



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

MARIA AMANDA NOBRE LISBOA

**ESTUDO DA FLORA E SUAS RELAÇÕES COM SEQUESTRO DE CARBONO,  
CONFORTO TÉRMICO E PERCEPÇÃO EM SEIS PRAÇAS NO SUL DO CEARÁ**

CRATO/CE

2024

MARIA AMANDA NOBRE LISBOA

**ESTUDO DA FLORA E SUAS RELAÇÕES COM SEQUESTRO DE CARBONO,  
CONFORTO TÉRMICO E PERCEPÇÃO EM SEIS PRAÇAS NO 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 Mestre em Diversidade Biológica e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. João Tavares Calixto Júnior

CRATO-CEARÁ

2024

Eu, Maria Amanda Nobre Lisboa, 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

Lisboa, Maria Amanda Nobre

L769e ESTUDO DA FLORA E SUAS RELAÇÕES COM SEQUESTRO DE CARBONO, CONFORTO TÉRMICO E PERCEPÇÃO EM SEIS PRAÇAS NO SUL DO CEARÁ / Maria Amanda Nobre Lisboa, Crato-CE, 2024.

90p. il.

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

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

1.Áreas verdes urbanas, 2.Estoque de carbono, 3.Ilhas de calor urbanas, 4.Mudanças climáticas; I.Título.

CDD: 570

**MARIA AMANDA NOBRE LISBOA**

**ESTUDO DA FLORA E SUAS RELAÇÕES COM SEQUESTRO DE CARBONO,  
CONFORTO TÉRMICO E PERCEPÇÃO EM SEIS PRAÇAS NO 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: 31 de agosto de 2024

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. João Tavares Calixto Júnior (Orientador)  
Universidade Regional do Cariri - URCA

Prof. Dr. Francisco Edmar de Sousa Silva Pinheiro (Membro Externo)  
Universidade Regional do Cariri - URCA

Prof. Dr. Renato Juciano Ferreira (Membro Interno)  
Universidade Regional do Cariri - URCA

## AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação só foi possível graças ao apoio e colaboração de várias pessoas e instituições, às quais sou profundamente grata.

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder saúde, força e perseverança ao longo desta jornada.

Ao meu orientador, Dr. João Tavares Calixto Júnior, agradeço pela orientação, paciência e confiança depositadas em mim. Sua dedicação e conhecimento foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao responsável pelo Laboratório Multidisciplinar do Centro Universitário Doutor Leão Sampaio (UNILEÃO), Dr. Aracélio Viana, onde foram realizadas as análises, por tornar possível a realização delas com todo suporte necessário.

À professora Dra. Maria Arlene, responsável pelo Laboratório de Botânica Aplicada (LBA) e Herbário Caririense Dárdano de Andrade Lima (HCDAL), pelo uso de equipamentos e identificação botânica.

À Universidade Regional do Cariri (URCA) e ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológicas e Recursos Naturais (PPGDR) pela oportunidade e pelos recursos oferecidos. Aos professores e funcionários, pela contribuição inestimável para minha formação acadêmica e profissional.

Agradeço aos meus pais, irmãs e avó pelo amor incondicional, incentivo e apoio em todas as horas. Vocês são minha maior fonte de inspiração.

A Leonardo Vitor, pelo carinho, compreensão, suporte emocional nos momentos mais difíceis e por me auxiliar nas pesquisas sempre que necessário. Sua presença ao meu lado tornou essa caminhada muito mais leve.

Aos meus companheiros do Laboratório de Estudos da Flora Regional do Cariri (LEFLORE), por dividirem muitos momentos marcantes em campo e em laboratório, em especial Arthur Nascimento, Alana de Oliveira e Mardônio Freitas.

Aos meus amigos de curso, Bruno Melo e Wallas Benevides, pela parceria, trocas de experiências e pela amizade que construímos ao longo dos anos. Juntos, superamos muitos desafios e comemoramos muitas vitórias.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelo suporte financeiro e incentivo à pesquisa, fundamentais para a concretização deste trabalho.

## Resumo

A rápida urbanização aumenta as temperaturas urbanas devido às Ilhas de Calor Urbanas (ICU) e às emissões de gases de efeito estufa (GEE), agravando o estresse térmico. O sequestro de carbono por áreas verdes urbanas é uma estratégia sustentável para mitigar as emissões de GEE e desacelerar o aquecimento global. Esses espaços fornecem serviços ecossistêmicos cruciais, contribuindo significativamente para a qualidade de vida e o equilíbrio ambiental nas cidades, presentes em canteiros centrais, praças, parques, florestas e unidades de conservação urbanas. Este estudo analisou o impacto da arborização no conforto térmico e na mitigação das mudanças climáticas em seis praças da região semiárida do Nordeste brasileiro, nos municípios de Crato, Barbalha e Juazeiro do Norte. Destacou-se a importância dessas praças para a biodiversidade local e a sustentabilidade urbana, fornecendo uma base para futuras pesquisas na região. O estudo abrangeu indivíduos com diâmetro à altura do peito (DAP)  $\geq 5$  cm. A quantificação de carbono foi realizada de forma direta (análise de folhas, galhos finos e caules) e indireta utilizando o DAP para calcular biomassa e carbono. Durante 12 meses, foram medidas a temperatura e a umidade em áreas sombreadas (SCA) e expostas ao sol (SEA), utilizando o Índice de Calor (IC) para avaliar o conforto térmico, além de 1100 questionários para compreender a percepção dos visitantes das praças. Foram registrados 554 indivíduos de 39 espécies e 17 famílias, destacando-se Fabaceae, Arecaceae e Bignoniaceae. Os teores médios de carbono variaram de 47,5% a 57,2% nos diferentes compartimentos das árvores, destacando-se *Schinus terebinthifolia*, com altos valores de matéria orgânica (96,2%) e teor de carbono (55,9%) nas folhas. A Praça da Sé (Crato) apresentou as maiores concentrações de biomassa vegetal e carbono armazenado e quantidade significativa de carbono sequestrado (709,24t). Em um ano, foi observado incremento de 0,29 t/ha<sup>-1</sup> no carbono total da biomassa e 1,04 t/ha<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> sequestrado. Nas SEA a temperatura média foi 32,4 °C ( $\pm 3,20$ ), enquanto nas SCA foi 30,7 °C ( $\pm 2,99$ ). Apesar da Praça Siqueira Campos (Crato) ter a maior temperatura média anual SCA (30,8°C), 79% dos frequentadores valorizam a vegetação como um alívio significativo para o conforto térmico e estético. As correlações entre temperatura e umidade na Praça Padre Cícero (Juazeiro do Norte) ( $P = 0.582$ ) não foram significativamente influenciadas pela cobertura. Essa praça registrou IC próximos a 40 °C, classificando-os negativamente na categoria de "Cautela extrema" durante oito meses pela manhã e todos os meses durante a tarde, intensificando o desconforto térmico durante as romarias anuais devido ao aumento de visitantes. Além disso, 36% dos entrevistados a consideraram desconfortável termicamente, sendo a única onde 58% descreveram a sensação térmica como quente e 72% preferiram um ambiente mais fresco. As praças são essenciais, sendo usadas regularmente por 64% dos entrevistados. Implementar políticas de arborização e manutenção adequadas é crucial para enfrentar desafios climáticos e garantir conforto térmico nas praças urbanas próximas à linha do Equador, onde a insolação é intensa.

Palavras-chave: Áreas verdes urbanas. Estoque de carbono. Ilhas de calor urbanas. Mudanças climáticas.

## Abstract

Rapid urbanization increases urban temperatures due to Urban Heat Islands (UHIs) and greenhouse gas (GHG) emissions, exacerbating thermal stress. Carbon sequestration by urban green spaces is a sustainable strategy to mitigate GHG emissions and combat global warming. These spaces provide crucial ecosystem services, significantly contributing to quality of life and environmental balance in cities, found in medians, squares, parks, forests, and urban conservation units. This study analyzed the impact of tree cover on thermal comfort and climate change mitigation in six squares in the semi-arid region of Northeast Brazil, in the municipalities of Crato, Barbalha, and Juazeiro do Norte. The importance of these squares for local biodiversity and urban sustainability was highlighted, providing a basis for future research in the region. The study included individuals with a diameter at breast height (DBH)  $\geq 5$  cm. Carbon quantification was performed directly (analysis of leaves, fine branches, and stems) and indirectly using DBH to calculate biomass and carbon. Over 12 months, temperature and humidity were measured in Shaded Coverage Areas (SCA) and Sun Exposed Areas (SEA), using the Heat Index (HI) to evaluate thermal comfort, along with 1100 questionnaires to understand visitors' perceptions of the squares. A total of 554 individuals from 39 species and 17 families were recorded, with Fabaceae, Arecaceae, and Bignoniaceae standing out. Average carbon contents ranged from 47.5% to 57.2% in different tree compartments, with *Schinus terebinthifolia* standing out with high values of organic matter (96.2%) and carbon content (55.9%) in leaves. Praça da Sé (Crato) had the highest concentrations of plant biomass, stored carbon, and significant amounts of sequestered carbon (709.24 t). Over a year, an increase of 0.29 t/ha-1 in total biomass carbon and 1.04 t/ha-1 of sequestered CO<sub>2</sub> was observed. In SEA, the average temperature was 32.4°C ( $\pm 3.20$ ), while in SCA it was 30.7°C ( $\pm 2.99$ ). Although Praça Siqueira Campos (Crato) had the highest annual average SCA temperature (30.8°C), 79% of visitors valued the vegetation as a significant relief for thermal and aesthetic comfort. Correlations between temperature and humidity at Praça Padre Cícero (Juazeiro do Norte) ( $P = 0.582$ ) were not significantly influenced by cover. This square recorded HI values close to 40°C, negatively classified in the "Extreme caution" category for eight months in the morning and all months in the afternoon, intensifying thermal discomfort during annual pilgrimages due to increased visitors. Additionally, 36% of respondents considered it thermally uncomfortable, being the only one where 58% described the thermal sensation as hot, and 72% preferred a cooler environment. The squares are essential, being regularly used by 64% of respondents. Implementing adequate tree planting and maintenance policies is crucial to face climate challenges and ensure thermal comfort in urban squares near the Equator, where solar radiation is intense.

Keywords: Urban green spaces. Carbon stock. Urban heat islands. Climate change.

## Sumário

INTRODUÇÃO.....	14
METODOLOGIA .....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	29
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
Artigo I: Diversidade, estrutura e potencial de sequestro de carbono da flora lenhosa de praças urbanas do semiárido brasileiro .....	34
Artigo II: Como os visitantes percebem o conforto térmico proporcionado pela arborização em praças urbanas? Um estudo de caso no Nordeste brasileiro .....	62
CONCLUSÕES .....	88
Anexos e Apêndices .....	89

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica das áreas de estudo: seis praças situadas nos municípios de Crato, Barbalha e Juazeiro do Norte, Estado do Ceará, nordeste do Brasil .....	17
Figura 2. Vista aérea capturada por drone da Praça do Rosário, Barbalha, Ceará .....	17
Figura 3. Vista aérea capturada por drone da Praça Padre Cícero, Juazeiro do Norte, Ceará..	17
Figura 4. Vista aérea capturada por drone da Praça da Sé, Crato, Ceará .....	18
Figura 5. Vista aérea capturada por drone da Praça Siqueira Campos, Crato, Ceará.....	18
Figura 6. Vista aérea capturada por drone da Praça Francisco Sá, Crato, Ceará .....	19
Figura 7. Vista aérea capturada por drone da Praça Alexandre Arraes, Crato, Ceará.....	19
Figura 8. Ilustrações dos procedimentos de coleta; A. Mensuração dos indivíduos com o DAP maior ou igual a 5 cm com o auxílio da suta; B. Coleta de material botânico com o auxílio do podão. ....	20
Figura 9. Amostras de material botânico preparadas para serem depositadas no Herbário Caririense Dárdano de Andrade Lima – HCDAL. ....	21
Figura 10. Material coletado (folhas, galhos finos e caule) para análise do teor de carbono...23	
Figura 11. Processos para quantificação do teor de carbono; A. Pesagem do material vegetal; B. Material no forno mufla; C. Material em fase de resfriamento no dessecador; D. Material após a conclusão de todos os processos. ....	24
Figura 12. Registro das variáveis climáticas em praça no sul do Ceará utilizando o termo-higrômetro digital. ....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Níveis de alerta e suas consequências à saúde humana do índice de calor. ....27

### Artigo 1.

Tabela 1. Espécies registradas em praças urbanas no sul do Ceará, Brasil. EC = Estado de Conservação da espécie; DD = Dados insuficientes; NE = Não avaliada; LC = Pouco preocupante; VU = Vulnerável; NT = Quase ameaçado; EN = Em perigo; PC = Praça Padre Cícero; AA = Praça Alexandre Arras; SÉ = Praça da Sé; SC = Praça Siqueira Campos; FS = Praça Francisco Sá; R = Praça do Rosário; V = Voucher; N.I = Não identificada. ....41

Tabela 2. Índices de diversidade da arborização de seis praças e da área total. PC = Praça Padre Cícero; AA = Praça Alexandre Arras; SÉ = Praça da Sé; SC = Praça Siqueira Campos; FS = Praça Francisco Sá; R = Praça do Rosário. ....45

Tabela 3. Parâmetros fitossociológicos das 16 espécies presentes com os maiores IVI em praças urbanas no sul do Ceará, Brasil. Valores decrescentes por Índice de Valor de Importância (IVI), onde: DR = densidade relativa (%); FrR = Frequência relativa (%); DoR = Dominância Relativa (%); IVC = Índice de Valor de Cobertura e IVI = Índice de Valor de Importância. ....47

Tabela 4. Médias dos valores de Matéria Orgânica e Teor de Carbono obtidos em cada espécie e compartimentos analisados. ....51

Tabela 5. Médias dos valores de Matéria Orgânica e Teor de Carbono obtidos nos compartimentos analisados. ....53

Tabela 6. Valores de diâmetro a altura do peito (DAP), área basal (AB), biomassa vegetal, carbono armazenado, incremento periódico anual (IPA) e CO<sub>2</sub> sequestrado, encontrados em seis praças urbanas no sul do Ceará, Nordeste do Brasil entre 2022 e 2023. ....56

### Artigo 2.

Tabela 1. Níveis de alerta e suas consequências à saúde humana do índice de calor. ....69

Tabela 2. Resultados da ANOVA Two-Way para a variação de temperatura em resposta a área, praça e a interação destes dois fatores. Df – Degrees of freedom; SSq – Sum of squares; MSq – Mean of squares; F – F-Statistics; P – Significance .....70

Tabela 3. Resultados da ANCOVA para a correlação entre temperatura e umidade em resposta a variação entre áreas, sob a sombra e expostas ao sol. Df – Degrees of freedom; SSq – Sum of squares; MSq – Mean of squares; F – F-Statistics; P – Significance. ....74

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AA – Alexandre Arraes

AB – Área basal

BA – Biomassa arbórea

BVT – Biomassa vegetal total

C – Carbono

CBVT – Carbono na biomassa total

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

CS – Carbono sequestrado

DAP – Diâmetro a altura do peito

DA - Densidade absoluta

DD – Dados insuficiente

DoA - Dominância absoluta

DoR – Dominância relativa

DR – Densidade relativa

E – Exótica

EN – Em perigo

FrA - Frequência absoluta

FrR - Frequência relativa

FS – Francisco Sá

GEE - Gases de efeito estufa

H' - Índice de diversidade de Shannon-Wiener

HCDAL - Herbário Cariense Dárdano de Andrade Lima

IC – Índice de calor

ICU – Ilha de calor urbano

IPA – Incremento periódico anual

IVC – Índice de calor de cobertura

IVI - Índice de valor de importância

J' - Equabilidade de Pielou

LC – Pouco preocupante

MO – Matéria orgânica

N – Nativa

NE – Não avaliado

NT – Quase ameaçado

PC – Padre Cícero

R – Rosário

RMC – Região metropolitana do Cariri

SC – Siqueira Campos

SCA - (Shaded coverage area) Área de cobertura sombreada

SEA - (Sun esposed area) Área exposta ao sol

TC – Teor de carbono

VU – Vulnerável

## INTRODUÇÃO

A rápida urbanização tem sido um dos fenômenos mais característicos dos tempos modernos em todo o mundo, resultando em significativas implicações sociais, econômicas e ambientais (Al Jarah et al., 2019). Esse processo ocasiona o efeito de ilha de calor urbana (ICU), caracterizado pelo aumento das temperaturas em áreas urbanas quando comparadas às zonas rurais vizinhas (Manoli et al., 2019; Yang et al., 2022). Tal fenômeno pode ter um impacto no microclima, no ambiente atmosférico e no bem-estar e saúde dos residentes urbanos, sendo proporcional ao grau de urbanização (Vinayak et al., 2022; Ma; Dong, 2023). As consequências da ICU podem ser atribuídas à alta concentração de pavimentação e edificações com baixo albedo, que resultam em uma elevada absorção de calor pela insolação, gerando um clima excessivamente quente (Mohajerani et al., 2017). O albedo, por sua vez, é uma medida de quanta luz solar é refletida por uma superfície e, portanto, superfícies de baixo albedo ou superfícies escuras, como asfalto e telhados, absorvem mais luz solar e aquecem, afetando o nível geral de conforto térmico em áreas urbanas (Vahmani; Ban-Weiss, 2016). Além disso, as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases de efeito estufa (GEE) provenientes das atividades urbanas, como a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento, contribuem significativamente para o aumento das ilhas de calor (Gayathri et al., 2021).

O CO<sub>2</sub> é o gás de efeito estufa mais prevalente, representando aproximadamente 76% do total de emissões humanas globais (IPCC, 2014). O acúmulo de CO<sub>2</sub> na atmosfera intensifica a retenção de radiação infravermelha térmica (calor), provocando alterações significativas na ordem climática global, especialmente perceptíveis nos centros urbanos (Brun, 2012). O IPCC prevê que, até o ano de 2100, a concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> será quase o dobro em relação a 100 anos atrás (Wang et al., 2018). O sequestro de carbono emerge como um dos principais processos naturais que contrapõe as emissões constantes de CO<sub>2</sub>, e conseqüentemente, uma alternativa sustentável de reduzir o aquecimento acelerado do globo e seus efeitos desastrosos (Zhu et al., 2019). Essa prática envolve a implementação de medidas destinadas a absorver o excesso de dióxido de carbono da atmosfera, preferencialmente fixando-o na forma orgânica (Brandl et al., 2021). A capacidade de sequestro de carbono das áreas verdes urbanas atraiu a atenção da comunidade internacional, que a considerou uma técnica viável para mitigar as crescentes concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> no contexto do combate ao aquecimento global, à crescente urbanização e aos sérios desafios ambientais (Carretero et al., 2017).

Os espaços verdes urbanos desempenham um papel crucial ao fornecer uma variedade de serviços ecossistêmicos benéficos para o bem-estar humano (Hand et al., 2017; Chang et al., 2017; JARVIS et al., 2020). Essas áreas fornecem vários serviços ecológicos,

incluindo conservação da biodiversidade (Trilica et al., 2020), regulação do microclima (McDonald et al., 2020), a absorção de gases de efeito estufa e a remoção de quantidades significativas de poluentes atmosféricos (Baraldi et al., 2018).

O primeiro artigo intitulado “Diversidade, estrutura e potencial de sequestro de carbono da flora lenhosa de praças urbanas do semiárido brasileiro”, buscou-se entender: qual o potencial de sequestro de carbono da vegetação lenhosa das praças dessa região do semiárido brasileiro? As praças são relevantes do ponto de vista ecológico? Quais espécies arbóreas sugerir para a implantação de novas praças futuramente na região? Diante desse cenário, o presente estudo analisou o papel das praças urbanas no interior do Ceará como elementos para a mitigação das mudanças climáticas e do aquecimento global, destacando a importância dessas áreas, explorando como elas contribuem para a saúde e harmonia dos ecossistemas urbanos através do seu potencial de sequestro de carbono. Este trabalho servirá como base para futuros estudos na região nordeste do Brasil, fornecendo informações importantes para o desenvolvimento de estratégias eficazes de adaptação e mitigação climática.

O segundo artigo “Como os visitantes percebem o conforto térmico proporcionado pela arborização em praças urbanas? Um estudo de caso no Nordeste brasileiro”, visou avaliar o conforto térmico em praças urbanas, enfocando a influência da arborização nos níveis de temperatura e umidade. A pesquisa compara pontos expostos diretamente a céu aberto com aqueles sob a cobertura das copas das árvores em seis praças do Estado do Ceará, região semiárida do Brasil. Além disso, buscou-se entender a percepção dos frequentadores das praças em relação ao microclima criado pelas áreas verdes. Assim, o estudo pretende responder às seguintes questões: Como as temperaturas e a umidade diferem entre áreas expostas ao sol e aquelas sob cobertura vegetal nas praças? Os frequentadores estão satisfeitos com o conforto térmico oferecido pelas áreas verdes urbanas? A arborização contribui significativamente para o conforto térmico das praças analisadas?

## **METODOLOGIA**

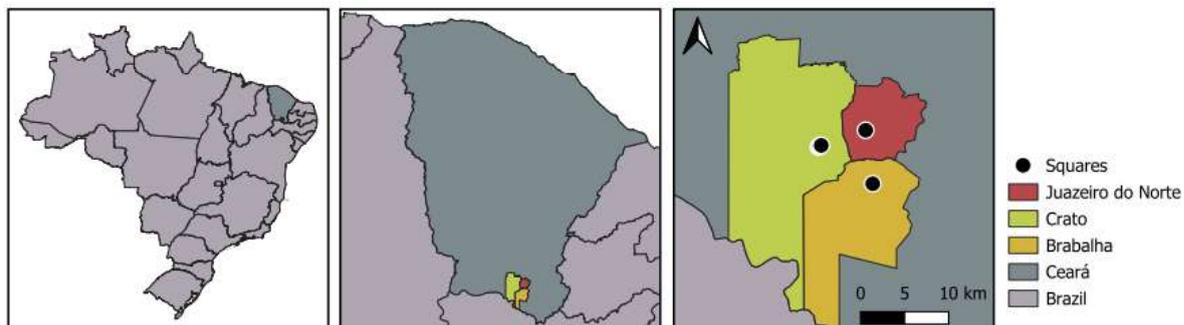
### **Área de estudo**

A Região Metropolitana do Cariri (RMC), localizada no Semiárido do Nordeste Brasileiro, destaca-se como um importante centro urbano no interior do Estado do Ceará, em meio a um processo acelerado de urbanização. Compreendendo municípios de destaque como Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha, a RMC é palco de uma dinâmica interação territorial que resultou no aglomerado urbano conhecido como Triângulo CRAJUBAR (Santos; Vital; Souza, 2023). Os três municípios que o compõem abrigam aproximadamente 500 mil habitantes, distribuídos em uma extensão territorial de 2005 km<sup>2</sup>, sendo que 104 km<sup>2</sup> correspondem à área urbanizada (IBGE, 2023). Quanto ao clima, a região é classificada como Aw segundo a classificação de Köppen (Álvares et al., 2014; Silva et al., 2020; Benício et al., 2023), caracterizando-se por um clima tropical quente, com período chuvoso entre janeiro e abril e período seco de maio a dezembro (IPECE, 2017). As temperaturas médias anuais no Triângulo CRAJUBAR variam aproximadamente entre 25,5 °C e 26,6 °C, com um índice pluviométrico médio de 673 mm ao ano (INMET, 2023).

O turismo religioso é forte em Juazeiro do Norte, tornando-a o segundo maior centro de peregrinação e turismo religioso do Brasil, ultrapassada apenas por Aparecida do Norte, em São Paulo, recebendo anualmente aproximadamente 2,5 milhões de devotos de Padre Cícero (Ministério do turismo, 2015; Oliveira, 2023). Durante a Romaria de Finados, a maior romaria do ano na cidade, o afluxo é ainda mais impressionante, com estimativas apontando a participação de cerca de 600 mil romeiros (Vasconcelos et al., 2015).

As praças escolhidas desempenham papéis essenciais como locais de lazer e cultura, além de servirem como importantes pontos de encontro que refletem a diversidade e a riqueza histórica da região. A seleção dessas praças considerou tanto sua localização estratégica quanto sua relevância histórico-cultural, incluindo: em Crato, a Praça da Sé (7° 14' 05.16" S 39° 24' 44.56" W; 1 ha), a Praça Siqueira Campos (7° 13' 59.26" S 39° 24' 42.61" W; 0.12 ha) a Praça Francisco Sá (7° 13' 58.35" S 39° 24' 32.90" W; 0.50 ha) e a Praça Alexandre Arraes (7° 14' 10.08" S 39° 24' 52.34" W; 0.78 ha); em Barbalha, a Praça do Rosário (7° 18' 43.47" S 39° 18' 11.08" W; 0.38 ha) e, em Juazeiro do Norte, a Praça Padre Cícero (7° 12' 06.4" S 39° 19' 04.9" W; 0.86 ha) (Figura 1). A área total das praças é de 3,66 ha. As praças de Crato e Barbalha estão situadas próximas à Chapada do Araripe, localizada no domínio xerofítico das Caatingas, que apresenta clima mais ameno em comparação ao seu entorno semiárido (Queiroz et al., 2018; Benício et al., 2023).

Figura 1. Localização geográfica das áreas de estudo: seis praças situadas nos municípios de Crato, Barbalha e Juazeiro do Norte, Estado do Ceará, nordeste do Brasil



As praças selecionadas desempenham papel fundamental como espaços de lazer e cultura, ao mesmo tempo em que servem como importantes pontos de encontro que refletem a diversidade e a riqueza histórica da região. A escolha dessas praças levou em consideração tanto a localização estratégica quanto a relevância histórico-cultural.

Figura 2. Vista aérea capturada por drone da Praça do Rosário, Barbalha, Ceará

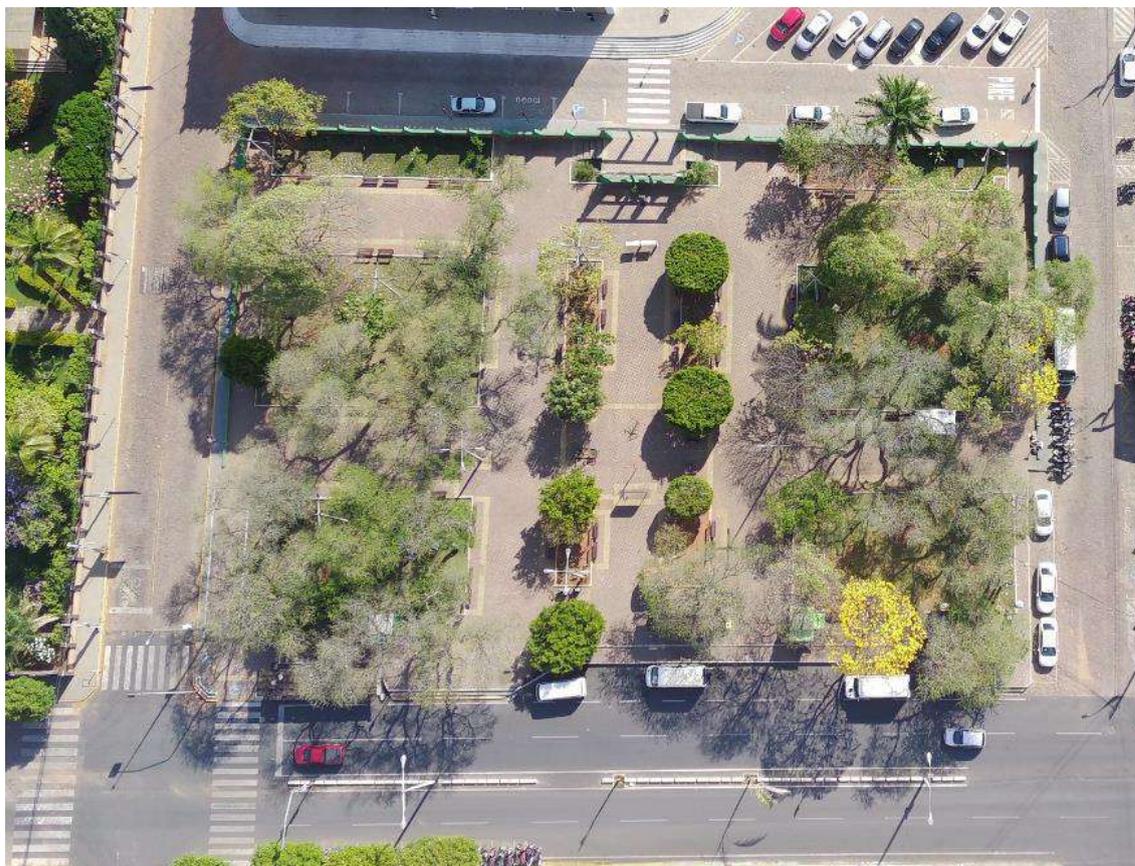


Figura 3. Vista aérea capturada por drone da Praça Padre Cícero, Juazeiro do Norte, Ceará



Figura 4. Vista aérea capturada por drone da Praça da Sé, Crato, Ceará

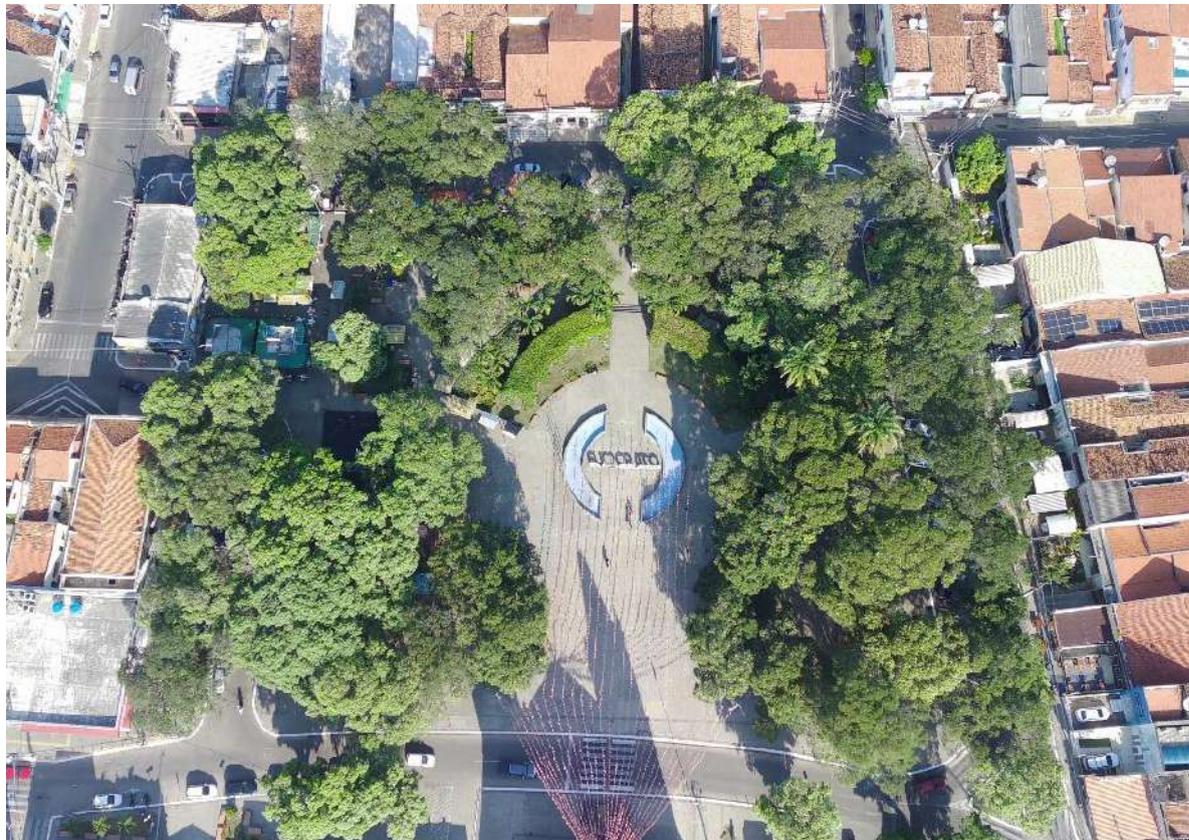


Figura 5. Vista aérea capturada por drone da Praça Siqueira Campos, Crato, Ceará



Figura 6. Vista aérea capturada por drone da Praça Francisco Sá, Crato, Ceará



Figura 7. Vista aérea capturada por drone da Praça Alexandre Arraes, Crato, Ceará



## **Diversidade, estrutura e potencial de sequestro de carbono da flora lenhosa de praças urbanas do semiárido brasileiro**

### **Inventário florístico**

Foi realizado um inventário florístico do tipo censo em cada praça, considerando todos os indivíduos arbóreos com diâmetro a altura do peito (DAP, 1,30 m do solo) igual ou superior a 5 cm (Figura 8A). Os dados foram coletados entre dezembro de 2022 e 2023, com o auxílio de formulário de rotina para campo, que incluía a identificação dos indivíduos (nome popular, nome científico e família), a frequência das espécies, DAP e altura do indivíduo. Esses dados foram transferidos, posteriormente para planilha eletrônica do Microsoft Excel 2019, onde foram adicionadas a origem, o endemismo (Flora e Funga do Brasil, 2024) e o status de conservação das espécies (IUCN, 2024).

Figura 8. Ilustrações dos procedimentos de coleta; A. Mensuração dos indivíduos com o DAP maior ou igual a 5 cm com o auxílio da suta; B. Coleta de material botânico com o auxílio do podão.



As espécies foram identificadas através de comparações com material já existente no Herbário Cariense Dárdano de Andrade Lima (HCDAL) (Figura 9), localizado na Universidade Regional do Cariri, assim como em bibliografias especializadas e consultas a especialistas. A classificação das espécies foi realizada de acordo com o sistema de classificação taxonômica APG IV (2016). A ortografia e autoria dos binômios específicos e sinônimas foram verificadas na base de dados "Flora e Funga do Brasil" (Flora e Funga do Brasil, 2024).

Figura 9. Amostras de material botânico preparadas para serem depositadas no Herbário Cariense Dárdano de Andrade Lima – HCDAL.



Quanto à origem fitogeográfica das espécies, foram consideradas nativas (N) aquelas originárias de formações vegetais brasileiras e exóticas (E) os exemplares originários de outros países, incluindo aqueles naturalizados e cultivados (Flora e Funga do Brasil, 2024).

### **Fitossociologia (Estrutura e diversidade alfa)**

Para a análise dos parâmetros fitossociológicos utilizou-se o Microsoft Excel® que possibilitou a análise de parâmetros gerais da comunidade: densidade total, área basal (AB), alturas e diâmetros; e parâmetros relativos às espécies: densidade absoluta (DA) e relativa (DR), frequência absoluta (FrA) e relativa (FrR), dominância absoluta (DoA) e relativa (DoR). Utilizando a média dos valores de DR, FrR e DoR, calculou-se o Índice de Valor de Importância (IVI), conforme Lamprecht (1964). Paralelamente, adotou-se o Índice de Valor de Cobertura (IVC), proposto por Cavassan et al. (1984), que difere do IVI ao dar pesos iguais para o número de indivíduos e biomassa.

Para o cálculo dos índices ecológicos foram analisados a diversidade e a uniformidade de espécies presentes na arborização de cada praça. Foi calculado o Índice de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) utilizando a equação:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln p_i$$

Equação 1. S = riqueza de espécies; Ln = logaritmo neperiano;  $p_i$  = abundância relativa de cada espécie, calculada pela proporção de indivíduos da  $i$ ésima espécie pelo número total de indivíduos na comunidade  $\frac{n_i}{N}$ ;  $n_i$  = abundância da  $i$ ésima espécie; N = número total de todos os indivíduos.

Para Wihlm (1972), esta equação é a mais satisfatória dentre as desenvolvidas para diversidade específica e de dominância, pois expressa a importância relativa de cada espécie e não apenas a proporção entre espécies e indivíduos.

Calculou-se o índice de uniformidade ou equabilidade de Pielou ( $J'$ ) (Pielou, 1966) o qual considera o número total de espécies e o índice de diversidade de Shannon-Wiener. Os valores do índice de uniformidade apresentam um intervalo de variação entre 0 a 1, onde 1 representa a máxima diversidade, ou seja, todas as espécies são igualmente abundantes (CIATEC, 2001). Portanto, serão calculados com o emprego das seguintes expressões:

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

$$H'_{max} = \ln(s)$$

Equação 2:  $J'$  = índice de Equabilidade de Pielou;  $H'$  = índice de Diversidade de Shannon-Weaver;  $H'$  max = índice de diversidade máxima;  $\ln$  = logaritmo neperiano;  $S$  = número total de espécies amostradas = riqueza

O índice de Concentração de Simpson ( $C'$ ) foi calculado para avaliar a dominância de espécies nas comunidades.

$$C = \sum \left[ \frac{ni (ni - 1)}{N (N - 1)} \right]$$

Equação 3:  $l$  = Medida de dominância;  $C$  = índice de dominância de Simpson;  $n_i$  = número de indivíduos amostrados da  $i$ -ésima espécie;  $N$  = número total de indivíduos amostrados;  $S$  = número de espécies amostradas.

Por fim, utilizou-se o teste T de Student para verificar a significância estatística entre as médias, adotando um erro máximo de aceitação de 0,05 (5%).

### **Quantificação do teor de carbono pelo método de combustão por via seca - gravimetria por incineração em forno mufla (método direto)**

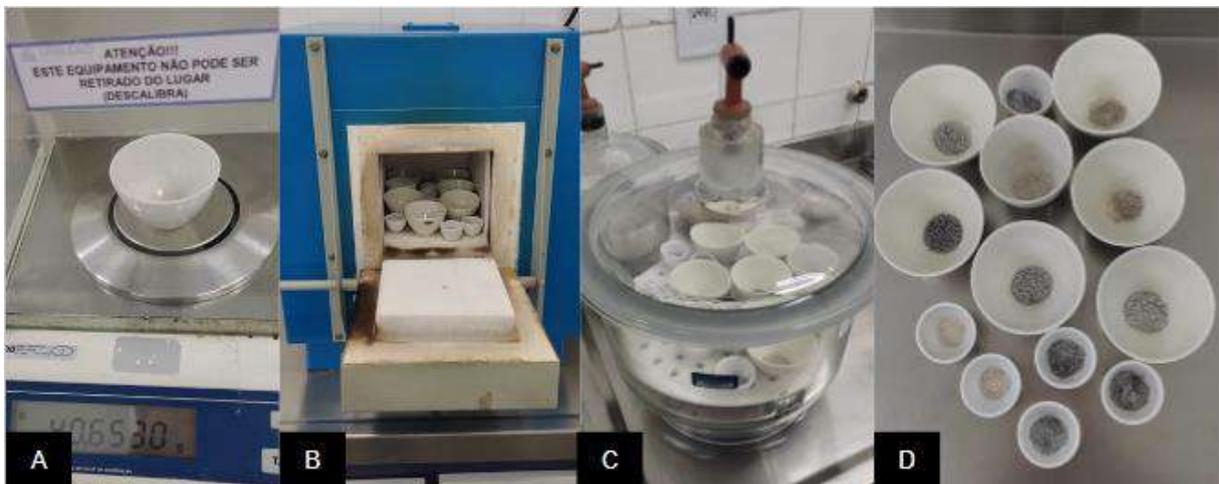
Para estimar o teor de carbono das espécies selecionadas pelo método direto foram utilizadas amostras de folhas, galhos finos e caule (Figura 10). A escolha das árvores para a quantificação foi baseada no inventário florístico das seis praças, priorizando as três espécies de maior índice de valor de importância em cada área, com exceção das palmeiras (Arecaceae). As amostras de caule foram retiradas usando uma furadeira com serra copo. Todo o material coletado, devidamente identificado, foi submetido à estufa a 70 °C por 24 horas e, após a secagem, triturado em um moinho do tipo Wiley.

Figura 10. Material coletado (folhas, galhos finos e caule) para análise do teor de carbono.



As amostras foram encaminhadas para análise no Laboratório Multidisciplinar do Centro Universitário Doutor Leão Sampaio (UNILEÃO). Cada amostra (folhas, galhos finos e caule) foi colocada em um cadinho de porcelana sem tampa, pesada (Figura 11A) e submetida ao forno mufla a uma temperatura de 550 °C até a completa calcinação (Figura 11B). Em seguida, as amostras foram resfriadas em um dessecador até atingirem a temperatura ambiente e pesadas (Carmo; Silva, 2012) (Figura 11C). Após todos os processos, o material foi descartado (Figura 11D).

Figura 11. Processos para quantificação do teor de carbono; A. Pesagem do material vegetal; B. Material no forno mufla; C. Material em fase de resfriamento no dessecador; D. Material após a conclusão de todos os processos.



O método da mufla consiste na determinação gravimétrica do CO<sub>2</sub> evoluído e, por conseguinte, na perda de massa de resíduo submetido à alta temperatura por certo intervalo de tempo; na determinação da MO (matéria orgânica), considera-se, assim, a diferença de peso inicial (amostras secas a 105 °C) e de peso computado após a incineração da amostra a 550-600 °C (Suguio, 1973). Estimou-se o teor de MO, multiplicando teor de carbono (C) pelo fator de van Bemmelem 1,72 (100/58), partindo do princípio de que, em média, a MO contém 58% de carbono, conforme descrito por Yeomans e Bremner (1988), Sato (2014) e Aregahegn (2020).

Para avaliar as variações significativas no teor de carbono entre folhas, galhos e caules, utilizou-se um modelo de regressão não linear para as curvas e análise de variância (ANOVA). Essas análises foram conduzidas de duas formas distintas. Adicionalmente, empregou-se o teste de Tukey e a correlação de Pearson (r) para examinar o impacto de cada variável na captação de carbono nos diferentes compartimentos vegetais, considerando que quando  $p < 0,01$  as correlações são significativas.

### **Captura do carbono e estimativa da biomassa através de equações alométricas (método indireto)**

Seguindo a metodologia de Arevalo et al. (2002) foi utilizada a seguinte equação alométrica para calcular a biomassa arbórea para indivíduos vivos (kg/árvore):

$$BA = 0,1184 * DAP^{2,53}$$

Equação 4. BA = biomassa de árvores vivas (kg/árvore); 0,1184 = constante; DAP = diâmetro a altura do peito (cm); 2,53 = constante

O carbono da biomassa arbórea viva (estoque de carbono) foi calculado conforme descrito por Arevalo et al. (2002), através da equação:

$$CBV = BVT * 0,45$$

Equação 5. CBV (t) = carbono na biomassa vegetal; BVT = biomassa vegetal total; 0,45 = constante

A determinação do estoque total de carbono da parte aérea de árvores foi efetuada através do cálculo da média do carbono estocado.

De acordo com Fernandes et al. (2008), essa estimativa de estoque de carbono reflete a quantidade de carbono que foi removida da atmosfera e atualmente se encontra armazenada na biomassa aérea na forma de carbono orgânico. Para a conversão desses valores em CO<sub>2</sub>, adotou-se a premissa de que uma tonelada de carbono é equivalente a 3,67 toneladas de CO<sub>2</sub>. Portanto, a fórmula utilizada para calcular o CO<sub>2</sub> sequestrado da atmosfera foi baseada na equação:

$$CS = CTBV * 3,67$$

Equação 6. CS (t) = carbono sequestrado; CTBV (t) = carbono total na biomassa aérea viva; 3,67 = constante.

### **Incremento periódico anual**

Para a análise comparativa dos parâmetros gerais da comunidade, incluindo área basal, biomassa arbórea total e carbono estocado, realizou-se a medição do diâmetro e da altura de todos os indivíduos previamente mensurados após um período de doze meses. O cálculo do crescimento periódico anual foi efetuado por meio da seguinte equação:

$$Crescimento = C^2 - C^1$$

Equação 7. C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub> – Mensurações no início do período e no final do período, respectivamente; IPA – Incremento periódico anual.

## Como os visitantes percebem o conforto térmico proporcionado pela arborização em praças urbanas? Um estudo de caso no Nordeste brasileiro

### Impacto das áreas verde no conforto térmico

As variáveis meteorológicas temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%), foram medidas com um termo-higrômetro AKSO modelo IBUTG - AK887, posicionado a 1,5 metros acima do solo. A coleta de dados foi realizada em duas configurações distintas: áreas desprovidas de cobertura vegetal e áreas sob a copa das árvores. Este monitoramento ocorreu ao longo de um ano, de maio de 2023 a abril de 2024, abrangendo tanto o período chuvoso quanto o seco da região.

As medições foram efetuadas durante três dias consecutivos em cada mês, em seis intervalos de horários diferentes: 7:30-8h, 9:30-10h, 11:30-12h, 13:30-14h, 15:30-16h, e 17:30-18h (Figura 12).

Figura 12. Registro das variáveis climáticas em praça no sul do Ceará utilizando o termo-higrômetro digital.



Além da temperatura, a umidade também desempenha um papel significativo no desconforto experimentado durante o tempo quente e deve ser cuidadosamente considerada no cálculo de um índice de estresse térmico, especialmente em regiões de clima tropical (Parasin; Amnuaylojaroen, 2023). Para este estudo, foi adotada a metodologia de Steadman (1979), que integra temperatura e umidade relativa para avaliar a sensação térmica percebida pelos humanos por meio do Índice de Calor (IC). O cálculo do IC é realizado utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Equação 1: IC} = -42,379 + 2,04901523 \times T + 10,14333127 \times \text{UR} - 0,22475541 \times T \times \text{UR}$$

$$- 6,83783 \times 10^{-3} \times (T)^2 - 5,481717 \times 10^{-2} \times (UR)^2 + 1,22874 \times 10^{-3} \times (T)^2 \times UR + 8,5282 \times 10^{-4} \times T \times (UR)^2 - 1,99 \times 10 \times (T)^2 \times (UR)^2$$

Onde: IC - índice de calor; T - temperatura (°C); UR - umidade relativa do ar (%)

Com os resultados obtidos do IC foram indicados os níveis de alerta e as consequências para a saúde humana, conforme adaptado por Nobrega e Lemos (2011) na tabela 1.

Tabela 1. Níveis de alerta e suas consequências à saúde humana do índice de calor.

Nível de alerta	Índice de calor	Síndrome de calor (sintomas)
Perigo extremo	54° C ou mais	Insolação ou ação e risco de Acidente Vascular Cerebral (AVC) iminente.
Perigo	41,1 – 54° C	Câimbras, insolação e provável esgotamento. Possibilidade de dano cerebral (AVC) para exposições prolongadas com atividades físicas.
Cautela extrema	32,1° - 41° C	Possibilidade de câimbras, esgotamento e insolação para exposições prolongadas e atividade física.
Cautela	27,1 – 32° C	Possível fadiga em casos de exposição prolongada e atividade física.
Não há alerta	Menor que 27° C	Não há problemas.

Fonte: National Weather Service Eather Forecast Office, NOAA. Adaptado por Nóbrega e Lemos (2011).

### Percepção da população sobre o conforto térmico

Para avaliar a percepção da população sobre o conforto térmico proporcionado pela arborização nas praças foram aplicados questionários (Apêndice A) aos transeuntes estacionários em cada uma das áreas analisadas. Considerando o tamanho da população total dos três municípios, utilizou-se a fórmula proposta por Cochran (1977) e citada por Tarashkar, Qureshi e Rahimi (2024) para determinar o tamanho da amostra adequada, adotando um nível de confiança de 95% e uma margem de erro de 5%, expressa da seguinte forma:

$$\text{Equação 2: } n = \frac{Z^2 P(1-P)}{e^2} = \frac{1,96^2 \cdot 0,5(1-0,5)}{0,05^2} = 384$$

Onde:  $n$  - Tamanho da amostra;  $Z$  - Valor crítico para 95% de confiança;  $p$  - Proporção esperada na população;  $q = 1 - p$ , portanto 0.5;  $e$  - Margem de erro.

Embora a fórmula de Cochran tenha indicado que uma amostra de aproximadamente 384 entrevistas seria suficiente para alcançar um nível de confiança de 95% e uma margem de erro de 5%, optou-se por realizar 1100 entrevistas para aumentar a precisão dos resultados, sendo 185 em cada praça estudada. Uma amostra maior resulta em uma margem de erro menor, reduzindo-a para aproximadamente 2.94% e proporcionando resultados mais confiáveis. Além disso, Alreck e Settle (1995) sugerem que amostras entre 100 a 300 podem ser suficientes para obter resultados confiáveis.

Primeiro, utilizou-se uma série de perguntas para obter dados sobre a experiência dos entrevistados com a praça em questão. Perguntou-se com que frequência a visitam e qual a principal razão para suas visitas, identificando os períodos do dia em que costumam frequentá-la. Em seguida, procurou-se determinar a familiaridade dos entrevistados com o conhecimento básico sobre conforto térmico, incluindo a capacidade da copa das árvores urbanas em reduzir a temperatura local. Para entender a percepção dos usuários sobre o conforto térmico nas praças, utilizaram-se perguntas diretas sobre sua percepção de conforto térmico, sensação térmica no momento da entrevista, nível de ventilação, sombreamento e vegetação na praça. Além disso, investigou-se a preferência dos entrevistados em relação ao ambiente térmico ideal da praça com a pergunta: "Neste momento, como você preferiria que o ambiente térmico desta praça estivesse?".

Adicionalmente, explorou-se se os entrevistados acreditam que as áreas verdes na cidade são adequadas para fornecer conforto térmico. Utilizaram-se perguntas dicotômicas (sim ou não) para explorar a percepção sobre possíveis problemas associados às árvores. As perguntas abordaram aspectos como a interferência na iluminação noturna da praça, o risco de galhos caírem e danificarem propriedades ou causarem ferimentos a transeuntes, a possibilidade de entupimento de bueiros por galhos e folhas, danos à infraestrutura (como linhas de esgoto e calçamento), alergias desencadeadas por algumas árvores e conflitos entre a copa das árvores e a fiação elétrica devido à falta de manutenção periódica. Essas questões ajudaram a identificar as preocupações da população sobre a manutenção e segurança relacionadas às árvores urbanas.

Em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela Resolução CNS 466/12 do Conselho Nacional de Saúde, este estudo foi submetido à Plataforma Brasil e recebeu a identificação CAAE 70312423.7.0000.5055. Esta etapa é essencial para garantir a avaliação ética por parte de um Comitê de Ética em Pesquisa, assegurando a proteção dos direitos e do bem-estar dos participantes. Todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre

e Esclarecido (TCLE). A aprovação ética obtida reforça a transparência e a credibilidade da nossa abordagem metodológica.

### **Análise estatística**

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R (R Core Team 2023). Inicialmente os dados de temperatura e umidade foram inspecionados univariadamente para verificação de sua natureza, se paramétricos ou não-paramétricos. Para isso, foram utilizados o teste de Shapiro-Wilk e o teste de Levene, respectivamente. Em seguida, uma ANOVA Two-Way foi utilizada para avaliar se houve variação de temperatura e umidade entre as praças amostradas, entre as áreas sob a sombra da vegetação (SCA) e as áreas expostas ao sol direto (SEA), bem como entre a interação destes dois fatores. Em seguida, o teste post-hoc de Tukey foi utilizado para comparação par-a-par. Esse procedimento foi realizado para avaliar a variação de temperatura e umidade dentro de cada praça amostrada. Por fim, foi utilizada uma análise de covariância (ANCOVA) para avaliar se a correlação entre temperatura e umidade varia entre SCA e SEA. Para isso, foi construído o modelo onde a temperatura foi utilizada como variável explicativa, umidade foi utilizada como variável resposta e a área (coberta ou exposta) foi utilizada como covariável no modelo.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AL JARAH, S.; ZHOU, B.; ABDULLAH, R.; LU, Y.; YU, W. Urbanization and Urban Sprawl Issues in City Structure: A Case of the Sulaymaniah Iraqi Kurdistan Region. *Sustainability*, v. 11, n. 2, 2019.
- ÁLVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- 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, n. 1, p. 1-20, 2019.
- AREGAHEGN, Z. Optimization of the analytical method for the determination of organic matter. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, v. 11, p. 1-5, 2020.
- AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. M. Metodologia para estimar estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra. *Embrapa Florestas. Documentos*, v. 10, n. 2, p. 41, 2002.

- BARALDI, R.; NERI, L.; COSTA, F.; FACINI, O.; RAPPARINI, F.; CARRIERO, G. Ecophysiological and micromorphological characterization of green roof vegetation for urban mitigation. *Journal Urban Forestry & Urban Greening*, p. 1-9, 2018.
- BARBIRATO, G.M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S.C. Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. Maceió: EDUFAL. p. 164, 2007.
- BHANAGE, V.; LEE, H. S.; GEDAM, S.; LATHA, R. Impacts of future urbanization on urban microclimate and thermal comfort over the Mumbai metropolitan region, India. *Sustainable Cities and Society*, v. 79, p. 103703, 2022.
- BRANDL, P.; BUI, M.; HALLETT, J.P.; MAC DOWELL, N.. Beyond 90% capture: Possible, but at what cost?. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, v. 105, p. 103-239, 2021.
- BENÍCIO, R. M. A., NASCIMENTO, A. da S., MORAIS, S. C. de O., LISBOA, M. A. N., SILVA, L. V. A. da, CRUZ, G. V., MORAIS, H. N. de, ARAÚJO, I. F., LINHARES, K. V., SILVA, M. A. P. da, ROCHA, L. S. G.; CALIXTO JÚNIOR, J. T. Um refúgio de Mata Úmida no interior do Nordeste brasileiro: estrutura e diversidades alfa e beta. *Ciência Florestal*, v. 33, n. 3, p. 1-25, 2023. DOI: 10.5902/1980509869097.
- CAVASSAN, O.; CESAR, O.; MARTINS, F. R. Fitossociologia da vegetação arbórea da Reserva Florestal de Bauru, Estado de São Paulo. 1984.
- CARMO, A.; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 4, p. 1211–1220, jul. 2012.
- CIATEC S.A. Mata Nativa – Sistema para Análise Fitossociológica e Elaboração de Planos de Manejo de Florestas Nativas. Compact Disc. Viçosa, 2001.
- FERNANDES, A.; SALIS, S. M.; FERNANDES, F.; CRISPIM, S. Estoques de carbono do estrato arbóreo de cerrados no Pantanal da Nhecolândia. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2008. (Comunicado Técnico 68).
- FERREIRA, R. DE C.; HERRMANN, C. R. A. Influência de espécies arbóreas no microclima e conforto térmico de seu entorno imediato sob condições climáticas do cerrado goiano. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 11, n. 1, p. 14–33, 2016.
- FLORA E FUNGA DO BRASIL. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ResultadoDaConsultaNovaConsulta.do#CondicaoTaxonCP>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- GAYATHRI, R.; MAHBOOB, S.; GOVINDARAJAN, M.; GHANIM, K. A.; AHMED, Z.; MULHM, N.; VIJAYALAKSHMI, S. 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.

- GOLDIN, A. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in non calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 18, p. 1111-1116, 1987.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Base de Dados 2018. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Panorama do Estado do Ceará, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/CE/panorama>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Normas Climatológicas do Brasil, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE), 2017. Disponível em: [https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Crato\\_2017.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Crato_2017.pdf). Acesso em: 05 jan. 2024.
- INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES (IUCN). IUCN Red List of Threatened Species, 2024. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2014. Alterações Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade - Resumo para Decisores. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas. Organização Meteorológica Mundial (WMO), Genebra, Suíça, 34 pp.
- JARVIS, I.; GERGEL, S.; KOEHOORN, M.; BOSCH, M. Greenspace access does not correspond to nature exposure: Measures of urban natural space with implications for health research. *Landscape and Urban Planning*. v. 196, 2020.
- LAMPRECHT, H. Ensayo sobre la estructura florística de la parte suroriental del Bosque Universitario: “El caimital”, Estado Barinas. *Revista Forestal Venezolana*, v. 7, p. 77-119, 1964.
- MA, J.; DONG, G. Periodicity and variability in daily activity satisfaction: Toward a space-time modeling of subjective well-being. *Annals of the American Association of Geographers*, v. 113, n. 8, p. 1918–1938, 2023.
- MAGURRAN, A. E. *Ecological Diversity and its measurement*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1988. 179p.
- MANOLI, G.; FATICHI, S.; SCHLÄPFER, M.; YU, K.; CROWTHER, T. W.; MEILI, N.; BURLANDO, P.; KATUL, G. G.; BOU-ZEID, E. Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population. *Nature*, v. 573, n. 7772, p. 55-60, 2019.

- MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C.; SILVA FILHO, D. F. Microclima em diferentes tipologias de floresta urbana. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 10, n. 4, p. 12–22, 2016.
- MOHAJERANI, A.; BAKARIC, J.; JEFFREY-BAILEY, T. The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, v. 197, p. 522-538, 2017. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.03.095.
- NÓBREGA, R. S.; LEMOS, T. V. S. O microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade de Recife. *Revista de Geografia*, v. 28, n. 1, p. 93–109, 2011.
- PIELOU, E. C. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession. *Journal of Theoretical Biology*, v. 10, n. 2, p. 370–383, 1966.
- SANTOS, A. S.; VITAL, S. R. O.; SOUZA, S. F. F. Riscos geomorfológicos no triângulo Crajubar, estado do Ceará. *Revista Brasileira De Geografia Física*, v. 16, n. 2, p. 894–906, 2023. DOI: 10.26848/rbgf.v16.2.p894-906.
- SATO, J. H.; DE FIGUEIREDO, C. C.; MARCHÃO, R. L.; MADARI, B. E.; BENEDITO, L. E. C.; BUSATO, J.; SOUZA, D. Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soil. *Scientia Agricola*, v. 71, n. 4, p. 302-308, 2014.
- SILVA, L. V. A.; ARAÚJO, I. F.; BENÍCIO, R. M. A.; MORAIS, S. C. de O.; LISBOA, M. A. N.; CRUZ, G. V.; NOBRE LISBOA, M. A.; 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, p. 1239-1259, 2020. DOI: 10.26848/rbgf.v15.3.p1239-1259.
- SIMPSON, E. H. Measurement of diversity. *Nature*, v. 163, p. 688, 1949. DOI: 10.1038/163688a0.
- STEADMAN, R.G. The Assessment of Sultriness: Part I: A Temperature Humidity Index Based On Human Physiology And Clothing Science. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 18, p. 861-884, 1979.
- SUGUIO, K. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. 317p.
- TRLICA, A.; HUTYRA, L.R.; MORREALE, L.L.; SMITH, I.A.; REINMANN, A.B. Current and future biomass carbon uptake in Boston’s urban forest *Sci. Total Environ.*, v. 709, 2020.
- VAHMANI, P.; BAN-WEISS, G. A. Impact of remotely sensed albedo and vegetation fraction on simulation of urban climate in WRF-urban canopy model: A case study of the urban heat island in Los Angeles. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v.121, p. 1511-1531, 2016. DOI: 10.1002/2015JD023718.
- WILHM, J. Graphic and mathematical analyses of biotic communities in polluted streams. *Annual.Review of Entomology*, v.17. p. 223-252, 1972.

YANG, D.; MENG, F.; LIU, Y.; DONG, G.; LU, D. Scale effects and regional disparities of land use in influencing PM<sub>2.5</sub> concentrations: A case study in the Zhengzhou Metropolitan Area, China. *Land*, v. 11, n. 9, p. 1538, 2022.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

ZHU, K; SONG, Y; QIN, C. Forest age improves understanding of the global carbon sink. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 116, n. 10, p. 3962-3964, 2019.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### **Artigo I: Diversidade, estrutura e potencial de sequestro de carbono da flora lenhosa de praças urbanas do semiárido brasileiro**

Artigo publicado na Revista *Trees, Forests and People*, classificada na categoria A2 no Qualis/CAPES, fator de impacto 2.7 e percentil 79%. DOI: 10.1016/j.tfp.2024.100561

**Resumo:** O crescimento populacional e econômico nas cidades contribui significativamente para as emissões de gases de efeito estufa (GEE), tornando-as potenciais protagonistas na mitigação dessas emissões. No entanto, o interior do nordeste brasileiro é escasso de pesquisas que abordam o potencial de carbono nessas áreas. Nesse contexto, este estudo analisou praças urbanas como elementos para mitigação das mudanças climáticas e aquecimento global, destacando a importância desses espaços para a biodiversidade local e sustentabilidade nas cidades, fornecendo base para futuras pesquisas relacionadas à temática na região. Seis praças foram selecionadas em três municípios conurbados da região semiárida brasileira, abrangendo todos os indivíduos com diâmetro a altura do peito (DAP)  $\geq 5$  cm. A quantificação de carbono ocorreu pela forma direta (análise de amostras de folhas, galhos finos e caules) e indireta, utilizando o DAP para calcular biomassa e carbono. Foram registrados 554 indivíduos de 39 espécies e 17 famílias, destacando-se Fabaceae, Arecaceae e Bignoniaceae. O índice de Shannon ( $H'$ ) variou de 0,85 a 2,45, o de Simpson ( $C'$ ) de 0,35 a 0,88 e a equabilidade de Pielou ( $J'$ ) de 0,38 a 0,86. Os teores médios de carbono variaram de 47,5% a 57,2% nos diferentes compartimentos das árvores, destacando-se *Schinus terebinthifolia*, com altos valores de matéria orgânica (96,2%) e teor de carbono (55,9%) nas folhas. A Praça da Sé (Crato) apresentou as maiores concentrações de biomassa vegetal e carbono armazenado e quantidade significativa de carbono sequestrado (709,24t). Em um ano, foi observado incremento de 0,29 t/ha<sup>-1</sup> no carbono total da biomassa e 1,04 t/ha<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> sequestrado. Os resultados destacam a importância fundamental da flora das praças urbanas, apontando-as como aliadas cruciais na captura e armazenamento de carbono e na redução das emissões de GEE.

**Palavras-chave:** Estoque de carbono. Nordeste brasileiro.

## INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial, a atividade humana tem alterado drasticamente a composição da atmosfera (ALIMONTI, 2018; FUMIÃ, 2022). Como apontado por Chen (2022), as cidades são os principais responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE)

e, conseqüentemente, representam um campo importante para mitigar essas emissões. Enquanto a urbanização contribui para o crescimento econômico, ela também aumenta o consumo de energia e as emissões de carbono (CHEN et al., 2016; GU, 2019). Estima-se que uma duplicação na concentração atmosférica de dióxido de carbono possa resultar em um aumento da temperatura média global entre 1,5 °C e 4,5 °C (ALIMONTI, 2018; FUMIÃ, 2022).

Conforme destacado por Zhou et al. (2013) e Adem et al. (2020), o crescimento populacional e econômico em áreas urbanas é um fator chave nas mudanças climáticas e na degradação ambiental. De acordo com Zhang et al (2016), essas áreas representam 71% a 76% da quota global de emissões de GEE. Segundo as projeções da Organização das Nações Unidas (ONU, 2022), a população mundial deve crescer para cerca de 9,7 bilhões em 2050. Ao mesmo tempo, é previsto um aumento significativo na urbanização, com cerca de 68% da população vivendo em áreas urbanas até essa data (ONU, 2022).

No Brasil, os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) já revelam que mais de 85% da população reside em áreas urbanas, refletindo um alto grau de urbanização no país. Nas últimas décadas, o país tem registrado elevados índices de expansão urbana, demandando alternativas para que esse crescimento ocorra de forma mais sustentável, minimizando os prejuízos ao meio ambiente, saúde e qualidade de vida nas cidades (PINHEIRO et al. 2022). Os habitats e a biodiversidade remanescentes nas cidades serão cada vez mais importantes para melhorar a saúde humana e a qualidade ambiental urbana (CRANE; KINZIG, 2005; ZHAO, 2023).

O consenso internacional é que a redução das fontes de carbono e o aumento do sequestro de carbono são os dois caminhos que podem efetivamente mitigar o aquecimento global (LIU et al., 2016; JIANG et al., 2023). Embora 8,6 Pg CO<sub>2</sub> sejam emitidos para a atmosfera por ano, devido ao papel eficiente do sequestro terrestre no ciclo global do carbono, apenas 3,5 Pg CO permanecem na atmosfera (MISHRA et al., 2020).

Vários estudos apontam para a necessidade de expansão de áreas verdes urbanas em razão dos serviços ecossistêmicos proporcionados. Entre os benefícios dessas áreas está a capacidade de sequestrar e armazenar grandes quantidades de carbono (HONG et al., 2024). Esses ambientes ajudam na captura de CO<sub>2</sub> da atmosfera, oferecendo uma solução natural para atenuar os efeitos das alterações climáticas, conforme destacado por YANG et al. (2020) e GUO (2024). Além disso, estudos como o de Park e Schade (2016) demonstraram que a fotossíntese das árvores em espaços verdes urbanos pode compensar parte do CO<sub>2</sub> através da respiração do ecossistema. O Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2013) define áreas verdes urbanas como os espaços dentro das cidades que possuem cobertura vegetal, arbórea, arbustiva e rasteira, que contribuem de modo significativo para a qualidade de vida e o equilíbrio ambiental nas cidades,

presentes nos canteiros centrais, praças, parques, florestas e unidades de conservação urbanas. No entanto, Lima Neto et al. (2007) ressalta que se forem desprovidas de vegetação e impermeáveis, as praças não são consideradas espaços verdes.

Diante da necessidade de promover a arborização urbana como parte integrante do planejamento das cidades, iniciativas legislativas recentes têm sido propostas. Por exemplo, a Proposta de Lei (PL) 3.113/2023 (SENADO, 2023), em discussão no Congresso Nacional, determina que a União, os estados, o Distrito Federal e os municípios passem a elaborar planos de arborização urbana. Os planos deverão se guiar pelos regulamentos futuros da Política Nacional de Arborização Urbana (PNAU). O plano nacional e os planos estaduais de arborização urbana terão a responsabilidade de mapear a situação nos seus territórios de cobertura, estabelecer metas e delinear programas para atingir os objetivos. Já os planos municipais, obrigatórios para cidades com mais de 20 mil habitantes, terão o dever de realizar a implantação contínua e atualizada da arborização urbana. A elaboração do plano municipal será requisito para recebimento das verbas federais e estaduais destinadas ao fomento da arborização urbana.

A Região Metropolitana do Cariri (RMC), situada no Semiárido do Nordeste Brasileiro, destaca-se como um significativo centro urbano no interior do Estado do Ceará, encontrando-se em um processo acelerado de urbanização. A RMC inclui importantes municípios como Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha. A dinâmica interação territorial entre esses três municípios resultou no aglomerado urbano conhecido como Triângulo CRAJUBAR (SANTOS et al., 2023). O estudo de Nascimento e Chacon (2016) sobre a sustentabilidade na Região Metropolitana do Cariri destaca que Juazeiro do Norte apresenta desafios ambientais significativos, resultantes de sua rápida urbanização e falta de estratégias de desenvolvimento urbano sustentável. De acordo com os dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2022), Juazeiro do Norte e Crato estão presentes entre os 20 municípios do Ceará que mais emitiram GEE em 2022, totalizando 364.241 e 237.728 toneladas de CO<sub>2</sub>e, respectivamente.

São poucos os estudos que abordam o potencial de sequestro de carbono da flora de praças dos municípios do interior do nordeste brasileiro. Sendo assim, busca-se entender: qual o potencial de sequestro de carbono da vegetação lenhosa das praças dessa região do semiárido brasileiro? As praças são relevantes do ponto de vista ecológico? Quais espécies arbóreas sugerir para a implantação de novas praças futuramente na região? Diante desse cenário, este estudo analisa o papel das praças urbanas no interior do Ceará como elementos para a mitigação das mudanças climáticas e do aquecimento global, destacando a importância dessas áreas, explorando como elas contribuem para a saúde e harmonia dos ecossistemas urbanos através

do seu potencial de sequestro de carbono. Este trabalho servirá como base para futuros estudos na região nordeste do Brasil, fornecendo informações importantes para o desenvolvimento de estratégias eficazes de adaptação e mitigação climática.

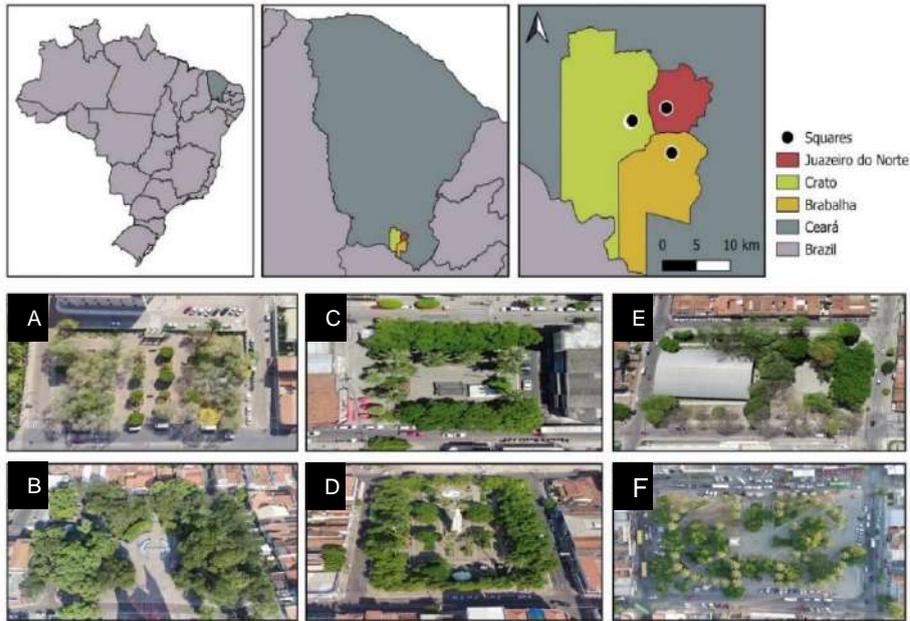
## **METODOLOGIA**

### **Área de estudo**

A área de estudo compreende o Triângulo CRAJUBAR, situado no sul do estado do Ceará, nordeste do Brasil. Essa região abrange os municípios conurbados de Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, formando uma área metropolitana de significativa importância na região semiárida brasileira. Os três municípios somam cerca de 500 mil habitantes em uma área de 2005 km<sup>2</sup>, sendo 104 km<sup>2</sup> de área urbanizada (IBGE, 2023). O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é caracterizado como Aw (ALVARES et al., 2014; SILVA et al., 2020; BENÍCIO et al., 2023). A área possui características do clima tropical quente, o período chuvoso estende-se entre os meses de janeiro a abril, e o período seco de maio a dezembro (IPECE, 2017). As temperaturas médias anuais no Triângulo CRAJUBAR variam entre aproximadamente 25,5 °C e 26,6 °C, com índice pluviométrico médio de 673 mm ao ano (INMET, 2023). O solo predominante é o argissolo vermelho (IBGE, 2018). A área apresenta uma rica diversidade de fisionomias vegetais: Caatinga Arbórea-arbustiva, Caatinga Arbustiva-arbórea, Mata úmida, Mata seca, Cerrado/Cerradão, Carrasco e Mata ciliar (SANTOS et al., 2023).

Foram selecionadas seis praças: Praça do Rosário em Barbalha (coordenadas: 7° 18' 43.47" S 39° 18' 11.08" W; área: 3.841 m<sup>2</sup>); Praça Padre Cícero (7° 12' 06.4" S 39° 19' 04.9" W; 8.630 m<sup>2</sup>) em Juazeiro do Norte e no Crato: a Praça da Sé (7° 14' 05.16" S 39° 24' 44.56" W; 10.092 m<sup>2</sup>), a Praça Siqueira Campos (7° 13' 59.26" S 39° 24' 42.61" W; 1.212 m<sup>2</sup>) a Praça Francisco Sá (7° 13' 58.35" S 39° 24' 32.90" W; 5.018 m<sup>2</sup>) e a Praça Alexandre Arraes (7° 14' 10.08" S 39° 24' 52.34" W; 7.897 m<sup>2</sup>) (Figura 1). A área total das praças é de 3,669 ha.

Figura 1. Localização geográfica das áreas de estudo: seis praças situadas nos municípios de Crato, Barbalha e Juazeiro do Norte, Estado do Ceará, nordeste do Brasil. Onde: A = Praça do Rosário; B = Praça da Sé; C = Praça Siqueira Campos; D = Praça Francisco Sá; E = Praça Alexandre Arraes; F = Praça Padre Cícero.



As praças selecionadas desempenham papel fundamental como espaços de lazer e cultura, ao mesmo tempo em que servem como importantes pontos de encontro que refletem a diversidade e a riqueza histórica da região. A escolha dessas praças levou em consideração tanto a localização estratégica quanto a relevância histórico-cultural.

### Coleta e análise de dados

Foi realizado inventário tipo censo no período de dezembro de 2022 a dezembro de 2023, abrangendo os indivíduos arbustivos ou arbóreos com DAP (diâmetro à altura do peito) igual ou superior a 5 cm e altura total maior ou igual a 2m. A identificação das espécies foi realizada por meio de depósito do material botânico no Herbário Caririense Dárdano de Andrade Lima (HCDAL) da Universidade Regional do Cariri - URCA. Além disso foram realizadas consultas em bibliotecas especializadas e a busca de orientação junto a especialistas. As espécies foram classificadas de acordo com o sistema de classificação taxonômica da Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV, 2016) e a ortografia e autoria dos binômios específicos e sinônimas foram confirmadas de acordo com a base de dados “Flora e Funga do Brasil” (Flora e Funga do Brasil, 2024).

O status de conservação das espécies foi determinado com base nas diretrizes da International Union for Conservation of Nature (IUCN, 2024).

Quanto à origem fitogeográfica, considerou-se como espécies nativas (N) aquelas originárias de formações vegetais brasileiras, enquanto as espécies exóticas (E) englobaram exemplares originários de outros países, incluindo aqueles naturalizados e cultivados. Essa classificação segue os critérios adotados pela base de dados “Flora e Funga do Brasil” (Flora e Funga do Brasil, 2024), juntamente com informações sobre o endemismo.

### **Fitossociologia (Estrutura e diversidade alfa)**

Para a análise dos parâmetros fitossociológicos utilizou-se o Microsoft Excel<sup>®</sup> que possibilitou a análise de parâmetros gerais da comunidade: densidade total, área basal (AB), alturas e diâmetros; e parâmetros relativos às espécies: densidade absoluta (DeA) e relativa (DeR), frequência absoluta (FrA) e relativa (FrR), dominância absoluta (DoA) e relativa (DoR). Utilizando a média dos valores de DeR, FrR e DoR, calculou-se o Índice de Valor de Importância (IVI), conforme Lamprecht (1964). Paralelamente, adotou-se o Índice de Valor de Cobertura (IVC), proposto por Cavassan et al. (1984), que difere do IVI ao dar pesos iguais para o número de indivíduos e biomassa.

Além disso foram analisados o Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) (Magurran, 1988) e o Índice de Equabilidade de Pielou ( $J'$ ) (Pielou, 1966), para representar a diversidade e a uniformidade na distribuição dos indivíduos entre as espécies nas áreas. O índice de Concentração de Simpson ( $C'$ ), proposto por Simpson (1949), também foi calculado para avaliar a dominância de espécies nas comunidades. Por fim, utilizou-se o teste T de Student para verificar a significância estatística entre as médias, adotando um erro máximo de aceitação de 0,05 (5%).

### **Quantificação do teor de carbono pelo método de combustão por via seca - gravimetria por incineração em forno mufla (método direto)**

Para estimar o teor de carbono das espécies selecionadas pelo método direto foram utilizadas amostras de folhas, galhos finos e caule. A escolha das árvores para a quantificação foi baseada no inventário florístico das seis praças, priorizando as três espécies de maior índice de valor de importância em cada área, com exceção das palmeiras (Arecaceae). As amostras de caule foram retiradas usando uma furadeira com serra copo. Todo o material coletado, devidamente identificado, foi submetido à estufa a 70 °C por 24 horas e, após a secagem, triturado em um moinho do tipo Wiley.

As amostras foram encaminhadas para análise seguindo o método estabelecido por Goldin (1987). Cada amostra (folhas, galhos e caule) foi colocada em um cadinho de porcelana sem tampa e submetida ao forno mufla a uma temperatura de 550 °C até a completa calcinação. Em seguida, as amostras foram resfriadas em um dessecador até atingirem a temperatura ambiente e pesadas (CARMO; SILVA, 2012). O método da mufla consiste na determinação gravimétrica do CO<sub>2</sub> evoluído e, por conseguinte, na perda de massa de resíduo submetido à alta temperatura por certo intervalo de tempo; na determinação da MO (matéria orgânica), considera-se, assim, a diferença de peso inicial (amostras secas a 105 °C) e de peso computado após a incineração da amostra a 550-600 °C (SUGUIO, 1973). Estimou-se o teor de MO,

multiplicando teor de carbono (C) pelo fator de van Bemmelem 1,72 (100/58), partindo do princípio de que, em média, a MO contém 58% de carbono, conforme descrito por Yeomans e Bremner (1988), Sato (2014) e Aregahegn (2020).

Para avaliar as variações significativas no teor de carbono entre folhas, galhos e caules, utilizou-se um modelo de regressão não linear para as curvas e análise de variância (ANOVA). Essas análises foram conduzidas de duas formas distintas. Adicionalmente, empregou-se o teste de Tukey e a correlação de Pearson ( $r$ ) para examinar o impacto de cada variável na captação de carbono nos diferentes compartimentos vegetais, considerando que quando  $p < 0,01$  as correlações são significativas.

### **Captura do carbono e estimativa da biomassa através de equações alométricas (método indireto)**

Seguindo a metodologia de Arevalo et al. (2002) foi utilizada a seguinte equação alométrica para calcular a biomassa arbórea para indivíduos vivos (kg/árvore):

$$BA = 0,1184 * DAP^{2,53}$$

Equação 1. BA = biomassa de árvores vivas (kg/árvore); 0,1184 = constante; DAP = diâmetro a altura do peito (cm); 2,53 = constante

O carbono da biomassa arbórea viva (estoque de carbono) foi calculado conforme descrito por Arevalo et al. (2002), através da equação:

$$CBV = BVT * 0,45$$

Equação 2. CBV (t) = carbono na biomassa vegetal; BVT = biomassa vegetal total; 0,45 = constante

A determinação do estoque total de carbono da parte aérea de árvores foi efetuada através do cálculo da média do carbono estocado.

De acordo com Fernandes et al. (2008), essa estimativa de estoque de carbono reflete a quantidade de carbono que foi removida da atmosfera e atualmente se encontra armazenada na biomassa aérea na forma de carbono orgânico. Para a conversão desses valores em CO<sub>2</sub>, adotou-se a premissa de que uma tonelada de carbono é equivalente a 3,67 toneladas de CO<sub>2</sub>. Portanto, a fórmula utilizada para calcular o CO<sub>2</sub> sequestrado da atmosfera foi baseada na equação:

$$CS = CTBV * 3,67$$

Equação 3. CS (t) = carbono sequestrado; CTBV (t) = carbono total na biomassa aérea viva; 3,67 = constante.

### Incremento periódico anual

Para a análise comparativa dos parâmetros gerais da comunidade, incluindo área basal, biomassa arbórea total e carbono estocado, realizou-se a medição do diâmetro e da altura de todos os indivíduos previamente mensurados após um período de doze meses. O cálculo do crescimento periódico anual foi efetuado por meio da seguinte equação:

$$\text{Crescimento} = C^2 - C^1$$

Equação 4.  $C_1$  e  $C_2$  – Mensurações no início do período e no final do período, respectivamente; IPA – Incremento periódico anual.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Composição florística

Foram inventariados 554 indivíduos pertencentes a 39 espécies distribuídas em 35 gêneros e 17 famílias botânicas (Tabela 1), sendo uma espécie identificada apenas em nível de gênero.

Tabela 1. Espécies registradas em praças urbanas no sul do Ceará, Brasil. EC = Estado de Conservação da espécie; DD = Dados insuficientes; NE = Não avaliada; LC = Pouco preocupante; VU = Vulnerável; NT = Quase ameaçado; EN = Em perigo; PC = Praça Padre Cícero; AA = Praça Alexandre Arras; SÉ = Praça da Sé; SC = Praça Siqueira Campos; FS = Praça Francisco Sá; R = Praça do Rosário; V = Voucher; N.I = Não identificada.

Família	Espécie	Origem	Endemismo	EC	PC	AA	SÉ	SC	FS	R	TOTAL	V
<b>Anacardiaceae R. Br.</b>												
	<i>Mangifera indica</i> L.	E	Não endêmica	DD	0	5	0	0	3	0	8	164 51
	<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	N	Não endêmica	NE	0	0	0	2	0	0	2	160 34
	<i>Spondias dulcis</i> Parkinson	E	Não endêmica	NE	0	0	0	0	0	1	1	-
<b>Annonaceae Juss.</b>												
	<i>Annona squamosa</i> L.	E	Não endêmica	LC	0	0	0	1	0	0	1	158 37
<b>Apocynaceae Juss.</b>												
	<i>Plumeria rubra</i> L.	E	Não endêmica	LC	0	0	0	0	0	2	2	-
<b>Areaceae Schultz Sch.</b>												
	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex	N	Endêmica	LC	0	0	0	0	1	0	1	-

Mart.												
	<i>Adonidia merrillii</i> (Becc.) Becc.	E	Não endêmica	VU	18	0	23	2	0	0	<b>43</b>	160 33
	<i>Copernicia prunifera</i> (Mill.) H.E.Moore	N	Não endêmica	NE	27	0	0	7	8	0	<b>42</b>	-
	<i>Dypsis lutescens</i> (H.Wendl.) Beentje & J.Dransf.	E	Não endêmica	NT	9	5	28	0	0	0	<b>42</b>	164 53
	<i>Roystonea oleracea</i> (Jacq.) O.F.Cook	E	Não endêmica	NE	5	0	2	0	3	1	<b>11</b>	-
	<i>Sabal maritima</i> (Kunth) Burret	E	Não endêmica	NE	44	0	0	8	0	0	<b>52</b>	-
<b>Bignoniaceae Juss.</b>												
	<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	N	Não endêmica	NE	11	0	0	0	0	0	<b>11</b>	-
	<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	N	Não endêmica	NT	3	19	0	0	0	5	<b>27</b>	158 39
	<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	N	Não endêmica	LC	5	11	0	0	0	7	<b>23</b>	-
	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore	N	Não endêmica	NE	0	1	0	0	0	0	<b>1</b>	164 48
	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	E	Não endêmica	LC	17	0	0	0	2	0	<b>19</b>	164 47
	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	E	Não endêmica	LC	2	0	0	0	0	3	<b>5</b>	158 48
<b>Boraginaceae Juss.</b>												
	<i>Cordia oncocalyx</i> Allemão	N	Endêmica	LC	0	0	0	0	0	1	<b>1</b>	158 49
<b>Cannabaceae Martinov</b>												
	<i>Celtis</i> sp.	-	-	-	1	0	0	0	0	0	<b>1</b>	-
<b>Chrysobalanaceae R.Br.</b>												
	<i>Microdesmia rigida</i> (Benth.) Sothers &	N	Endêmica	LC	4	5	51	1	0	1	<b>62</b>	158 36



<b>Rhamnaceae Juss.</b>												
	<i>Sarcophalus undulatus</i> (Reissek) Hauenschild	N	Endêmica	LC	4	0	0	0	0	0	4	160
												35
<b>Rutaceae A.Juss.</b>												
	<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	E	Não endêmica	NE	0	0	0	0	0	1	1	-
<b>Urticaceae Juss.</b>												
	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	N	Não endêmica	LC	1	0	0	0	0	0	1	-
<b>TOTAL</b>					<b>203</b>	<b>63</b>	<b>105</b>	<b>33</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>554</b>	

As famílias mais representativas foram: Fabaceae (8 spp.), Arecaceae e Bignoniaceae (6) e Anacardiaceae (3), correspondendo a 58,9% do total. Estudos realizados sobre a arborização urbana de praças em outros estados do Nordeste brasileiro como: Bahia (MOREIRA et al., 2018; VAZ; ROCABADO, 2018), Sergipe (SOUZA et al., 2011), Rio Grande do Norte (SILVA; ALMEIDA, 2016), Piauí (ABREU et al., 2023), Paraíba (SILVA et al., 2023), Maranhão (LIMA et al., 2022) e Alagoas (SILVA 2012) apontaram resultados semelhantes sobre a representatividade das famílias, indicando consistência nas preferências pelas espécies na arborização de praças na região Nordeste.

As espécies *Ficus retusa* e *Microdesmia rigida* apresentaram maior número de indivíduos (118 e 62), correspondendo a 21,2% e 11,1% do total, respectivamente. Sobre essa última, trata-se de planta melífera endêmica muito importante para a ecologia da região, especialmente por seu período de floração ocorrer no período seco. Em um bioma tão resiliente e adaptado à semiaridez como a Caatinga, a presença de flora que se mantém produtiva durante os meses mais secos é fundamental para a manutenção da biodiversidade local. As abelhas, polinizadoras essenciais para a perpetuação de muitas espécies vegetais, dependem dessas fontes de alimento para sobreviver e prosperar durante um período em que poucas plantas estão em floração (SILVA, 2020). A palmeira exótica *Sabal marítima* apresentou 52 indivíduos (9,3%). Outras Arecaceae apresentaram números semelhantes: *Adonidia merrilli* (43 ind. - 7,7%), *Dypsis lutescens* e *Copernicia prunifera* (42 ind. - 7,5%). Devido ao elevado valor paisagístico e ornamental, espécies de Arecaceae são amplamente utilizadas na arborização urbana das cidades brasileiras. Conforme apontado por Alves, Costa e Costa (2023), esta família se destaca na paisagem urbana devido à estética marcante e capacidade de embelezar diversos espaços públicos.

A análise da distribuição das espécies revela que a praça Padre Cícero se destaca com a de maior diversidade, totalizando 20 espécies, enquanto a Praça da Sé, mesmo sendo a maior

em área, apresenta apenas cinco. Destaca-se a Praça do Rosário, que, apesar de possuir a segunda menor área, abriga 14 espécies, consolidando-se como a segunda de maior diversidade, seguida pela praça Alexandre Arraes (12). A Praça Siqueira Campos e a Francisco Sá apresentaram nove espécies.

Os resultados dos índices de Shannon ( $H'$ ) abrangeram valores entre 0.85 (Francisco Sá) e 2.45 (Padre Cícero) (Tabela 2), indicando uma diversidade que varia de baixa a média, conforme definido por Floriano (2009), onde os valores do índice abaixo de 1,5 são considerados como baixa diversidade, enquanto valores entre 1,5 e 3,5 indicam diversidade média. Esses valores são considerados baixos quando comparados com praças no Município de Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco onde Silva e Aniceto et al. (2023) encontraram  $H'$  = 3,02. Em contraste, Almeida (2016), ao examinarem as praças de Natal, Rio Grande do Norte, registraram um valor de  $H'$  de 1,13. Por outro lado, Moreira et al. (2018) observaram uma ampla variação nos valores de  $H'$  (0,00 a 1,33) em praças localizadas em Planalto, Bahia. Cavalcante Neto et al. (2020), em seu estudo sobre praças no Maranhão, encontraram valores de  $H'$  variando entre 0,70 e 1,60. Enquanto isso, Nascimento (2016), ao analisar praças em Campina Grande, Paraíba, identificou valores de  $H'$  oscilando entre 1,03 e 1,11.

Tabela 2. Índices de diversidade da arborização de seis praças e da área total. PC = Praça Padre Cícero; AA = Praça Alexandre Arraes; SÉ = Praça da Sé; SC = Praça Siqueira Campos; FS = Praça Francisco Sá; R = Praça do Rosário.

Índices de diversidade	Praças					
	PC	AA	SÉ	SC	FS	R
Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ )	2.453	2.111	1.156	1.892	0.853	2.055
Equabilidade de Pielou ( $J'$ )	0.819	0.849	0.718	0.861	0.388	0.779
Índice de Simpson ( $C'$ )	0.887	0.842	0.645	0.819	0.351	0.795

A comparação dos índices de Equabilidade de Pielou aponta diferenças significativas entre as praças Francisco Sá ( $J' = 0,38$ ) e Siqueira Campos ( $J' = 0,86$ ), indicando distribuição de espécies mais uniforme nessa última, o que é benéfico para a manutenção da biodiversidade e para a oferta de habitats variados para a fauna urbana. Conforme destacado por Pielou (1996), quanto maior o valor de  $J'$ , maior será a uniformidade. Segundo Perkins (1982), maiores valores tanto de Shannon quanto de Pielou indicam uma maior diversidade florística em uma comunidade. No entanto, a baixa equabilidade na Praça Francisco Sá, com 80% dos indivíduos

sendo da espécie *Ficus retusa*, reflete uma dominância preocupante dessa espécie, observado no baixo valor do índice de Simpson:  $C' = 0,35$ . De acordo com Redin et al. (2010) é ideal que nenhuma espécie represente mais de 15% da composição total numa área, a fim de manter um equilíbrio ecológico, sugerindo a necessidade de intervenção na Praça Francisco Sá para promoção de maior diversidade de espécies. Estudos como os de Bacelar et al. (2020) e Pinheiro et al. (2022) destacam a importância de planejar cuidadosamente a arborização urbana para maximizar seus benefícios ecológicos, sociais e econômicos. Portanto, a gestão das áreas verdes urbanas deve considerar a equabilidade das espécies como um critério importante, visando promover uma distribuição mais equilibrada que possa sustentar uma maior diversidade de funções ecossistêmicas e serviços ambientais, além de contribuir para o bem-estar dos habitantes da cidade.

Os valores do índice de concentração de Simpson neste estudo (0,35 a 0,88) mostram uma similaridade com os valores observados nas praças de Dom Pedro, Maranhão, onde Cavalcante Neto (2020) encontrou resultados de  $C'$  variando entre 0,36 e 0,82. Em Patos, Paraíba, Oliveira (2022) registrou variação de 0,60 a 0,92. Esse índice, próximo de 1, indica uma alta diversidade e baixa dominância de qualquer espécie específica nas praças analisadas.

Quanto a origem das espécies, 21 (56,7%) são exóticas e 16 (43,2%) nativas. Dos 554 indivíduos registrados, apenas 33,2% do total são representantes da flora nativa. Além disso, a maioria das espécies não é endêmica (81%). Embora a espécie exótica invasora *Azadirachta indica* esteja presente entre as espécies mais abundantes em diversos estudos sobre a arborização urbana (CHAVES et al., 2019; DELFINO et al., 2021), neste estudo foram observados apenas três indivíduos, todos situados na praça do Rosário (Barbalha). Conhecida por seu impacto negativo em ecossistemas locais, medidas estão sendo adotadas para a sua substituição gradual. A introdução de espécies exóticas representa um risco ao equilíbrio ecológico, pois ao se tornar invasoras, competem com as espécies nativas, constituindo uma das maiores ameaças à biodiversidade mundial (BLUM et al., 2008). No entanto, a introdução dessas espécies é uma prática corriqueira na implantação da arborização urbana nos municípios brasileiros, sendo reflexo da falta de planejamento da arborização por parte dos órgãos competentes (HOPPEN et al., 2014; FELIPPE et al., 2022).

Quanto ao status de conservação, *Adonidia merrillii* está classificada como Vulnerável (VU), indicando um risco elevado de extinção. Já *Dyopsis lutescens* e *Handroanthus impetiginosus* estão categorizadas como Quase Ameaçada (NT), o que sugere um risco de extinção no futuro. Além destas, é observado o Pau-Brasil, *Paubrasilia echinata*, que está classificado como Em Perigo (EN), refletindo risco muito alto de extinção devido ao

desmatamento e à sua exploração histórica. As demais espécies foram classificadas em Dados Deficientes, Não Avaliada e Pouco Preocupante.

### Parâmetros fitossociológicos

Na área total do estudo (3,669 hectares) observou-se densidade absoluta total de 150,995 indivíduos e uma área basal de 88,011 m<sup>2</sup>. Convertendo esses valores para uma área padrão de 1 hectare, resulta em aproximadamente 41,15 indivíduos e 23,99 m<sup>2</sup> por hectare, respectivamente. As espécies que se destacaram com maiores índices de valor de importância (IVI) foram: *Ficus retusa* (57,45), *Microdesmia rigida* (51,22), *Sabal maritima* (21,65) (Tabela 3). Estas espécies também apresentaram os maiores valores quanto à densidade relativa: 21,29%, 11,19% e 9,38% respectivamente.

Tabela 3. Parâmetros fitossociológicos das 16 espécies presentes com os maiores IVI em praças urbanas no sul do Ceará, Brasil. Valores decrescentes por Índice de Valor de Importância (IVI), onde: DR = densidade relativa (%); FrR = Frequência relativa (%); DoR = Dominância Relativa (%); IVC = Índice de Valor de Cobertura e IVI = Índice de Valor de Importância.

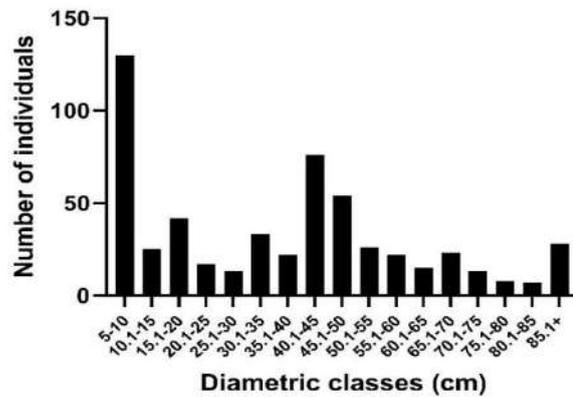
Espécie	DR	FrR	AB	DoR	IVI	IVC
<i>Ficus retusa</i> L.	21,300	7,246	25,439	28,904	57,450	50,204
<i>Microdesmia rigida</i> (Benth.) Sothers & Prance	11,191	7,246	28,855	32,786	51,223	43,977
<i>Sabal maritima</i> (Kunth) Burret	9,386	2,899	8,249	9,372	21,657	18,759
<i>Copernicia prunifera</i> (Mill.) H.E.Moore	7,581	4,348	3,117	3,541	15,470	11,122
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	4,874	4,348	4,581	5,204	14,426	10,078
<i>Adonidia merrillii</i> (Becc.) Becc.	7,762	4,348	0,699	0,794	12,904	8,556
<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	4,152	4,348	3,294	3,742	12,242	7,894
<i>Dyopsis lutescens</i> (H.Wendl.) Beentje & J.Dransf.	7,581	4,348	0,188	0,213	12,142	7,794
<i>Roystonea oleracea</i> (Jacq.) O.F.Cook	1,986	5,797	2,064	2,345	10,128	4,331
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	3,610	1,449	4,089	4,646	9,706	8,257
<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw.	4,693	2,899	0,112	0,127	7,719	4,821
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	3,430	2,899	0,104	0,118	6,446	3,547
<i>Terminalia catappa</i> L.	0,542	4,348	0,763	0,866	5,756	1,408
<i>Mangifera indica</i> L.	1,444	2,899	0,589	0,669	5,011	2,113
<i>Sarcomphalus undulatus</i> (Reissek) Hauenschild	0,722	1,449	1,910	2,170	4,341	2,892
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	0,361	1,449	2,032	2,309	4,120	2,670

### Distribuição diamétrica e hipsométrica

Para todas as praças analisadas, o maior diâmetro registrado foi de 134 cm para um indivíduo de *Enterolobium contortisiliquum* localizado na Praça Alexandre Arraes. Além disso, foram observados diâmetros de 120 cm, 116 cm, 108 cm, 107 cm e 104,5 cm em exemplares de *Microdesmia rigida*, todos situados na Praça da Sé. A distribuição das classes diamétricas

(Figura 2) abrange uma amplitude de 4,9 cm em cada classe, exceto na primeira que tem amplitude de 5 cm, com um total de 17 centros de classes.

Figura 2. Distribuição de indivíduos por classe de diâmetro em seis praças do sul do Ceará, Nordeste do Brasil.

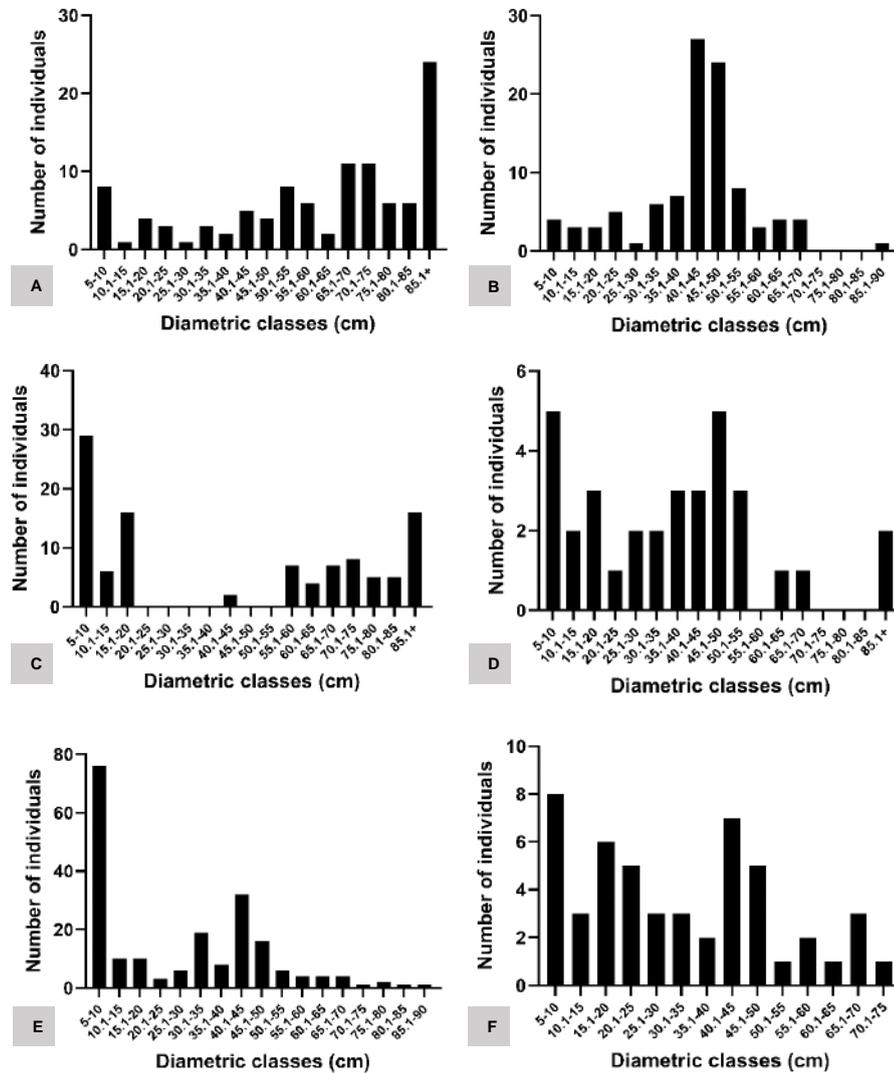


Observou-se maior concentração nas classes 1, 8 e 9 com 23,4%, 13,7% e 9,7% respectivamente. A maior concentração na classe 1 (5 - 10 cm) indica uma forte presença de árvores jovens. Esta predominância sugere que as praças estão em uma fase dinâmica de renovação ou regeneração. Nowak e Greenfield (2012) apontam que uma alta proporção de árvores jovens é essencial para a regeneração contínua e a sustentabilidade de ecossistemas urbanos.

As classes 8 e 9, correspondendo às faixas de 40.1-45 cm e 45.1-50 cm, respectivamente, refletem a presença de árvores em estágio de maturidade intermediária. Essa distribuição é indicativa de uma estrutura equilibrada, com árvores maduras que oferecem benefícios significativos em termos de sombreamento, habitat para a vida selvagem e contribuição estética. Conforme Roy et al. (2012), árvores maduras em ambientes urbanos são vitais para a provisão de serviços ecossistêmicos. De acordo com Tyrväinen et al. (2005), a diversidade de tamanhos de árvores em áreas verdes urbanas é crucial para maximizar os benefícios ambientais e sociais, incluindo o bem-estar humano e a biodiversidade.

Na Praça Alexandre Arraes (Figura 3A), predomina a presença de árvores mais velhas e de grande porte, com destaque para a classe acima de 85.1 que representa 22,86% do total, indicando um perfil de maturidade avançada. Já na Praça Francisco Sá (Figura 3B), a tendência é para árvores em estágios intermediários de maturidade, com as classes "40.1-45" e "45.1-50" abrangendo 27% e 24% do total, respectivamente, enquanto a classe "5-10" tem uma representação menor, com apenas 4%.

Figura 3. Distribuição de indivíduos por classe de diâmetro em seis praças no sul do Ceará. A = Praça Alexandre Arraes; B = Praça Francisco Sá; C = Praça da Sé; D = Praça Siqueira Campos; E = Praça Padre Cícero; F = Praça do Rosário.



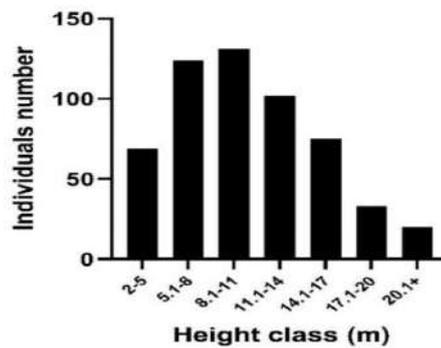
A Praça Padre Cícero (Figura 3E) destaca-se pela forte presença de árvores jovens, especialmente na classe "5-10", que compõem 37,44% das árvores. Este aspecto é resultado da reforma recente pela qual a praça passou, em que foi realizado plantio de novos exemplares arbóreos em 2018.

A variação da estrutura vertical resultou em alturas mínimas e máximas de 3,4 e 27,7 metros, respectivamente. A altura máxima foi registrada para um exemplar de *Roystonea oleracea*. Além disso, foram registradas alturas de 26m, 24m, 23,4m e 23m em exemplares de *M. rigida*, todos situados na Praça da Sé.

A distribuição das classes hipsométricas (Figura 4) abrange uma amplitude de 2,9 m em cada classe, exceto na primeira que tem amplitude de 3 cm, com um total de 7 centros de classes. A classe com a maior quantidade de indivíduos é a de 8.1-11 metros, com 23,65%,

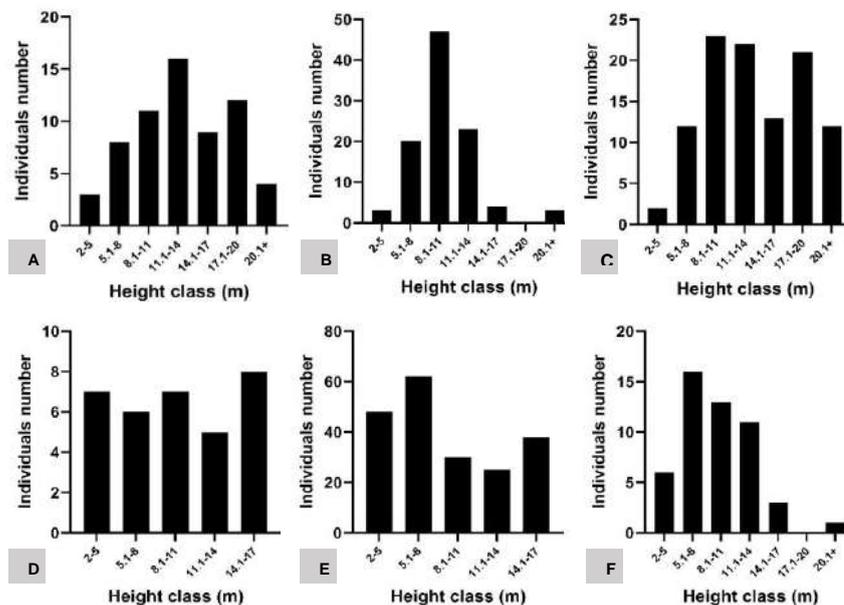
seguida pela classe de 5.1-8 metros (22,38%), indicando que a maioria das árvores nas praças está em um estágio intermediário de crescimento. A quantidade de árvores diminui nas classes de altura mais altas e mais baixas. Especificamente, há uma redução notável na quantidade de árvores acima de 17.1 metros, o que pode ser devido à limitação de espaço nesses ambientes urbanos ou à seleção de espécies adaptadas a esses ambientes.

Figura 4. Distribuição de indivíduos por classe de altura em seis praças no sul do Ceará, Nordeste do Brasil.



A Praça Padre Cícero (Figura 5E) destaca-se pela significativa presença de indivíduos jovens, representando 30,5% na classe "5.1-8". Essa predominância na primeira classe ocorre devido às recentes reformas na área, acompanhadas pelo plantio de novos indivíduos.

Figura 5. Distribuição de indivíduos por classe de diâmetro em seis praças no sul do Ceará. A = Praça Alexandre Arraes; B = Praça Francisco Sá; C = Praça da Sé; D = Praça Siqueira Campos; E = Praça Padre Cícero; F = Praça do Rosário.



## Quantificação do teor de carbono pelo método de combustão por via seca - gravimetria por incineração em forno mufla

As espécies selecionadas, seguindo o critério de escolha de maior IVI para cada área, foram: *Ficus retusa*, *Tabebuia rosea* e *Caesalpinia pulcherrima*, na praça Padre Cícero; *Handroanthus impetiginosus*, *Handroanthus ochraceus* e *F. retusa*, na Alexandre Arraes; *Microdesmia rigida* e *F. retusa*, na Sé; *F. retusa*, *Schinus terebinthifolia* e *C. pulcherrima*, na Siqueira Campos; *Mangifera indica*, *F. retusa* e *T. roseo*, na Francisco Sá; *Pithecellobium dulce*, *H. impetiginosus* e *H. ochraceus* na praça do Rosário.

Os teores médios de carbono, avaliados nos diversos compartimentos das árvores (folhas, galhos e caule) demonstraram uma faixa variável entre 47,5% e 57,2% (Tabela 4). Em relação à matéria orgânica (MO), os valores médios variaram de 81,7% a 98,5%.

Tabela 4. Médias dos valores de Matéria Orgânica e Teor de Carbono obtidos em cada espécie e compartimentos analisados.

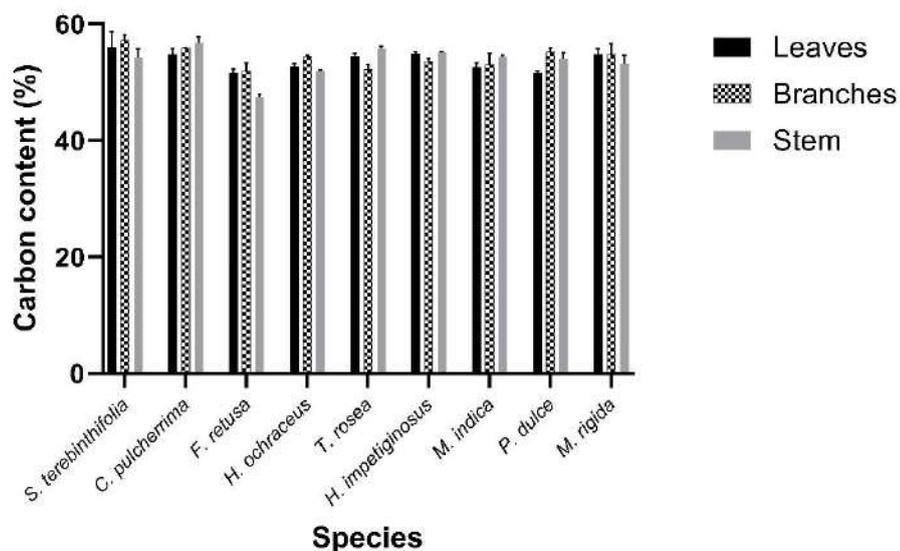
Espécies	MO (%)			TC (%)		
	Folha	Galho	Caule	Folha	Galho	Caule
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	96,3	98,5	93,2	56,0	57,2	54,2
<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw.	94,3	95,9	97,5	54,8	55,8	56,7
<i>Ficus retusa</i> L.	88,9	89,4	81,7	51,7	52,0	47,5
<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	90,7	93,7	89,5	52,8	54,5	52,0
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	93,8	89,8	96,0	54,5	52,2	55,8
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	94,4	92,2	94,8	54,9	53,6	55,1
<i>Mangifera indica</i> L.	90,5	91,2	93,6	52,6	53,0	54,4
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	89,0	94,9	92,9	51,7	55,2	54,0
<i>Microdesmia rigida</i> (Benth.) Sothers & Prance	94,4	94,2	91,4	54,9	54,8	53,1

Em relação à distribuição dos maiores valores de teor de carbono e matéria orgânica, observou-se que em 44% das espécies esses valores foram maiores nos galhos, enquanto em outros 44%, destacaram-se no caule. Apenas em 12% o TC e MO foram predominantes na folha. Os resultados corroboram com descobertas anteriores de que órgãos vegetais com maior teor de lignina (como galho e caule) tendem a ter um maior TC do que órgãos com menor teor de lignina (como as folhas) (MARTIN; THOMAS, 2011; MA et al., 2018). Santos (2022), ao analisar as espécies dominantes em um fragmento de Floresta Atlântica no nordeste do Brasil, observou os maiores teores de carbono na fração de galhos, especificamente na espécie *Eschweilera ovata*. Enquanto que Ma et al. (2018), em estudo de revisão mundial, após analisarem dados de 4.318 espécies, observaram os valores mais altos de TC em caules, com

média de 47,8%. Por outro lado, Santos, Martorano e Silva (2023) obtiveram resultados diferentes, em seu estudo sobre *Dipteryx odorata* e *Bertholletia excelsa* no estado do Pará, com valores mais elevados de teor de carbono nas folhas. Essas variações nos resultados também são corroboradas por Dallagnol et al. (2011) que relataram uma tendência para maiores teores de C na folhagem de cinco espécies florestais comumente utilizadas para reflorestamento na região sul do Brasil.

*Schinus terebinthifolia* demonstrou um desempenho notável em folhas, apresentando valores significativos de MO e TC com valores de 96,2% e 55,9%, respectivamente (Figura 6). Essa mesma espécie também se destacou em galhos, exibindo valores expressivos de 98,4% para MO e 57,2% para TC. Resultados semelhantes foram encontrados por Robortella (2010) em sua análise dos teores de carbono em uma área de reflorestamento em Mato Grosso, onde *S. terebinthifolia* foi a espécie com os mais elevados valores de TC. Essas constatações destacam a capacidade da espécie de armazenar carbono de forma notável em diferentes compartimentos vegetais e ambientes. A espécie *Ficus retusa* registrou o menor valor no que diz respeito ao teor de carbono no caule, atingindo 47,5%. Nunes (2018) ao realizar um estudo sobre a arborização urbana no estado da Paraíba encontrou resultado semelhante para uma espécie de *Ficus*. Além disso, *F. retusa* também se destacou com os valores mais baixos de MO e TC dos outros compartimentos.

Figura 6. Valores encontrados para o teor de Carbono por compartimento nas espécies analisadas por ANOVA, seguindo o teste de Tukey. Considerando  $p < 0,01$  (99%).



Na análise de MO e TC (Tabela 5), os galhos destacaram-se com a maior média,

atingindo  $93,2 \pm 2,9$  e  $54,2 \pm 1,7$ , respectivamente.

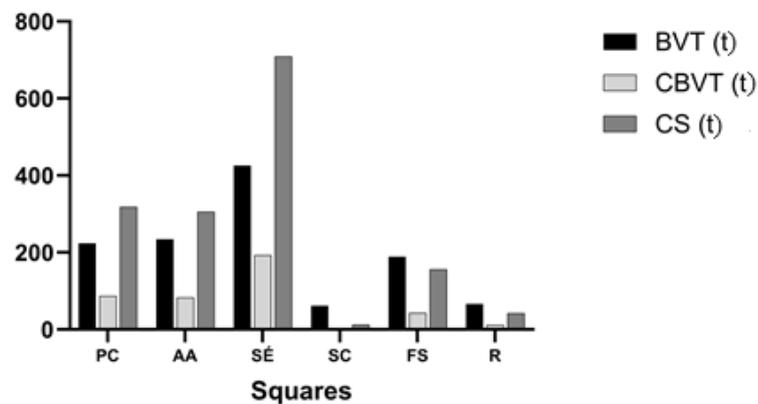
Tabela 5. Médias dos valores de Matéria Orgânica e Teor de Carbono obtidos nos compartimentos analisados.

Compartimentos	MO (%)	TC (%)
Folhas	$92,4 \pm 2,7$	$53,7 \pm 1,5$
Galhos	$93,2 \pm 2,9$	$54,2 \pm 1,7$
Caules	$92,2 \pm 4,6$	$53,6 \pm 2,6$

### Captura do carbono e estimativa da biomassa através de equações alométricas

Os dados coletados relativos à biomassa vegetal, ao estoque de carbono na biomassa vegetal e ao carbono sequestrado (Figura 7) revelaram variações notáveis entre as diferentes áreas estudadas. Essa variação pode ser atribuída à heterogeneidade na densidade arbórea presente em cada praça.

Figura 7. Biomassa Vegetal Total (BVT), Carbono na Biomassa Vegetal Total (CBVT) e Carbono Sequestrado (CS) em praças urbanas no sul do Ceará.



Observou-se que a praça da Sé apresentou a maior concentração de biomassa vegetal, alcançando um valor de 425,54 toneladas. Além disso, essa praça também registrou o maior índice de carbono vegetal armazenado, estimado em 193,25 toneladas e uma notável quantidade de carbono sequestrado, chegando a 709,24 toneladas, alinhando-se com o estudo de Stephenson et al. (2014) de que o tamanho e a maturidade das árvores influenciam diretamente seu potencial de acumulação de carbono, sugerindo que árvores mais desenvolvidas e antigas, que já alcançaram um tamanho considerável, desempenham um papel significativamente mais amplo no sequestro de CO<sub>2</sub> em ambientes urbanos em comparação com árvores menores e mais jovens.

Por outro lado, a praça Siqueira Campos apresentou valores significativamente

menores em todos os parâmetros, com 61,43 toneladas de biomassa, 3,35 toneladas de carbono armazenado e 12,30 CO<sub>2</sub> sequestrado. Sendo essa diferença o reflexo de sua menor área arborizada em relação à Praça da Sé. Através de uma comparação proporcional percebe-se que, ao considerar a dimensão significativamente menor da Praça Siqueira Campos, que possui apenas 0,1 hectare, observa-se que sua biomassa vegetal de 61,43 toneladas equivale a uma densidade de 614,3 t/ha<sup>-1</sup>. Este valor é substancialmente maior do que o observado na Praça da Sé, indicando uma densidade arbórea muito mais concentrada na Praça Siqueira Campos. Essa análise proporcional revela que, apesar de seu tamanho reduzido, a Praça Siqueira Campos desempenha um papel desproporcionalmente significativo no contexto urbano, em termos de biomassa vegetal e capacidade de sequestro de carbono.

A inclusão estratégica de pequenas áreas verdes densamente arborizadas pode ser uma ferramenta poderosa para aumentar a resiliência ecológica das cidades. Estes espaços, embora sejam relativamente pequenos em extensão, podem atuar como importantes sumidouros de carbono e enriquecimento da biodiversidade, contribuindo para a formação de um mosaico ecológico urbano diversificado e sustentável.

A Praça Padre Cícero, apesar de abrigar o maior número de árvores e possuir a segunda maior extensão de área, alcançou apenas a terceira colocação em termos de biomassa vegetal total, com 223,58 toneladas. Isso pode ser atribuído ao fato de que a maior parte de sua vegetação é composta por árvores jovens, que naturalmente possuem menor biomassa em comparação com árvores mais maduras. No entanto, ela ocupa a segunda posição quando consideramos o carbono na biomassa vegetal total (86,83 t) e o carbono sequestrado (318,66 t), indicando que, apesar da juventude de suas árvores, elas já apresentam uma contribuição significativa no que se refere ao armazenamento e sequestro de carbono. Apesar da Praça Alexandre Arraes ter menos de um terço das árvores da Praça Padre Cícero, suas capacidades de absorção de carbono (83,31 toneladas) e sequestro de CO<sub>2</sub> (305,74 toneladas) é semelhante às da Praça Padre Cícero. Isso evidencia que a densidade arbórea, por si só, não determina a contribuição de um espaço verde urbano para a mitigação das mudanças climáticas. A similaridade nos resultados entre as praças ressalta a importância da seleção de espécies, da maturidade das árvores e das práticas de manejo, reforçando a necessidade de focar na qualidade e funcionalidade ecológica das árvores, além de sua quantidade.

Ao compararmos com o estudo conduzido por Nunes (2018) em praças de Alagoas, nordeste do Brasil, constatamos que os valores reais de estoque de carbono são superiores nas praças localizadas no sul do Ceará em relação às de Alagoas. O autor justifica a discrepância de valores apontando para a presença significativa de arbustos na área de Alagoas como a principal razão para os valores baixos de armazenamento de carbono. Em estudo no âmbito

global sobre teor de carbono para 4.318 espécies, concluiu-se que espécies lenhosas estocam mais carbono quando comparadas a outros hábitos (Ma et al., 2018).

Na Praça Padre Cícero, *Ficus retusa* e *Sabal maritima* destacaram-se no estoque de carbono, acumulando 36,5 toneladas (23 indivíduos) e 35,6 toneladas (44 indivíduos), respectivamente. Individualmente, *Sarcomphalus undulatus* apresentou um estoque de 3,2 toneladas, seguido de *F. retusa* com 1,5 toneladas. A capacidade de *F. retusa* de estocar uma grande quantidade de carbono, mesmo com menos indivíduos em comparação a *S. maritima*, ressalta a importância de considerar não apenas a quantidade, mas também a capacidade individual das espécies no sequestro de carbono.

A espécie predominante no armazenamento de carbono na Praça da Sé foi *Microdesmia rigida*, com 51 indivíduos contribuindo para um total de 181,8 toneladas, resultando em uma média de 3,5 toneladas por indivíduo.

Na Praça Alexandre Arraes, *M. rigida*, com cinco indivíduos, estocou 24,7 toneladas, enquanto *Enterolobium contortisiliquum*, com apenas dois, alcançou 17,3 toneladas, correspondendo a 4,9 e 8,6 toneladas por indivíduo, respectivamente.

Na Praça Siqueira Campos, *Ficus retusa* e *Sabal maritima* foram as espécies mais significativas no estoque de carbono, com 17,6 toneladas (oito indivíduos) e 6,7 toneladas (oito indivíduos), respectivamente. Individualmente, *F. retusa* estocou 2,2 toneladas e *S. maritima*, 0,8 toneladas. Essa comparação mostra como diferentes espécies podem contribuir de maneira distinta para o estoque de carbono, mesmo quando presentes em números semelhantes.

As espécies nativas que se sobressaíram em termos de armazenamento de carbono e sequestro de CO<sub>2</sub> foram: *Enterolobium contortisiliquum*, que apresentou um armazenamento médio de 8,6 toneladas de carbono por indivíduo, com um sequestro de CO<sub>2</sub> correspondente a 31,5 toneladas; *Microdesmia rigida* (4,9 t de C/ind, 17,9 t de CO<sub>2</sub>/ind); *Sarcomphalus undulatus* (3,2 t de C/ind, 11,7 t de CO<sub>2</sub>/ind) e *Handroanthus impetiginosus* (1,3 t de C/ind, 4,7 t de CO<sub>2</sub>/ind). Os resultados destacam a importância de uma abordagem baseada na biodiversidade no planejamento das áreas verdes urbanas, considerando seus benefícios ecológicos e climáticos.

### **Incremento periódico anual**

Com base no inventário realizado em 2022, foram obtidos resultados essenciais sobre o crescimento dos indivíduos nas praças analisadas. Isso inclui o aumento anual do diâmetro, a expansão da área basal, o aumento da biomassa das árvores, o carbono armazenado na biomassa e o CO<sub>2</sub> sequestrado (Tabela 6).

Tabela 6. Valores de diâmetro a altura do peito (DAP), área basal (AB), biomassa vegetal, carbono armazenado, incremento periódico anual (IPA) e CO<sub>2</sub> sequestrado, encontrados em seis praças urbanas no sul do Ceará, Nordeste do Brasil entre 2022 e 2023.

	DAP cm	AB m <sup>2</sup>	BVT t	CBVT t	CO <sub>2</sub> sequestrado t
<b>2022</b>	20533,1	88,011	1.200,38	420,89	1.544,66
<b>2023</b>	20581,1	88,163	1.202,07	421,94	1.548,51
<b>IPA</b>	48	0,152	1,69	1,05	3,85

Em 2022, o DAP total era de 20.533,1 cm, e em 2023, esse valor aumentou para 20.581,1 cm. Esse ajuste indica um incremento efetivo de 48 centímetros no DAP total das árvores remanescentes, demonstrando um desenvolvimento positivo e resiliente das árvores nas praças estudadas. Analisando a variação do Carbono na Biomassa Vegetal Total entre 2022 e 2023, percebe-se um desenvolvimento notável. Em 2022, o CBVT era de 420,89 toneladas, enquanto que em 2023 esse valor aumentou para 421,94 toneladas, resultando no incremento de 1,05 toneladas (0,29 t/ha<sup>-1</sup>). Ao estudar a flora lenhosa em três cidades na Coreia do sul, Jo (2002) encontrou resultados de 4,7 a 7,2 toneladas de C por hectare em áreas urbanas.

A quantidade de CO<sub>2</sub> sequestrada nas áreas analisadas ao longo de um ano foi 3,85 toneladas. Jo (2002) encontrou resultados de 0,53 a 0,80 toneladas por hectare em áreas urbanas da Coreia do sul. Ao realizar a divisão da quantidade total CO<sub>2</sub> sequestrada no ano, pela área total das praças do Crajubar, obteve-se 1,04 t/ha<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> sequestrado.

Enquanto as outras praças demonstraram resultados positivos as praças Padre Cícero e Alexandre Arraes tiveram resultados negativos em todos os parâmetros avaliados devido a remoção de dois indivíduos de *F. retusa* e um indivíduo de *H. ochraceus*, respectivamente, evidenciando como a remoção de árvores, especialmente aquelas de maior porte, pode afetar significativamente os indicadores ambientais das áreas urbanas.

## Conclusão

Este estudo traz uma abordagem pioneira e crucial para o planejamento de áreas verdes urbanas no semiárido brasileiro, destacando a influência das árvores nos indicadores ambientais. Ao planejar a arborização de espaços verdes na região analisada, é sugerido priorizar o plantio de espécies nativas, como *Enterolobium contortisiliquum*, *Microdesmia rigida*, *Handroanthus impetiginosus*, *Sarcomphalus undulatus* e *Schinus terebinthifolia*. Essas

espécies demonstraram um significativo potencial para armazenar carbono e absorver CO<sub>2</sub>, contribuindo ainda para fortalecer a biodiversidade local e promover ecossistemas urbanos mais sustentáveis.

A praça da Sé se destacou como um sumidouro de carbono, apresentando o maior índice de carbono armazenado na biomassa (193,25 toneladas) e uma significativa quantidade de CO<sub>2</sub> sequestrado (709,24 toneladas). Destaca-se também a importância da inclusão de áreas verdes densamente arborizadas para promover a resiliência ecológica urbana, como evidenciado na praça Siqueira Campos. Além disso, a similaridade nos resultados entre as praças Alexandre Arraes e Padre Cícero ressalta a importância da seleção de espécies e maturidade das árvores, enfatizando a necessidade de considerar tanto a quantidade quanto a qualidade e funcionalidade ecológica das árvores. Reconhecendo a importância das árvores de grande porte e os impactos negativos de sua remoção, destaca-se a necessidade de políticas de conservação e manejo adequado desses recursos naturais.

Este estudo destaca a urgência de ações concretas para preservar e potencializar os benefícios proporcionados pela vegetação urbana, garantindo assim um ambiente mais saudável e sustentável para as futuras gerações.

## Referências

- Abreu, M. C. et al. Arborização urbana de um município do Nordeste do Brasil: frequência de espécie exótica preocupante. *Acta Biológica Catarinense*, v. 10, n. 4, p. 53-68, 2023.
- Adem, M. et al. The nexus of economic growth and environmental degradation in Ethiopia: time series analysis. *Climate and Development*, v. 12, n. 10, p. 943-954, 2020. DOI: 10.1080/17565529.2020.1711699.
- Alimonti, G. Our energy future starts from actual energy limits. *EPJ Web of Conferences*, v. 189, 00003, 2018. DOI:10.1051/epjconf/201818900003.
- Alvares, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- Alves, L. P. et al. Arborização urbana dominada por espécies exóticas em um país megadiverso: falta de planejamento ou desconhecimento? *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 16, n. 3, p. 1304-1375, 2023.
- Aniceto, F. D. S. et al. Inventário florístico em praças públicas do município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, como indicador de planejamento ambiental. *Revista Principia: Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, João Pessoa*, n. 60, v. 4, p. 1073-1094, 2023. DOI:10.18265/1517-0306a2021id6542.
- 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, n. 1, p. 1-20, 2019.
- Aregahegn, Z. Optimization of the analytical method for the determination of organic matter. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, v. 11, p. 1-5, 2020.
- Arevalo, L. A. et al. Metodologia para estimar estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra. *Embrapa Florestas. Documentos*, v. 10, n. 2, p. 41, 2002. Colombo: Embrapa Florestas.
- Bacelar, W. J. L. et al. Diagnóstico quali-quantitativo da arborização urbana da cidade de Monte Alegre, Pará, Brasil. *Ciência Florestal*, v. 30, n. 4, p. 1019-1031, 2020. DOI: 10.5902/1980509838182.

- Benício, R. M. A. et al. Um refúgio de Mata Úmida no interior do Nordeste brasileiro: estrutura e diversidades alfa e beta. *Ciência Florestal*, v.33, n.3, p.1-25, 2023. DOI: 10.5902/1980509869097.
- Blum, C. T. et al. Espécies exóticas invasoras na arborização de vias públicas de Maringá-PR. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 3, 2008. DOI:10.5380/revsbau.v3i2.66347.
- Carmo, A.; Silva, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 4, p. 1211–1220, jul. 2012.
- Cavalcante Neto, A. A. et al. Levantamento florístico e fitossociológico de praças públicas do município de Dom Pedro/MA. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 11, n. 6, p. 738-746, 2020. DOI:10.6008/CBPC2179-6858.2020.006.0059.
- Cavassan, O.; Cesar, O.; Martins, F. R. Fitossociologia da vegetação arbórea da Reserva Florestal de Bauru, Estado de São Paulo. 1984.
- Chaves, E. B. et al. Avaliação qualiquantitativa da arborização da sede dos municípios de Beberibe e Cascavel, Ceará, Brasil. *Ciência Florestal*, v. 29, n. 1, p. 403-416, 2019. DOI: 10.5902/1980509829939.
- Chen, F. et al. Evaluation of the Effects of Urbanization on Carbon Emissions: The Transformative Role of Government Effectiveness. *Frontiers in Energy Research, Sustainable Energy Systems*, v. 10, 2022. DOI: 10.3389/fenrg.2022.848800.
- Chen, G. et al. Urbanization and Income Inequality in Post-Reform China: A Causal Analysis Based on Time Series Data. *Public Library of Science (PLOS) ONE*, 2016. DOI: 10.1371/journal.pone.0158826.
- Crane, P.; Kinzig, A. Nature in the Metropolis. *Science*, v. 308, p. 1225-1225, 2005. DOI: 10.1126/science.1114165.
- Dallagnol, F. S. et al. Teores de Carbono de Cinco Espécies Florestais e seus Compartimentos. *Floresta Ambiental*, v. 18, n.4, p.410-416, 2011. DOI: 10.4322/floram.2011.060.
- Delfino, R. C. H. et al. Levantamento do Componente Arbóreo de Quatro Praças na Cidade de Itaporanga-PB. *Brazilian Journal of Development*. 2021. ISSN: 2525-8761. DOI: 10.34117/bjdv7n1-695.
- Felippe, B. M.; Bolzan, M. R.; Eugenio, F. C.; Bobrowski, R. Análises diretivas para o processo de gestão da arborização de calçadas em São Pedro do Sul, RS. *Ciência Florestal*, v. 32, 2022. DOI: 10.5902/1980509866158.
- Fernandes, A.; Salis, S. M.; Fernandes, F.; Crispim, S. Estoques de carbono do estrato arbóreo de cerrados no Pantanal da Nhecolândia. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2008. (Comunicado Técnico 68).
- Flora e Funga do Brasil. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ResultadoDaConsultaNovaConsulta.do#CondicaoTaxonCP>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- Floriano, E. P. Fitossociologia Florestal. São Gabriel: UNIPAMPA, 2009. 142p.
- Fumiã, H. F.; Silva, S. L. L. Fourier revisitado: um modelo simplificado para o efeito estufa. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 44, e20210103, 2022. DOI: 10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0103.
- Goldin, A. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in non calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 18, p. 1111-1116, 1987.
- Gu, C. Urbanization: Processes and driving forces. *Science China Earth Sciences*, v. 62, p. 1351–1360, 2019.
- Guo, Y. et al. Spatiotemporal patterns of urban forest carbon sequestration capacity: Implications for urban CO<sub>2</sub> emission mitigation during China's rapid urbanization. *Science of The Total Environment*, v. 912, 2024. ISSN: 0048-9697. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.168781.
- Hoppen, M. I. et al. Espécies exóticas na arborização de vias públicas no município de Farol,

- PR, Brasil. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v. 9, 2014.
- Hong, W. et al. Spatiotemporal changes in urban forest carbon sequestration capacity and its potential drivers in an urban agglomeration: Implications for urban CO<sub>2</sub> emission mitigation under China's rapid urbanization. *Ecological Indicators*, v. 159, p. 111601, 2024. DOI: 10.1016/j.ecolind.2024.111601.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Normas Climatológicas do Brasil, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Base de Dados 2018. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- 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: 05 jan. 2024.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Panorama do Estado do Ceará, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/CE/panorama>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), 2017. Disponível em: [https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Crato\\_2017.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Crato_2017.pdf). Acesso em: 05 jan. 2024.
- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN). IUCN Red List of Threatened Species, 2024. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- Jiang, Y. et al. Exploring the correlation between waterbodies, green space morphology, and carbon dioxide concentration distributions in an urban waterfront green space: A simulation study based on the carbon cycle. *Sustainable Cities and Society*, v. 98, p. 104831, 2023. ISSN: 2210-6707. DOI: 10.1016/j.scs.2023.104831.
- Lamprecht, H. Ensayo sobre la estructura florística de la parte suroriental del Bosque Universitario: “El caimital”, Estado Barinas. *Revista Forestal Venezolana*, v. 7, p. 77-119, 1964.
- Lima, D. S. et al. Análise da arborização de vias no bairro ribeirinho da cidade de Imperatriz-MA. *Research, Society and Development*, v. 11, 2022. DOI: 10.33448/rsdv11i4.22599.
- Lima Neto, E. et al. Análise das áreas verdes das praças do bairro centro e principais avenidas da cidade de Aracaju-SE. *Revista da Sociedade Brasileira da Arborização Urbana*, v.2, p. 17–33. 2007. DOI: [doi.org/10.5380/revsbau.v2i1.66559](https://doi.org/10.5380/revsbau.v2i1.66559)
- Ma, S. et al. Variations and determinants of carbon content in plants: a global synthesis. *Biogeosciences*, v. 15, n.3, p.693-702. 2018.
- Magurran, A. E. *Ecological Diversity and its measurement*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1988. 179p.
- Mishra, A.; Kumar, M.; Medihi, K.; Shekhar, I. Capítulo 17 - Energia de biomassa com captura e armazenamento de carbono (BECCS). *Desenvolvimentos Atuais em Biotecnologia e Bioengenharia*, p. 399-427, 2020.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). Parques e áreas verdes, 2013. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/areas-verdes-urbanas/parques-e-%C3%A1reas-verdes.html>. Acesso em 16 fev. 2024.
- Moreira, G. L. et al. Diagnóstico quali-quantitativo da arborização de praças públicas na cidade de Planalto, BA. *Agropecuária Científica no Semiárido*, 2018. ISSN: 1808-6845.
- Nascimento, D. C.; Chacon, S. S. Sustentabilidade na Região Metropolitana do Cariri – RMC: Análise a partir dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio – ODMs. *Sociedade & Natureza*, v. 28, n. 3, 2016. DOI: 10.1590/1982-451320160309.
- Nascimento, M. M. Análise fitossociológica e inventário das espécies arbóreas de duas praças na cidade de Campina Grande - PB. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agroecologia) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, 2016.
- Nowak, D. J.; Greenfield, E. J. Tree and Impervious Cover Change in U.S. Cities. *Urban*

- Forestry & Urban Greening, 11, p. 21-30, 2012. DOI: 10.1016/j.ufug.2011.11.005.
- Nunes, A. R. V. Conforto térmico e estimativa da captura do carbono pela vegetação em diferentes áreas da cidade de Catolé do Rocha-PB. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos, Paraíba, 2018.
- Oliveira, J. L. S. Serviços ecossistêmicos em áreas verdes urbanas no semiárido paraibano. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2022.
- Organização das Nações Unidas (ONU). ONU alerta para aumento sem precedentes da fome global, especialmente na África. Organização das Nações Unidas. 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/06/1794212>. Acesso em: 05 jan. 2024
- Park, C.; Schade, G.W. Anthropogenic and biogenic features of long-term measured CO<sub>2</sub> flux in north downtown Houston, Texas. J. Environ. Qual., v. 45, p. 253–265, 2016. DOI: DOI:10.2134/jeq2015.02.0115.
- Perkins, J. L. Shannon-Weaver or Shannon-Wiever? Journal Water Pollut. Contr. Fed., v. 54, p. 1049-1050, 1982.
- Pielou, E. C. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession. Journal of Theoretical Biology, v. 10, n. 2, p. 370–383, 1966.
- Pinheiro, R. T. et al. Riqueza, diversidade e composição arbórea nas praças de Palmas, Tocantins. Ciência Florestal, v. 32, n. 2, p. Apr-Jun 2022. DOI: 10.5902/1980509861429.
- Redin, C. G. et al. Análise da arborização urbana em cinco praças do município de Cachoeira do Sul, RS. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, Piracicaba – SP, v.5, n.3, p.149- 164, 2010.
- Robortella, H. S. Equações de biomassa e estoques de carbono de seis espécies em plantios mistos no noroeste do Mato Grosso. 2010. 71 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2010.
- Roy, S.; Byrne, J. A.; Pickering, C. A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. Urban Forestry & Urban Greening, v. 11, n. 4, p. 351-363, 2012. DOI: 10.1016/j.ufug.2012.06.006.
- Santos, A. C. Estoques de carbono no sistema solo-vegetação em fragmento de floresta tropical atlântica no nordeste do Brasil. Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2022.
- Santos, A. S. et al. Riscos geomorfológicos no triângulo Crajubar, estado do Ceará. Revista Brasileira De Geografia Física, v. 16, n. 2, p. 894–906, 2023. DOI: 10.26848/rbgf.v16.2.p894-906.
- Santos, M. E. N. et al. Percepção sobre a arborização em praças públicas na cidade de Santa Luzia, Paraíba. Universidade Federal de Campina Grande, 2023. DOI: 10.5752/P.2318-2962.2023v33n75p11232023.
- Santos, L. E.; Martorano, L. G.; Silva, A. R. Teor de carbono em folhas, galhos e fustes de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl., *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. e *Khaya grandifoliola* C. DC. em sistemas integrados na Amazônia oriental brasileira. Revista Desarrollo local sostenible, v.16, n.43. p. 910-923. 2023. DOI:10.55905/rdelosv16.n43-026.
- Sato, J. H. et al. Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soil. Scientia Agricola, v. 71, n. 4, p. 302-308, 2014.
- Senado. 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-urbana#:~:text=O%20PL%203.113%2F2023%20determina, revis%C3%A3o%20a%20cada%20cinco%20anos>>. Acesso em 16 fev. 2024.
- Silva, C. D. D.; Almeida, L. M. de. Composição florística e fitossociológica das praças do bairro de Neópolis, Natal – RN. Carpe Diem: Revista Cultural e Científica do UNIFACEX, v. 14, n. 2, p. 86–103, 2016.

- Silva, L. V. A. et al. Plantas Exóticas na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil): Ocorrência e Usos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n.3, 1239-1259. 2020. DOI: 10.26848/rbgf.v15.3.p1239-1259
- Silva, M. V. C. et al. Análise florística e fitossociológica do componente arbóreo-arbustivo da praça Clementino Procópio, Campina Grande, Paraíba. *Concilium*, v. 23, n. 20. ISSN: 0010-5236. 2023
- Silva, R. N. Caracterização e análise quali-quantitativa da arborização em praças da área central da cidade de Arapiraca, AL. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 7, p. 102, 2012.
- Simpson, E. H. Measurement of diversity. *Nature*, v. 163, p. 688, 1949. DOI: 10.1038/163688a0.
- Souza, A. L. et al. Diagnóstico quantitativo e qualitativo da arborização das praças de Aracaju, SE. *Revista Árvore*, v. 35, n. 6, p. 1253–1263, 2011. DOI:10.1590/S0100-67622011000700012.
- Stephenson, N. et al. Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. *Nature*, v. 507, p. 90–93, 2014. DOI: 10.1038/nature12914.
- Suguio, K. Introdução à sedimentologia. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. 317p.
- Tyrväinen, L. et al. Benefits and Uses of Urban Forests and Trees. In: *Urban Forests and Trees*, pp. 81-114, 2005. DOI: 10.1007/3-540-27684-X\_5.
- Vaz, G. A. S.; Rocabado, J. M. A. Arborização urbana em praças de Alagoinhas, BA, Brasil. *Ambiência*, v. 14, n. 3, p. 496-512, 2018. DOI: 10.5935/ambiencia.2018.03.05.
- Yang, G. et al. How can urban blue-green space be planned for climate adaption in high-latitude cities? A seasonal perspective. *Sustainable Cities and Society*, v. 53, p. 101932, 2020. ISSN 2210-6707. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101932.
- Yeomans, J. C.; Bremner, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 19, p. 1467-1476, 1988.
- Zhao, J. J. et al. Is it sufficient? Assessment of two sampling methods for urban plant species richness investigations. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 79, p. 127824, 2023. ISSN 1618-8667. DOI: 10.1016/j.ufug.2022.127824.
- Zhang, C. et al. A novel analysis of consumption-based carbon footprints in China: Unpacking the effects of urban settlement and rural-to-urban migration. *Global Environmental Change*, v. 39, p. 285-293, 2016. ISSN 0959-3780. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2016.06.003.
- Zhou, X. et al. Industrial structural transformation and carbon dioxide emissions in China. *Energy Policy*, v. 57, p. 43-51, 2013. ISSN 0301-4215. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.07.017.

## **Artigo II: Como os visitantes percebem o conforto térmico proporcionado pela arborização em praças urbanas? Um estudo de caso no Nordeste brasileiro**

Artigo a ser submetido à Revista Urban Forestry & Urban Greening, classificada na categoria A1 no Qualis/CAPES, fator de impacto 6.4 e percentil 95%.

**Resumo:** As temperaturas globais já excederam 1,5 °C, ameaçando ultrapassar a meta do Acordo de Paris de limitar o aumento a 2°C até 2030, causando Ilhas de Calor Urbanas (ICU) e intensificando o estresse térmico nas cidades. O presente estudo analisou o impacto da arborização no conforto térmico em seis praças da região semiárida brasileira (Nordeste), selecionando-se três municípios da Região Metropolitana do Cariri (RMC), Estado do Ceará: Crato, Barbalha e Juazeiro do Norte, o segundo maior centro de peregrinação do Brasil. Ao longo de 12 meses foram medidas a temperatura e a umidade em áreas sob a sombra (SCA) e em áreas expostas ao sol (SEA), utilizando-se o Índice de Calor (IC) para avaliar o conforto térmico, além de 1100 questionários estruturados aplicados para compreender a percepção dos visitantes das praças. Nas SEA a temperatura média foi 32,4 °C ( $\pm 3,20$ ), enquanto nas SCA foi em média 30,7 °C ( $\pm 2,99$ ). Apesar da Praça Siqueira Campos (Crato) ter a maior temperatura média anual SCA (30,8°C), 79% dos frequentadores valorizam a vegetação como um alívio significativo para o conforto térmico e estético, classificando-a como "Muito boa" ou "Boa". Temperatura e umidade apresentaram correlação negativa em todas as praças, indicando que quanto maior a temperatura menor a umidade da área. As correlações entre temperatura e umidade na Praça Padre Cícero (Juazeiro do Norte) ( $P = 0.582$ ) não foram significativamente influenciadas pela cobertura. Temperaturas e umidades matinais na praça variaram de 29,1 a 34,9 °C e 43,4% a 63,6%, respectivamente e de 31,1 a 37,6 °C e 25,6% a 51,7% à tarde. Essa praça registrou IC próximos a 40 °C, classificando-os negativamente na categoria de "Cautela extrema" durante oito meses pela manhã e todos os meses durante a tarde, intensificando o desconforto térmico durante as romarias anuais devido ao aumento de visitantes. Além disso, 36% dos entrevistados a consideraram desconfortável termicamente, sendo a única onde 58% descreveram a sensação térmica como quente e 72% preferiram um ambiente mais fresco. A qualidade da vegetação da Praça Padre Cícero foi criticada por 34% dos entrevistados. Essas áreas são essenciais, sendo usadas regularmente por 64% dos entrevistados. Implementar políticas de arborização e manutenção adequadas é crucial para enfrentar desafios climáticos e garantir conforto térmico nas praças urbanas próximas à linha do Equador, onde a insolação é intensa.

**Palavras-chave:** Áreas verdes urbanas. Ilhas de Calor Urbanas. Índice de Calor. Mudanças

climáticas.

## **Introdução**

Desde a Revolução Industrial as atividades humanas têm desempenhado um papel significativo no aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), resultando no aquecimento da superfície terrestre (Park et al., 2024). McCulloch et al. (2024) afirmam que as temperaturas globais já excederam 1,5°C de aquecimento, indicando que a meta principal do acordo de Paris, de limitar o aumento da temperatura média global a menos de 2°C, agora corre o risco de ser ultrapassada até o final da década de 2020. Este fenômeno tem consequências diretas nas áreas urbanas, onde observamos o surgimento das Ilhas de Calor Urbanas (ICU), caracterizadas por temperaturas mais elevadas do que nas áreas circundantes (Park et al., 2021). As ICU são atribuídas à alta concentração de pavimentação e edifícios nas áreas urbanas, juntamente com o baixo albedo, que resulta em uma alta absorção de calor da insolação e, conseqüentemente, em um clima urbano excessivamente quente (Mohajerani et al., 2017). O albedo, por sua vez, é uma medida de quanta luz solar é refletida por uma superfície e, portanto, superfícies de baixo albedo ou superfícies escuras, como asfalto e telhados, absorvem mais luz solar e aquecem, afetando o nível geral de conforto térmico em áreas urbanas (Vahmani e Ban-Weiss, 2016).

As transformações urbanas decorrentes da rápida expansão das cidades têm apresentado desafios significativos para a sustentabilidade ambiental (Castro e Alvin, 2024). No contexto brasileiro, essa tendência é especialmente evidente, com mais de 85% da população residindo em áreas urbanas, destacando um elevado índice de urbanização no país, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). O crescimento acelerado das cidades brasileiras alterou as condições climáticas pelas modificações das propriedades da cobertura do solo (Santos et al., 2012).

Essas mudanças climáticas, combinadas com o crescimento populacional e a rápida urbanização, intensificaram o estresse térmico humano nos ambientes urbanos (Ullah et al., 2024). As mudanças no uso e cobertura do solo no ambiente urbano intensificam os problemas de saúde humana que afetam a qualidade de vida e alteram o clima local (Zaldo-Aubanell et al., 2021; Kruger et al., 2024). Eventos climáticos extremos, como ondas de calor, podem resultar em danos à saúde física e mental das populações afetadas, aumentando o risco de estresse térmico, doenças cardiovasculares e doenças respiratórias (Ferreira et al., 2023). Além disso, as ICU também podem aumentar o consumo de energia nos edifícios e o número de fatalidades relacionadas ao calor (Falasca et al., 2019; Chen et al., 2022; Zhang et al., 2023). Esses desafios destacam a necessidade urgente de abordar as ICU e implementar medidas eficazes de

mitigação.

A implementação de espaços verdes urbanos tem se destacado como uma das estratégias mais eficazes para atenuar os impactos das ICU, como evidenciado por Park et al. (2024). Nesse contexto, no Senado Federal Brasileiro está em trâmite um projeto de lei voltado para a ampliação das áreas verdes nas cidades. O Projeto de Lei (PL) 3.113/2023, estabelece a obrigatoriedade da elaboração de planos de arborização urbana, seguindo as diretrizes da Política Nacional de Arborização Urbana (PNAU). Esses planos serão mandatórios para municípios com população superior a 20 mil habitantes e requisito para obtenção de recursos federais e estaduais destinados ao fomento da arborização urbana (Senado, 2023). Essas medidas não apenas contribuem para o combate às ICU, mas também promovem ambientes mais saudáveis e sustentáveis para os cidadãos.

Os espaços verdes urbanos, que incluem uma variedade de ambientes como parques, praças e jardins (MMA, 2013; Boulton et al., 2018), oferecem sombreamento e evapotranspiração, ajudando a reduzir o impacto das ICU, proporcionando alívio das altas temperaturas durante as estações quentes, contribuindo para o conforto térmico da população (Yang et al., 2022; Wang et al., 2022). Segundo Emeteri (2022), o conforto térmico é caracterizado pela sensação neutra que uma pessoa experimenta em relação à temperatura ambiente, sem a necessidade de mais calor ou frio ao seu redor.

Regiões próximas à linha do Equador recebem altos níveis de radiação solar durante todo o ano, resultando em elevadas temperaturas e sensações térmicas mais intensas (Forzieri et al., 2017; Blunden et al., 2019). Santos et al. (2012) enfatizaram que em países tropicais, como é o caso do Brasil, a discussão sobre o bem-estar dos cidadãos em relação ao conforto térmico é de extrema importância, especialmente em cidades do interior, onde um planejamento urbano adequado pode reduzir o estresse térmico. Na maioria dos estudos sobre ICU, o conforto térmico em regiões tropicais é frequentemente abordado com base em medições científicas, negligenciando as percepções individuais da população local, que nem sempre coincidem com essas medições (Chow et al., 2016). Nesse contexto, a percepção da população sobre o ambiente urbano, especificamente em relação às áreas verdes, é essencial para melhorar sua qualidade, dependendo do valor atribuído a esses espaços e da forma como são percebidos e utilizados em termos de condições ambientais (Costa e Colesanti, 2011). Portanto, é crucial que futuras pesquisas e políticas de planejamento urbano levem em consideração não apenas as medições científicas do conforto térmico, mas também as percepções e experiências da população local. Isso permitirá o desenvolvimento de soluções mais eficazes e sustentáveis para reduzir as ICU e promover ambientes urbanos mais saudáveis e habitáveis.

Este estudo visa avaliar o conforto térmico em praças urbanas, enfocando a influência da

arborização nos níveis de temperatura e umidade. A pesquisa compara pontos expostos diretamente a céu aberto com aqueles sob a cobertura das copas das árvores em seis praças do Estado do Ceará, região semiárida do Brasil. Além disso, busca entender a percepção dos frequentadores das praças em relação ao microclima criado pelas áreas verdes. Assim, o estudo pretende responder às seguintes questões: Como as temperaturas e a umidade diferem entre áreas expostas ao sol e aquelas sob cobertura vegetal nas praças? Os frequentadores estão satisfeitos com o conforto térmico oferecido pelas áreas verdes urbanas? A arborização contribui significativamente para o conforto térmico das praças analisadas?

## **2 Metodologia**

### **2.1 Área de estudo**

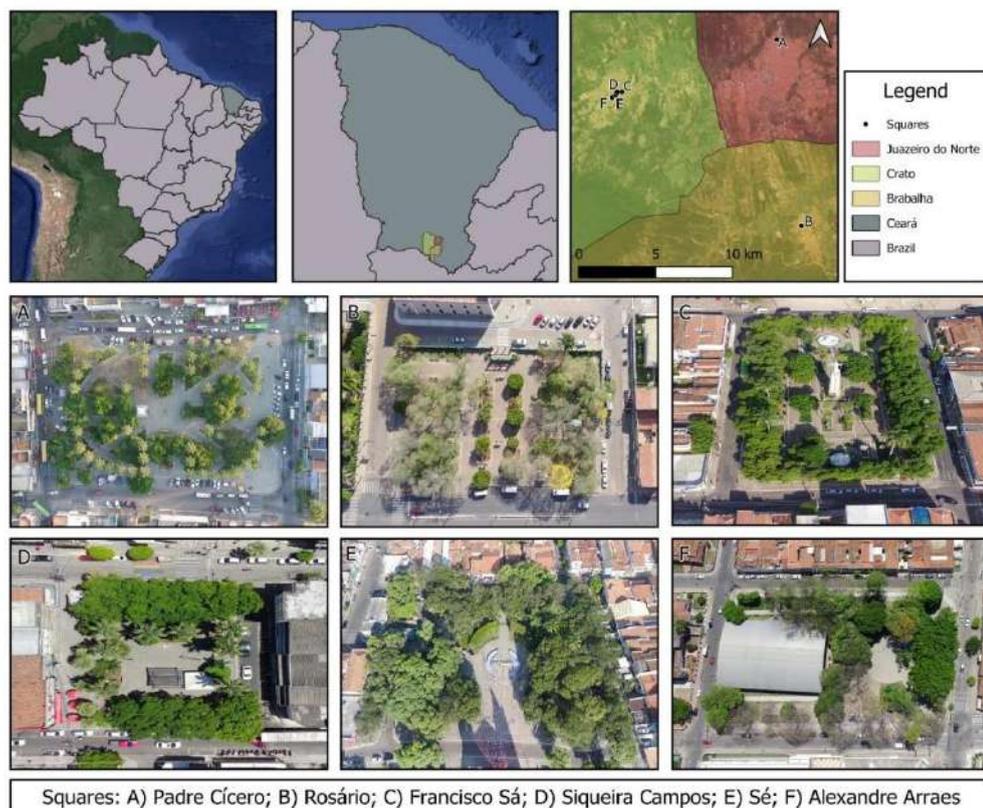
A Região Metropolitana do Cariri (RMC), localizada no Semiárido do Nordeste Brasileiro, destaca-se como um importante centro urbano no interior do Estado do Ceará, em meio a um processo acelerado de urbanização. Compreendendo municípios de destaque como Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha, a RMC é palco de uma dinâmica interação territorial que resultou no aglomerado urbano conhecido como Triângulo CRAJUBAR (Santos; Vital; Souza, 2023). Os três municípios que o compõem abrigam aproximadamente 500 mil habitantes, distribuídos em uma extensão territorial de 2005 km<sup>2</sup>, sendo que 104 km<sup>2</sup> correspondem à área urbanizada (IBGE, 2023). Quanto ao clima, a região é classificada como Aw segundo a classificação de Köppen (Álvares et al., 2014; Silva et al., 2020; Benício et al., 2023), caracterizando-se por um clima tropical quente, com período chuvoso entre janeiro e abril e período seco de maio a dezembro (IPECE, 2017). As temperaturas médias anuais no Triângulo CRAJUBAR variam aproximadamente entre 25,5 °C e 26,6 °C, com um índice pluviométrico médio de 673 mm ao ano (INMET, 2023).

O turismo religioso é forte em Juazeiro do Norte, tornando-a o segundo maior centro de peregrinação e turismo religioso do Brasil, ultrapassada apenas por Aparecida do Norte, em São Paulo, recebendo anualmente aproximadamente 2,5 milhões de devotos de Padre Cícero (Ministério do Turismo, 2015; Oliveira, 2023). Durante a Romaria de Finados, a maior romaria do ano na cidade, o afluxo é ainda mais impressionante, com estimativas apontando a participação de cerca de 600 mil romeiros (Vasconcelos et al., 2015).

As praças escolhidas desempenham papéis essenciais como locais de lazer e cultura, além de servirem como importantes pontos de encontro que refletem a diversidade e a riqueza histórica da região. A seleção dessas praças considerou tanto sua localização estratégica quanto sua relevância histórico-cultural, sendo elas: em Crato, a Praça da Sé (7° 14' 05.16" S 39° 24' 44.56" W; 1 ha), a Praça Siqueira Campos (7° 13' 59.26" S 39° 24' 42.61" W; 0.12 ha) a Praça

Francisco Sá ( $7^{\circ} 13' 58.35''$  S  $39^{\circ} 24' 32.90''$  W; 0.50 ha) e a Praça Alexandre Arraes ( $7^{\circ} 14' 10.08''$  S  $39^{\circ} 24' 52.34''$  W; 0.78 ha); em Barbalha, a Praça do Rosário ( $7^{\circ} 18' 43.47''$  S  $39^{\circ} 18' 11.08''$  W; 0.38 ha) e, em Juazeiro do Norte, a Praça Padre Cícero ( $7^{\circ} 12' 06.4''$  S  $39^{\circ} 19' 04.9''$  W; 0.86 ha) (Figura 1). A área total das praças é de 3,66 ha. As praças de Crato e Barbalha estão situadas próximas à Chapada do Araripe, localizada no domínio xerofítico das Caatingas, que apresenta clima mais ameno em comparação ao seu entorno semiárido (Queiroz et al., 2018; Benício et al., 2023).

Figura 1. Localização geográfica das áreas de estudo: seis praças situadas nos municípios de Barbalha, Crato e Juazeiro do Norte, Estado do Ceará, nordeste do Brasil.



## 2.2 Impacto das Áreas Verdes no Conforto Térmico

As variáveis meteorológicas temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidade relativa do ar (%), foram medidas com auxílio de termo-higrômetro AKSO modelo IBUTG - AK887, posicionado a 1,5 metros acima do solo. A coleta de dados foi realizada em duas configurações distintas: áreas desprovidas de cobertura vegetal e áreas sob a copa das árvores. Este monitoramento ocorreu ao longo de um ano, de maio de 2023 a abril de 2024, abrangendo tanto o período chuvoso quanto o seco da região.

As medições foram efetuadas durante três dias consecutivos em cada mês, em seis

intervalos de horários diferentes: 7:30-8h, 9:30-10h, 11:30-12h, 13:30-14h, 15:30-16h, e 17:30-18h.

Além da temperatura, a umidade também desempenha um papel significativo no desconforto experimentado durante o tempo quente e deve ser cuidadosamente considerada no cálculo de um índice de estresse térmico, especialmente em regiões de clima tropical (Parasin e Amnuaylojaroen, 2023). Para este estudo, foi adotada a metodologia de Steadman (1979), que integra temperatura e umidade relativa para avaliar a sensação térmica percebida pelos humanos por meio do Índice de Calor (IC). O cálculo do IC é realizado utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Equação 1: IC} = -42,379 + 2,04901523 \times T + 10,14333127 \times \text{UR} - 0,22475541 \times T \times \text{UR} - 6,83783 \times 10^{-3} \times (T)^2 - 5,481717 \times 10^{-2} \times (\text{UR})^2 + 1,22874 \times 10^{-3} \times (T)^2 \times \text{UR} + 8,5282 \times 10^{-4} \times T \times (\text{UR})^2 - 1,99 \times 10^{-4} \times (T)^2 \times (\text{UR})^2$$

Onde: IC - índice de calor; T - temperatura (°C); UR - umidade relativa do ar (%)

Com os resultados obtidos do IC foram indicados os níveis de alerta e as consequências para a saúde humana (Tabela 1), conforme adaptação de Nóbrega e Lemos (2011).

Tabela 1. Níveis de alerta e suas consequências à saúde humana do índice de calor.

<b>Nível de alerta</b>	<b>Índice de calor</b>	<b>Síndrome de calor (sintomas)</b>
Perigo extremo	54° C ou mais	Insolação ou ação e risco de Acidente Vascular Cerebral (AVC) iminente.
Perigo	41,1 – 54° C	Câimbras, insolação e provável esgotamento. Possibilidade de dano cerebral (AVC) para exposições prolongadas com atividades físicas.
Cautela extrema	32,1° - 41° C	Possibilidade de câimbras, esgotamento e insolação para exposições prolongadas e atividade física.
Cautela	27,1 – 32° C	Possível fadiga em casos de exposição prolongada e atividade física.
Não há alerta	Menor que ou igual 27° C	Não há problemas.

Fonte: National Weather Service Eather Forecast Office, NOAA. Adaptado por Nóbrega e Lemos (2011).

### 2.3 Percepção da população sobre o conforto térmico

Para avaliar a percepção da população sobre o conforto térmico proporcionado pela arborização nas praças foram aplicados questionários (Apêndice A) aos transeuntes estacionários em cada uma das áreas analisadas. Considerando o tamanho da população total dos três municípios, utilizou-se a fórmula proposta por Cochran (1977) e citada por Tarashkar, Qureshi e Rahimi (2024) para determinar o tamanho da amostra adequada, adotando um nível de confiança de 95% e uma margem de erro de 5%, expressa da seguinte forma:

$$\text{Equação 2: } n = \frac{Z^2 P(1-P)}{e^2} = \frac{1.96^2 0.5(1-0.5)}{0.05^2} = 384$$

Onde: n - Tamanho da amostra; Z - Valor crítico para 95% de confiança; p - Proporção esperada na população; q - 1 - p, portanto 0.5; e - Margem de erro.

Embora a fórmula de Cochran tenha indicado que uma amostra de aproximadamente 384 entrevistas seria suficiente para alcançar um nível de confiança de 95% e uma margem de erro de 5%, optou-se por realizar 1100 entrevistas para aumentar a precisão dos resultados, sendo 185 em cada praça estudada. Uma amostra maior resulta em uma margem de erro menor, reduzindo-a para aproximadamente 2.94% e proporcionando resultados mais confiáveis. Além disso, Alreck e Settle (1995) sugerem que amostras entre 100 a 300 podem ser suficientes para obter resultados confiáveis.

Primeiro, utilizou-se uma série de perguntas para obter dados sobre a experiência dos entrevistados com a praça em questão. Perguntou-se com que frequência a visitam e qual a principal razão para suas visitas, identificando os períodos do dia em que costumam frequentá-la. Em seguida, procurou-se determinar a familiaridade dos entrevistados com o conhecimento básico sobre conforto térmico, incluindo a capacidade da copa das árvores urbanas em reduzir a temperatura local. Para entender a percepção dos usuários sobre o conforto térmico nas praças, utilizaram-se perguntas diretas sobre sua percepção de conforto térmico, sensação térmica no momento da entrevista, nível de ventilação, sombreamento e vegetação na praça. Além disso, investigou-se a preferência dos entrevistados em relação ao ambiente térmico ideal da praça com a pergunta: "Neste momento, como você preferiria que o ambiente térmico desta praça estivesse?".

Adicionalmente, explorou-se se os entrevistados acreditam que as áreas verdes na cidade são adequadas para fornecer conforto térmico. Utilizaram-se perguntas dicotômicas (sim ou não) para explorar a percepção sobre possíveis problemas associados às árvores. As perguntas abordaram aspectos como a interferência na iluminação noturna da praça, o risco de galhos

caírem e danificarem propriedades ou causarem ferimentos a transeuntes, a possibilidade de entupimento de bueiros por galhos e folhas, danos à infraestrutura (como linhas de esgoto e calçamento), alergias desencadeadas por algumas árvores e conflitos entre a copa das árvores e a fiação elétrica devido à falta de manutenção periódica. Essas questões ajudaram a identificar as preocupações da população sobre a manutenção e segurança relacionadas às árvores urbanas.

Em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela Resolução CNS 466/12 do Conselho Nacional de Saúde, este estudo foi submetido à Plataforma Brasil e recebeu a identificação CAAE 70312423.7.0000.5055. Esta etapa é essencial para garantir a avaliação ética por parte de um Comitê de Ética em Pesquisa, assegurando a proteção dos direitos e do bem-estar dos participantes. Todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). A aprovação ética obtida reforça a transparência e a credibilidade da nossa abordagem metodológica.

## **2.5 Análise estatística**

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R (R Core Team 2023). Inicialmente os dados de temperatura e umidade foram inspecionados univariadamente para verificação de sua natureza, se paramétricos ou não-paramétricos. Para isso, foram utilizados o teste de Shapiro-Wilk e o teste de Levene, respectivamente. Em seguida, uma ANOVA Two-Way foi utilizada para avaliar se houve variação de temperatura e umidade entre as praças amostradas, entre as áreas sob a sombra da vegetação (SCA) e as áreas expostas ao sol direto (SEA), bem como entre a interação destes dois fatores. Em seguida, o teste post-hoc de Tukey foi utilizado para comparação par-a-par. Esse procedimento foi realizado para avaliar a variação de temperatura e umidade dentro de cada praça amostrada. Por fim, foi utilizada uma análise de covariância (ANCOVA) para avaliar se a correlação entre temperatura e umidade varia entre SCA e SEA. Para isso, foi construído o modelo onde a temperatura foi utilizada como variável explicativa, umidade foi utilizada como variável resposta e a área (coberta ou exposta) foi utilizada como covariável no modelo.

## **3 Resultados e discussão**

### **3.1 Influência da vegetação no conforto térmico**

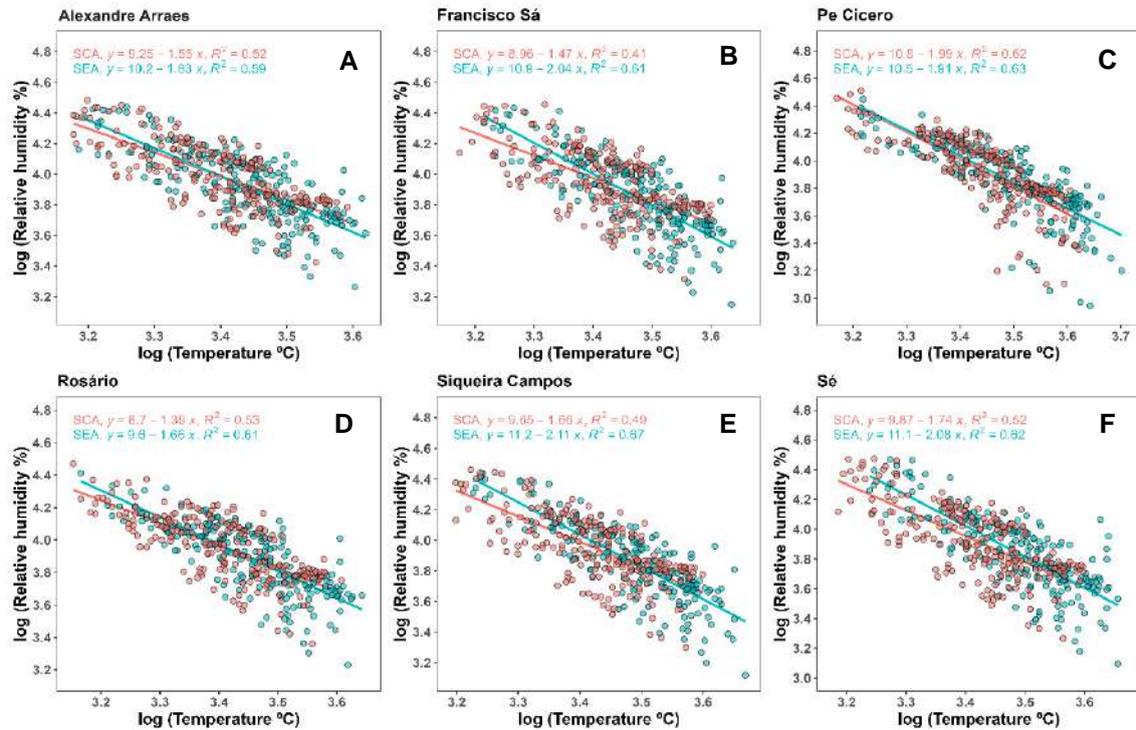
Nas SEA, a temperatura variou entre 23,7 e 40 °C (média = 32,4 °C, desvio padrão  $\pm$  3,20), enquanto nas SCA variou entre 23,4 e 37,4 °C (30,7 °C  $\pm$  2,99). Tanto a exposição ao sol quanto a localização da praça influenciaram significativamente a variação de temperatura ( $P < 0,001$  para ambos), mas a interação entre esses fatores não foi significativa ( $P = 0,246$ ) (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados da ANOVA Two-Way para a variação de temperatura em resposta a área, praça e a interação destes dois fatores. Df – Degrees of freedom; SSq – Sum of squares; MSq – Mean of squares; F – F-Statistics; P – Significance

<b>Temperatura</b>	<b>Df</b>	<b>SSq</b>	<b>MSq</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Área	1	1840	1839.5	197.432	<0.001
Praça	5	741	148.2	15.91	<0.001
Área: Praça	5	62	12.4	1.335	0.246
Residuals	2580	24039	9.3		
<b>Umidade</b>	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Área	1	9629	9629	67.871	<0.001
Praça	5	3160	632	4.455	<0.001
Área: Praça	5	67	13	0.094	0.993
Residuals	2580	366037	142		

Entre os meses analisados, dezembro de 2023 foi o mais quente, com temperatura média de 34,1 °C SEA. Em contraste, maio de 2023 foi o mês mais ameno, com temperatura média de 27,9 °C. Maio de 2023 também foi o mês mais úmido, com umidade relativa média de 70,9% em SCA, enquanto outubro de 2023 foi o mês mais seco, com umidade relativa média de 42,5% em SEA. Temperatura e umidade apresentaram correlação negativa em todas as praças, indicando que quanto maior a temperatura menor a umidade da área (Figura 2).

Figura 2. Análise de covariância (ANCOVA) para avaliar a correlação entre temperatura e umidade. SEA – Shaded exposed area (área exposta ao sol); SCA – Shaded coverage área (área sob a sombra).



A praça da Sé apresentou a média anual mais alta SEA 33 °C (Figura 3E) e as menores médias de umidade relativa tanto SEA (47,9%) quanto SCA (51,9%) (Figura 4E). A configuração da praça, com uma área central pavimentada sem árvores e vegetação densa concentrada apenas nas laterais, contribui para temperaturas mais altas e menor umidade. A ausência de árvores no centro deixa a área exposta à radiação solar direta, elevando as temperaturas. Embora a praça abrigue espécies de copas amplas, como a predominante *Microdesmia rigida* (Benth.) Sothers & Prance (Lisboa et al., 2024), a disposição das árvores nas laterais não é suficiente para mitigar o calor na região central. Além disso, a baixa diversidade arbórea da praça agrava a situação, pois a homogeneidade da vegetação e a limitada variedade de espécies reduzem a capacidade de evapotranspiração, resultando em níveis mais baixos de umidade relativa do ar (Givoni, 1991). Segundo Meili et al. (2021), é essencial para as cidades localizadas próximas ao equador escolher espécies de árvores que possam maximizar a evapotranspiração continuamente ao longo do ano. Em contrapartida, cidades que enfrentam grandes variações sazonais e extremos climáticos devem priorizar o aumento do sombreamento e aperfeiçoar métodos de resfriamento passivo durante os períodos mais quentes.

Figura 3. ANOVA Two-Way utilizada para avaliar a variação de temperatura entre as praças amostradas. SEA – Shaded exposed area (área exposta ao sol); SCA – Shaded coverage área (área sob a sombra).

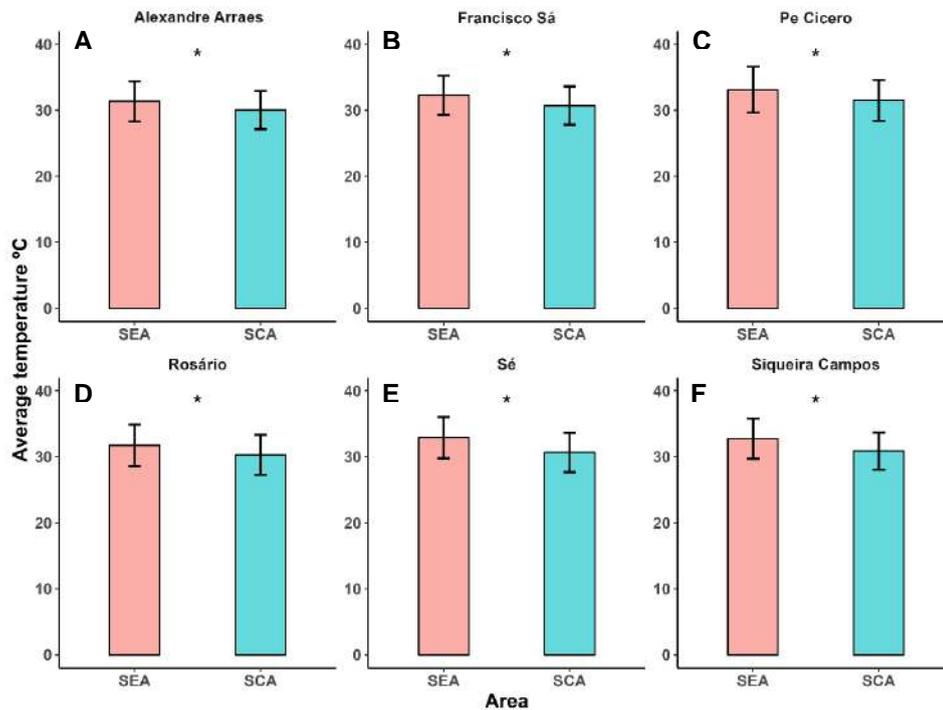
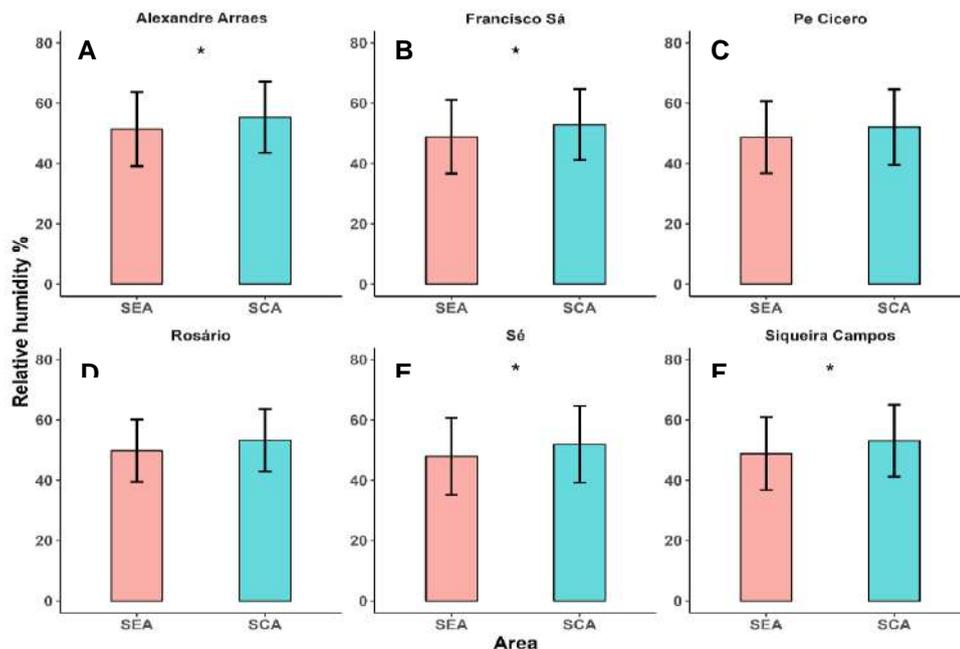


Figura 4. ANOVA Two-Way utilizada para avaliar a variação de umidade entre as praças amostradas. SEA – Shaded exposed area (área exposta ao sol); SCA – Shaded coverage área (área sob a sombra).



Entre SCA, a Praça Siqueira Campos apresentou a maior temperatura média, com 30,8 °C (Figura 3F). Localizada em uma área central com intensa movimentação de veículos e

pedestres, a praça possui vegetação concentrada nas bordas, à beira do asfaltamento, e grande concentração de espécies de Arecaceae, como *Sabal maritima* (Kunth) Burret (Lisboa et al., 2024). Devido à copa ser estreita e de menor densidade, as Arecaceae não alcançam o mesmo nível de resfriamento que árvores com copas mais densas, resultando em temperaturas médias sob a sombra mais altas entre as praças analisadas (Rahman et al., 2019; Wang et al., 2023). A exposição significativa das áreas pavimentadas ao sol e a vegetação predominantemente nas margens impedem uma mitigação eficaz das temperaturas elevadas. Além disso, o tamanho pequeno da praça limita o espaço disponível para vegetação, aumentando a proporção de superfícies pavimentadas expostas ao sol e agravando o efeito de aquecimento (Li et al., 2020a).

A Praça do Rosário apresentou as temperaturas médias mais baixas, com 30,1 °C SEA e 28,4 °C SCA (Figura 3D), e a maior média de umidade relativa SEA (53%) (Figura 4D), beneficiando-se da presença de uma cobertura vegetal densa e bem distribuída. As grandes árvores espalhadas pela praça mitigam a radiação solar direta nas áreas pavimentadas, mantendo níveis elevados de umidade, mesmo nas áreas expostas ao sol (Zhang e Dai, 2022). A praça possui a segunda maior diversidade arbórea, abrigoando 14 espécies, ficando atrás apenas da Praça Padre Cícero, que conta com 20, com o *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. sendo a espécie predominante (Lisboa et al., 2024). Reconhecida por sua copa ampla, essa espécie desempenha um papel crucial no ambiente local, oferecendo sombra extensa, auxiliando na regulação térmica. Essas árvores efetivamente reduzem a temperatura da superfície através do sombreamento, promovendo um ambiente uniforme, enriquecendo o microclima local (Rahman et al., 2019; Yin et al., 2024). De acordo com Rendon et al. (2024), a maior biodiversidade está correlacionada com temperaturas máximas mais baixas, o que pode ser atribuído à maior variação na estrutura das árvores, na densidade foliar e na composição foliar, contribuindo para proteger as áreas contra extremos térmicos. Feng et al. (2023) destacaram a importância das árvores na formação de ambientes urbanos mais equilibrados, enquanto Yang et al. (2022) observaram que variações nos processos fisiológicos, como fotossíntese e evapotranspiração, entre diferentes espécies influenciam significativamente as condições ambientais de maneira distinta. A evapotranspiração, que envolve tanto a transpiração das plantas quanto a evaporação da água do solo e corpos d'água, converte a energia solar absorvida em calor latente de evaporação, resultando em um resfriamento notável das áreas circundantes (Balany et al., 2020; Ernst et al., 2022).

Balany et al. (2020) mostraram que áreas verdes podem reduzir a temperatura ambiente em até 5°C. Estudos como o de Sharmin et al. (2023), na Austrália, e Qiu et al. (2023), em Changsha, China, confirmam que árvores urbanas e espaços verdes e azuis (áreas com vegetação ou água) têm um efeito de resfriamento significativo, reduzindo a temperatura da

superfície em média de 2-3°C. Além disso, áreas verdes urbanas contribuem para a redução da temperatura ao seu redor, com o efeito de resfriamento aumentando conforme a superfície da zona verde se expande (García, 2023).

A SEA ou SCA, influencia significativamente a relação entre temperatura e umidade em algumas praças. Os resultados destacam que as correlações entre temperatura e umidade nas praças Alexandre Arraes ( $P = 0.053$ ) e Padre Cícero ( $P = 0.582$ ) não foram significativamente influenciadas pela cobertura (sombra ou sol) (Tabela 3). Na demais praças a interação entre temperatura e cobertura foi significativa, sugerindo que a cobertura vegetal altera a relação entre temperatura e umidade nessas praças.

Tabela 3. Resultados da ANCOVA para a correlação entre temperatura e umidade em resposta a variação entre áreas, sob a sombra e expostas ao sol. Df – Degrees of freedom; SSq – Sum of squares; MSq – Mean of squares; F – F-Statistics; P – Significance.

<b>Alexandre Arraes</b>	<b>Df</b>	<b>SSq</b>	<b>MSq</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>log(Temperatura)</b>	1	12.576	12.576	568.5	<0.01
<b>Cobertura</b>	1	0.005	0.005	0.21	0.647
<b>log(Temperatura):Cobertura</b>	1	0.084	0.084	3.78	0.053
<b>Resíduos</b>	428	9.468	0.022		
<b>Francisco Sá*</b>	<b>Df</b>	<b>SSq</b>	<b>MSq</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>log(Temperatura)</b>	1	12.793	12.793	486.8	<0.01
<b>Cobertura</b>	1	0	0	0	0.983
<b>log(Temperatura):Cobertura</b>	1	0.321	0.321	12.21	<0.01
<b>Resíduos</b>	428	11.248	0.026		
<b>Padre Cicero</b>	<b>Df</b>	<b>SSq</b>	<b>MSq</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>log(Temperatura)</b>	1	18.392	18.392	736.6	<0.01
<b>Cobertura</b>	1	0.082	0.082	3.284	0.071
<b>log(Temperatura):Cobertura</b>	1	0.008	0.008	0.304	0.582
<b>Resíduos</b>	428	10.687	0.025		
<b>Rosário*</b>	<b>Df</b>	<b>SSq</b>	<b>MSq</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>log(Temperatura)</b>	1	10.735	10.735	595.9	<0.01
<b>Cobertura</b>	1	0	0	0.011	0.917
<b>log(Temperatura):Cobertura</b>	1	0.076	0.076	4.192	<0.05
<b>Resíduos</b>	428	7.711	0.018		
<b>Sé*</b>	<b>Df</b>	<b>SSq</b>	<b>MSq</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>log(Temperatura)</b>	1	15.686	15.686	588.9	<0.01

<b>Cobertura</b>	1	0.25	0.25	9.373	0.002
<b>log(Temperatura):Cobertura</b>	1	0.121	0.121	4.526	<0.05
<b>Resíduos</b>	428	11.399	0.027		
<b>Siqueira Campos*</b>	<b>Df</b>	<b>SSq</b>	<b>MSq</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>log(Temperatura)</b>	1	14.572	14.572	646	<0.01
<b>Cobertura</b>	1	0.051	0.051	2.242	0.135
<b>log(Temperatura):Cobertura</b>	1	0.191	0.191	8.452	<0.01
<b>Resíduos</b>	428	9.655	0.023		

A Praça Alexandre Arraes registrou a maior média de umidade relativa nas SCA, com 57,1% (Figura 4A). A abundância de indivíduos de grande porte como *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, com suas copas densas, cria um microclima estável, atenuando as flutuações de temperatura entre SEA e SCA (Lisboa et al., 2024). A cobertura vegetal e a proximidade de áreas verdes são fundamentais para a regulação da umidade relativa em ambientes urbanos. Em Wisconsin, EUA, Ziter et al. (2019) observaram que a densidade vegetal está diretamente relacionada aos níveis de umidade. Em Munique, Alemanha, Pace et al. (2021) destacaram a importância da estrutura vegetal e da disponibilidade de água no solo na regulação climática, especialmente em áreas urbanas densas. Li et al. (2020b) encontraram uma variação de até 5,1% de umidade ao analisar um parque urbano em Pequim. Além disso, a localização da praça próxima à Chapada do Araripe enriquece o clima local com ventos frescos e umidade, contribuindo para um equilíbrio térmico. Essa interação entre a topografia e a vegetação nas proximidades de grandes formações geográficas, como chapadas, frequentemente resulta em microclimas moderados (Wang et al., 2023).

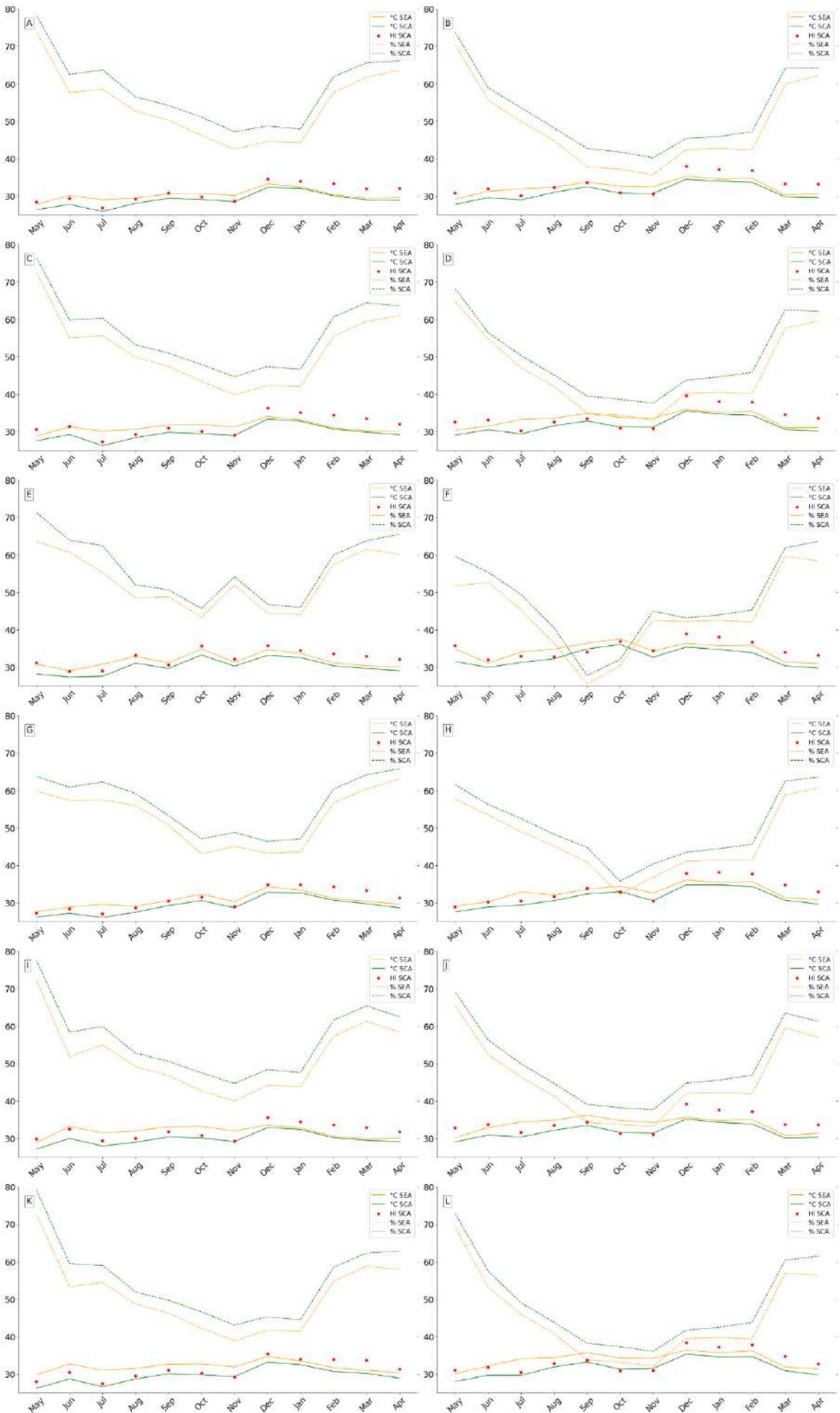
A Praça Padre Cícero caracteriza-se pela forte presença de árvores jovens e a predominância de espécies de Areaceae, como *Sabal marítima* (Kunth) Burret e *Copernicia prunifera* (Mill.) H.E.Moore (Lisboa et al., 2024). Essas árvores estão distribuídas de forma espaçada, não oferecendo sombreamento suficiente para redução significativa da temperatura, o que apresenta desafios na moderação do microclima urbano. Localizada em um centro comercial e cercada por ruas movimentadas, a praça experimenta uma elevação significativa da temperatura devido ao intenso tráfego de veículos e pedestres. A alta circulação de automóveis e pessoas, intensifica a radiação térmica dos veículos e do asfalto, comprometendo ainda mais a eficácia das árvores em regular a temperatura ambiente (Klemm et al., 2015; Sharmin et al., 2023). A proximidade com vias de tráfego intenso e as características das árvores contribuem para um ambiente menos fresco e mais desafiador no que diz respeito ao controle do microclima local (Yang et al., 2023).

Durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, que coincidem com o verão no Hemisfério Sul (Ogurtsov, 2022), os IC pela manhã foram mais elevados em todas as praças estudadas quando comparados às manhãs dos outros meses. Nesse período as temperaturas mais altas e a alta umidade relativa do ar aumentam significativamente os riscos relacionados ao calor extremo (Anderson et al., 2013).

À tarde, as temperaturas aumentam significativamente devido à absorção de calor pelas superfícies urbanas e à menor dissipação de calor nas áreas com cobertura vegetal insuficiente, além da intensificação da radiação solar direta, que, sem sombreamento adequado, pode levar as superfícies urbanas a atingirem temperaturas críticas (Vo e Hu, 2021; Sharmin et al., 2023; Santamouris et al., 2015). Superfícies como concreto e asfalto absorvem intensamente a radiação solar devido às suas propriedades físicas e cores escuras. Isso não apenas aumenta sua temperatura, mas também eleva a temperatura ambiente ao seu redor, criando ilhas de calor urbanas, especialmente durante as horas mais quentes do dia (Acharya, Riehl e Fuchs, 2021; Ziaemehr et al., 2023). A exposição prolongada a altos IC pode causar esgotamento térmico, insolação, desidratação e até complicações cardiovasculares (Kondo et al., 2018; Li et al., 2020b; Acharya, Riehl e Fuchs, 2021). Medidas como a arborização e a implementação de infraestrutura verde são essenciais para proporcionar sombra e reduzir as temperaturas, beneficiando tanto os moradores locais quanto os visitantes.

A Praça do Rosário apresentou temperaturas matinais de 27,6 a 34,3°C e vespertinas de 29,1 a 36,1°C, com umidade relativa de 42,5% a 73,7% pela manhã e 35,7% a 70,4% à tarde (Figuras 5G e 5H). Outras praças, como Alexandre Arraes, mostraram padrões similares, destacando a importância da vegetação na modulação das condições térmicas urbanas.

Figura 5. Média de variação de temperatura, umidade e índice de calor ao longo de maio de 2023 a abril de 2024 em praças do Crajubar, nos períodos da manhã (AM) e da tarde (PM). A – Praça Alexandre Arraes (AM); B – Praça Alexandre Arraes (PM); C – Praça Francisco Sá (AM); D – Praça Francisco Sá (PM); E – Praça Padre Cícero (AM); F – Praça Padre Cícero (PM); G – Praça do Rosário (AM); H – Praça do Rosário (PM); I – Praça Siqueira Campos (AM); J – Praça Siqueira Campos (PM); K – Praça da Sé (AM); L – Praça da Sé (PM). Temp – Temperatura (°C); Hum – Umidade; SEA – Shaded Exposed Area; SCA – Shaded Coverage Area.



Na Praça Padre Cícero, as temperaturas matinais variaram entre 29,1 e 34,9°C e as vespertinas entre 31,1 e 37,6°C, com umidade relativa entre 43,4% e 63,6% pela manhã entre 25,6% e 51,7% à tarde, sendo a mais quente entre as praças analisadas, com IC variando entre 29 e 39,1°C (Figuras 5E e 5F). Além da praça Padre Cícero, a Francisco Sá e Siqueira Campos também apresentaram IC próximos a 40 °C, o que está próximo ao nível de alerta de "perigo". Além disso, a Praça Padre Cícero, um dos principais pontos das romarias anuais que atraem milhares de fieis de todo o Brasil, enfrenta desafios intensificados de desconforto térmico durante eventos como a Romaria de Nossa Senhora das Dores e a Romaria de Finados devido ao aumento da presença de visitantes. A praça se destaca negativamente registrando IC na "cautela extrema" durante oito meses, sendo a praça com o maior número de ocorrências de IC extremo pela manhã e a única onde o IC se mantém nessa categoria em todos os meses durante a tarde, ressaltando a necessidade urgente de intervenções urbanas para mitigar os efeitos do calor intenso. Nas demais praças, o IC atingiu a categoria de "cautela extrema" em no máximo nove meses à tarde, indicando que, embora a situação seja grave, há variações sazonais. Já a Praça Alexandre Arraes apresentou a categoria de "cautela extrema" pela manhã em apenas três meses no período estudado, sugerindo uma correlação direta entre a cobertura vegetal e a mitigação do calor urbano. Os IC nas praças urbanas revelam um cenário preocupante em relação ao desconforto térmico e aos riscos à saúde pública, pois mesmo durante o período da manhã, muitos índices de calor ao longo do ano se encontram elevados (Figura 5).

### **3.2 Percepção da população quanto ao conforto térmico**

Em relação aos entrevistados, foram encontrados usuários das praças em todas as faixas etárias estipuladas na pesquisa (de 18 a maiores de 65 anos), havendo um maior número de usuários entre 18 e 25 anos (26%). A maioria dos entrevistados foram homens (52%). Os dados revelam que 33% dos entrevistados visitam as praças todos os dias, indicando a importância desses espaços na rotina diária de uma parte significativa da população. Além disso, 32% dos entrevistados visitam as praças algumas vezes por semana. Esse grupo, junto com os visitantes diários, compõe mais de 64% dos entrevistados, sugerindo que a maioria utiliza as praças com alta frequência. A regularidade no uso de espaços verdes urbanos está fortemente associada a benefícios para a saúde mental e física. Kondo et al. (2018), em uma revisão sobre intervenções de ecologização urbana e saúde, encontraram que a exposição regular a espaços verdes urbanos pode reduzir o risco de doenças cardiovasculares e melhorar o bem-estar psicológico.

Os principais motivos de visita nas praças foram lazer (36%) e trabalho (31%). Praças como Alexandre Arraes, Siqueira Campos, Rosário, Sé e Padre Cícero são predominantemente visitadas para lazer (30% a 43%), enquanto Francisco Sá é visitada principalmente para trabalho

(53%) e Sé para lazer (57%). Isso está alinhado com estudos que destacam a multifuncionalidade das praças urbanas, servindo como locais de relaxamento, socialização e atividades econômicas (Gehl, 2011). A maioria das visitas ocorre à tarde (40%) e pela manhã (33%), com variações específicas para cada praça. Analisando as praças específicas, os períodos mais populares variam: na Praça Alexandre Arraes, tarde (30%) e manhã (24%); nas Praças Padre Cícero, Francisco Sá e Siqueira Campos, tarde (43%, 35% e 41%, respectivamente), e manhã e tarde (18%, 24% e 22%); na Praça da Sé, noite (40%) e manhã (20%); e na Praça do Rosário, tarde (22%) e noite (34%).

Além disso, 95% dos participantes acreditam que as árvores podem reduzir a temperatura local, com apenas 2% expressando ceticismo. Essa tendência foi consistente em todas as praças, destacando a importância das árvores no contexto urbano e enfatizando a necessidade de políticas e práticas que promovam sua preservação e plantio. A Praça Alexandre Arraes, com sua vegetação densa, é um exemplo de como áreas bem arborizadas podem melhorar o conforto térmico, reduzindo o calor e melhorando a umidade local.

A maioria dos entrevistados (67%) desconhecem o termo "conforto térmico", destacando uma falta de conhecimento sobre um conceito essencial para a qualidade de vida urbana, podendo dificultar a percepção da população sobre a importância de intervenções como a arborização e a criação de áreas sombreadas, que melhoram o microclima e o bem-estar. Estudos como os de Yamtraipat, Khedari e Hirunlabh (2005) na Tailândia, mostram que a educação é importante para a compreensão e adaptação às condições de conforto térmico.

No município do Crato, entre 70% e 82% dos entrevistados nas praças avaliaram positivamente a suficiência das áreas verdes para o conforto térmico. Em Juazeiro do Norte, 74% dos entrevistados na Praça Padre Cícero concordaram, e em Barbalha, 80% na Praça do Rosário compartilharam dessa opinião. As percepções negativas variaram entre 5% e 11%. A percepção positiva sobre a suficiência das áreas verdes, especialmente nas praças Alexandre Arraes e Rosário, está associada aos efeitos de resfriamento evaporativo e à redução do IC devido à presença de vegetação.

Os resultados revelam uma tendência predominante de percepção positiva em relação ao conforto térmico nas praças urbanas avaliadas, com a maioria dos participantes (51%) se considerando termicamente confortáveis. Entretanto, houve variações significativas entre as praças. A análise da Praça Padre Cícero revelou altas temperaturas durante a tarde, correlacionadas diretamente com a percepção de desconforto térmico por parte dos entrevistados. Por exemplo, 36% dos entrevistados consideraram a praça desconfortável termicamente, atribuindo isso às elevadas temperaturas e ao alto IC registrado, já que 58% descreveram a sensação térmica como quente, sendo a única praça onde essa resposta foi

predominante. Este padrão indica que áreas com menor cobertura vegetal, como a Praça Padre Cícero, tendem a gerar maior desconforto térmico, especialmente durante os períodos quentes da tarde.

Em contraste, a Praça Alexandre Arraes, com temperaturas e umidade mais moderadas sob a sombra foi percebida como mais confortável. Notavelmente, 36,2% dos entrevistados descreveram a sensação térmica como levemente fresca e 27,5% como neutra. A praça foi considerada confortável por 58% dos entrevistados e muito confortável por 19%. A umidade também desempenha um papel crucial na percepção de conforto. Por exemplo, nas praças onde a umidade é mais alta, como na Praça do Rosário, 57% dos entrevistados se sentiram confortáveis e 25% neutros. A influência positiva da umidade na sensação térmica é destacada pelo fato de 53% dos participantes descreverem a sensação térmica como levemente fresca. Esses dados evidenciam a importância da vegetação e da umidade na modulação do conforto térmico nas praças urbanas.

A maioria dos participantes expressou preferência por um ambiente "um pouco mais fresco", especialmente na Praça Padre Cícero, onde 72% dos entrevistados manifestaram essa escolha, refletindo uma preocupação com o conforto térmico durante as visitas. Isso é significativo, pois a Praça Padre Cícero enfrenta desafios térmicos, com altas temperaturas durante o período da tarde, conforme indicado pelos dados de temperatura mais elevada (Figura 5). A relação entre o IC e as sensações térmicas dos usuários explica essas preferências. Locais com altas temperaturas percebidas tendem a aumentar a demanda por sombreamento e ventilação adequados. Esse padrão reflete a busca dos usuários por condições que proporcionem maior conforto térmico, especialmente em áreas urbanas onde a exposição ao calor é mais intensa.

Os dados coletados revelaram que a ventilação e o sombreamento nas praças urbanas são cruciais para a percepção de conforto térmico pelos frequentadores. Cerca de 54% dos entrevistados consideraram a ventilação como boa, destacando a importância da circulação de ar para um ambiente agradável. Além disso, a avaliação positiva do sombreamento, variando entre "muito bom" e "bom" dependendo da praça, evidencia que áreas bem sombreadas, como nas Praças Alexandre Arraes e Rosário, são percebidas como mais confortáveis termicamente, especialmente durante os períodos mais quentes do dia. Esses elementos naturais não apenas melhoram a experiência dos usuários, mas também ajudam a mitigar os efeitos adversos do clima urbano, como altas temperaturas, sublinhando a necessidade de políticas que promovam o planejamento e a manutenção adequada desses espaços verdes urbanos.

Em praças como Alexandre Arraes, Siqueira Campos e Sé, a maioria dos entrevistados avaliou positivamente a presença de vegetação, classificando-a como "muito boa" ou "boa".

Apesar da Praça Siqueira Campos apresentar a maior temperatura média anual SCA, a vegetação, embora limitada e insuficiente para neutralizar completamente o efeito de ICU, é altamente valorizada pelos frequentadores como um alívio significativo em termos de conforto térmico e estético. Por outro lado, na Praça Padre Cícero, embora uma parcela significativa dos entrevistados tenha avaliado a presença de vegetação como "boa" (51%), houve também uma proporção considerável de respostas negativas, classificando-a como "ruim" (34%). Isso indica que existe uma percepção mais crítica em relação à vegetação nesta praça específica. Essa discordância pode ser atribuída a diversos fatores, como a qualidade da vegetação presente, a adequação das espécies às condições climáticas locais, a manutenção inadequada ou até mesmo questões estéticas e de funcionalidade percebidas pelos frequentadores.

Os transeuntes têm opiniões variadas sobre os possíveis desserviços das árvores. Em relação à interferência na iluminação noturna, a maioria (entre 57% e 71% em todas as praças) não acredita que as árvores causem impacto negativo. Quanto ao risco de galhos causarem danos a propriedades, as opiniões são divididas, com maioria preocupada nas Praças Alexandre Arraes e Sé (54% e 59%, respectivamente), enquanto nas Praças Padre Cícero, Francisco Sá e Siqueira Campos a maioria não vê risco significativo (entre 53% e 61%).

Sobre o entupimento de bueiros por galhos e folhas, as opiniões são equilibradas em todas as praças, com destaque para Praça Francisco Sá (60% preocupados) e Praça do Rosário (55% preocupados). Quanto ao potencial de danos às infraestruturas por raízes de árvores, as praças Francisco Sá e Siqueira Campos apresentam maior preocupação (59% e 58% dos frequentadores, respectivamente), enquanto nas demais as opiniões estão equilibradas. A manutenção adequada das áreas verdes é crucial para mitigar esses problemas. Uma gestão urbana eficiente, que inclui a manutenção regular das árvores, pode minimizar esses desserviços enquanto maximiza os benefícios da vegetação.

Em relação a alergias, a maioria dos frequentadores (entre 54% e 77%) reconhece que algumas árvores podem desencadear alergias. Finalmente, a falta de manutenção regular pode gerar conflitos entre a copa das árvores e a fiação elétrica, com percentuais de concordância variando de 61% a 85% entre os frequentadores das praças estudadas.

## **CONCLUSÃO**

O presente estudo apresenta uma abordagem pioneira e crucial para o planejamento de áreas verdes em cidades no semiárido brasileiro, enfatizando a importância da arborização na mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbanas e na melhoria do conforto térmico nas praças. A análise entre SEA e SCA mostrou uma diferença significativa nas temperaturas e umidades,

com redução média de 1,7 °C e 3,8% nas SCA ao longo do ano, oferecendo condições mais amenas e confortáveis. A Praça do Rosário destacou-se por suas temperaturas mais baixas e umidade mais alta, atribuídas à presença de árvores de grande porte, como o *Pithecellobium dulce*, que oferece sombra extensa e contribui para a regulação térmica através da evapotranspiração. A Praça Alexandre Arraes também apresentou um microclima mais ameno, devido à sua arborização densa e à proximidade com a Chapada do Araripe, que proporciona ventos frescos e umidade adicional.

Em contraste, na Praça Padre Cícero registrou temperaturas matinais variando entre 29,1 e 34,9°C e vespertinas de 31,1 a 37,6°C, sendo a mais quente. Essa alta temperatura é atribuída à insuficiente cobertura vegetal, composta principalmente por árvores jovens e espécies de *Arecaceae*, como *Sabal marítima* e *Copernicia prunifera*, além de sua localização em um movimentado centro comercial. A praça registrou IC em cautela extrema durante oito meses, sendo a praça com o maior número de ocorrências de IC extremo pela manhã e a única onde o esse índice se mantém nessa categoria em todos os meses durante a tarde, registrando IC próximos a 40°C. Esses fatores estão diretamente relacionados à percepção de desconforto térmico por 36% dos entrevistados, dos quais 58% descreveram a sensação térmica como quente. Este padrão sugere que áreas com cobertura vegetal insuficiente frequentemente resultam em maior desconforto, particularmente nos períodos mais quentes da tarde. Significativamente, 72% dos frequentadores da Praça Padre Cícero expressaram preferência por um ambiente mais fresco, destacando a importância do conforto térmico em suas experiências. Dada a proximidade da região com a linha do Equador, onde a intensidade da insolação é consistentemente alta, é crucial ampliar a cobertura vegetal. Isso não apenas aliviaria os altos índices de calor, mas também melhoraria significativamente o conforto térmico para os visitantes.

As praças se revelaram essenciais para a rotina diária da população, com 64% dos entrevistados utilizando esses espaços regularmente, o que está associado a benefícios significativos para a saúde mental e física. Essas áreas necessitam da ampliação da cobertura vegetal e um manejo eficaz da silvicultura urbana para melhorar a qualidade de vida dos habitantes e valorizar o espaço urbano.

### Referências

- ACHARYA, T.; RIEHL, B.; FUCHS, A. Effects of albedo and thermal inertia on pavement surface temperatures with convective boundary conditions—A CFD study. *Processes*, v. 9, n. 11, p. 2078, 2021. <https://doi.org/10.3390/pr9112078>.
- 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. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

- ALRECK, P. L.; SETTLE, R. B. (1995). The survey research handbook: guidelines and strategies for conducting a survey. Irwin.
- ANDERSON, G. B.; BELL, M. L.; PENG, R. D. Methods to calculate the heat index as an exposure metric in environmental health research. *Environmental Health Perspectives*, v. 121, n. 10, p. 1111-1119, 2013. <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/abs/10.1289/ehp.1206273>.
- BALANY, F.; NG, A. W.; MUTTIL, N.; MUTHUKUMARAN, S.; WONG, M. S. Green infrastructure as an urban heat island mitigation strategy—A review. *Water*, v. 12, p. 3577, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12123577>.
- BENÍCIO, R. M. A.; LINHARES, K. V.; LISBOA, M. A. N.; CRUZ, G. V.; SILVA, L. V. A.; NASCIMENTO, A. S.; SILVA, M. A. P.; ROCHA, L. S. G.; DRUMOND, M. A.; TONUCCI, R. G.; CALIXTO JÚNIOR, J. T. Carbon stock and sequestration as a form of payment for environmental services in a sedimentary basin humid forest refuge in Brazilian semiarid. *Environmental Development*, v. 45, p. 100796, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2022.100796>.
- BENÍCIO, R. M. A.; NASCIMENTO, A. da S.; MORAIS, S. C. de O.; LISBOA, M. A. N.; SILVA, L. V. A. da; CRUZ, G. V.; MORAIS, H. N. de; ARAÚJO, I. F.; LINHARES, K. V.; SILVA, M. A. P. da; ROCHA, L. S. G.; CALIXTO JÚNIOR, J. T. Um refúgio de Mata Úmida no interior do Nordeste brasileiro: estrutura e diversidades alfa e beta. *Ciência Florestal*, v. 33, n. 3, p. 1-25, 2023. <https://doi.org/10.5902/1980509869097>.
- BLUNDEN, J.; ARNDT, D. S.; HARTFIELD, G. State of the climate in 2018. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 100, n. 9, p. Si-S306, 2019. <https://doi.org/10.1175/2019BAMSStateoftheClimate.1>.
- BOULTON, C.; DEDEKORKUT-HOWES, A.; BYRNE, J. Factors shaping urban greenspace provision: A systematic review of the literature. *Landscape and Urban Planning*, v. 178, p. 82-101, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.05.029>.
- CASTRO, A. C. V. de; 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. <https://doi.org/10.3390/su16073018>.
- CHEN, H.; ZHAO, L.; CHENG, L.; ZHANG, Y.; WANG, H.; GU, K.; BAO, J.; YANG, J.; LIU, Z.; HUANG, J.; CHEN, Y.; GAO, X.; XU, Y.; WANG, C.; CAI, W.; GONG, P.; LUO, Y.; LIANG, W.; HUANG, C. Projections of heatwave-attributable mortality under climate change and future population scenarios in China. *The Lancet Regional Health - Western Pacific*, v. 28, p. 100582, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2022.100582>.
- CHOW, W. T. L.; AKBAR, S. N. A. B. A.; HENG, S. L.; ROTH, M. Assessment of measured and perceived microclimates within a tropical urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 16, p. 62-75, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.01.010>.
- COCHRAN, W. G. Sampling techniques. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1977.
- COSTA, R. G. S.; COLESANTI, M. M. A contribuição da percepção ambiental nos estudos das áreas verdes. *RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise*, v. 22, 2011. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v22i0.21774>.
- EMETERE, M. E. Chapter 3 - Typical environmental challenges. In: EMETERE, M. E. (Ed.). *Numerical Methods in Environmental Data Analysis*. Elsevier, 2022. p. 41-51. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818971-9.00004-1>.
- ERNST, M.; LE MENTEC, S.; LOUVRIER, M.; LOUBET, B.; PERSONNE, E.; STELLA, P. Impact of urban greening on microclimate and air quality in the urban canopy layer: Identification of knowledge gaps and challenges. *Frontiers in Environmental Science*, v. 10, 2022. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.924742>.
- FALASCA, S.; CIANCIO, V.; SALATA, F.; GOLASI, I.; ROSSO, F.; CURCI, G. High albedo materials to counteract heat waves in cities: An assessment of meteorology, buildings energy needs and pedestrian thermal comfort. *Building and Environment*, v. 163, p. 106242, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106242>.
- FENG, X.; WEN, H.; HE, M.; XIAO, Y. Microclimate effects and influential mechanisms of

- four urban tree species underneath the canopy in hot and humid areas. *Frontiers in Environmental Science*, v. 11, 16 fev. 2023. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1108002>.
- FERREIRA, M. A. M.; LEITE, Y. L. R.; JUNIOR, C. C.; VICENTE, C. R. Impact of climate change on public health in Brazil. *Public Health Challenges*, v. 2, e62, 2023. <https://doi.org/10.1002/puh2.62>.
- FORZIERI, G.; GIRARDELLO, M.; CECCHERINI, G.; FEYEN, L. Increasing risk over time of weather-related hazards to the European population: a data-driven study. *Environmental Research Letters*, v. 12, n. 8, p. 084019, 2017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6e5f>.
- GARCÍA, D. H. Spatio-temporal analysis of the urban green infrastructure of the city of Granada (Spain) as a heat mitigation measure using high-resolution images Sentinel 3. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 87, p. 128061, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128061>.
- GEHL, J. *Life between buildings: Using public space*. Washington, DC: Island Press, 2011.
- GIVONI, B. Impact of planted areas on urban environmental quality: A review. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, v. 25, n. 3, p. 289-299, 1991. [https://doi.org/10.1016/0957-1272\(91\)90001-U](https://doi.org/10.1016/0957-1272(91)90001-U).
- 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: 05 jan. 2024.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Panorama do Estado do Ceará, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/CE/panorama>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). 2017. Disponível em: [https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Crato\\_2017.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Crato_2017.pdf). Acesso em: 05 jan. 2024.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Normas Climatológicas do Brasil, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- KLEMM, W.; HEUSINKVELD, B. G.; LENZHOLZER, S.; JACOBS, M. H.; VAN HOVE, B. Psychological and physical impact of urban green spaces on outdoor thermal comfort during summertime in The Netherlands. *Building and Environment*, v. 83, p. 120-128, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.05.013>.
- KONDO, M. C.; FLUEHR, J. M.; MCKEON, T.; BRANAS, C. C. Urban green space and its impact on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 3, p. 445, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030445>.
- KRÜGER, E.; GOBO, J. P. A.; TEJAS, G. T.; SOUZA, R. M. da S. de; NETO, J. B. F.; PEREIRA, G.; MENDES, D.; DI NAPOLI, C. The impact of urbanization on heat stress in Brazil: A multi-city study. *Urban Climate*, v. 53, p. 101827, 1 jan. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101827>.
- LI, F.; FAN, S.; LI, K.; ZHANG, Y.; DONG, L. Microclimate in an urban park and its influencing factors: a case study of Tiantan Park in Beijing, China. *Urban Ecosystems*, v. 24, n. 4, p. 767-778, 2020b. <https://doi.org/10.1007/s11252-020-01073-4>.
- LI, H.; WANG, G.; TIAN, G.; JOMBACH, S. Mapping and analyzing the park cooling effect on urban heat island in an expanding city: A case study in Zhengzhou City, China. *Land*, v. 9, p. 57, 2020a. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land9020057>.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100561>.
- MCCULLOCH, M. T.; WINTER, A.; SHERMAN, C. E.; TROTTER, J. A. 300 years of sclerosponge thermometry shows global warming has exceeded 1.5 °C. *Nature Climate Change*, v. 14, n. 2, p. 171-177, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01919-7>.

- MEILI, N.; MANOLI, G.; BURLANDO, P.; CARMELIET, J.; CHOW, W. T. L.; COUTTS, A. M.; ROTH, M.; VELASCO, E.; VIVONI, E. R.; FATICHI, S. Tree effects on urban microclimate: Diurnal, seasonal, and climatic temperature differences explained by separating radiation, evapotranspiration, and roughness effects. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 58, p. 126970, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126970>.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Parques e áreas verdes, 2013. Disponível em: < <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/areas-verdes-urbanas/parques-e%C3%A1reas-verdes.html>>. Acesso em: 05 mar. 2024.
- MINISTÉRIO DO TURISMO. Turismo religioso ganha espaço no Nordeste. 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/turismo/pt-br/assuntos/ultimas-noticia/turismo-religioso-ganha-espaco-no-nordeste>. Acesso em: 02 jul 2024.
- MOHAJERANI, A.; BAKARIC, J.; JEFFREY-BAILEY, T. The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, v. 197, p. 522-538, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>.
- NÓBREGA, R. S.; LEMOS, T. V. S. O microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade de Recife. *Revista de Geografia*, v. 28, n. 1, p. 93-109, 2011.
- OLIVEIRA, J. C. A. Juazeiro do padre Cícero: o patrimônio, o turismo e a folk museografia. *Revista Iberoamericana de Turismo*, v. 13, p. 100-113, 2023.
- OGURTSOV, M. Long-term variability of summer temperature in the southern part of South America—Is there a connection with changes in solar activity? *Atmosphere*, v. 13, n. 9, p. 1360, 2022. <https://doi.org/10.3390/atmos13091360>.
- PARASIN, N.; AMNUAYLOJAROEN, T. Development of a heat index related to air quality and meteorology for an assessment of work performance in Thailand's urban areas. *Urban Science*, v. 7, n. 4, p. 124, 2023. <https://doi.org/10.3390/urbansci7040124>.
- PACE, R.; DE FINO, F.; RAHMAN, M. A.; PAULEIT, S.; NOWAK, D. J.; GROTE, R. A single tree model to consistently simulate cooling, shading, and pollution uptake of urban trees. *International Journal of Biometeorology*, v. 65, p. 277-289, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02030-8>.
- PARK, B. J.; LEE, D. K.; YUN, S. H.; KIM, E. S.; LEE, J. H.; KIM, S. H. Assessing the impact of green infrastructure on thermal comfort in relation to humidity: A case study in Korea. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 95, p. 128305, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128305>.
- PARK, J.; KIM, J.-H.; SOHN, W.; LEE, D.-K. Urban cooling factors: Do small greenspaces outperform building shade in mitigating urban heat island intensity? *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 64, p. 127256, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127256>.
- QIU, X.; KIL, S.-H.; JO, H.-K.; PARK, C.; SONG, W.; CHOI, Y. E. Cooling effect of urban blue and green spaces: A case study of Changsha, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 20, n. 3, p. 2613, 2023. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032613>.
- QUEIROZ, R. T.; CORDEIRO, L. S.; SAMPAIO, V. S.; RIBEIRO, R. T. M.; LOIOLA, M. I. B. A Região Nordeste. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. (Eds.). *Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2018. p. 73-104.
- RAHMAN, M. A.; MOSER, A.; RÖTZER, T.; PAULEIT S. Comparing the transpirational and shading effects of two contrasting urban tree species. *Urban Ecosystems*, v. 22, p. 683-697, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00853-x>.
- RENDON, P.; LOVE, N.; PAWLAK, C.; YOST, J.; RITTER, M.; DOREMUS, J. Street tree diversity and urban heat. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 91, p. 128180, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128180>.
- SANTAMOURIS, M.; CARTALIS, C.; SYNNEFA, A.; KOLOKOTSA, D. On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of

- buildings—A review. *Energy and Buildings*, v. 98, p. 119-124, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.052>.
- SANTOS, A. S.; VITAL, S. R. O.; SOUZA, S. F. F. Riscos geomorfológicos no triângulo Crajubar, estado do Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 16, n. 2, p. 894-906, 2023. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.2.p894-906>.
- SANTOS, J. S. dos; SILVA, V. de P. R. da; LIMA, E. R. V.; ARAÚJO, L. E. de; COSTA, A. D. L. Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em cidade tropical úmida (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. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i3.232851>.
- SENADO. 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-urbana#:~:text=O%20PL%203.113%2F2023%20determina, revis%C3%A3o%20a%20cada%20cinco%20anos>>. Acesso em: 05 fev 2024.
- SHARMIN, M.; TJOELKER, M. G.; PFAUTSCH, S.; ESPERÓN-RODRIGUEZ, M.; RYMER, P. D.; POWER, S. A. Tree traits and microclimatic conditions determine cooling benefits of urban trees. *Atmosphere*, v. 14, n. 3, p. 606, 2023. <https://doi.org/10.3390/atmos14030606>.
- SILVA, L. V. A.; ARAÚJO, I. F.; BENÍCIO, R. M. A.; MORAIS, S. C. de 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, p. 1239-1259, 2020. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.3.p1239-1259>.
- STEADMAN, R. G. The assessment of sultriness: Part I: A temperature humidity index based on human physiology and clothing science. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 18, p. 861-884, 1979.
- TARASHKAR, M.; QURESHI, S.; RAHIMI, A. Exploring perceptions, cognitive factors, and motivations: A study on green structures on residential rooftops. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 96, p. 128356, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128356>.
- ULLAH, S.; ALDOSSARY, A.; ULLAH, W.; AL-GHAMDI, S. G. Augmented human thermal discomfort in urban centers of the Arabian Peninsula. *Scientific Reports*, v. 14, n. 3974, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54766-7>.
- VAHMANI, P.; BAN-WEISS, G. A. Impact of remotely sensed albedo and vegetation fraction on simulation of urban climate in WRF-urban canopy model: A case study of the urban heat island in Los Angeles. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 121, p. 1511-1531, 2016. <https://doi.org/10.1002/2015JD023718>.
- VASCONCELOS, M. P. de; BRAGA, C.; GOUVEIA, G. C.; SOUZA, W. V. de. Romarias no município de Juazeiro do Norte, Ceará: perfil da demanda por atendimento de saúde e sazonalidade de internações. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 24, n. 1, p. 39-48, 2015.
- VO, T. T.; HU, L. Diurnal evolution of urban tree temperature at a city scale. *Scientific Reports*, v. 11, p. 10491, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89972-0>.
- WANG, C.; REN, Z.; DONG, Y.; ZHANG, P.; GUO, Y.; WANG, W.; BAO, G. Efficient cooling of cities at global scale using urban green space to mitigate urban heat island effects in different climatic regions. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 74, p. 127635, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127635>.
- WANG, H.; CAI, Y.; DENG, W.; LI, C.; DONG, Y.; ZHOU, L.; SUN, J.; LI, C.; SONG, B.; ZHANG, F.; et al. The effects of tree canopy structure and tree coverage ratios on urban air temperature based on ENVI-Met. *Forests*, v. 14, p. 80, 2023. <https://doi.org/10.3390/f14010080>.
- YAMTRAI PAT, N.; KHEDARI, J.; HIRUNLABH, J. Thermal comfort standards for air conditioned buildings in hot and humid Thailand considering additional factors of acclimatization and education level. *Solar Energy*, v. 78, n. 4, p. 504-517, 2005.

<https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.07.006>.

YANG, S.; WANG, L.; STATHOPOULOS, T.; MAREY, A. M. Urban microclimate and its impact on built environment – A review. *Building and Environment*, v. 238, p. 110334, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110334>.

YANG, Y.; SONG, F.; MA, J.; WEI, Z.; SONG, L.; CAO, W. Spatial and temporal variation of heat islands in the main urban area of Zhengzhou under the two-way influence of urbanization and urban forestry. *PLoS ONE*, v. 17, n. 8, e0272626, 2022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272626>.

ZALDO-AUBANELL, Q.; SERRA, I.; SARDANYÉS, J.; ALSEDÀ, L.; MANEJA, R. Reviewing the reliability of Land Use and Land Cover data in studies relating human health to the environment. *Environmental Research*, v. 194, p. 110578, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110578>.

ZHANG, X.; CHEN, F.; CHEN, Z. Heatwave and mental health. *Journal of Environmental Management*, v. 332, p. 117385, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117385>.

ZHANG, Y.; DAI, M. Analysis of the cooling and humidification effect of multi-layered vegetation communities in urban parks and its impact. *Atmosphere*, v. 13, n. 12, p. 2045, 2022. <https://doi.org/10.3390/atmos13122045>.

ZIAEEMEHR, B.; JANDAGHIAN, Z.; GE, H.; LACASSE, M.; MOORE, T. Increasing solar reflectivity of building envelope materials to mitigate urban heat islands: state-of-the-art review. *Buildings*, v. 13, n. 11, p. 2868, 2023. <https://doi.org/10.3390/buildings13112868>.

ZITER, C. D.; PEDERSEN, E. J.; KUCHARIK, C. J.; TURNER, M. G. Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 116, n. 15, p. 7575-7580, 2019. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817561116>.

## CONCLUSÕES

Destaca-se a importância da arborização no planejamento de áreas verdes urbanas, evidenciando seus benefícios ambientais e sociais. A recomendação de plantio de espécies nativas, como *Enterolobium contortisiliquum*, *Microdesmia rigida* e *Schinus terebinthifolia*, que demonstraram grande potencial para armazenar carbono e absorver CO<sub>2</sub>, é essencial para a promoção da biodiversidade e sustentabilidade urbana. A Praça da Sé apresentou o maior índice de carbono armazenado (193,25 t) e CO<sub>2</sub> sequestrado (709,24 t). A seleção de espécies e a maturidade das árvores são fundamentais, destacando a necessidade de considerar tanto a quantidade quanto a qualidade e funcionalidade ecológica das árvores.

As praças Rosário e Alexandre Arraes, beneficiadas por uma densa arborização e pela proximidade com a Chapada do Araripe, oferecem microclimas mais amenos graças aos ventos frescos e maior umidade. Em contraste, a Praça Padre Cícero, com cobertura vegetal insuficiente e localizada em um centro comercial movimentado, apresentou temperaturas elevadas e altos índices de calor (IC), frequentemente próximos a 40 °C, especialmente à tarde. Apesar de possuir o maior número de indivíduos, a Praça Padre Cícero registrou um índice de diversidade menor devido à alta concentração de espécies específicas, além de apresentar as maiores médias de temperatura matinais e vespertinas ao longo do ano estudado. Ressalta-se a necessidade de evitar a predominância de *Arecaceae* na arborização urbana, visto que essas espécies não proporcionam sombra suficiente para aliviar o desconforto térmico. Esse problema é evidente na Praça Padre Cícero, onde 36% dos entrevistados consideraram o local desconfortável termicamente, sendo a única em que 58% descreveram a sensação térmica como quente.

Este estudo reforça a urgência de implementar políticas eficazes de conservação e manejo da vegetação urbana para criar ambientes mais saudáveis e sustentáveis. A percepção dos usuários e o uso regular das praças pela população sublinham a importância dessas áreas verdes para o bem-estar mental e físico. Mitigar os efeitos das ilhas de calor urbanas não apenas melhorará a qualidade de vida dos habitantes, mas também promoverá cidades mais resilientes para as gerações futuras. A adoção de estratégias de arborização adequadas pode transformar as áreas urbanas em espaços mais confortáveis, habitáveis e ecologicamente equilibrados, contribuindo significativamente para a saúde e o bem-estar das comunidades urbanas.

## Anexos e Apêndices

Apêndice A. Questionário aplicado no estudo.

Entrevistador: \_\_\_\_\_ Praça: \_\_\_\_\_

Sexo: Feminino ( ) Masculino ( )

Em que bairro/ cidade você mora: \_\_\_\_\_

Qual sua idade? 18-25 anos ( ); 26-35 ( ); 36-45 ( ); 46-55 ( ); 56-65 ( ); acima de 65 ( )

1.Com que frequência você visita essa praça? Todos os dias ( ); Algumas vezes por semana ( ); Algumas vezes por mês ( ); Raramente ( )

2.Qual a principal razão para você visita-lá? Lazer ( ); Atividades físicas ( ); Encontro com família/amigos ( ); Passeio com animais de estimação ( ); Trabalho ( ); Outros ( )

3.Em que período do dia você costuma frequentar? (escolha todas as opções que se aplicam) Manhã ( ); Tarde ( ); Noite ( )

4.Quão familiarizado você está com o tema “Conforto térmico”? Estou bastante familiarizado ( ); Tenho conhecimento básico sobre o assunto ( ); Nunca ouvi falar antes ( )

5.Você acredita que a quantidade de áreas verdes na cidade é suficiente para fornecer conforto térmico adequado? Sim, são suficientes ( ); Em partes ( ); Não, de forma alguma ( ) veio depois no outro txt

6.Você acredita que a presença de árvores em áreas urbanas pode reduzir a temperatura local? Sim, com certeza ( ); Talvez ( ); Não acredito que faça diferença ( )

7.Qual a sua percepção sobre o conforto térmico nessa praça? Muito confortável ( ); Confortável ( ); Neutro ( ); Desconfortável ( ); Muito desconfortável ( )

8.Como você descreve a sua sensação térmica neste momento? Muito quente ( ); Quente ( ); Levemente quente ( ); Neutro ( ); Levemente fresco ( ); Frio ( ); Muito frio ( )

9.Qual a sua percepção sobre o nível de ventilação neste local? Muito bom ( ); Bom ( ); Neutro ( ); Ruim ( ); Muito ruim ( )

10.Qual a sua percepção sobre o nível de sombreamento na praça? A praça tem um ótimo nível de sombreamento, proporcionando conforto térmico aos frequentadores ( ); Eu acho que o nível de sombreamento na praça é bom, mas poderia ser melhorado em algumas áreas ( ); Minha percepção é neutra em relação ao nível de sombreamento nesta praça ( ); Eu acho que o nível de sombreamento na praça é ruim e poderia ser melhorado para garantir mais conforto térmico ( ); O nível de sombreamento na praça é muito ruim e não oferece conforto térmico suficiente para os frequentadores ( )

11.Neste momento, qual seria sua preferência para o ambiente térmico desta praça? Muito mais quente ( ); Mais quente ( ); Nem mais quente e nem mais frio ( ); Pouco mais frio ( ); Muito mais frio ( )

12.Qual a sua percepção sobre a presença de vegetação neste local? A presença de vegetação é muito boa e contribui para o conforto térmico da praça ( ); Eu acho que a presença de vegetação é boa, mas poderia ser melhor distribuída pela praça ( ); Minha percepção é neutra em relação à presença de vegetação nesta praça ( ); Eu acho que a presença de vegetação nesta praça é ruim e poderia ser melhorada ( ); A presença de vegetação neste local é muito ruim e não contribui em nada para o conforto térmico ( )

13. Sim ou Não

As árvores interferem negativamente na iluminação noturna da praça ( ) Sim ( ) Não

Os galhos das árvores podem cair e danificar propriedades ( ) Sim ( ) Não

Os galhos das árvores podem cair e causar ferimentos a transeuntes ( ) Sim ( ) Não

Os galhos e folhas das árvores podem entupir bueiros, causando problemas de drenagem e enchentes em caso de chuvas intensas ( ) Sim ( ) Não

As árvores e suas raízes podem danificar a infraestrutura (por exemplo, linhas de esgoto e calçamento) ( ) Sim ( ) Não

Algumas árvores podem desencadear alergias nas pessoas ( ) Sim ( ) Não

A falta de manutenção periódica pode ocasionar conflitos entre a copa da árvore e a fiação elétrica ( ) Sim ( ) Não