGE (2019).

Coleta e análises de dados

A coleta de dados foi conduzida entre dezembro de 2023 e fevereiro de 2025, em trechos de avenidas urbanas nos cinco municípios selecionados. Inicialmente, as áreas amostrais foram identificadas e delimitadas por meio da análise de imagens de satélite, utilizando-se o software Google Earth Pro (versão 7.3.6.10201, 2025) e a plataforma Google Maps. Em cada núcleo urbano, foram estabelecidos quatro quadrantes virtuais, centrados na área urbana principal, com área individual de 12 hectares. Em seguida, três vias foram selecionadas aleatoriamente em cada quadrante para a realização do inventário arbóreo em campo, totalizando 60 vias amostradas.

A contagem e mensuração dos indivíduos arbóreos foram realizadas presencialmente, considerando todos os exemplares localizados nas vias selecionadas que apresentavam diâmetro à altura do peito (DAP) igual ou superior a 5 cm e altura mínima de 2 metros. A estimativa da altura foi realizada com o auxílio de um hipsômetro a laser (LCD PF3S), enquanto o DAP foi mensurado com uma suta dendrométrica graduada em milímetros. Após essa etapa, foram elaborados gráficos da estrutura hipsométrica e diamétrica, organizados em seis e sete classes, respectivamente, com o objetivo de analisar aspectos qualitativos da arborização urbana.

As diferenças nos atributos estruturais (altura e DAP) entre os municípios foram avaliadas por meio de modelo de regressão não linear e análise de variância (ANOVA). Para identificação de diferenças significativas entre os grupos, aplicou-se o teste de Tukey, com nível de significância de $p < 0,01$. As análises foram utilizadas para compreender as variações da arborização urbana entre os diferentes contextos geográficos e urbanos.

A identificação das espécies foi realizada por meio da comparação com exemplares depositados no Herbário Caririense Dárdano de Andrade Lima (HCDAL),

da Universidade Regional do Cariri (URCA), além de consultas a bibliotecas especializadas e à orientação de especialistas. A classificação taxonômica seguiu o sistema do Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV, 2016), enquanto a grafia, autoria dos binômios e sinônimas foram verificadas com base no banco de dados Flora e Funga do Brasil (Flora e Funga, 2025).

Análise fitossociológica

Os dados florísticos foram processados no Microsoft Excel®, por meio do cálculo dos parâmetros fitossociológicos: Densidade Relativa (DR%) e Frequência Relativa (FR%). A importância ecológica das espécies foi representada pelo Índice Densidade-Frequência (IDF), que corresponde à soma de DR% e FR%, inspirado no Índice de Valor de Importância (IVI) proposto por Curtis & McIntosh (1951), adaptado neste estudo devido à ausência de estimativas de área basal.

Análise de Similaridade

Para identificar a similaridade florística da arborização urbana entre os municípios estudados e outras localidades urbanas do Nordeste brasileiro foi elaborada uma matriz de presença/ausência com base nas espécies arbóreas registradas em inventários florísticos disponíveis na literatura. Para isso, foram consideradas as espécies registradas nos seguintes estudos: Araújo et al. (2019) (Campina Grande – PB), Rodolfo Júnior et al. (2019) (Pombal – PB), Lima et al. (2019) (Tauá – CE), Moura et al. (2020) (Brejo Santo – CE), Silva Júnior et al. (2020) (Valença – BA), Sousa et al. (2021) (Balsas – MA), Silva et al. (2021) (Santana do Ipanema – AL), Moura et al. (2022) (Aurora – CE) e Coelho Júnior et al. (2023) (Picos – PI).

A comparação entre os municípios foi realizada por meio do índice de similaridade de Jaccard (J'), que mensura a proporção de espécies compartilhadas entre os locais, desconsiderando as ausências simultâneas. A matriz de similaridade resultante foi utilizada na análise de agrupamento, aplicada pelo método de União pelas Médias Aritméticas Não Ponderadas (UPGMA), utilizando-se a distância euclidiana como medida de dissimilaridade. Todas as análises foram conduzidas no software PAST, versão 3.23 (Hammer et al., 2001), amplamente utilizado em estudos ecológicos para análises multivariadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram inventariados 2.161 indivíduos arbóreos, distribuídos em 24 famílias, 61 gêneros e 67 espécies botânicas. Apesar da diversidade taxonômica observada, a composição florística apresentou forte domínio de duas espécies exóticas amplamente utilizadas na arborização urbana da região: *Azadirachta indica* (nim) (987 indivíduos) e *Ficus benjamina* (figueira) (400). Juntas essas espécies correspondem a mais de 60% do total de indivíduos registrados, e apresentam Índices de Densidade-Frequência (IDF) de 49% e 22%, respectivamente (Tabela 2). Esses valores revelam uma estrutura florística altamente desequilibrada, com baixa equitatividade, e indicam a predominância de espécies adaptadas, frequentemente utilizadas em arborização urbana (Zea et al., 2016; Chaves et al., 2019; Delfino et al., 2021), embora possam comprometer a diversidade funcional e os serviços ecossistêmicos associados à heterogeneidade estrutural da vegetação.

Tabela 2. As 15 espécies de maiores IDF dos cinco municípios estudados, Brasil. Onde: IDF = índice de densidade e frequência (%); Ar = Araripe; As = Assaré; Cr = Crato; Lv = Lavras da Mangabeira; Mi = Milagres.

Espécie	IDF	Ar	As	Cr	Lv	Mi
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss	48,816	x	x	x	x	x
<i>Ficus benjamina</i> L.	21,678	x	x	x	x	x
<i>Senna siamea</i> Lam.	9,519	x	x	x	x	x
<i>Moquilea tomentosa</i> Benth.	6,467	x	x	x	x	x
<i>Terminalia catappa</i> L.	5,450	x	x	x	x	x
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. Ex Kunth	4,942	x	x	x	x	x
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	4,710	x	x	x	x	x
<i>Plumeria pudica</i> Jacq.	4,305		x	x	x	x
<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw	4,156	x	x	x	x	x
<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook). Raf.	4,063	x	x	x	x	x
<i>Roystonea oleracea</i> Jacq.	4,027	x		x	x	x
<i>Prosopis juliflora</i> Sw.	3,832	x	x	x	x	x
<i>Ficus retusa</i> L.	3,714	x		x	x	
<i>Adenanthera pavonina</i> L.	3,647	x	x	x	x	x
<i>Ficus microcarpa</i> L.	3,195	x		x	x	x

Além disso, a elevada concentração de indivíduos de poucas espécies na arborização urbana pode levar à redução da diversidade florística e ao aumento da vulnerabilidade ecológica, sobretudo diante da ocorrência de pragas ou doenças específicas (Raupp et al., 2006; Hilbert et al., 2022). A baixa diversidade compromete a estabilidade do ecossistema urbano, tornando-o menos resiliente a distúrbios ambientais

e biológicos, como surtos de pragas, fungos ou mudanças climáticas abruptas (Duinker et al., 2015; Davies et al., 2017). Esse padrão homogêneo contraria princípios básicos de planejamento urbano sustentável, que recomendam maior heterogeneidade de espécies para garantir estabilidade ecológica e estética contínua (O'Sullivan et al., 2017).

Algumas espécies presentes na amostragem, como *Delonix regia*, *Roystonea oleracea* e representantes do gênero *Handroanthus*, são comumente utilizadas em projetos paisagísticos devido ao seu alto valor ornamental (Oliveira et al., 2014; Adeyemi; Shackleton, 2024; Priya; Senthil, 2024; Lisboa et al., 2024). Suas flores vistosas, copas decorativas e sazonalidade chamativa tornam-nas atrativas para uso em espaços públicos. No entanto, o uso excessivo de espécies escolhidas apenas por critérios estéticos pode comprometer a oferta de recursos ecológicos para a fauna urbana e limitar funções ambientais essenciais. Assim, o planejamento arbóreo deve buscar o equilíbrio entre beleza paisagística, funcionalidade ecológica e adaptabilidade às condições locais

Apesar de contribuírem para o sombreamento e ocuparem eficientemente o espaço urbano, é fundamental destacar que *F. benjamina* e *A. indica* são espécies exóticas. Em especial, *Azadirachta indica* apresenta comportamento invasivo em diferentes regiões do semiárido brasileiro, sendo classificada como espécie exótica invasora de alto risco (Leão et al., 2011). Devido à sua notável capacidade de resistir a períodos prolongados de seca e florescer em solos com baixa fertilidade, essa espécie tem apresentado uma ampla distribuição e expansão em todo o território nacional (Silva et al., 2021). Estudos recentes demonstram que *A. indica* possui susceptibilidade à invasão biológica em todos os estados do Nordeste, representando um risco considerável para os ecossistemas nativos (Santos; Fabricante, 2020).

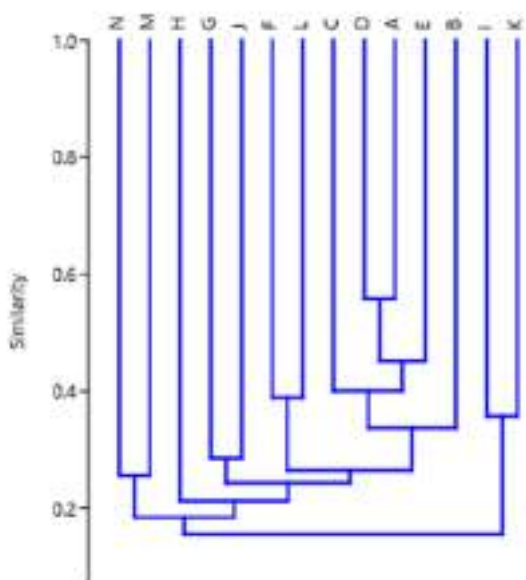
Entre as medidas recomendadas para mitigar os impactos causados por *Azadirachta indica*, destaca-se a interrupção da distribuição de mudas por órgãos oficiais, tanto para áreas urbanas quanto rurais. Além disso, recomenda-se a substituição de indivíduos jovens (em forma de mudas lenhosas) por espécies nativas com potencial semelhante de sombreamento e com características funcionais atrativas à população, como beleza paisagística ou ação repelente (Silva et al., 2022). Em alguns municípios cearenses, como Brejo Santo, Barbalha e Iguatu, a preocupação com os impactos dessa espécie resultou na criação de leis municipais (Lei nº 1.352/2025, Lei nº 30/2022 e Lei nº 2.599/2018, respectivamente) que proíbem o plantio de *A. indica*, representando um

avanço importante na gestão da arborização urbana regional.

Similaridade florística

Os índices de similaridade florística entre os cinco municípios estudados e os demais municípios analisados estão apresentados na Figura 2. Os cinco municípios do Cariri cearense (Araripe, Assaré, Crato, Lavras da Mangabeira e Milagres) formam um grupo coeso no dendrograma (Figura 2), com índices moderados a elevados de similaridade. Esses municípios pertencentes à área de estudo principal apresentaram maior similaridade entre si, sugerindo uma identidade florística regional coerente, possivelmente influenciada por fatores climáticos, geográficos e práticas de manejo urbano comuns.

Figura 2. Dendrograma gerado pelo índice de similaridade de Jaccard entre 13 estudos em vias urbanas no Nordeste do Brasil. A - Araripe - CE; B - Assaré - CE; C - Crato - CE; D - Lavras da Mangabeira - CE; E - Milagres - CE; F - Aurora - CE; G - Brejo Santo - CE; H - Tauá - CE; I - Santana do Ipanema - AL; J - Campina Grande - PB; K - Pombal - PB; L - Picos - PI; M - Balsas - MA; N - Valença - BA.



Lavras da Mangabeira destacou-se por apresentar os maiores índices de similaridade com Araripe ($J' = 0,559$), Crato ($J' = 0,414$) e Milagres ($J' = 0,488$) (tabela 3), sendo o centro de maior convergência florística da região estudada. De acordo com Kent e Coker (1992), valores iguais ou superiores a 0,5 indicam alta similaridade florística. Assim, apenas a relação entre Lavras da Mangabeira e Araripe ultrapassou esse limiar ($J' = 0,559$), sendo considerada de alta similaridade, enquanto os demais valores, ainda que elevados, permanecem dentro da faixa de similaridade moderada.

Tabela 3. Similaridade da matriz Jaccard para os cinco municípios analisados e os nove estudos comparativos no nordeste do Brasil. A - Araripe - CE; B - Assaré - CE; C - Crato - CE; D - Lavras da Mangabeira - CE; E - Milagres - CE; F - Aurora - CE; G - Brejo Santo - CE; H - Tauá - CE; I - Santana do Ipanema - AL; J - Campina Grande - PB; K - Pombal - PB; L - Picos - PI; M - Balsas - MA; N - Valença - BA.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
A	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	0,344	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	0,386	0,309	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	0,559	0,353	0,414	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	0,415	0,342	0,403	0,488	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	0,270	0,250	0,226	0,316	0,279	1	-	-	-	-	-	-	-	-
G	0,216	0,310	0,254	0,263	0,178	0,235	1	-	-	-	-	-	-	-
H	0,179	0,219	0,190	0,225	0,200	0,344	0,242	1	-	-	-	-	-	-
I	0,125	0,160	0,083	0,147	0,128	0,179	0,192	0,185	1	-	-	-	-	-
J	0,282	0,265	0,234	0,293	0,208	0,205	0,286	0,150	0,161	1	-	-	-	-
K	0,179	0,238	0,107	0,161	0,171	0,200	0,167	0,208	0,357	0,138	1	-	-	-
L	0,262	0,211	0,262	0,302	0,271	0,389	0,231	0,167	0,182	0,233	0,161	1	-	-
M	0,182	0,216	0,157	0,196	0,200	0,256	0,119	0,231	0,152	0,156	0,094	0,222	1	-
N	0,175	0,176	0,134	0,190	0,170	0,158	0,135	0,194	0,100	0,237	0,111	0,190	0,256	1

Araripe, além de sua elevada semelhança com Lavras, mostrou também valores relevantes com Crato ($J' = 0,386$) e Milagres ($J' = 0,415$), reforçando a hipótese de uma matriz florística coesa entre esses três municípios. Assaré, embora também se integre ao núcleo de similaridade, apresentou valores ligeiramente inferiores em relação aos demais, como com Crato ($J' = 0,309$) e Milagres ($J' = 0,342$), o que pode indicar variações pontuais na escolha de espécies urbanas ou menor diversidade florística. Crato, por sua vez, apresenta forte relação florística com Milagres ($J' = 0,403$), consolidando um elo significativo entre os municípios cearenses da amostra.

A análise da similaridade florística entre os municípios estudados revelou padrões mais coerentes com a proximidade geográfica e a possível adoção de políticas públicas de arborização semelhantes, do que com fatores ambientais isolados (tabela 4).

Tabela 4. Caracterização ambiental dos nove municípios do Nordeste brasileiro utilizados na análise de similaridade florística.

Município	Estado	Altitude média (m)	Pluviosidade média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
Campina Grande (Araújo)	PB	552	503	23.3

et al., 2019)

Pombal (Rodolfo Júnior et al., 2019)	PB	247	478	28.2
Tauá (Lima et al., 2019)	CE	459	736	26.1
Brejo Santo (Moura et al., 2020)	CE	515	618	25.9
Aurora (Moura et al., 2022)	CE	343	733	27.4
Santana do Ipanema (Silva et al., 2021)	AL	330	461	25.2
Valença (Silva Júnior et al., 2020)	BA	82	1434	24.3
Balsas (Sousa et al., 2021)	MA	401	1105	26.8
Picos (Coelho Júnior et al., 2023)	PI	332	686	28.1

Fontes: ClimeData 2025; Topografic, 2025.

Apesar das variações em altitude (de 285 m em Lavras a 677 m em Crato), pluviosidade (de 640 mm em Crato a 754 mm em Assaré) e temperatura média anual (de 24,3 °C em Araripe a 27,6 °C em Lavras), a composição florística urbana nesses municípios reflete a proximidade regional, que favorece a circulação de espécies, além da adoção de estratégias de arborização similares. A homogeneidade florística observada entre os municípios não parece ser explicada apenas por condições ecológicas locais. Mesmo com diferenças climáticas e topográficas, não se notam variações claras na composição das espécies arbóreas. Isso sugere que fatores como a logística de plantio, o histórico de urbanização e a infraestrutura disponível têm um peso maior na forma como a arborização urbana tem sido estruturada. Além disso, a semelhança entre municípios próximos, apesar das diferenças ambientais, reforça a ideia de que decisões operacionais e administrativas são determinantes na definição dessa configuração.

Essa tendência é reforçada pela baixa similaridade florística com municípios mais distantes, como Santana do Ipanema – AL ($J' = 0,083$ com Crato) e Valença – BA

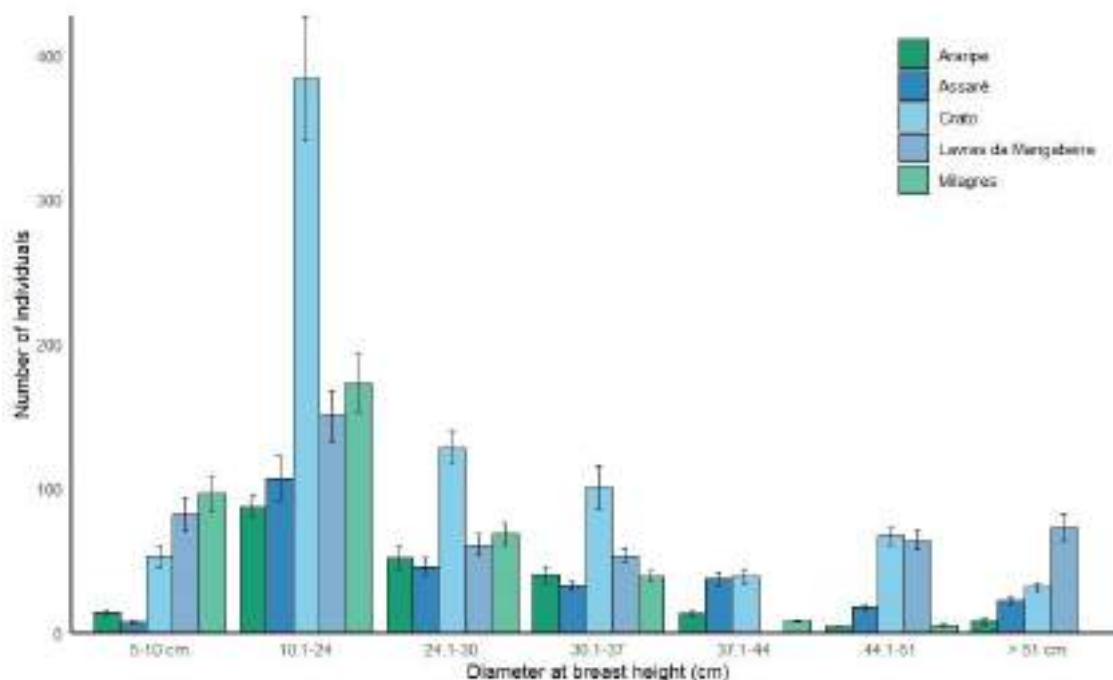
($J' < 0,2$ com quase todos os municípios do Cariri), mesmo em contextos climáticos comparáveis. Por exemplo, apesar de Santana do Ipanema possuir temperatura média (25,2 °C) e altitude (330 m) semelhantes a municípios do Cariri, sua composição florística diverge substancialmente, indicando que a distância espacial e as decisões administrativas locais desempenham papel determinante na composição florística urbana, muitas vezes superando o efeito direto das variáveis ecológicas.

Ao comparar os cinco municípios principais com os demais pontos do Nordeste, observa-se uma redução nos valores de similaridade, o que reforça a ideia de uma composição florística local mais homogênea e distinta das outras regiões. Por exemplo, Crato apresenta baixo índice com Santana do Ipanema – AL ($J' = 0,083$), enquanto Milagres tem $J' = 0,128$ com o mesmo município. Já municípios como Campina Grande – PB e Picos – PI apresentam valores medianos de semelhança com Lavras ($J' = 0,293$ e $0,302$, respectivamente), o que pode refletir sobreposições florísticas ocasionais, talvez influenciadas pelo uso de espécies exóticas comuns ou práticas isoladas de arborização urbana. Ainda assim, essas semelhanças pontuais não anulam a clara distinção entre o núcleo do Cariri e as demais regiões.

Distribuição diamétrica e hipsométrica

As classes diamétricas foram definidas a partir de um DAP mínimo de 5 cm, distribuídas em sete faixas com amplitudes variáveis: 5–10 cm, 10,1–24 cm, 24,1–30 cm, 30,1–37 cm, 37,1–44 cm, 44,1–51 cm e acima de 51 cm (Figura 3).

Figura 3. Distribuição do número de indivíduos arbóreos por classes diamétricas nos cinco municípios estudados localizados na região do Cariri cearense.



A segunda classe diamétrica (10,1–24 cm) foi a mais representativa em todos os municípios avaliados, concentrando 801 indivíduos, o que corresponde a aproximadamente 45% da amostragem total. O município do Crato destacou-se com um número expressivamente maior de árvores nesta faixa (384 indivíduos), indicando a predominância de árvores não adultas ou ainda em processo de desenvolvimento. Resultados semelhantes foram encontrados por Araújo et al. (2009), que, ao analisarem a arborização de um bairro em Campina Grande – PB, também constataram que a classe de DAP com maior número de indivíduos foi a segunda (entre 10 e 20 cm), indicando a predominância de árvores em estágios jovens a intermediários. De forma similar, Chaves et al. (2019), ao investigarem a arborização urbana dos municípios cearenses de Beberibe e Cascavel, observaram que a maioria dos indivíduos amostrados (61%) apresentava DAP entre 9 e 24 cm, reforçando o padrão de dominância de árvores de pequeno a médio porte em áreas urbanas do Nordeste.

A análise de variância revelou diferenças estatisticamente significativas na densidade da classe diamétrica (10,1-24 cm) entre os municípios ($F(4,20) = 297,7$; $p < 0,001$). O teste de comparações múltiplas de Tukey indicou que o Crato apresentou densidade significativamente superior aos demais ($p < 0,001$). Lavras da Mangabeira e Milagres também apresentaram densidades significativamente maiores que Araripe e Assaré ($p < 0,01$), não havendo diferenças estatísticas entre esses dois últimos grupos ($p = 0,910$). Por fim, Araripe e Assaré não apresentaram diferenças significativas entre si

($p = 0,425$).

A análise da quantidade total de indivíduos por município também revelou diferenças significativas ($F(4,20) = 297,7$; $p < 0,0001$), com destaque para o município do Crato ($p < 0,0001$). Lavras da Mangabeira e Milagres apresentaram densidades superiores às de Araripe e Assaré ($p < 0,01$), sem diferenças estatisticamente significativas entre si. Araripe e Assaré, por sua vez, registraram as menores densidades, que não diferiram significativamente ($p = 0,43$). Esses resultados evidenciam desigualdades estruturais na arborização entre os municípios avaliados.

O padrão observado em Crato pode estar relacionado tanto à idade recente dos plantios quanto à predominância de espécies de porte médio, como *Azadirachta indica* (Dantas et al., 2018), espécie exótica amplamente empregada em áreas urbanas do semiárido por sua tolerância à seca, rápido crescimento e copa ampla (Neves; Carpanezzi, 2008). Apesar da predominância de indivíduos na segunda classe diamétrica, o Crato apresentou a estrutura mais diversificada entre os municípios, com presença significativa também nas classes superiores: 128 indivíduos entre 24,1 a 30 cm (16%), 101 entre 30,1 a 37 cm (13%) e 31 indivíduos com DAP superior a 51 cm (4%). Essa distribuição mais equilibrada entre as classes sugere um processo de arborização mais consolidado e contínuo ao longo do tempo, com árvores de diferentes idades e estágios de desenvolvimento. Além disso, a diversidade de classes diamétricas pode refletir uma maior heterogeneidade estrutural, favorecendo a resiliência urbana, a estabilidade das populações arbóreas e a ampliação dos serviços ecossistêmicos oferecidos, como sombreamento e abrigo para fauna urbana, conforme discutido por Tyrväinen et al. (2005). A presença de árvores com DAP elevado também pode refletir a conservação de indivíduos remanescentes de vegetação nativa ou plantios antigos de espécies de grande porte.

Em Lavras da Mangabeira, observou-se uma estrutura diamétrica diversificada, com predominância de indivíduos na segunda classe (10,1 a 24 cm), que concentrou 150 exemplares (33%). Esse padrão indica uma arborização urbana relativamente jovem, em fase de desenvolvimento. Destaca-se, entretanto, a expressiva presença de árvores com DAP superior a 51 cm, totalizando 73 indivíduos (16%), o maior número registrado entre os municípios analisados. A ocorrência desses exemplares de maior porte pode estar associada à presença de espécies de grande desenvolvimento, como as do gênero *Ficus*. Comparado ao estudo de Calixto Júnior et al. (2009), observa-se uma transformação notável na estrutura diamétrica da arborização em Lavras da Mangabeira,

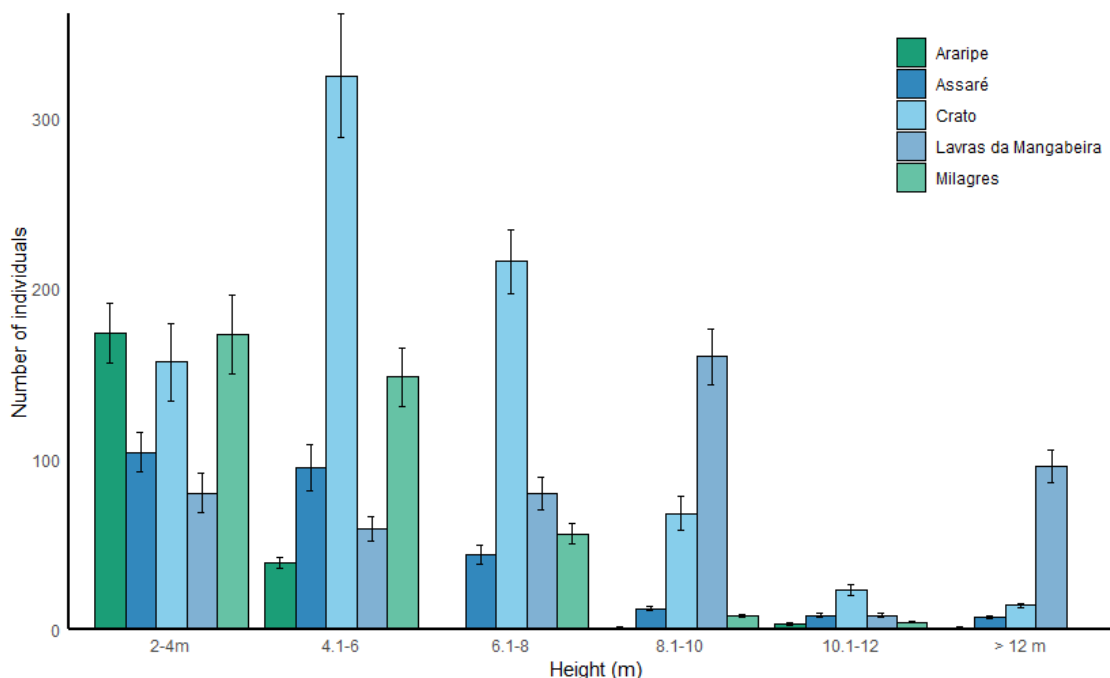
que anteriormente apresentava maioria de árvores jovens, com 46% com DAP inferior a 10 cm e apenas 3,5% acima de 25 cm. Esse contraste evidencia uma evolução da arborização urbana, sugerindo que parte significativa das árvores plantadas no início dos anos 2000 amadureceu, alcançando estágios mais avançados de crescimento. Essa mudança pode resultar de esforços contínuos de plantio e manutenção, bem como de uma menor taxa de substituição ou remoção, favorecendo a longevidade e o desenvolvimento das espécies. A presença atual de indivíduos de grande porte indica consolidação da arborização urbana, potencializando os benefícios ecológicos associados.

A concentração da maior parte dos indivíduos arbóreos nas classes diamétricas iniciais em Milagres e Araripe (86% e 89%, respectivamente) evidencia a predominância de árvores jovens ou de pequeno porte nesses municípios, como *Tecoma stans*. A ausência de indivíduos com DAP superior a 51 cm em Milagres, e a presença muito reduzida de árvores de grande porte em Araripe (4,5% na classe diamétrica final), sugerem uma estrutura arbórea pouco desenvolvida ou submetida a manejos intensos, podas ou pressões ambientais e antrópicas que limitam o crescimento das árvores. A escassez de grandes árvores pode indicar fragilidade da cobertura arbórea urbana, o que reforça a necessidade de políticas públicas que promovam o crescimento e a conservação dessas árvores para melhorar a qualidade ambiental urbana.

Por outro lado, Assaré apresentou uma distribuição diamétrica mais equilibrada, com maior proporção de indivíduos nas classes médias e uma parcela significativa de árvores grandes (8% com DAP acima de 51 cm), indicando uma estrutura arbórea relativamente mais desenvolvida e com maior diversidade de idades, sugerindo menor impacto de manejos intensivos e maior potencial de resiliência da vegetação urbana.

Para a análise da distribuição vertical dos indivíduos arbóreos nos cinco municípios estudados, as classes de altura foram estabelecidas com intervalos regulares de dois metros, organizadas em seis faixas principais: 2,0 a 4,0 m, 4,1 a 6,0 m, 6,1 a 8,0 m, 8,1 a 10,0 m, 10,1 a 12,0 m, além de uma classe final que contempla os indivíduos com altura igual ou superior a 12,1 metros (figura 4).

Figura 4. Distribuição do número de indivíduos arbóreos por classes de altura nos cinco municípios estudados localizados na região do Cariri cearense.



A análise evidenciou uma predominância de indivíduos de pequeno porte. As faixas de altura entre 2 e 4 metros e entre 4,1 e 6 metros concentraram, respectivamente, 32% (688 indivíduos) e 30% (666 indivíduos) da amostra total, totalizando 62% dos exemplares registrados. Araripe e Milagres apresentaram os maiores valores na primeira faixa, enquanto o Crato se destacou na segunda.

O município de Araripe apresenta um perfil concentrado na primeira classe de altura (2 a 4 m), com 174 indivíduos correspondendo a 80% do total, seguida por uma redução substancial nas faixas superiores, com apenas 39 indivíduos (18%) localizados entre 4,1 e 6 metros, enquanto árvores de maior porte são praticamente inexistentes. Esse padrão indica que a maior parte da vegetação urbana encontra-se em estágios iniciais de desenvolvimento ou que houve priorização por espécies de porte reduzido. O município de Milagres apresenta configuração estrutural semelhante, com 173 indivíduos (45%) na faixa de 2 a 4 metros e 148 (38%) entre 4,1 e 6 metros. A arborização urbana concentra-se, portanto, quase exclusivamente em indivíduos de pequeno porte, havendo número bastante limitado de árvores acima de 6 metros. Destaca-se a escassa presença de exemplares nas faixas superiores, com apenas 8 indivíduos entre 8,1 e 10 metros e nenhum com altura igual ou superior a 12 metros, refletindo baixa diversidade estrutural e vertical da vegetação urbana. Esse padrão pode estar associado à adoção de espécies com baixa capacidade de crescimento vertical, bem como à ausência de políticas públicas continuadas para o manejo e expansão da

arborização. A quase ausência de indivíduos em classes médias e altas compromete significativamente a provisão de serviços ecossistêmicos essenciais, reduzindo a resiliência da arborização frente a eventos extremos, como ondas de calor (Mitchel et al., 2016).

Assaré apresenta uma estrutura mais distribuída, com 104 indivíduos (38,5%) na faixa de 2 a 4 metros e 95 (35%) entre 4,1 e 6 metros. Apesar disso, o predomínio de árvores de pequeno porte indica que a maior parte da arborização é composta por indivíduos jovens ou por espécies de menor potencial de crescimento vertical. A presença de 44 árvores (16%) na faixa de 6,1 a 8 metros sugere um progresso, embora modesto, rumo à consolidação de exemplares em estágios mais maduros. Esse padrão pode refletir esforços pontuais ou descontinuados de arborização ao longo dos anos. A reduzida presença de árvores nas classes superiores, especialmente o baixo número de indivíduos com altura igual ou superior a 12 metros (apenas 7 exemplares), evidencia a necessidade de ações contínuas e consistentes de plantio e manejo, com prioridade para espécies longevas e adaptadas às condições do ambiente urbano semiárido.

O Crato revelou uma distribuição vertical diversificada, com maior diversidade de alturas e presença significativa de árvores em faixas superiores. Além dos 325 indivíduos entre 4,1 e 6 m (40%), o município contabilizou 216 árvores com alturas entre 6,1 e 8 m (27%), mantendo ainda representantes em todas as demais classes. Esse padrão indica uma arborização consolidada, composta por árvores em diferentes estágios de desenvolvimento, o que favorece a provisão de serviços ecossistêmicos como sombreamento, regulação térmica e qualificação paisagística do ambiente urbano (Rendon et al., 2024). A amplitude na distribuição vertical sugere também uma política de manejo mais contínua, com reposições sucessivas e menor taxa de remoções, contribuindo para a sustentabilidade da cobertura arbórea no município.

A estrutura vertical observada em Lavras da Mangabeira revela um perfil de arborização urbana predominantemente maduro, evidenciado pela elevada proporção de indivíduos nas classes superiores de altura. Destaca-se a expressiva presença de árvores entre 8,1 e 10 metros (160 indivíduos; 33%), bem como o maior número absoluto de exemplares com altura igual ou superior a 12 metros (96 indivíduos; 20%) entre os municípios analisados. Esse padrão sugere que parte significativa da vegetação foi implantada há décadas, alcançando estágios avançados de desenvolvimento. Tal cenário pode estar associado ao uso histórico de espécies de grande porte e à baixa rotatividade da arborização, com reduzida substituição de indivíduos ao longo do tempo. Em

contrapartida, observa-se baixa representatividade de árvores jovens na faixa de 2 a 4 metros (80 indivíduos; 17%), indicando possível estagnação nos plantios recentes.

Comparando com o trabalho de Calixto Júnior et al. (2009), nota-se que, naquela época, a arborização urbana de Lavras da Mangabeira era predominantemente composta por indivíduos menores que 5 metros (1.551; 52%), enquanto apenas 124 apresentavam altura superior a 10 metros, evidenciando uma mudança significativa na estrutura vertical da vegetação ao longo dos anos. Essa evolução reflete o avanço na maturação da arborização, indicando a eficácia de práticas anteriores de manejo e plantio que favoreceram o desenvolvimento e a longevidade das árvores. Contudo, a possível estagnação nos plantios recentes ou falhas na reposição das árvores removidas compromete a sustentabilidade futura da cobertura arbórea urbana. A ausência de renovação contínua representa um risco, pois a arborização envelhecida pode, a médio e longo prazo, reduzir sua eficácia na prestação de serviços ecossistêmicos e aumentar a vulnerabilidade a eventos extremos, como ventos fortes e longos períodos de seca (Manttari et al., 2023). Dessa forma, é fundamental que o município adote estratégias de manejo que aliem a preservação dos indivíduos consolidados à implementação de programas de plantio contínuo, garantindo a renovação da arborização e a manutenção de seus benefícios ambientais e sociais.

A ANOVA indicou diferenças significativas entre os municípios em todas as classes de altura. Na classe 2–4 m ($F=8,92$; $p<0,001$), Araripe e Milagres apresentaram as maiores médias. Na classe 4,1–6 m ($F=15,34$; $p<0,001$), Crato obteve os maiores valores. Nas faixas de 6,1–8 m ($F=10,67$; $p<0,001$) e 10,1–12 m ($F=6,45$; $p=0,003$), Crato e Lavras da Mangabeira se destacaram. Araripe não registrou indivíduos entre 6,1–8 m. Nas classes 8,1–10 m ($F=12,79$; $p<0,001$) e ≥ 12 m ($F=22,76$; $p<0,001$), Lavras da Mangabeira apresentou as maiores médias, enquanto Araripe e Milagres tiveram os menores valores. Esses resultados indicam estruturas verticais contrastantes: Araripe e Milagres concentram indivíduos de baixa estatura; Crato predomina em classes intermediárias e Lavras da Mangabeira nas mais altas. Assaré apresenta uma distribuição equilibrada, mas com valores absolutos inferiores (tabela 5).

Tabela 5. Síntese dos perfis estruturais da arborização urbana nos municípios do Cariri Cearense

Município(s)	Perfil diamétrico	Características diamétricas	Perfil de altura	Características de altura
Araripe e Milagres	Jovem/pequeno porte	Alta concentração nas classes iniciais, poucas árvores grandes	Jovem e baixo porte	Alta concentração de árvores pequenas, pouca diversidade

				vertical
Assaré	Intermediário	Distribuição mais equilibrada, menor maturidade que Crato e Lavras da Mangabeira	Desenvolvimento intermediário	Ligeira progressão vertical, déficit nas faixas superiores
Crato e Lavras da Mangabeira	Consolidado	Diversidade diamétrica, presença de árvores médias e grandes	Estrutura consolidada	Árvores médias e altas, Crato equilibrado, Lavras mais madura

Conclusão

A arborização urbana no Cariri cearense apresenta um cenário preocupante de alta homogeneidade, com duas espécies exóticas dominando cerca de 60% da composição arbórea, incluindo a invasora *Azadirachta indica*. Essa concentração reduz a resiliência ecológica, eleva a vulnerabilidade a pragas e limita a oferta dos serviços ecossistêmicos proporcionados pelas árvores urbanas. Torna-se urgente a revisão das políticas de arborização, com ênfase na priorização de espécies nativas, maior diversidade estrutural e manejo contínuo.

A similaridade florística observada entre os municípios sugere que a uniformização decorre de práticas administrativas semelhantes, e não de fatores ecológicos locais. Regionalmente, os municípios do Cariri apresentam uma flora urbana bastante alinhada entre si, mas distinta dos perfis florísticos de outras regiões do Nordeste, formando um núcleo central de similaridade entre Lavras da Mangabeira, Araripe, Crato e Milagres.

Enquanto Crato e Lavras da Mangabeira apresentam arborizações mais estruturadas, com maior diversidade diamétrica e indivíduos em diferentes estágios de desenvolvimento, Araripe e Milagres exibem perfis predominantemente juvenis. Essa disparidade evidencia a necessidade de políticas de manejo específicas, que incentivem a conservação e o crescimento de árvores de maior porte nas áreas com arborização mais jovem, fortalecendo a resiliência urbana e a provisão dos serviços ecossistêmicos. Assim, estratégias diferenciadas, adaptadas às condições locais, são essenciais para promover a sustentabilidade da arborização urbana no Cariri.

Referências

ADEYEMI, O.; SHACKLETON, C. M. Street tree abundance, composition, and (mal)distribution in Lagos Metropolis, Nigeria. *Trees, Forests and People*, v. 15, 100470, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100470>.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische*

Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ARAUJO, A.; MORAIS, M. S.; RIBEIRO, I. A. M.; LIMA, J. Análise quali-quantitativa da arborização no bairro Presidente Médici, Campina Grande-PB. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 4, n. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5380/revsbau.v4i1.66261>.

APG IV. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, v. 181, p. 1–20, 2016.

BARTOLI, F.; SAVO, V.; CANEVA, G. Biodiversity of urban street trees in Italian cities: A comparative analysis. *Plant Biosystems*, v. 156, n. 3, p. 649–662, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/11263504.2021.1906347>.

CANEVÀ, G. et al. Street trees in Italian cities: Story, biodiversity and integration within the urban environment. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, v. 31, p. 411–417, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12210-020-00907-9>.

CALIXTO JÚNIOR, J. T.; SANTANA, G. M.; LIRA FILHO, J. A. Análise quantitativa da arborização urbana de Lavras da Mangabeira, CE, Nordeste do Brasil. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 4, n. 3, p. 99–109, 2009.

CASTRO, A. C. V.; ALVIM, A. T. B. Sustainable urbanization in valley-bottom areas in urban settings: The case of the Jaguaré Stream Basin, São Paulo, Brazil. *Sustainability*, v. 16, n. 7, p. 3018, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16073018>.

CHAVES, B.; DANTAS, A. G. B.; LIMA, N. S.; PANTOJA, L. D. M.; MENDES, R. M. S. Avaliação quali-quantitativa da arborização da sede dos municípios de Beberibe e Cascavel, Ceará, Brasil. *Ciência Florestal*, v. 29, n. 1, p. 403–416, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509829939>.

COELHO JÚNIOR, W. P.; OLIVEIRA, Y. R.; BARBOSA, F. S. Q.; PACHECO, A. C. L.; BENDINI, J. N.; ABREU, M. C. Analysis of the urban arborization of two neighborhoods of the municipality of Picos, Piauí. *Revista Valore*, v. 8, e-8037, 2023.

CUNHA, T. A.; JUNIOR, F. R.; MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M. Análise da arborização urbana em bairros da cidade de Pombal no estado da Paraíba. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 3, n. 4, 2019. DOI: [10.5380/revsbau.v3i4.66369](https://doi.org/10.5380/revsbau.v3i4.66369).

CURTIS, J. T.; MCINTOSH, R. P. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, v. 31, p. 476–496, 1951. DOI: <https://doi.org/10.2307/1931725>.

D'AMATO, L. et al. Promoting native biodiversity: An evaluation of multifactorial and bioclimatic selection criteria for street trees in Italian cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 107, 128784, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.128784>.

D'AMATO, L. et al. Distribution pattern of urban street trees in Rome (Italy): A multifactorial evaluation of selection criteria. *Sustainability*, v. 15, p. 14065, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su150914065>.

<https://doi.org/10.3390/su151914065>.

DANTAS, R. C. O.; BEZERRA, T. G.; VIEIRA, T. A. Arborização urbana com Nim indiano na cidade de Santarém, Pará, Brasil. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 13, n. 2, p. 37-46, 2018.

DAVIES, H. J.; DOICK, K. J.; HUDSON, M. D.; SCHRECKENBERG, K. Challenges for tree officers to enhance the provision of regulating ecosystem services from urban forests. *Environmental Research*, v. 156, p. 97–107, 2017. DOI: 10.1016/j.envres.2017.03.020.

DE VRIES, S. et al. Streetscape greenery and health: Stress, social cohesion and physical activity as mediators. *Social Science & Medicine*, v. 94, p. 26–33, out. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2013.06.030>.

DELFINO, R. C. H.; SILVA, G. A.; LUZ, M. N.; ARAÚJO, F. N. V.; MARTINS, V. R. S.; FERNANDES, T. L. S.; FERNANDES, E. F. N. Levantamento do Componente Arbóreo de Quatro Praças na Cidade de Itaporanga-PB. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 1, p. 10255-10266, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n1-695.

DONOVAN, G. H.; BUTRY, D. T. Trees in the city: Valuing street trees in Portland, Oregon. *Landscape and Urban Planning*, v. 94, n. 2, p. 77–83, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.07.019>.

DUINKER, P. N.; ORDÓÑEZ, C.; STEENBERG, J. W. N.; MILLER, K. H.; TONI, S. A.; NITOSLAWSKI, S. A. Trees in Canadian cities: Indispensable life form for urban sustainability. *Sustainability*, v. 7, n. 6, p. 7379–7396, 2015. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/7/6/7379>.

FERREIRA, M. A. M. et al. Impact of climate change on public health in Brazil. *Public Health Challenges*, v. 2, e62, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/puh2.62>.

FLORA E FUNGA DO BRASIL. 2024. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ResultadoDaConsultaNovaConsulta.do#CondicaoTaxonCP>. Acesso em: 09 jun 2024.

HILBERT, D. R.; KOESER, A. K.; ROMAN, L. A.; ANDREU, M. G.; HANSEN, G.; THETFORD, M.; NORTHROP, R. J. Urban tree diversity in the United States: Current understanding, knowledge gaps, and implications for urban forestry practices. *Frontiers in Ecology and Evolution*, v. 10, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.759693>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html>. Acesso em: 09 jun. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Panorama do município de Assaré, CE. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/assare/panorama>. Acesso em: 09 jun. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Panorama do

estado do Ceará. 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/panorama>. Acesso em: 09 jun. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Panorama do estado do Ceará. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/panorama>. Acesso em: 09 jun. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). Perfil Básico Municipal: Crato. 2017. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Crato_2017.pdf. Acesso em: 05 jan. 2024.

IAN, X. et al. A detection of street trees and green space: Understanding contribution of urban trees to climate change mitigation. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 102, 128561, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128561>.

KENT, M.; COKER, P. *Vegetation description analyses*. London: Behaven Press, 1992. 363 p.

KUMAR, A.; MISHRA, J. R.; ELUMALAI, S. P. Importance of measuring the temperature of paved surfaces to study the changes in the microclimate of an urban area. *Journal of Building Performance Simulation*, v. 17, n. 1, p. 27–44, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/19401493.2023.2232336>.

LEÃO, T. C. C.; ALMEIDA, W. R.; DECHOUM, M. S.; ZILLER, S. R. *Espécies exóticas invasoras no Nordeste do Brasil: contextualização, manejo e políticas públicas*. Recife: CEPAN, 2011.

LIMA, S. C. G.; GOMES, A. M.; SOUSA, V. G.; OLIVEIRA, I. M.; BRITO, S. F. Levantamento quantitativo das espécies utilizadas na arborização urbana do município de Tauá – Ceará. *Enciclopédia Biosfera*, v. 16, n. 30, p. 2019–383, 2019.

LISBOA, M. A. N.; SILVA, L. V. A.; NASCIMENTO, A. S.; SILVA, A. O.; TEIXEIRA, M. R. A.; FERREIRA, M. F. R.; FERREIRA, S. C.; SILVA, A. C. V.; COLARES, A. V.; CALIXTO JÚNIOR, J. T. Diversity, structure, and carbon sequestration potential of the woody flora of urban squares in the Brazilian semiarid region. *Trees, Forests and People*, v. 16, p. 100561, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100561>.

MÄNTTÄRI, M. M.; LINDÉN, L.; TUHKANEN, E.-M. Change in urban forest age structure affects the value of ecosystem services provided. *Frontiers in Sustainable Cities*, v. 5, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/frsc.2023.1265610>.

MITCHELL, M. G. E.; WU, D.; JOHANSEN, K.; MARON, M.; McALPINE, C.; RHODES, J. R. Landscape structure influences urban vegetation vertical structure. *Journal of Applied Ecology*, v. 53, n. 5, p. 1448–1457, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12741>.

MOURA, J. C.; PESSOA, J. J. S.; GONÇALVES, J. A. R.; BRITO, J. V. B.; ARAÚJO, W. K. L. Quantitative diagnosis of tree components used in the arborization plan of the municipality Aurora. *Revista Ceará Científico*, 2022.

MOURA, J. S.; PEREIRA, A. C. M.; 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. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-124>.

MULLANEY, J.; LUCKE, T.; TRUEMAN, S. J. A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. *Landscape and Urban Planning*, v. 134, p. 157–166, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.003>.

NEVES, E. J. M.; CARPANEZZI, A. A. A cultura do Nim. Brasília (DF): Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 97 p.

NOWAK, D. J.; OGREN, T. L. Variations in urban forest allergy potential among cities and land uses. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 63, 127224, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127224>.

O'SULLIVAN, O. S.; HOLT, A. R.; WARREN, P. H.; EVANS, K. L. Optimising UK urban road verge contributions to biodiversity and ecosystem services with cost-effective management. *Journal of Environmental Management*, v. 191, p. 162–171, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.062>.

OLIVEIRA, R. J.; SILVA, A. L. A.; SILVA, E. O.; SANT'ANNA, G. L.; FRANÇA, L. C. J. Gestão e avaliação da arborização de áreas públicas no município de Bom Jesus-Piauí. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 6, n. 3, p. 34-39, 2016.

PINHEIRO, M. A. et al. Análise da composição e distribuição da arborização de ruas como ferramenta para o planejamento urbano. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 3, e8311326016, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26016>.

PRIYA, U. K.; SENTHIL, R. Framework for Enhancing Urban Living Through Sustainable Plant Selection in Residential Green Spaces. *Urban Science*, v. 8, n. 4, p. 235, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/urbansci8040235>.

RAUPP, M. J.; CUMMING, A. B.; RAUPP, E. C. Street tree diversity in eastern North America and its potential for tree loss to exotic borers. *Arboriculture & Urban Forestry*, v. 32, n. 6, p. 297–304, 2006. DOI: 10.48044/jauf.2006.038.

SANTOS, G.; FABRICANTE, J. R. Potencial de invasão biológica do Nim (*Azadirachta indica* A. Juss) no nordeste brasileiro. *Revista de Ciências Ambientais*, v. 14, n. 3, p. 7-12, 2020.

SANTOS, J. S.; SILVA, V. P. R.; LIMA, E. R. V.; ARAÚJO, L. E.; COSTA, A. D. L. Thermal Urban Field and its Relation to the Use and Land Cover in a Humid Tropical City. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, n. 3, p. 540–557, 2012. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i3.232851>.

SENADO FEDERAL. Senado pode aprovar Política Nacional de Arborização Urbana. 2023. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2023/07/25/senado-pode-aprovar-politica-nacional-de-arborizacao->. Acesso em: 05 maio 2025.

SILVA, J. H. C.; MENDES, R. M. S.; PAIXÃO, G. C.; CHAVES, B. E. Perfil florístico da arborização urbana nos municípios cearenses. *Revista Brasileira de Geografia Física*,

v. 14, n. 7, p. 3982-4002, 2021.

SILVA, L. V. A.; ARAÚJO, I. F.; BENÍCIO, R. M. A.; NASCIMENTO, A. S.; MORAIS, H. N.; MORAIS, S. C. O.; LISBOA, M. A. N.; CRUZ, G. V.; FABRICANTE, J. R.; CALIXTO-JÚNIOR, J. T. Plantas exóticas na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil): ocorrência e usos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 3, 1239–1259, 2022. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.3.p1239-1259>.

SILVA, T. A.; TORRES, A. M.; BRITO, D. R. Diagnóstico da arborização urbana das principais vias públicas dos bairros Camoxinga e Monumento no município de Santana do Ipanema, AL, Brasil. *Diversitas Journal*, v. 6, n. 2, p. 2058–2071, 2021. DOI: <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v6i2-1565>.

SILVA JUNIOR, A. S.; FREITAS, R. M. O.; MATIAS, M. I. A. S.; LUCENA, E. A. R. M. Levantamento de espécies arbóreas em vias públicas do município de Valença – Bahia. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 12, p. 93958–93974, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n12-019>.

SOUSA, O. H. Q.; VAZ, A. P. M. S.; SANTOS, E. V.; SZEPAINSKI, N. N. Inventário arbóreo e percepção da população sobre a arborização urbana na Cidade de Balsas-MA. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 7, e11710716285, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16285>.

TAN, X.; HIRABAYASHI, S.; SHIBATA, S. Estimation of ecosystem services provided by street trees in Kyoto, Japan. *Forests*, v. 12, n. 3, p. 311, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12030311>.

TYRVÄINEN, L.; PAULEIT, S.; SEELAND, K.; DE VRIES, S. Benefits and uses of urban forests and trees. *Urban Forests and Trees*, 2005, p. 81–114. DOI: 10.1007/3-540-27684-X_5.

VON DÖHREN, P.; HAASE, D. Risk assessment concerning urban ecosystem disservices: The example of street trees in Berlin, Germany. *Ecosystem Services*, v. 40, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101031>.

ZEA, J. D.; BARROSO, R. F.; SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S. Levantamento e diversidade da arborização urbana de Santa Helena, no semiárido da Paraíba. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 11, n. 4, p. 54-62, 2016.

CONCLUSÃO GERAL

A estimativa da abundância arbórea por amostragem aleatória de 12 vias públicas, a partir de imagens de satélite, mostrou-se eficaz nos cinco municípios do sul do Ceará, com resultados estatisticamente semelhantes aos obtidos in loco. O método se revela promissor como ferramenta para monitoramento e elaboração de políticas públicas de gestão da arborização urbana.

Entretanto, o cenário é alarmante. Assaré e Araripe registram baixas densidades de árvores por quilômetro, evidenciando a urgência de planejamento técnico e intervenções estruturadas. Soma-se a isso a elevada presença de espécies exóticas (30% a 51%) e exóticas invasoras (34% a 60%), sendo que apenas duas espécies, *Azadirachta indica* e *Ficus benjamina*, representam cerca de 60% da arborização. Essa forte homogeneidade indica uma baixa diversidade florística e reduzida representação da flora nativa, comprometendo a resiliência ecológica, aumentando a vulnerabilidade a pragas e limitando os serviços ecossistêmicos oferecidos pelas árvores urbanas.

A análise de similaridade florística revelou que os municípios formam um grupo coeso, especialmente Lavras da Mangabeira, Araripe, Crato e Milagres. Tal uniformidade decorre mais de práticas administrativas padronizadas do que de fatores ecológicos locais, tornando urgente a reformulação das políticas de arborização, com foco em espécies nativas e diversidade estrutural.

Diferenças estruturais também foram observadas: Crato e Lavras da Mangabeira apresentam arborização mais consolidada, com maior diversidade diamétrica e árvores em variados estágios de desenvolvimento. Por outro lado, Araripe e Milagres têm perfil arbóreo predominantemente juvenil. Esses contrastes reforçam a importância de estratégias adaptadas às realidades locais, priorizando o manejo contínuo e o fortalecimento dos serviços ecossistêmicos nas áreas urbanas do Cariri Cearense.