

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA INFLUÊNCIA DO AMBIENTE URBANO
EM PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS (PANCS)**

NATALY DA SILVA DUARTE

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO – 2026**

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA INFLUÊNCIA DO AMBIENTE URBANO EM PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS (PANCS)

NATALY DA SILVA DUARTE

Dissertação apresentada ao Centro de
Biociências e Biotecnologia da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte dos requisitos para a obtenção do
título de Mestre(a) em Biotecnologia Vegetal.

Orientadora: Dra. Maura Da Cunha

Coorientadora: Dra. Laís de Almeida Bezerra

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO – UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO – 2026

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

D812

Duarte, Nataly da Silva.

Avaliação comparativa da influência do ambiente urbano em Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs) / Nataly da Silva Duarte. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2026.

91 f. : il.

Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Biociências e Biotecnologia, 2026.

Orientadora: Maura da Cunha.

Coorientadora: Laís de Almeida Bezerra.

1. Anatomia vegetal. 2. Características bioindicadoras. 3. Citotoxicidade. 4. Ora-pro-nobis. 5. Taioba. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 660.6

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA INFLUÊNCIA DO AMBIENTE URBANO EM PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS (PANCS)

NATALY DA SILVA DUARTE

Dissertação apresentada ao Centro de
Biociências e Biotecnologia da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte dos requisitos para a obtenção do
título de Mestre(a) em Biotecnologia Vegetal.

Aprovada em 06 de março de 2026

Comissão Examinadora:

Dra. Cátia Henriques Callado (Doutora em Ecologia) - UERJ

Dra. Érica de Oliveira Mello (Doutora em Biociências e Biotecnologia) - UENF

Dra. Fernanda Gomes Trindade (Doutora em Biociências e Biotecnologia) – UENF

Dra. Laís de Almeida Bezerra (Doutora em Biologia Vegetal) – UENF
Coorientadora

Dra. Maura Da Cunha (Doutora em Ciências) – UENF
Orientadora

Dedicatória

*Dedico esta dissertação a minha
amada mãe e maior incentivadora
Elenice Duarte.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela minha vida, por me dar saúde e forças para chegar aqui, por nunca me abandonar e não me deixar fraquejar nessa etapa essencial da minha vida acadêmica.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) e ao Laboratório de Biologia Celular e Tecidual (LBCT) pela oportunidade, estrutura e todo o apoio para o desenvolvimento deste trabalho. Em especial, ao Programa de Pós Graduação Biotecnologia Vegetal (PGBV) e seu corpo docente pelo acolhimento e conhecimentos compartilhados.

Aos meus pais, Wilson Afonso Duarte (*in memoriam*) e Elenice da Silva Duarte, por sempre apoiarem os meus sonhos, por todo carinho e amor que me deram desde a infância. Mesmo não estando entre nós, te dedico, pai, mais essa conquista em minha vida, saiba que tudo que mais queria era compartilhar esse momento especial ao seu lado, amo vocês.

Ao meu irmão Warley e meus sobrinhos Davi Luís e David Lucas por todo carinho, admiração e companheirismo que dispõem.

Ao meu namorado Bruno Nascimento por todo o apoio durante os momentos em que mais precisei de ajuda, tanto emocionalmente quanto em saúde física. Obrigada por ouvir minhas lamentações, reclamações e aguentar meus estresses durante os momentos de escrita e por acreditar em mim nos dias que nem eu acreditava que conseguiria concluir esse trabalho, amo você.

À minha orientadora, Dra. Maura Da Cunha, por me acolher mesmo sem conhecer e nunca mediu esforços para fazer com que me sentisse parte da equipe desde o dia que cheguei ao laboratório. Agradeço por todo o incentivo para desenvolver esse trabalho e outros que ainda virão.

À minha coorientadora, Dra. Laís Bezerra, por toda paciência, dedicação, parceria e incentivo que me guiou e sustentou durante os momentos mais difíceis ao longo dessa jornada, certamente não teria chegado até aqui sem os seus ensinamentos. Obrigada por me fazer uma pesquisadora e pessoa melhor.

Aos meus amigos Ana Luiza e Lucas Reis por terem também me acolhido ao integrar a equipe, por me aguentarem, carregarem junto comigo o fardo e responsabilidades da pós graduação, ouvirem os meus lamentos, não me deixarem

desistir nos momentos mais difíceis, por sempre me ajudarem tanto no laboratório e por serem alegria dos meus dias mais tristes.

Aos meus colegas de laboratório Bruna, João Marcelo, Viviane, Fernanda, Lukas, Amanda, Saulo e Marcela por toda a contribuição ao longo desse período.

Às técnicas do LBCT, Bia, Giovana e Marcia Adriana, pelo suporte e ensinamento, e principalmente paciência, dos processos essenciais para o desenvolvimento do trabalho.

Por fim, agradeço a Dra. Cátia Callado, Dra. Érica Mello e Dra. Fernanda Trindade pela disponibilidade de participarem da minha banca de defesa. Ao Dr. João Victor Castelar e Saulo Pireda pela disponibilidade de participar como membro suplente da banca. Agradeço por todas as contribuições dadas.

Este estudo foi financiado, em parte, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001; pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio de Janeiro (FAPERJ CNE E- 26/203.955/2024; E-26/211.339/2021) e UENF. Maura Da Cunha recebeu uma bolsa de produtividade do CNPq (308267/2021-4). Agradecemos ao Centro Multiusuário CME-LBCT por fornecer infraestrutura e a B. F. Ribeiro pelo trabalho técnico no laboratório do LBCT/CBB/UENF.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Áreas de estudo	17
Figura 2: Gráfico representando precipitação e temperatura média	18
Figura 3: Gráfico representando precipitação e temperatura média.	18
Figura 4: Gráfico representando precipitação e temperatura média	10
Figura 5: Gráfico representando qualidade do ar	11
Figura 6: Gráfico representando qualidade do ar	11
Figura 7: Gráfico representando qualidade do ar	12
Figura 8: Imagens da superfície foliar de Ora-pro-nobis.	16
Figura 9: Lâmina foliar em seção transversal de Ora-pro-nobis, observadas por microscopia óptica (MO)	60
Figura 10: Visão geral da superfície foliar de Ora-pro-nobis, observadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV)	61
Figura 11: Folhas diafanizadas de Ora-pro-nobis	29
Figura 12: Boxsplot referentes à densidade de cristais	20
Figura 13: Boxsplots comparando os atributos entre as áreas da Ora-pro-nobis.....	22
Figura 14: Gráfico referente ao teste de citotoxicidade da espécie Ora-pro-nobis.....	23
Figura 15: Análise com EDS: elementos químicos depositados na superfície das folhas.	325
Figura 16: Boxplots referentes à presença de elementos químicos na superfície foliar em Ora-pro-nobis	34
Figura 1: Áreas de estudo	46
Figura 2: Gráfico representando precipitação e temperatura média	46
Figura 3: Gráfico representando precipitação e temperatura média.	47
Figura 4: Gráfico representando precipitação e temperatura média	47
Figura 5: Gráfico representando qualidade do ar	48
Figura 6: Gráfico representando qualidade do ar	49
Figura 7: Gráfico representando qualidade do ar	49
Figura 8: Imagens da superfície foliar de Taioba	53
Figura 9: Lâmina foliar em seção transversal lâmina foliar de Taioba. observadas por microscopia óptica (MO)	55

Figura 10: Visão geral da superfície foliar de Taioba, observadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV)	57
Figura 11: Detalhes dos estômatos de Taioba, observados por microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	58
Figura 12: Folhas diafanizadas de Taioba	60
Figura 13: Boxsplot referentes à densidade de cristais.....	60
Figura 14: Gráfico referente ao teste de citotoxicidade da Taioba.	61
Figura 15: Análise com EDS: elementos químicos depositados na superfície das folhas.	63
Figura 16: Boxplots referentes à presença de elementos químicos na superfície foliar em Taioba	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise química e física do solo das três áreas de estudo.....	75
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

Al – Alumínio;
B – Boro;
Ba – Bário;
C – Carbono;
Ca – Cálcio;
Cd – Cádmio;
Cl – Cloro;
Cs – cristais;
Ct - cutícula;
CTC – capacidade de troca catiônica;
Cu – Cobre;
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;
Ep - epiderme;
Fe – ferro;
FUNDENOR - Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional;
H+Al – maior acidez potencial do solo;
ISNa – índice de saturação de sódio;
K – Potássio;
m - Índice de saturação de alumínio;
Mg – Magnésio;
Mn – manganês;
MO – Matéria orgânica;
Na – Sódio;
Ns – nervuras secundárias;
O – Oxigênio;
P – Fósforo;
Pb – Chumbo;
PI - Parênquima lacunoso;
Pp - Parênquima paliçádico;
SB – soma de bases trocáveis;

Si – Silício;

S-SO₄ – ânion sulfato;

V - Índice de saturação de bases;

Zn – zinco.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3 OBJETIVO	8
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	9
CAPÍTULO 1: INFLUÊNCIA DO AMBIENTE URBANO NA ANATOMIA FOLIAR, DEPOSIÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS E CITOTOXICIDADE DE <i>PERESKIA ACULEATA</i> MILL.....	13
1 INTRODUÇÃO	15
2 METODOLOGIA.....	17
2.1 ÁREAS DE ESTUDOS E CONDIÇÕES DE COLETA.....	17
2.2 ANÁLISE DE SOLO	21
2.3 MICROSCOPIA ÓPTICA	22
2.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	23
2.5 PREPARO DO EXTRATO.....	23
2.6 TESTE DE CITOTOXICIDADE DE EXTRATO ETANÓLICO	24
2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	24
3 RESULTADOS	25
3.1 DESCRIÇÃO ANATÔMICA	25
3.2 DENSIDADE DE CRISTAIS	28
3.3 VARIAÇÃO NOS ATRIBUTOS ANATÔMICOS ENTRE ÁREAS.....	30
3.4 TESTE DE CITOTOXICIDADE	32
3.5 DEPOSIÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS NA FOLHA	33
4 DISCUSSÃO	35
5 CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
CAPÍTULO 2: RESPOSTAS MORFOANATÔMICAS E CITOTÓXICAS DE TAIOBA CULTIVADA EM HORTAS URBANAS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, BRASIL.	44
1 INTRODUÇÃO	46
2 METODOLOGIA.....	48
2.1 ÁREAS DE ESTUDOS E CONDIÇÕES DE COLETA.....	48

2.2 ANÁLISE DE SOLO	53
2.3 MICROSCOPIA ÓPTICA	53
2.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	54
2.5 PREPARO DO EXTRATO	55
2.6 TESTE DE CITOTOXICIDADE DE EXTRATO ETANÓLICO	55
2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	56
3 RESULTADOS	56
3.1 DESCRIÇÃO ANATÔMICA	56
3.2 DENSIDADE DE CRISTAIS	62
3.3 TESTE DE CITOTOXICIDADE	64
3.4 DEPOSIÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS NA FOLHA	64
4 DISCUSSÃO	67
5 CONCLUSÃO	69
6 PERSPECTIVAS FUTURAS	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
MATERIAL SUPLEMENTAR	75

RESUMO

As Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs) têm ganhado crescente relevância no contexto da agricultura urbana devido ao seu elevado potencial nutricional, funcional, econômico e sustentável. Amplamente cultivadas em hortas familiares e comunitárias, essas espécies representam importantes alternativas para promoção da segurança alimentar, especialmente em áreas urbanas socialmente vulneráveis. Entretanto, a expansão urbana desordenada, associada ao aumento da poluição atmosférica, das ilhas de calor e da deposição de contaminantes ambientais, pode interferir diretamente na qualidade, segurança alimentar e propriedades funcionais dessas plantas. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência do ambiente urbano sobre duas espécies de PANCs cultivadas em hortas urbanas da cidade do Rio de Janeiro: Ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill.) e Taioba (*Xanthosoma sagittifolium*). As coletas foram realizadas em três hortas urbanas inseridas em diferentes contextos de urbanização e influência antrópica na cidade do Rio de Janeiro, permitindo a análise comparativa entre áreas com distintos níveis de impacto ambiental. Foram conduzidas análises anatômicas, ultraestruturais e citotóxicas, além da investigação da deposição de elementos químicos na superfície foliar das plantas. Para isso, amostras foliares foram submetidas a técnicas de microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura (MEV), associadas à espectroscopia por energia dispersiva de raio X (EDS), possibilitando a identificação de alterações estruturais e de partículas depositadas sobre as folhas. Também foram realizados testes de citotoxicidade utilizando extratos foliares das espécies analisadas. Os resultados demonstraram que o gradiente de urbanização influencia diretamente atributos morfoanatômicos e a deposição de elementos químicos nas superfícies foliares das PANCs estudadas. Em Ora-pro-nobis, foram observadas alterações relacionadas principalmente à espessura da cutícula, epiderme e mesofilo foliar, além da redução da densidade estomática em áreas mais urbanizadas, indicando mecanismos adaptativos associados à redução da entrada de poluentes e ao controle das trocas gasosas. A espécie apresentou maior estabilidade anatômica entre os ambientes avaliados, evidenciando adaptação estrutural frente aos estressores urbanos. Para a Taioba, os resultados revelaram um aspecto importante relacionado à segurança alimentar e à identificação botânica: embora as plantas fossem popularmente reconhecidas e cultivadas como sendo a mesma espécie, verificou-se a ocorrência de espécies distintas em duas das três hortas analisadas. Além disso, foram observadas diferenças anatômicas significativas, especialmente relacionadas à densidade de cristais em áreas mais impactadas pela urbanização. As análises em MEV-EDS confirmaram a deposição de diferentes elementos químicos na superfície foliar, principalmente nas áreas mais urbanizadas, sugerindo maior exposição aos poluentes atmosféricos. Apesar das alterações estruturais observadas e da presença de elementos químicos depositados nas folhas, os extratos foliares das espécies não apresentaram atividade citotóxica significativa nas condições avaliadas. Os resultados indicam que o ambiente urbano interfere diretamente na organização anatômica e na interação das PANCs com poluentes ambientais, promovendo respostas específicas entre as espécies estudadas. Ora-pro-nobis apresentou maior estabilidade estrutural, enquanto a Taioba demonstrou ser mais sensível às condições do ambiente. Além do potencial dessas espécies como bioindicadoras ambientais, os resultados reforçam a necessidade de monitoramento contínuo da qualidade ambiental em hortas urbanas, bem como da adoção de práticas adequadas de higienização e correta identificação botânica, visando garantir a segurança alimentar e o consumo seguro dessas plantas em ambientes urbanos.

Palavras-chave: Anatomia vegetal; características bioindicadoras; citotoxicidade.

ABSTRACT

Unconventional food plants (UFPs) have gained increasing relevance in the context of urban agriculture due to their high nutritional, functional, economic, and sustainable potential. Widely cultivated in home and community gardens, these species represent important alternatives for promoting food security, especially in socially vulnerable urban areas. However, uncontrolled urban expansion associated with increasing air pollution, urban heat islands, and the deposition of environmental contaminants may directly affect the quality, food safety, and functional properties of these plants. In this context, the present study aimed to evaluate the influence of the urban environment on two PANC species cultivated in urban gardens in the city of Rio de Janeiro: Ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill.) and Taioba (*Xanthosoma sagittifolium*). Samples were collected from three urban gardens located in areas with different levels of urbanization and anthropogenic influence in Rio de Janeiro, allowing comparative analyses among environments with distinct degrees of environmental impact. Anatomical, ultrastructural, and cytotoxic analyses were performed, in addition to the investigation of chemical element deposition on the leaf surfaces of the plants. For this purpose, leaf samples were subjected to optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM) techniques associated with energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), enabling the identification of structural alterations and particles deposited on leaf surfaces. Cytotoxicity assays were also carried out using leaf extracts from the analyzed species. The results demonstrated that the urbanization gradient directly influences morphoanatomical traits and the deposition of chemical elements on the leaf surfaces of the studied PANCs. In Ora-pro-nobis, alterations were mainly related to cuticle, epidermis, and leaf mesophyll thickness, as well as reduced stomatal density in more urbanized areas, indicating adaptive mechanisms associated with reducing pollutant entry and controlling gas exchange. The species showed greater anatomical stability among the evaluated environments, evidencing structural adaptation to urban stressors. For Taioba, the results revealed an important issue related to food safety and botanical identification: although the plants were popularly recognized and cultivated as the same species, distinct species were identified in two of the three analyzed gardens. In addition, significant anatomical differences were observed, especially regarding crystal density in areas more affected by urbanization. SEM-EDS analyses confirmed the deposition of different chemical elements on the leaf surface, mainly in the most urbanized areas, suggesting greater exposure to atmospheric pollutants. Despite the observed structural alterations and the presence of chemical elements deposited on the leaves, leaf extracts from the species did not show significant cytotoxic activity under the evaluated conditions. Overall, the results indicate that the urban environment directly interferes with the anatomical organization and interaction of PANCs with environmental pollutants, promoting species-specific responses. Ora-pro-nobis showed greater structural stability, whereas Taioba proved to be more sensitive to environmental conditions. In addition to the potential of these species as environmental bioindicators, the findings reinforce the need for continuous monitoring of environmental quality in urban gardens, as well as the adoption of proper hygiene practices and correct botanical identification to ensure food safety and the safe consumption of these plants in urban environments.

Keywords: Plant anatomy; bioindicator characteristics; cytotoxicity.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A urbanização, impulsionada pela industrialização e modernização, promove transformações físicas, sociais, econômicas e demográficas. Esses processos, por sua vez, intensificam os problemas ambientais de forma desigual nas áreas urbanas, sendo mais intensos em regiões com menos infraestrutura, geralmente habitadas pela população de baixa renda (Castro, 2023; Chaolin, 2020). Além disso, o crescimento desordenado também pressiona o setor agrícola, pois a expansão urbana, monoculturas e o aumento na utilização de agrotóxicos comprometem a segurança alimentar (Terra; Viera, 2019).

O processo de urbanização modifica o solo e a vegetação natural, o que gera impactos consideráveis no clima local, incluindo a formação de ilhas de calor. Isso ocorre devido à alta impermeabilidade das superfícies urbanas e suas características térmicas, que favorecem o acúmulo de energia e liberação de calor, fenômeno que afeta a qualidade do ar, saúde ambiental e humana (Cosgrove; Berkelhammer, 2018). Projeções indicam aumento nas chuvas e ondas de calor, tornando o clima mais instável (IPCC, 2019).

O rápido processo de urbanização, aliado ao aumento do transporte urbano, é um dos principais responsáveis pela produção de diversos poluentes atmosféricos como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e clorofluorcarbonos (CFCs) com potencial cancerígeno (Araújo *et al.*, 2018; Power *et al.*, 2018). Assim, a poluição atmosférica nas cidades, agravada pelos meios de transporte, compromete a saúde humana e o meio ambiente, tanto em regiões desenvolvidas quanto em desenvolvimento (Gurjar *et al.*, 2008; Hou *et al.*, 2019).

As partículas de poluição no ar podem causar efeitos negativos sobre a vegetação dependendo da sua composição química e da intensidade e distância da fonte emissora (GRANTZ *et al.*, 2003), influenciando diretamente na absorção de elementos químicos pelas folhas das plantas (AMATO-LOURENCO *et al.*, 2016). Assim, o monitoramento dos elementos tóxicos nas plantas deve receber considerável atenção, para eliminar a concentração de metais tóxicos na dieta do consumidor (STREET, 2012), além de constituir um poderoso instrumento de avaliação da saúde ambiental (ECHEM & KABARI, 2013; BARIMA *et al.*, 2014).

Grandes metrópoles como o Rio de Janeiro, são intensamente afetadas por esses tipos de problemas. A Região Metropolitana do Rio de Janeiro possui a segunda maior concentração de população, veículos, indústrias e fontes de poluição do Brasil, fatores que contribuem para problemas locais de qualidade do ar (INEA, 2020). Além disso, o fenômeno de ilha de calor eleva a temperatura no centro do Rio de Janeiro em até 10 °C, em comparação a áreas com maior cobertura vegetal e mais afastadas do centro urbano (Oliveira *et al.* 2017). Fatores locais como relevo, formações geográficas e edifícios verticais são variáveis que influenciam o movimento das massas de ar, criando barreiras que retêm poluentes e elevam a concentração de partículas na atmosfera (Ribeiro, 2020; Silveira, 2021).

Bezerra *et al.* (2020; 2023) evidenciaram que o ambiente urbano do Rio de Janeiro pode impactar significativamente as adaptações estruturais e metabólicas de plantas medicinais. Em estudos com *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae), foram observadas alterações na densidade e no tamanho dos estômatos, acúmulo expressivo de cristais, maior investimento em estruturas secretoras e a presença de regiões de tecido necrosado (Bezerra *et al.*, 2020). Além disso, o extrato foliar de plantas cultivadas em áreas urbanas apresentou atividade citotóxica (Bezerra *et al.*, 2023), destacando a importância de considerar os efeitos do ambiente urbano na segurança e eficácia de fitoterápicos produzidos com espécies provenientes dessas regiões.

Amato-Lourenço *et al.*, (2016) conduziram um estudo em hortas urbanas de São Paulo para investigar a influência da poluição atmosférica em hortaliças. A pesquisa avaliou a absorção de metais pesados e elementos químicos provenientes da poluição e tráfego urbano. Os resultados demonstraram que os poluentes ambientais gerados pelo tráfego veicular influenciam diretamente a absorção de elementos tóxicos pelas plantas fazendo com que os níveis de elementos químicos ultrapassem os limites seguros para consumo humano.

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), destaca a agricultura urbana como estratégia importante para segurança alimentar e preservação do meio ambiente nas metrópoles globais (Prefeitura do RJ, 2021). Diante do crescimento expansivo e da relevância da agricultura urbana para a soberania alimentar da população urbana mais vulnerável, surgiu o Projeto Hortas Cariocas (PHC), no Rio de Janeiro. Lançado em 2006, pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC) e pela Gerência de Agroecologia e Produção Orgânica (Prefeitura do RJ, 2021), o PHC utiliza um sistema orgânico de produção, sem o uso de agroquímicos. Desde 2021, o

projeto foi implementado em 22 comunidades e em 25 escolas da cidade do Rio de Janeiro, beneficiando diversas regiões da cidade (Jardim *et al.*, 2023). Entre as espécies cultivadas nas hortas, destacam-se a Taioba e a Ora-pro-nobis, ambas amplamente consumidas e de grande procura pelas comunidades atendidas.

Contudo, devido à localização das hortas em áreas com diferentes níveis de urbanização e exposição à poluição, surgiu a necessidade de investigar como o ambiente urbano pode influenciar a qualidade e a segurança alimentar dessas PANCs. Entender esses impactos é essencial para garantir o consumo seguro e o máximo aproveitamento dos benefícios nutricionais que essas espécies oferecem.

Dessa forma, alguns questionamentos impulsionaram esse projeto: Em que grau e de que maneira o ambiente urbano influencia, de forma estrutural, anatômica e citotóxica as características das PANCs cultivadas nas hortas urbanas no Rio de Janeiro? Como a atividade citotóxica dos extratos das folhas dessas PANCs varia entre os diferentes locais de coleta?

Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a influência do ambiente urbano em duas espécies de PANCs, analisando alterações anatômicas e ultraestruturais de plantas cultivadas em hortas situadas em diferentes níveis de urbanização, buscando identificar marcadores anatômicos que evidenciem a vulnerabilidade das espécies ao ambiente urbano. Além disso, investigamos o potencial citotóxico dos extratos foliares, avaliando se há indícios de que as condições urbanas representam riscos potenciais para o consumo dessas plantas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O ambiente urbano é caracterizado principalmente por alterações físicas, químicas e climáticas em relação aos ecossistemas naturais, resultantes da impermeabilização do solo, densidade construtiva, tráfego veicular e atividades industriais (Tomatis *et al.*, 2023). Essas modificações promovem a formação de microclimas urbanos, como as ilhas de calor, alteram os regimes de circulação do ar e favorecem o acúmulo de poluentes atmosféricos e particulados, criando condições ambientais heterogêneas (Zheng *et al.*, 2026). Pesquisas recentes apontam que tais características urbanas, potencializadas pelas mudanças climáticas globais, intensificam extremos térmicos, eventos de seca e irregularidade hídrica, além de modificar a dinâmica de deposição de contaminantes no ambiente urbano (Tomatis *et al.*, 2023).

Análises ambientais em áreas urbanas indicam que os solos e a atmosfera das cidades funcionam como reservatórios de elementos químicos, incluindo metais potencialmente tóxicos, cuja distribuição é influenciada por fontes antrópicas como o tráfego e atividade industrial (Trimmel *et al.*, 2024. Srinivasan; Yadav, 2023).

O ambiente urbano estabelece um conjunto de condições ambientais que influenciam no desenvolvimento das plantas, incluindo alterações microclimáticas, como ilhas de calor, mudanças na distribuição hídrica, impermeabilização do solo e maior exposição a poluentes atmosféricos e edáficos (Kisvarga *et al.*, 2025).

Gostin (2009) evidenciou que o aumento da intensidade da urbanização e da poluição do ar está relacionado a mudanças significativas em características morfoanatômicas, como espessamento foliar e reorganização dos tecidos do mesófilo, indicando plasticidade estrutural das plantas frente às condições ambientais urbanas. Mais recentemente, pesquisas têm reforçado que atributos anatômicos podem atuar como importantes bioindicadores da qualidade ambiental urbana, refletindo a interação entre fatores atmosféricos, edáficos e climáticos característicos das cidades (Bezerra *et al.*, 2020; Nkansah *et al.*, 2025).

Quando falamos de plantas e ambiente urbano temos as hortas urbanas que representam uma modalidade de agricultura que tem ganhado crescente atenção no desenvolvimento sustentável das cidades. Essa forma de cultivo, definida como espaços dentro ou nos entornos urbanos destinados à produção de alimentos, combina práticas agrícolas com objetivos sociais e ambientais, contribuindo para a sustentabilidade dos

sistemas alimentares urbanos e o fortalecimento da adaptação comunitária frente a desafios socioeconômicos (Santos; dos Santos, 2025).

Huq e Deacon (2025) evidenciam que hortas urbanas não apenas ampliam o acesso a alimentos frescos e nutritivos, mas também promovem coesão social, inclusão comunitária e bem estar dos envolvidos, além de reforçar estratégias de adaptação urbana diante de pressões como insegurança alimentar e desigualdade social. Estudos recentes destacam desafios associados a essas práticas, incluindo limitações de espaço, acesso à água, qualidade e contaminação do solo ou atmosférica, que requerem abordagens interdisciplinares para garantir a segurança dos alimentos produzidos e a sustentabilidade desses sistemas (Haluza *et al.*, 2025).

As plantas alimentícias não convencionais (PANCs) são plantas típicas de determinadas regiões, que crescem espontaneamente e são comumente cultivadas em agricultura familiar para consumo próprio (Pedrosa *et al.*, 2012). Entre as PANCs, incluem-se hortaliças e legumes que podem ser mais comuns em algumas regiões e não convencionais em outras (Kinupp; Lorenzi, 2014). Essas plantas têm despertado crescente interesse devido ao seu elevado valor nutricional e potencial econômico.

Com o crescimento populacional e os desafios impostos pelas mudanças climáticas, a necessidade de fontes alternativas de nutrientes torna-se cada vez mais urgente, representando uma estratégia fundamental para atender às demandas alimentares de maneira sustentável e resiliente. Desta forma, as PANCs oferecem benefícios nutricionais e tecnofuncionais. Essas plantas são ricas em macronutrientes, como proteínas, e em compostos bioativos, representando uma solução promissora para problemas globais de segurança alimentar e sustentabilidade (Milião *et al.*, 2022).

Popularmente conhecida no Brasil como Ora-pro-nobis, *Pereskia aculeata* Mill. é uma espécie da família Cactaceae, sua distribuição é predominante entre os estados da Bahia e Rio Grande do Sul. Diferentemente dos cactos típicos, que são suculentas sem folhas e cobertas por espinhos, os representantes do gênero *Pereskia* apresentam características únicas: são árvores ou arbustos de folhas largas, mas mantêm elementos típicos da família Cactaceae, como aréolas espinhosas, cálices florais nodosos e segmentos de perianto múltiplos (Butterworth e Wallace, 2005). Essa planta não possui sazonalidade, podendo ocorrer em qualquer época do ano, sendo amplamente cultivada e utilizada em áreas subdesenvolvidas (Dayrell e Vieira, 1977). Rica em nutrientes, Ora-pro-nobis destaca-se por seu elevado valor alimentício e farmacológico. Suas folhas, isentas de toxicidade, possuem uma composição nutricional significativa em base seca:

23% de proteínas, 31% de carboidratos, 14% de minerais, 8% de lipídios e 4% de fibras alimentares solúveis, além de um expressivo teor de vitaminas A, C e E, compostos fenólicos, carotenoides e flavonoides (Nogueira *et al.*, 2023).

A Taioba como é conhecida popularmente no Brasil, pertence à família Araceae, *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott é uma planta com folhas largas, longas e espessas, marcadas por veias proeminentes (Araújo *et al.*, 2019). Embora o tubérculo dessa planta seja a sua parte mais consumida, as folhas também possuem elevado valor nutricional, sendo excelente fonte de proteínas, fibras, minerais e vitaminas (Araújo *et al.*, 2019; Duarte *et al.*, 2024). A Taioba é considerada uma PANC de manejo simples e baixo custo, sendo consumida em várias regiões do mundo, incluindo América Central e do Sul, Havaí, África Ocidental e Ásia Tropical (Castro, 2006). No Brasil, é mais consumida em Minas Gerais e Rio de Janeiro, geralmente refogada (Sepúlveda-nieto *et al.*, 2017).

Segundo Lebot, Ivančič, Lawac (2024) e Sakuragui *et al.*, (2026) a espécie é facilmente confundida com outra espécie da família (*Colocasia esculenta* (L.) Schott.), que apresenta folhas peltadas, com a inserção do pecíolo no centro do limbo enquanto Taioba apresenta folhas sagitadas com inserção marginal do pecíolo. Para a distinção entre os gêneros outro ponto de convergência entre as espécies é a presença da nervura marginal coletora, uma assinatura morfológica (Sakuragui *et al.* 2026). Alguns sinônimos para *X. sagittifolium* são: *X. appendiculatum* Oesterr., *X. atrovirens* C. Koch & C.D. Bouché, *X. aureum* E.G. Gonç., *X. mafaffa* Schott “Linea tum”, *X. monstuosum* E.G. Gonç., *X. panduriforme* E.G. Gonç., *X. roseum* Schott, e *X. violaceum* Schott) (Lebot, Ivančič, Lawac, 2024). Além da frequente confusão entre *Xanthosoma sagittifolium* e *Colocasia esculenta*, estudos recentes indicam que a identificação da “taioba verdadeira” no contexto de hortas urbanas pode envolver ainda maior complexidade taxonômica, considerando a existência de diferentes espécies e linhagens cultivadas sob a mesma denominação popular. A utilização indistinta do termo “taioba” para designar morfotipos distintos pode mascarar variações estruturais, fisiológicas e químicas relevantes, com implicações diretas para a segurança alimentar e para a interpretação de respostas ao ambiente urbano (Lebot, Ivančič, Lawac, 2024).

Nesse sentido, o trabalho com PANCs alinha-se diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, promovendo avanços em diversas metas globais: ODS 2 – As PANCs contribuem para a diversificação alimentar e a segurança nutricional, especialmente em comunidades vulneráveis, oferecendo alimentos ricos em nutrientes e de fácil acesso. Além disso, incentivam práticas de

agricultura sustentável. ODS 3 – Com elevado valor nutricional, as PANCs podem auxiliar na prevenção de doenças relacionadas à má alimentação, promovendo dietas equilibradas e saudáveis. ODS 12 – As PANCs promovem o aproveitamento de recursos locais e reduzem o desperdício, ao valorizar alimentos que, muitas vezes, são negligenciados ou descartados. ODS 13 – O cultivo de PANCs, por ser adaptado a condições adversas e demandar menos insumos químicos, contribuindo para práticas sustentáveis de consumo.

Sabendo dessa influência do ambiente urbano nas plantas e que agricultura urbana está cada vez mais comum e necessária, fica claro a necessidade de estudar essa relação em PANCs. Dessa forma, compreender como essas PANCs respondem estruturalmente ao ambiente urbano, bem como avaliar sua interação com elementos químicos potencialmente tóxicos e seus efeitos citotóxicos, torna-se essencial para fundamentar políticas públicas voltadas à agricultura urbana e à promoção da segurança alimentar. É nesse contexto que se insere o presente estudo, ao investigar, sob uma abordagem integrada, as alterações anatômicas e citotóxicas de PANCs cultivadas em hortas urbanas submetidas a distintos níveis de influência antrópica.

3 OBJETIVO

Analisar como diferentes contextos de urbanização influenciam a organização anatômica foliar, o acúmulo de elementos químicos e a resposta citotóxica de espécies cultivadas como Taioba e Ora-pro-nobis em hortas urbanas do Rio de Janeiro, identificando padrões de plasticidade estrutural e potenciais implicações para a qualidade ambiental e segurança alimentar.

3.1 Objetivos específicos

- Comparar a organização anatômica foliar das espécies estudadas entre áreas com diferentes níveis de influência urbana, identificando marcadores anatômicos associados à plasticidade fenotípica e à intensidade de urbanização.
- Verificar a ocorrência e variação espacial de elementos químicos nas superfícies foliares e sua associação com contextos urbanos distintos.
- Comparar a resposta citotóxica dos extratos foliares entre áreas de cultivo, analisando se o contexto urbano influencia o potencial biológico das espécies avaliadas.
- Integrar os dados anatômicos, elementares e citotóxicos a fim de discutir o potencial das espécies como bioindicadoras da influência urbana e suas implicações para o consumo em hortas comunitárias.
- Verificar a ocorrência de diferentes espécies sendo cultivadas e comercializadas sob a mesma denominação popular, por meio da caracterização morfoanatômica das plantas amostradas, visando contribuir para a correta identificação taxonômica e para a segurança alimentar dos consumidores

Os resultados encontrados no presente trabalho foram divididos em dois capítulos para produção de artigos científicos. Sendo eles:

CAPÍTULO 1: Influência do ambiente urbano na anatomia foliar, deposição de elementos químicos e citotoxicidade de *Pereskia aculeata* Mill.

CAPÍTULO 2: Respostas morfoanatômicas e citotóxicas de Taioba cultivada em hortas urbanas na cidade do Rio de Janeiro, Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMATO-LOURENCO, L. F. *et al.* The influence of atmospheric particles on the elemental content of vegetables in urban gardens of Sao Paulo, Brazil. **Environmental Pollution**, v. 216, p. 125-134, 2016.
- ARAÚJO, P. C. C. *et al.* Uso de carvão ativado na remoção de CO₂. **Sci Plena**, v. 14, p. 1-9, 2018.
- ARAÚJO, S.S. *et al.* ARGANDOÑA, E.J.S. Bromatology, food chemistry and antioxidant activity of *Xhantosoma sagittifolium* (L.) Schott. **Emir. J. Food Agric.** 31 (3), 188–195, 2019.
- BARIMA, Y. *et al.* Assessing atmospheric particulate matter distribution based on Saturation Isothermal Remanent Magnetization of herbaceous and tree leaves in a tropical urban environment. **Science of the total environment**, v. 470, p. 975-982, 2014.
- BEZERRA, L. de A.; CALLADO, C.H.; CUNHA, M. D. Does an urban environment affect leaf structure of *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae)? **Acta Botanica Brasilica**, v. 34, n. 2, p. 266-276, 2020.
- BUTTERWORTH, C.A.; WALLACE, R. S. Molecular phylogenetics of the leafy cactus genus *Pereskia* (Cactaceae). **System Bot** 30:800808, 2005.
- CASTRO, A. O. C. de. Impactos da urbanização nas condições geomorfológicas da bacia hidrográfica do **Rio das Pedras–Jacarepaguá–RJ**, 2023.
- CASTRO, G. R. Studies on cocoyam (*Xanthosoma* spp.) in Nicaragua, with emphasis on Dasheen mosaic virus. Tese doutorado. **Swedish University of Agricultural Sciences**, 2006.
- CHAOLIN, G. Urbanization. **International encyclopedia of human geography**, v. 14, p. 141-153, 2020.
- COSGROVE, A.; BERKELHAMMER, M. Downwind footprint of an urban heat island on air and lake temperatures. **Climate and Atmospheric Science** 1: 1-10, 2018.
- DAYRELL, M. S.; VIEIRA, E. C. Leaf protein concentrate of the cactacea *Pereskia aculeata* Mill. I. Extraction and composition. **Nutr Rep Int** 15:529537, 1977.
- DUARTE, S.P.A. *et al.* Valorization of taioba products and by-products: focusing on starch. **Foods** 13(15), 2415, 2024.
- ECHEM, O. G.; KABARI, L. G. Heavy Metal Content in Bitter Leaf (*Vernonia amygdalina*) Grown Along Heavy Traffic Routes in Port Harcourt. In: **Agricultural Chemistry**. InTech, 2013.
- GOSTIN, I. N. Air pollution effects on the leaf structure of some Fabaceae species. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 37, n. 2, p. 57-63, 2009.

GRANTZ, D.A. *et al.* Ecological effects of particulate matter. **Environment international**, v. 29, n. 2-3, p. 213-239, 2003.

GURJAR, B. R. *et al.* Evaluation of emissions and air quality in megacities. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 7, p. 1593-1606, 2008.

HALUZA, D. *et al.* Urban Gardening and Public Health—A Bibliometric Analysis. **Sustainability**, 17, 1309, 2025.

HOU, S. *et al.* Pollution characteristics, sources, and health risk assessment of human exposure to Cu, Zn, Cd and Pb pollution in urban street dust across China between 2009 and 2018. **Environment International**, v. 128, p. 430-437, 2019.

HUQ, F.F., DEACON, L. A systematic review of community gardens and their role in urban food security and resilience. **Discov Sustain** 6, 696, 2025.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente (RJ). Relatório da qualidade do ar do Estado do Rio de Janeiro: ano base 2024 / Instituto Estadual do Ambiente (RJ). – **Rio de Janeiro**, 2024.

IPCC – International Panel on Climate Change. Climate change and Land - Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. **WMO, UNEP**, 2019.

JARDIM, F. *et al.* How is a Community Urban Garden Program Related to the Law? Analysis of Hortas Cariocas (Rio de Janeiro, Brazil). **U. St. Thomas JL & Pub. Pol'y**, v. 16, p. 198, 2023.

KINUPP, V. F.; LORENZI, H. Plantas Alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. **São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora**, 768 p., 2014.

LEBOT, V.; IVANČIČ, A.; LAWAC, F. Cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott) genetic resources and breeding: a review of 50 years of research efforts. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 72, n. 3, p. 2593-2612, 2024.

MILIÃO, G. Leite *et al.* Unconventional food plants: Nutritional aspects and perspectives for industrial applications. **Future Foods**, v. 5, p. 100124, 2022.

NKANSAH, F. K. Air pollution and plant responses: A study on morphological and anatomical changes in roadside trees along traffic-dense roads. **BMC Environmental Science**, v. 2, n. 1, p. 16, 2025.

NOGUEIRA, N. F. S. *et al.* *Pereskia aculeata* Miller as a novel food source: a review. **Foods**, v. 12, n. 11, p. 2092, 2023.

OLIVEIRA, M. T. de; GANEM, K. A.; BAPTISTA, G. M. de M. Análise sazonal da relação entre sequestro de carbono e ilhas de calor urbanas nas metrópoles de São Paulo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 4, p. 807-825, 2017.

PEDROSA, M. W. *et al.* Hortaliças não convencionais: saberes e sabores. **Belo Horizonte**, p. 22, 2012.

POURKHABBAZ, A. *et al.* Influence of environmental pollution on leaf properties of urban plane trees, *Platanus orientalis* L. **Bull Environ Contam Toxicol.** 85(3):251-5, Sep 2010.

POWER, M. C. *et al.* The association of long-term exposure to particulate matter air pollution with brain MRI findings: the ARIC study. **Environmental Health Perspectives**, v. 16, p. 027009.1-027009.8, 2018.

RIBEIRO, E. V. *et al.* Comportamento do vento e aspectos geomórficos que condicionam a movimentação da pluma de poluentes atmosféricos do distrito industrial de Pirapora-MG. **GEOgraphia**, v. 22, n. 48, 2020.

SAKURAGUI, C.M. *et al.* More than one taioaba: morpho-anatomical differentiation of Araceae species sold under a single vernacular name and their relevance for food quality and identification. **Brazilian Journal of Botany**, v. 49, n. 1, p. 4, 2026.

SANTOS, C. J. S.; DOS SANTOS, L. M. Agricultura Urbana e Hortas Urbanas: Sustentabilidade, Segurança Alimentar e Inclusão Social no Contexto das Cidades contemporâneas. **Diversitas Journal**, [S. l.], v. 10, n. 2, 2025.

SEPÔLVEDA-NIETO, M. D. P. *et al.* Accessible Morphological and Genetic Markers for Identification of Taioaba and Taro, Two Forgotten Human Foods. **Horticulturae**, v. 3, n. 4, p. 49-52, 2017.

SILVEIRA, T. S. *et al.* Análise do clima e relevo na concentração de material particulado em Madrid (Espanha) e São Paulo (Brasil). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 520-543, 2021.

SRINIVASAN, K., YADAV, V. K. An integrated literature review on Urban and peri-urban farming: Exploring research themes and future directions. **Sustainable cities and society**, v. 99, p. 104878, 2023.

STREET, R.A. Heavy metals in medicinal plant products – an African perspective. **South African Journal of Botany.**, v. 82, p. 67–74, 2012.

TERRA, S. B.; VIERA, C. T. R. Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs): levantamento em zonas urbanas de Santana do Livramento, RS. **Ambiência, Guarapuava, PR**, v. 15, n. 1, p. 112-130, 2019.

TOMATIS, F. *et al.* Urban Gardening in a Changing Climate: A Review of Effects, Responses and Adaptation Capacities for Cities. **Agriculture**, 13, 502, 2023.

TRIMMEL, S. *et al.* Compost amendment in urban gardens: elemental and isotopic analysis of soils and vegetable tissues. **Environ Sci Pollut Res** 31, 47022–47038, 2024.

ZHENG, Z. *et al.* A Systematic Review of Urban Heat Island (UHI) Impacts and Mitigation: Health, Equity, and Policy. **Systems**, 14, 82, 2026.

CAPÍTULO 1: Influência do ambiente urbano na anatomia foliar, deposição de elementos químicos e citotoxicidade de *Pereskia aculeata* Mill.

RESUMO

As Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs) têm se destacado no contexto da agricultura urbana devido ao seu elevado potencial nutricional, funcional e sustentável. Entre essas espécies, a Ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill.) apresenta grande importância alimentar e farmacológica, sendo amplamente cultivada em hortas urbanas e comunitárias. Entretanto, a crescente urbanização e a intensificação da poluição atmosférica podem interferir diretamente na qualidade e segurança dessas plantas. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a influência do ambiente urbano sobre Ora-pro-nobis cultivada em hortas urbanas da cidade do Rio de Janeiro, por meio de análises anatômicas, ultraestruturais e citotóxicas, além da investigação da deposição de elementos químicos na superfície foliar. As amostras foram coletadas em três hortas urbanas inseridas em áreas com diferentes níveis de urbanização e influência antrópica. Para as análises anatômicas, folhas foram processadas segundo protocolos específicos, sendo avaliados parâmetros morfoanatômicos relacionados à epiderme, cutícula, mesofilo e densidade estomática. Também foram realizadas análises em microscopia eletrônica de varredura (MEV) associadas à espectroscopia por energia dispersiva de raios X (EDS), permitindo identificar partículas e elementos químicos depositados sobre a superfície foliar. Os resultados demonstraram que o gradiente de urbanização influencia diretamente a organização anatômica e a interação da espécie com poluentes atmosféricos. Foram observadas alterações estruturais principalmente relacionadas ao espessamento da cutícula, da epiderme e do mesofilo foliar, além da redução da densidade estomática nas áreas mais urbanizadas, indicando possíveis mecanismos adaptativos voltados à redução da entrada de poluentes e ao controle das trocas gasosas. As análises em MEV-EDS confirmaram maior deposição de elementos químicos na superfície foliar das plantas cultivadas em ambientes urbanos mais impactados. Apesar das alterações anatômicas observadas, os extratos foliares não apresentaram atividade citotóxica significativa nas condições avaliadas. Os resultados evidenciam elevada plasticidade estrutural de Ora-pro-nobis frente aos estressores urbanos e reforçam o potencial da espécie como bioindicadora ambiental. Além disso, o estudo destaca a importância do monitoramento ambiental e da adoção de práticas adequadas de higienização para garantir a segurança alimentar no consumo de PANCs cultivadas em áreas urbanas.

Palavras-chave: Anatomia vegetal; Ora-pro-nobis; *Pereskia aculeata*.

ABSTRACT

Unconventional food plants (UFPs) have gained prominence in the context of urban agriculture due to their high nutritional, functional, and sustainable potential. Among these species, Ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill.) has important nutritional and pharmacological value and is widely cultivated in urban and community gardens. However, increasing urbanization and intensified atmospheric pollution may directly interfere with the quality and safety of these plants. In this context, this study aimed to evaluate the influence of the urban environment on Ora-pro-nobis cultivated in urban gardens in the city of Rio de Janeiro through anatomical, ultrastructural, and cytotoxic analyses, as well as the investigation of chemical element deposition on the leaf surface. Samples were collected from three urban gardens located in areas with different levels of urbanization and anthropogenic influence. For the anatomical analyses, leaves were processed according to specific protocols, and morphoanatomical parameters related to the epidermis, cuticle, mesophyll, and stomatal density were evaluated. Scanning electron microscopy (SEM) analyses associated with energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) were also performed, allowing the identification of particles and chemical elements deposited on the leaf surface. The results demonstrated that the urbanization gradient directly influences the anatomical organization and the interaction of the species with atmospheric pollutants. Structural changes were mainly related to increased cuticle, epidermis, and mesophyll thickness, as well as reduced stomatal density in more urbanized areas, indicating possible adaptive mechanisms aimed at reducing pollutant entry and controlling gas exchange. SEM-EDS analyses confirmed greater deposition of chemical elements on the leaf surface of plants cultivated in more impacted urban environments. Despite the anatomical alterations observed, leaf extracts did not show significant cytotoxic activity under the evaluated conditions. The results demonstrate the high structural plasticity of Ora-pro-nobis in response to urban stressors and reinforce the potential of the species as an environmental bioindicator. Furthermore, the study highlights the importance of environmental monitoring and the adoption of proper hygiene practices to ensure food safety in the consumption of PANCs cultivated in urban areas.

Keywords: Plant anatomy; Ora-pro-nobis; *Pereskia aculeata*.

1 INTRODUÇÃO

Diversos estudos têm demonstrado que o ambiente urbano exerce influência sobre a anatomia e a estrutura dos tecidos vegetais, sobretudo em função da exposição contínua a estressores como poluição atmosférica, ilhas de calor, alterações microclimáticas e deposição de material particulado (Pourkhabbaz *et al.*, 2010). Plantas estabelecidas em áreas urbanas frequentemente apresentam modificações anatômicas foliares, incluindo variações na espessura da lâmina, alterações na densidade e no tamanho dos estômatos, modificações na cutícula epidérmica e maior acúmulo de compostos fenólicos e cristais, respostas frequentemente associadas a mecanismos de defesa e adaptação ao estresse ambiental (Pourkhabbaz *et al.*, 2010).

Plantas expostas ao ambiente urbano frequentemente apresentam modificações anatômicas e morfofisiológicas, incluindo alterações na espessura foliar, densidade estomática e acúmulo de cristais, como mecanismos de aclimação e defesa frente aos estressores ambientais, especialmente a poluição atmosférica e as alterações microclimáticas urbanas (Alves *et al.*, 2008; Gostin, 2009; Bezerra *et al.*, 2020).

As condições ambientais da Região Metropolitana do Rio de Janeiro favorecem o acúmulo de poluentes atmosféricos em níveis potencialmente capazes de interferir na fisiologia e composição química de plantas medicinais e alimentícias. Evidências científicas indicam que a urbanização e a poluição atmosférica podem modificar atributos anatômicos, metabólicos e citotóxicos dessas espécies, ressaltando a importância do monitoramento ambiental e da avaliação da segurança de plantas cultivadas em ambientes urbanos (De Farias, 2019).

Nesse contexto, O aumento da população mundial aliado aos impactos das mudanças climáticas tem intensificado a busca por alternativas alimentares capazes de suprir as demandas nutricionais de forma sustentável. Nesse cenário, as PANCs destacam-se como recursos promissores por apresentarem elevado valor nutricional. Essas espécies são fontes importantes de macronutrientes, especialmente proteínas, além de compostos bioativos de interesse funcional, contribuindo como alternativas viáveis para o fortalecimento da segurança alimentar e da sustentabilidade global (Milião *et al.*, 2022).

Dentre as espécies de PANCs mais cultivadas em ambientes urbanos está a *Ora-pro-nobis*, *Pereskia aculeata* Mill., uma espécie da família Cactaceae amplamente distribuída no Brasil. Diferentemente dos cactos convencionais, caracteriza-se por

apresentar folhas largas e persistentes, embora mantenha estruturas típicas da família, como aréolas com espinhos (Butterworth e Wallace, 2005). A espécie possui fácil cultivo, ocorrência ao longo de todo o ano e elevado potencial alimentício e farmacológico. Suas folhas apresentam alto valor nutricional, sendo ricas em proteínas, carboidratos, minerais, vitaminas e compostos bioativos, como fenólicos, carotenoides e flavonoides (Nogueira *et al.*, 2023).

Considerando os impactos do ambiente urbano sobre as plantas e a crescente importância da agricultura urbana, torna-se fundamental investigar essa relação em PANCs. Com isso, compreender as respostas estruturais dessas espécies às condições urbanas, bem como sua interação com elementos potencialmente tóxicos e possíveis efeitos citotóxicos, é essencial para subsidiar ações voltadas à segurança alimentar e ao desenvolvimento de políticas públicas para agricultura urbana. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar alterações anatômicas, elementos químicos nas superfícies foliares e respostas citotóxicas em *Ora-pro-nobis* cultivadas em hortas urbanas sob diferentes níveis de influência antrópica.

2 METODOLOGIA

2.1 Áreas de estudos e condições de coleta

Os locais de estudo são hortas comunitárias do Projeto Hortas Cariocas. As hortas foram escolhidas para representar um gradiente de urbanização e poluição, incluindo áreas mais arborizadas e regiões altamente urbanizadas estrategicamente localizadas na cidade do Rio de Janeiro, Brasil: (Área 1) Horta Anil, localizada próximo ao Parque Nacional da Tijuca (-22.965250, -43.342694); (Área 2) Horta Getúlio, que está localizada às margens da Avenida Brasil (-22.850361, -43.383333) e (Área 3) Horta Manguinhos (-22.881194, -43.252139) (Figura 1), localizada dentro da comunidade Manguinhos, cujo tráfego é intenso, onde já foram detectados poluentes citotóxicos e mutagênicos (INEA, 2020; RAINHO *et al.*, 2013).

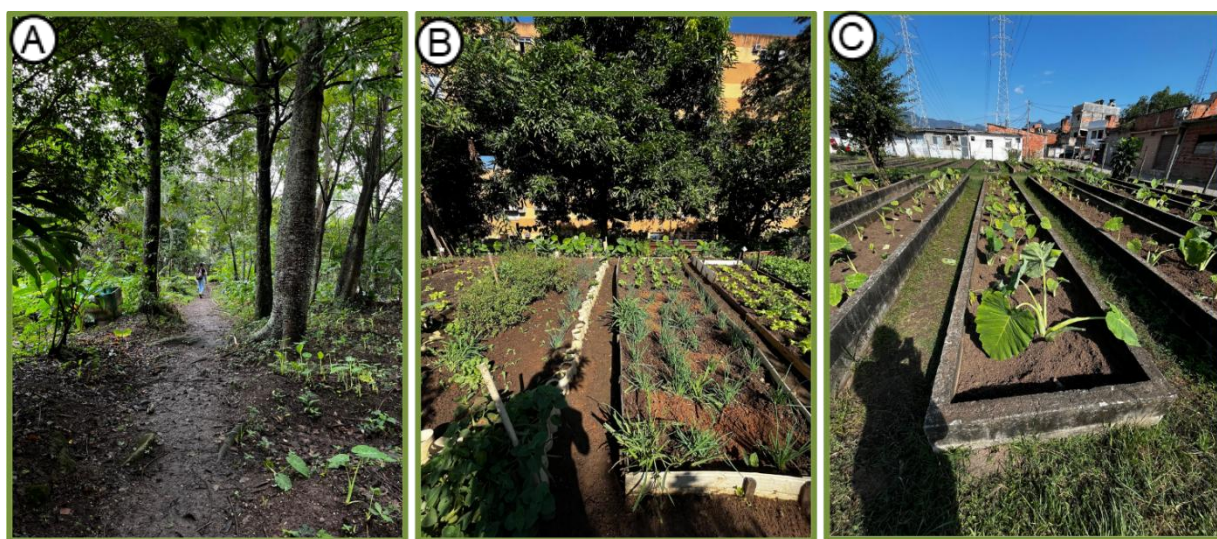


Figura 1: Áreas de estudo A - Área 1 (Horta Anil), próxima ao Parque Nacional da Tijuca; B - Área 2 (Horta Getúlio), às margens da Avenida Brasil; e C - Área 3 (Horta Manguinhos), localizada dentro da comunidade Manguinhos.

Os dados climáticos foram obtidos através das estações meteorológicas do Sistema de Alerta Rio (Rio de Janeiro) mais próximas de cada um dos locais determinados: Estação Meteorológica de Rio Centro para a Área 1 (Figura 2), Irajá para a Área 2 (Figura 3) e São Cristóvão para a Área 3 (Figura 4). Os gráficos mostram as características ambientais de cada local.

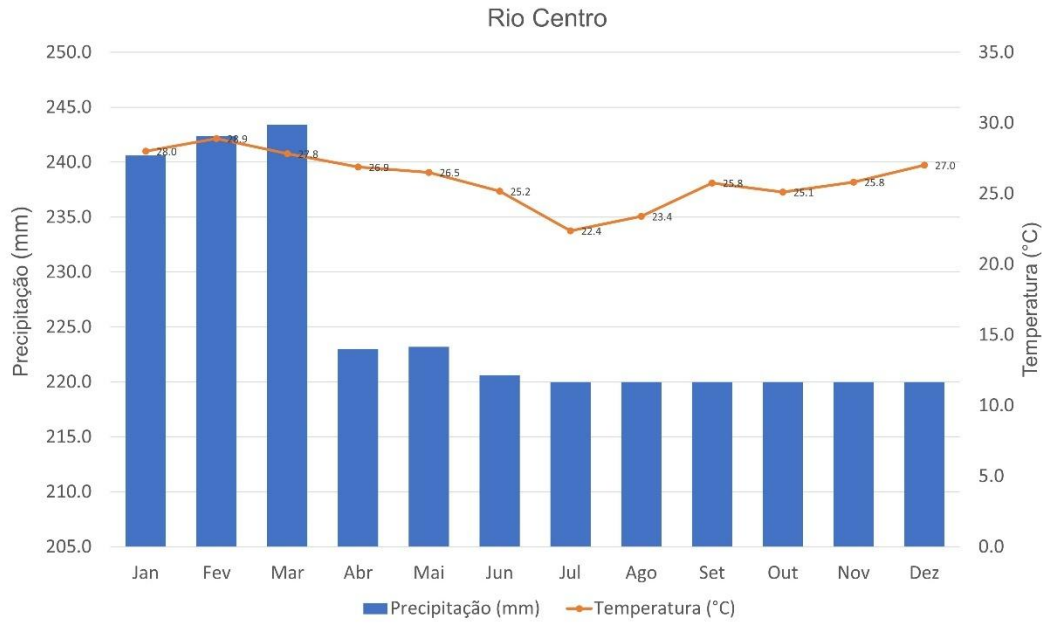


Figura 2: Gráfico representando precipitação e temperatura média para o ano de 2024, estação meteorológica Rio Centro para Área 1.

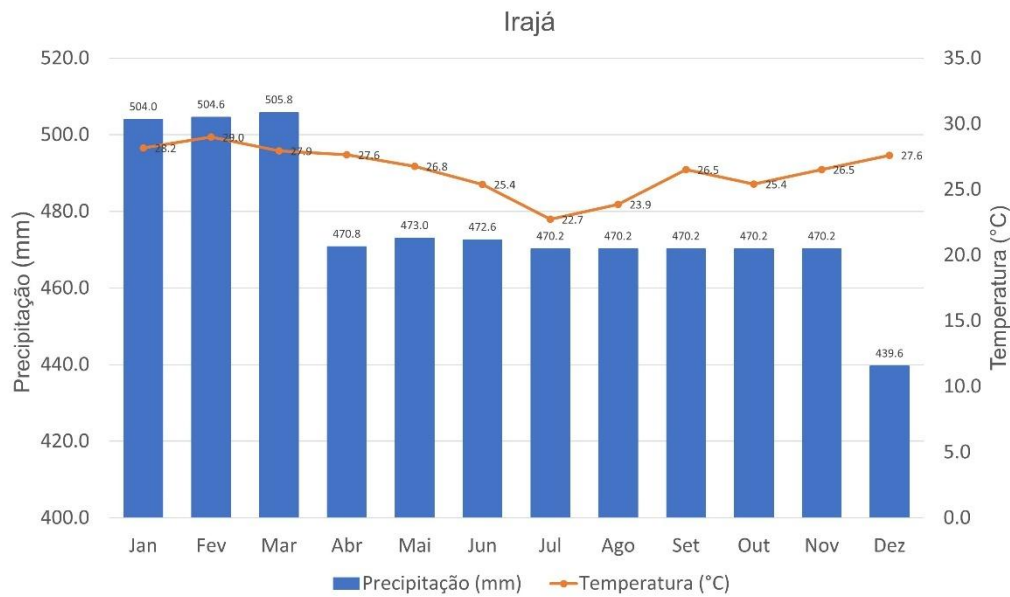


Figura 3: Gráfico representando precipitação e temperatura média para o ano de 2024, estação meteorológica Irajá para Área 2.

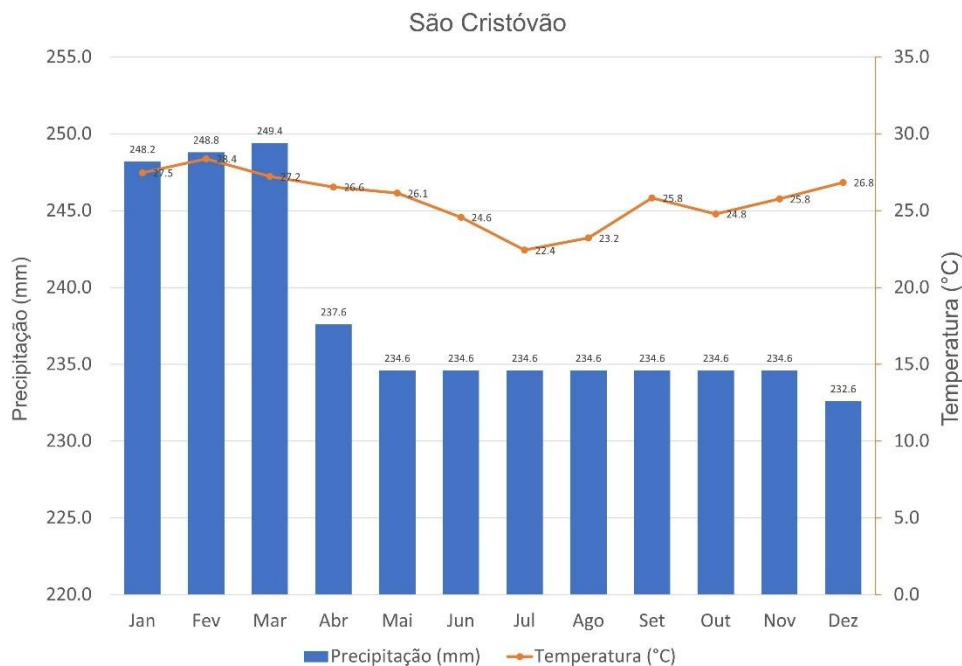


Figura 4: Gráfico representando precipitação e temperatura média para o ano de 2024, estação meteorológica São Cristóvão para Área 3.

Para análise de qualidade do ar foram utilizados dados do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) para o ano de 2024 nas estações meteorológicas de Taquara para a Área 1 (Figura 5), Engenhão para a Área 2 (Figura 6) e Manguinhos para a Área 3 (Figura 7). A horta com maior incidência urbana apresentou as maiores concentrações médias de ozônio, foram registrados episódios classificados como “Ruim” e “Muito Ruim”, com concentrações máximas de até 179 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ultrapassando o padrão estabelecido pela legislação brasileira (140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 15 vezes ao longo do ano (INEA, 2024). A Área 2 apresentou 1 moderada, 2 ruins e 2 muito ruins. Área 1 não apresentou valores enquadrados nessa classificação.

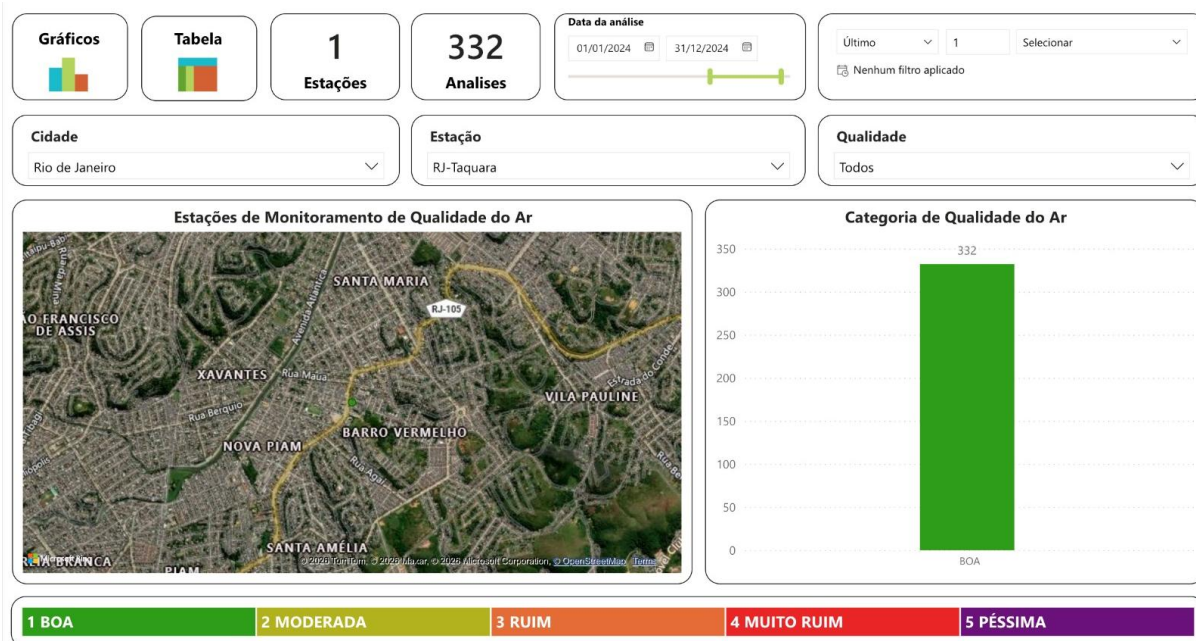


Figura 5: Gráfico representando qualidade do ar para o ano de 2024, estação de monitoramento Taquara para Área 1.



Figura 6: Gráfico representando qualidade do ar para o ano de 2024, estação de monitoramento Engenho para Área 2.



Figura 7: Gráfico representando qualidade do ar para o ano de 2024, estação de monitoramento Manguinhos para Área 3.

As amostras foliares de Ora-pro-nobis foram coletadas nas três hortas selecionadas. Observações em situ foram realizadas para analisar as características macroscópicas das plantas, com foco na identificação de possíveis danos visíveis, como a presença de pontos de necrose ou alterações na coloração das folhas. Exemplos dos indivíduos coletados foram depositados no herbário da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF).

2.2 Análise de solo

Para a caracterização química do solo foram feitas coletas das 3 hortas designadas, sendo três amostras de solo em três pontos diferentes por espécie, coletando a uma profundidade de aproximadamente 10,0 cm, totalizando 18 amostras nos locais de estudo. A serrapilheira ou camada de pedra será removida antes da coleta do solo. As coletas seguiram o protocolo estabelecido pela Empresa Brasileira Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e analisados pela Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional (FUNDENOR). O solo possui pH de neutro a levemente alcalino, alta fertilidade, elevada saturação por bases, ausência de alumínio trocável e baixa acidez potencial, indicando condições químicas favoráveis. Os teores de fósforo, enxofre, carbono e matéria orgânica variaram entre as amostras, assim como os cátions

trocáveis, com predomínio de cálcio na Área 1. Os micronutrientes apresentaram heterogeneidade espacial, enquanto o índice de saturação por sódio manteve-se baixo.

Quanto à textura, observou-se variação entre os pontos amostrados, com predomínio da fração de areia, seguida por argila e silte, caracterizando solos de textura média a arenosa. Em conjunto, os resultados indicam heterogeneidade físico-química entre as áreas, mantendo, porém, um padrão geral de solos bem supridos em bases e com baixa limitação química.

2.3 Microscopia óptica

Para análise anatômica, amostras da região mediana das folhas do terceiro nó foram fixadas em campo de acordo Karnovsky (1965), modificado por Da Cunha *et al.* (2000) em solução aquosa de 2,5% de glutaraldeído, 4,0% de formaldeído e tampão de cacodilato de sódio a 0,05 M e pH 7,2, lavadas em tampão cacodilato 0,05 M pH 7,2 e pós-fixado em 1% de tetróxido de ósmio. As amostras foram então desidratadas em uma graduação série de acetona. Posteriormente, o material foi infiltrado com Resina sintética Epon®. As amostras foram então seccionadas em micrótomo rotativo, nas espessuras de 5 µm. Os cortes histológicos foram corados por Azul de Toluidina O (O'BRIEN; FEDER; MCCULLY, 1964), montados em Entellan® e observados sob microscopia de luz. A análise foi realizada com o auxílio do microscópio óptico (Axioplan, ZEISS, Alemanha) e as imagens obtidas através de uma câmera de vídeo acoplado a um sistema de captura de imagens (Moticam Pro 282B, Hong Kong). Os seguintes parâmetros foliares foram avaliados: espessura da epiderme nas faces adaxial e abaxial (em µm), do parênquima paliçádico (em µm), do parênquima lacunoso (em µm) e do mesofilo (em µm); comprimento dos estômatos e tricomas tectores (em µm); frequência/mm² de estômatos e de tricomas tectores e glandulares; e área dos tricomas glandulares (em µm). Vinte e cinco campos foram examinados para cada folha investigada. A contagem de cristais foi realizada a partir da diafanização de cinco folhas por indivíduo seguindo o método adaptado de Strittmatter (1973). O material fixado foi inserido em etanol 96% e fervido em placa aquecedora por 10 minutos. Em seguida, o material foi transferido para uma mistura de hidróxido de sódio 5% e etanol 96%, em uma proporção 1:1, e fervido em placa aquecedora de 5-10min, o tempo para ferver pode variar de acordo com a consistência do material. Após ferver, o material foi lavado em

água corrente, depois em água destilada e transferido para água sanitária 50% até tornar-se transparente, o tempo para clarificar varia de acordo com o material. Por fim, o material clarificado foi corado com Safranina, montado em lâminas semipermanentes e visualizadas em microscópio óptico (Axioplan, ZEISS, Alemanha). As análises foram realizadas utilizando sistema digital de processamento de imagens Image-Pro Express 6.0.

2.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para análise anatômica das superfícies foliares, amostras da região mediana das folhas do terceiro nó foram fixadas em solução aquosa de 2,5% de glutaraldeído, 4,0% de formaldeído e tampão de cacodilato de sódio a 0,05 M e pH 7,2 (KARNOVSKY, 1965, modificado por DA CUNHA *et al.*, 2000), desidratadas em série alcoólica ascendente (JOHANSEN, 1940) e submetidas ao ponto crítico de CO₂ líquido, com o auxílio do aparelho Bal-Tec Critical Point Dryer CPD 030. Em seguida, os fragmentos secos foram aderidos com fita adesiva de carbono em suportes próprios e cobertos com uma fina camada de ouro de 20 nm (Bal-Tec Sputer Coater SCD 050). As imagens foram obtidas no microscópio eletrônico de varredura (MEV) (JEOL JSM-IT210) a uma voltagem de 15 KV. A análise e o mapeamento espacial dos elementos químicos depositados na superfície foliar foram realizados em folhas frescas adquiridas nas hortas designadas, utilizando espectroscopia por dispersão de energia de raios X (EDS). As amostras de Ora-pro-nobis e Taioba foram examinadas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) (JEOL JSM-IT210), com seis áreas aleatórias analisadas na face adaxial de cada folha. Os elementos presentes foram identificados e quantificados.

2.5 Preparo do extrato

Para testes de citotoxicidade foram coletados dois quilos de folhas das espécies, o material vegetal foi seco a temperatura ambiente, em seguida, com auxílio de um moinho de facas, triturado. O material triturado passou por maceração exaustiva, utilizando-se o solvente etanol. Este procedimento resultou em uma solução que ao ser concentrada, em pressão reduzida no evaporador rotativo, resultou em extratos brutos (NOGUEIRA *et al.*, 2021).

2.6 Teste de citotoxicidade de extrato etanólico

O teste de citotoxicidade foi realizado para avaliar o potencial citotóxico de extratos etanólicos de folhas e verificar possíveis diferenças entre amostras provenientes de áreas com diferentes níveis de urbanização. Células epiteliais LLC-MK2 (ATCC® CCL-7™, rim de *Macaca mulatta*) foram cultivadas em frascos de 25 cm² contendo meio RPMI 1640 (Sigma Aldrich, EUA), suplementado com 10% de soro fetal bovino (SFB), mantidas a 37 °C em atmosfera com 5% de CO₂. A cada 48 horas ou após a formação de monocamadas confluentes, as culturas foram tratadas com solução de tripsina/EDTA (Sigma-Aldrich, EUA) para obtenção de subculturas. A viabilidade das células hospedeiras após o tratamento com os compostos foi avaliada com base na redução do MTT [3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazólio brometo] (Sigma-Aldrich, EUA). Em placas de 96 poços, foram cultivadas 1×10^5 células por poço em meio DMEM suplementado com 5% de soro fetal bovino (FBS). As células foram lavadas e tratadas com os compostos em diferentes concentrações. Como controle negativo, as células foram cultivadas nas mesmas condições, porém sem adição dos compostos. Como controle positivo, as células foram tratadas com 10% de Triton X-100. Após 24 horas de tratamento, foi adicionada solução de MTT (5 mg/mL em DMEM) a cada poço, e a placa foi incubada por 4 horas a 37 °C, em atmosfera com 5% de CO₂. Os cristais de formazan resultantes foram solubilizados com a adição de 150 µL de DMSO. Um volume de 150 µL do sobrenadante de cada poço foi transferido para uma nova placa de 96 poços e lido a 570 nm utilizando um leitor de microplacas VersaMax (Molecular Devices) e o software SoftMax Pro 6.0.

2.7 Análise estatística

Todos os resultados quantitativos foram analisados estatisticamente com o software R, versão 4.2.1 (R Core Team, 2024). Os dados foram inicialmente avaliados quanto à normalidade e homogeneidade de variâncias por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Quando ambos os testes foram atendidos, aplicou-se ANOVA, seguida do teste de Tukey para comparações múltiplas. Para variáveis que não atenderam ao teste de normalidade e/ou homogeneidade, utilizou-se o teste não

paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dunn com correção de Bonferroni para identificar diferenças entre pares de indivíduos. (ZAR, 2010).

3 RESULTADOS

3.1 Descrição anatômica

Ora-pro-nobis (Figura 8A, B, C) apresentada *in natura*, destacando seus aspectos morfológicos gerais nas áreas de cultivo analisadas. Observa-se, em Ora-pro-nobis, folhas simples, carnosas e de coloração verde intensa, inseridas em ramos suculentos, A disposição foliar, o formato do limbo, a consistência e a superfície das folhas são evidentes na imagem, permitindo a identificação da planta.

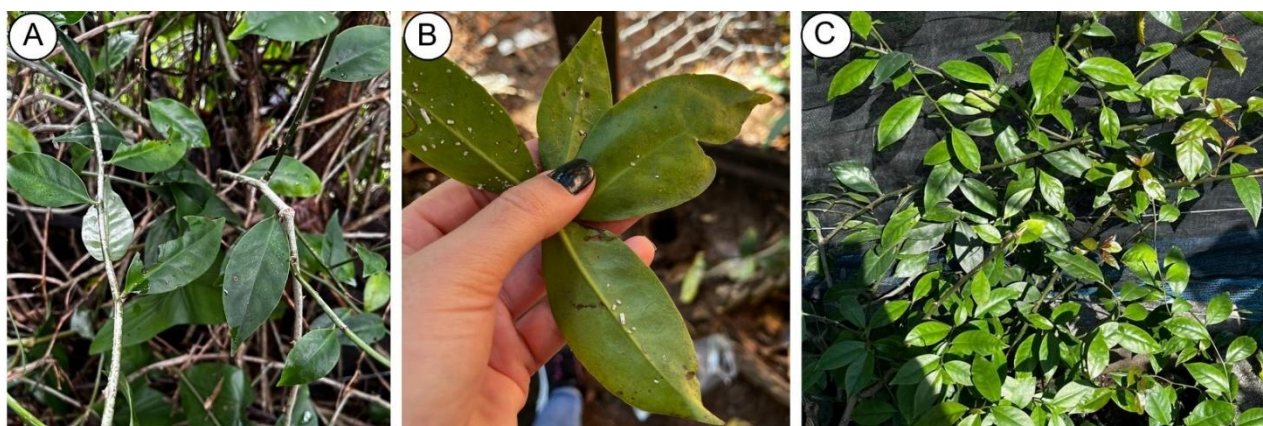


Figura 8: Imagens da superfície foliar de Ora-pro-nobis. – A, B, C. Área 1 (Horta Anil) – A. Área 2 (Horta Getúlio) – B. Área 3 (Horta Manguinhos) – C.

Em seção transversal, Ora-pro-nobis apresenta epiderme unisseriada com cutícula espessa. O mesofilo é dorsiventral exibindo parênquima paliçádico logo abaixo da epiderme adaxial, sendo constituído por cerca de quatro a oito camadas de parênquima paliçádico atípico, cujas células são largas, curtas e pouco diferenciadas do parênquima esponjoso. Este é multiestratificado, forma pequenos espaços intercelulares (Figura 9). Drusas de oxalato de cálcio (Figura 11A, B, C) e células isodiamétricas com conteúdo mucilaginoso (Figura 9A, B) são observados na lâmina foliar (Figura 9). A nervura central é plano-convexa, a epiderme exibe as mesmas características da lâmina foliar e o parênquima paliçádico é contínuo. O feixe vascular, em formato de arco aberto, percorre a nervura e é envolto por uma bainha amilífera.

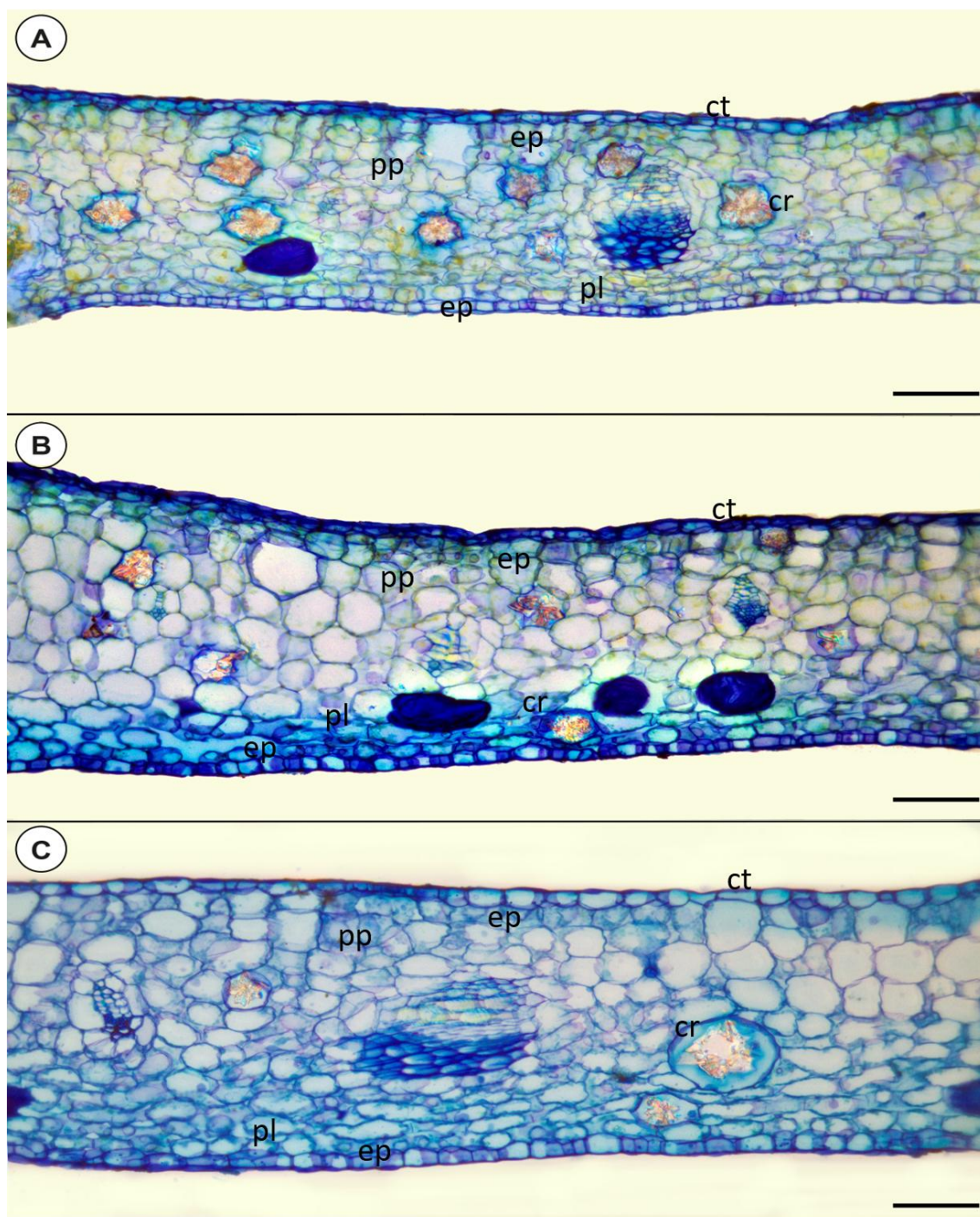


Figura 9: Lâmina foliar em seção transversal de *Ora-pro-nobis*, observadas por microscopia óptica (MO), corados com azul de toluidina. A – Área 1. B – Área 2. C – Área 3. Siglas: ct-cutícula, ep-epiderme, cr-cristais, pp-parênquima paliádico, pl-parênquima lacunoso. Barra 100 μm.

Em vista frontal a epiderme é estriada. Os estômatos estão presentes nas duas faces, configurando uma folha anfiestomática, estes são paracíticos apresentando maior densidade na face abaxial (Figura 10B, D, F). Foi observado na superfície foliar a presença de hifas, principalmente nos indivíduos da Área 1 (Figura 10A), e material particulado aderido à epiderme especialmente nas hortas das áreas mais urbanizadas (Figura 10C, D, E, F).

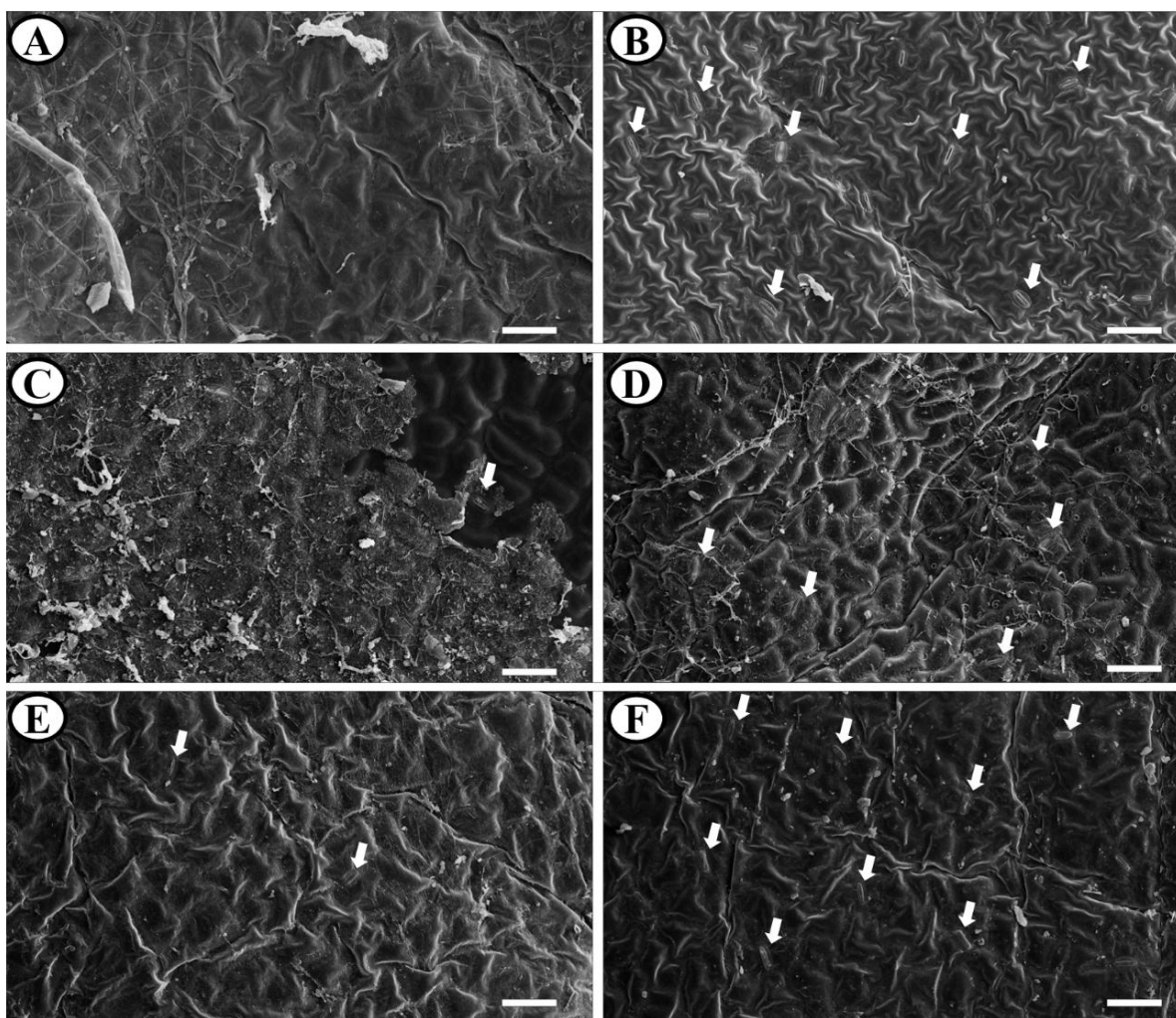


Figura 10: Visão geral da superfície foliar de *Ora-pro-nobis*, observadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A, B – Área 1; C, D – Área 2; E, F – Área 3. A, C e E – Superfície adaxial. B, D e F – Superfície abaxial. Setas indicando estômatos. Barra 20 μm .

3.2 Densidade de cristais

A densidade de cristais foi avaliada para *Ora-pro-nobis*, considerando indivíduos provenientes de três áreas com diferentes níveis de urbanização. As médias de densidade de cristais foram semelhantes entre as áreas (Figura 12A). Os resultados indicam que a densidade de cristais não variou de forma significativa em relação às áreas de cultivo (Figura 12A).

De forma geral, os resultados indicam padrões distintos entre as espécies (capítulo 2), com ausência de variação espacial na densidade de cristais em *Ora-pro-nobis* e aumento significativo desse parâmetro em *Taioba* na área 3 (capítulo 2), sugere respostas específicas da espécie às condições ambientais dos locais de cultivo.

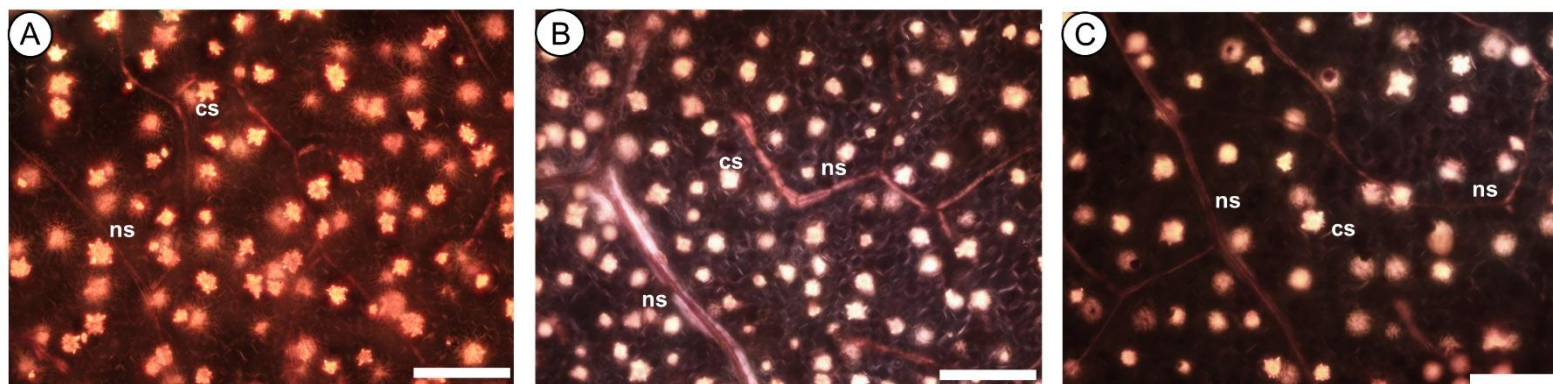


Figura 11: Folhas diafanizadas de *Ora-pro-nobis*, observadas por MO, evidenciando cristais e nervuras. A, B, C – *Ora-pro-nobis*. Área 1 – A. Área 2 – B. Área 3 – C. cs: cristais. ns: nervura secundária Barra 100 μm .

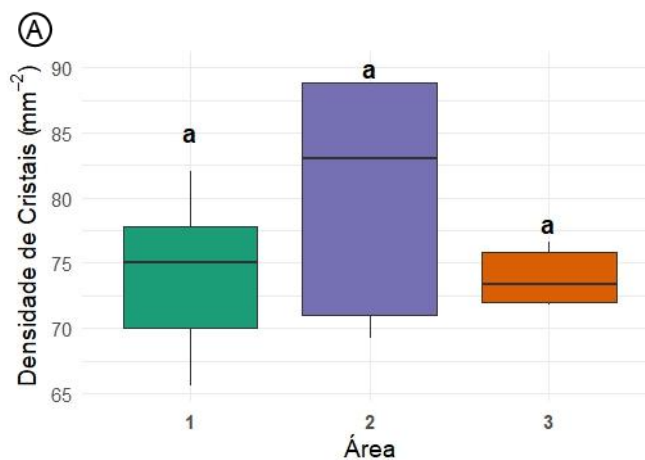


Figura 12: Boxsplot referentes à densidade de cristais entre as áreas. (A) *Ora-pro-nobis*.

3.3 Variação nos atributos anatômicos entre áreas

Ao comparar os indivíduos de *Ora-pro-nobis* de cada horta coletada, os resultados indicaram diferenças anatômicas significativas entre as hortas, destacando-se o mesofilo (Figura 13A), epiderme adaxial e cutícula abaxial (Figura 13D, G), que variaram entre todas as hortas. Não houve diferença significativa na espessura do parênquima paliçádico entre Áreas 2 e 3, que apresentaram os maiores valores em relação a Área 1 (Figura 13B), enquanto o lacunoso apresentou maior espessura na Área 2 (Figura 13C). A epiderme abaxial e cutícula adaxial variaram, com a Área 3 sendo a única a apresentar variações significativas em relação às demais (Figura 13E; Figura 13F). Na cutícula adaxial, Áreas 1 e 2 foram parecidas, mas ambas diferiram da Área 3 (Figura 13F).

Observou-se variação significativa na densidade estomática entre as áreas estudadas, com indivíduos da Área 1 apresentando maior densidade em comparação com as Áreas 2 e 3 (Figura 13H), indicando respostas semelhantes sob condições urbanas mais intensas. Em contrapartida, o tamanho dos estômatos não apresentou variações estatisticamente significativas entre as áreas (Figura 13I).

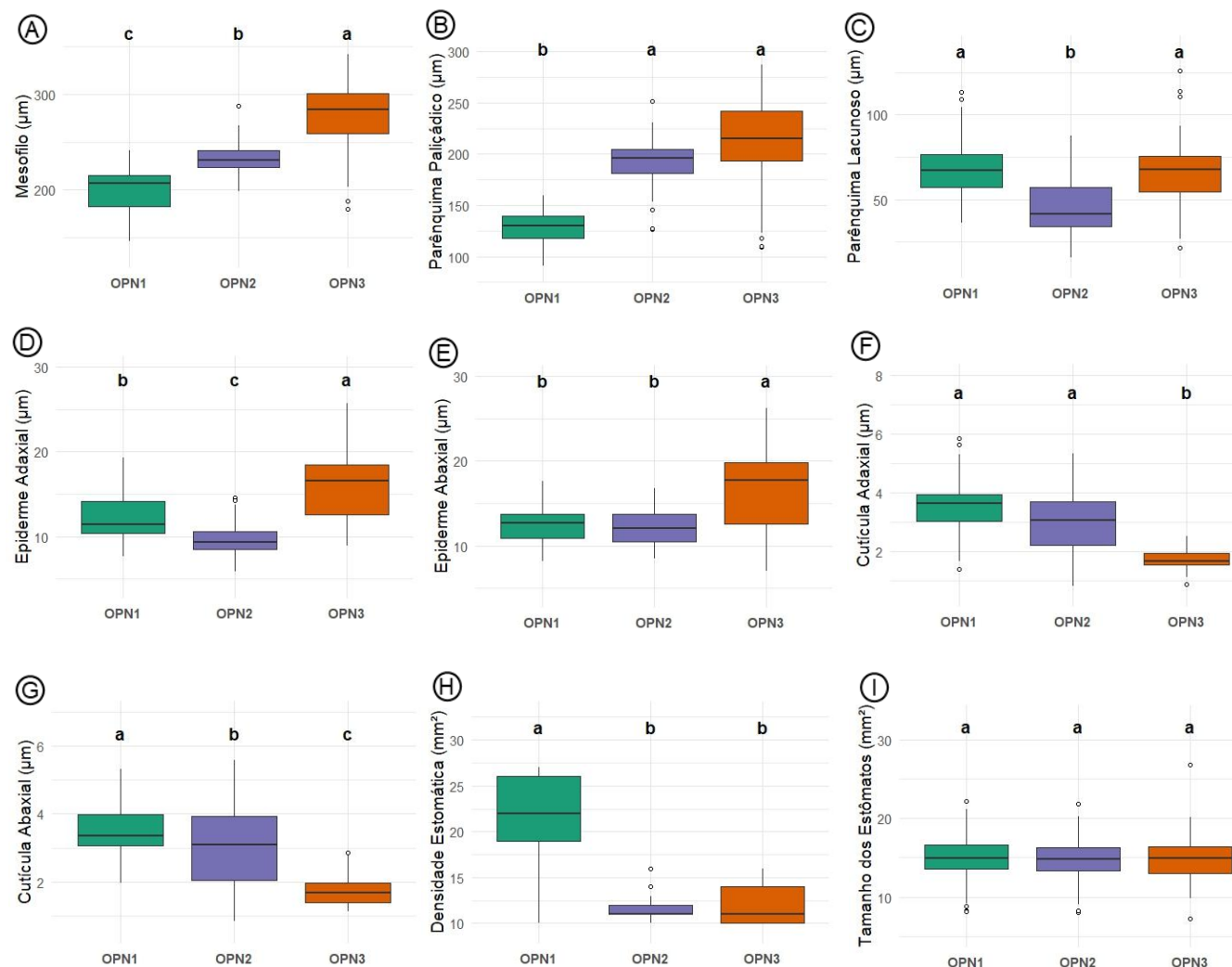


Figura 13: Boxplots comparando os atributos entre as áreas da Ora-pro-nobis. (A) Espessura do mesofilo. (B) Espessura do parênquima palicádico. (C) Espessura do parênquima lacunoso. (D) Espessura da epiderme adaxial. (E) Espessura da epiderme abaxial. (F) Espessura da cutícula adaxial. (G) Espessura da cutícula abaxial. (H) Densidade estomática. (I) Tamanho dos estômatos.

3.4 Teste de citotoxicidade

A avaliação da citotoxicidade dos extratos das PANCs foi conduzida de forma exploratória. A comparação entre as áreas foi realizada nas concentrações de 10, 50, 100, 200 e 500 µg/mL. Para Ora-pro-nobis (Figura 15A) indica que a resposta citotóxica variou em função da concentração dos tratamentos. Nas três áreas avaliadas, as menores concentrações (10 e 50 µg/mL) apresentaram valores mais elevados de resposta citotóxica, enquanto as maiores concentrações (100, 200 e 500 µg/mL) resultaram em redução significativa da resposta, formando grupos estatisticamente inferiores. Entre as áreas não foi observado variação na resposta citotóxica. De modo geral, o padrão foi semelhante entre as áreas, indicando que a resposta citotóxica é dependente da concentração e apresenta diferenças pontuais associadas às condições ambientais de cada área.

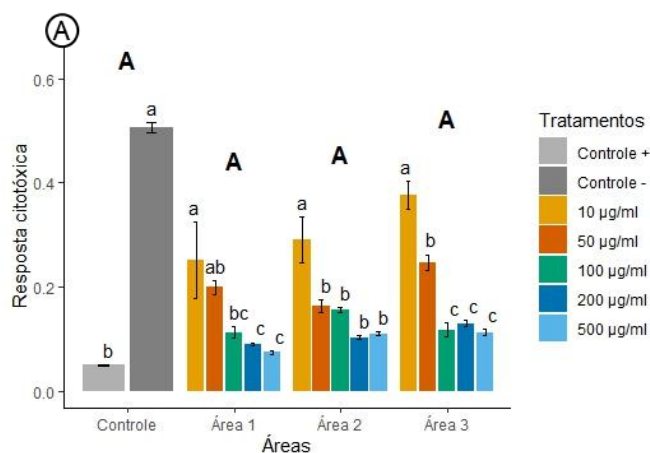


Figura 14: Gráfico referente ao teste de citotoxicidade da espécie Ora-pro-nobis (A).

3.5 Deposição de elementos químicos na folha

Para Ora-pro-nobis a análise com EDS identificou treze elementos químicos depositados na superfície das folhas: C, O, Mg, Cl, K, Al, Si, Ca, Cu, Zn, Cd, Ba e Pb (Figura 15A, B, C). Dentre os identificados nas amostras foliares obtidas nas três áreas, o Pb e Zn apresentaram maiores valores na Área 3. O Cd foi mais elevado na Área 1, embora presente em menores proporções na Área 3. Estatisticamente K e Cl apresentaram a maior proporção dentre todos os elementos (Figura 16A-B).

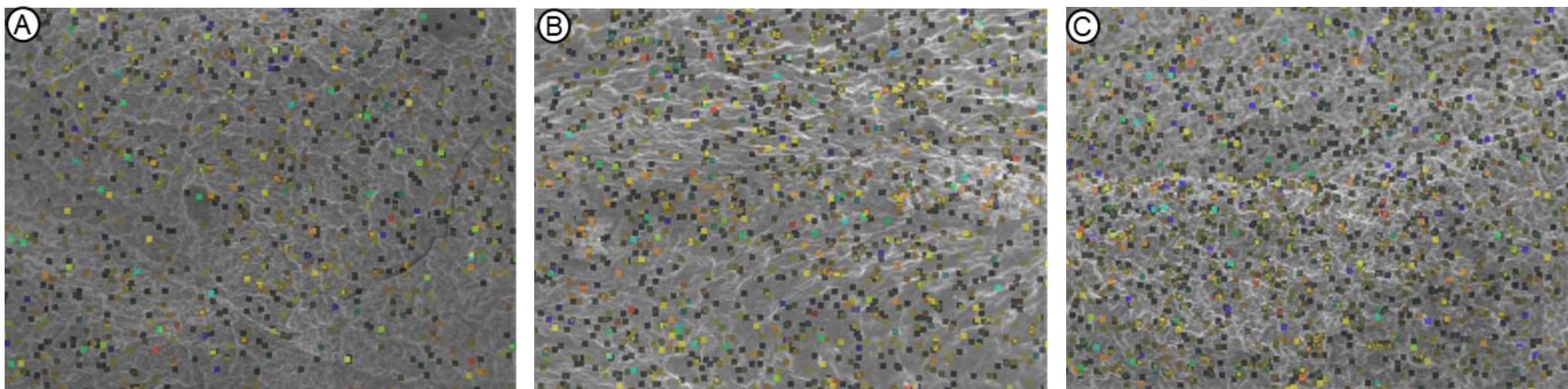


Figura 15: Análise com EDS: elementos químicos depositados na superfície das folhas. (A) Área 1, (B) Área 2, (C) Área 3. Cada pontilhado colorido representa um elemento químico diferente detectado na superfície foliar de Ora-pro-nobis.

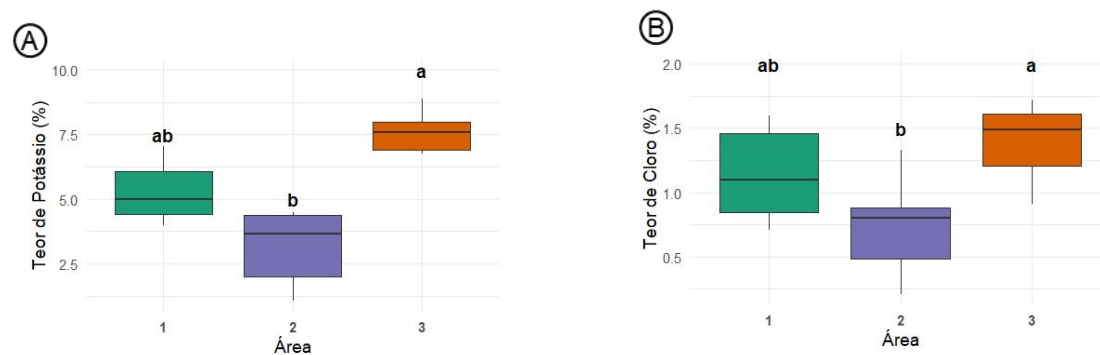


Figura 16: Boxplots referentes à presença de elementos químicos na superfície foliar em Ora-pro-nobis (A) teor de potássio. (B) teor de cloro.

4 DISCUSSÃO

Análises estruturais podem ser esclarecedoras em estudos sobre o impacto do ambiente urbano nas plantas, possibilitando identificar diferentes estratégias adaptativas e diferentes graus de tolerância da planta (GRANTZ *et al.*, 2003; SANT'ANNA-SANTOS *et al.*, 2012).

A anatomia foliar de *Ora-pro-nobis* revelou epiderme unisseriada, mesofilo dorsiventral com parênquima paliçádico e lacunoso, presença de drusas de oxalato de cálcio e células mucilaginosas e nervura central com feixe vascular em arco aberto. Essas características anatômicas são comuns às descritas anteriormente para a espécie, nas quais se observa epiderme uniestratificada com cutícula, estômatos paracíticos em ambas as faces (Duarte; Hayashi, 2005). Algumas dessas características são adaptações da planta ao ambiente em que se desenvolvem (Cravalheiro; Camargo; Ludwig, 2023).

A estrutura anatômica foliar dos indivíduos na Área 3 (Figura 9C), de maior influência urbana, revelou uma plasticidade fenotípica mais acentuada quando comparada à Área 1 (Fernandes *et al.*, 2014). Esse fenômeno, caracterizado pela formação de “folhas de sol”, ocorre em condições de alta intensidade luminosa. Nessas circunstâncias, as folhas desenvolvem adaptações morfoanatômicas e fisiológicas específicas para maximizar a eficiência fotossintética e reduzir possíveis danos causados pelo excesso de radiação, resultando, entre outras alterações, no espessamento do mesofilo (Kim, *et al.*, 2005). Tal ajuste anatômico manifesta-se pelo maior desenvolvimento da camada do parênquima paliçádico, acompanhado pelo encurtamento do parênquima lacunoso (Hertel *et al.*, 2021). Em ambientes urbanos com alta incidência solar, essa reestruturação é fundamental para otimizar a distribuição de fótons para os cloroplastos e proteger o aparato fotossintético (Fernandes *et al.*, 2014).

O estudo realizado por Papadopoulou, *et al.*, (2023) corrobora essa interpretação ao demonstrar que células paliçádicas mais alongadas funcionam como uma barreira fisiológica, minimizando os danos oxidativos que seriam agravados pela deposição de poluentes sobre o limbo foliar. Além disso, a redução proporcional do parênquima lacunoso nessas condições sugere uma tentativa da planta de diminuir os espaços intercelulares. Enquanto o parênquima paliçádico foca na fotossíntese e proteção, a compactação do tecido lacunoso pode reduzir a vulnerabilidade interna, a entrada de gases tóxicos e poluentes particulados, embora imponha um desafio ao equilíbrio das

trocas gasosas de CO₂ (Khosropour *et al.*, 2018). Assim, os dados deste trabalho indicam que a Ora-pro-nobis utiliza a plasticidade do tecido paliçádico como uma estratégia adaptativa, moldando sua arquitetura interna para funcionar mesmo sob as condições adversas do ambiente urbano.

Além das variações observadas no mesofilo, os resultados obtidos para Ora-pro-nobis revelaram um aumento significativo na espessura da epiderme abaxial e cutícula adaxial nos indivíduos da Área 3. Essa evidência corrobora com as observações de Khosropour *et al.* (2018), que descrevem o espessamento das camadas externas como uma resposta protetiva em plantas de ambientes urbanos. Paralelamente, a maior espessura da epiderme abaxial observada neste estudo reforça a robustez estrutural da folha, conferindo-lhe uma maior resistência estrutural. Essa reorganização das camadas superficiais atua em conjunto com o espessamento do parênquima paliçádico: enquanto a epiderme minimiza a perda de água e o dano externo por poluentes, o tecido interno garante a eficiência do aparato fotossintético. Assim, os resultados para a Ora-pro-nobis na área urbana demonstram um ajuste morfoanatômico, onde a planta investe tanto na proteção de superfície quanto na otimização interna.

A modulação da densidade estomática representa uma estratégia morfoanatômica aclimatativa às condições microambientais impostas pela urbanização, como alterações na disponibilidade hídrica, temperatura e concentração de CO₂ atmosférico (Zu, *et al.*, 2016; Chua, Lau, 2024; Hao, *et al.*, 2023; Bertolino, Caine, Gray, 2019). Os resultados observados para a espécie de estudo, nos quais a Área 1 (menos urbanizada) apresentou maior densidade estomática em comparação às Áreas 2 e 3 (mais urbanizadas), são consistentes com evidências de que ambientes urbanos com maior exposição a emissões veiculares podem reduzir a densidade estomática foliar.

Nkansah (2025) investigou árvores ao longo de gradientes de tráfego intenso, onde indivíduos localizados em áreas de menor poluição apresentaram maior densidade estomática, enquanto plantas expostas a concentrações mais elevadas de poluentes, como NO₂ e material particulado, exibiram redução nesse parâmetro. Esse padrão sugere que a diminuição da densidade estomática pode representar uma estratégia de ajuste estrutural frente ao estresse urbano, possivelmente associada à limitação das trocas gasosas e à modulação da entrada de poluentes. Além disso, a ausência de variância no tamanho estomático entre as áreas avaliadas está de acordo com a literatura, que indica que densidade e dimensão estomática podem responder de forma

independente aos fatores ambientais, sendo a redução no número de estômatos uma resposta mais frequente sob condições de maior pressão antrópica.

A presença de cristais de cálcio é uma característica recorrente na família Cactaceae, apresentando-se em agrupamentos de variadas formas e dimensões. Em geral, tanto a morfologia quanto a localização desses cristais nos tecidos tendem a ser conservados por táxons específicos. Essas estruturas desempenham o papel de estocagem de cálcio e regulação do equilíbrio iônico (Squena, *et al.*, 2012).

O aumento na densidade desses cristais, observado nos indivíduos provenientes da área com maior incidência urbana, representa uma resposta já documentada em diferentes espécies expostas a poluentes atmosféricos (Alves *et al.*, 2008). Segundo a literatura, as plantas podem atuar como filtros biológicos, retendo e removendo parte dos poluentes presentes no ambiente urbano (Tomašević *et al.*, 2008). Esse processo contribui para a manutenção do equilíbrio iônico celular, frequentemente comprometido sob elevada carga poluente, além de favorecer a incorporação de metais pesados em cristais de oxalato acumulados nos tecidos vegetais (Choi *et al.*, 2001; Tomašević *et al.*, 2008). A exposição a poluentes aumenta a permeabilidade das membranas celulares, facilitando o influxo de Ca^{++} do apoplasto para o interior das células. Nesse contexto, a formação de cristais de oxalato de cálcio funciona como mecanismo de defesa, permitindo o sequestro e a imobilização do excesso de cálcio intracelular (Fink, 1991). Entretanto, a presença de oxalato nos tecidos vegetais também possui implicações para a saúde humana, uma vez que seu consumo excessivo pode estar associado a distúrbios renais. Estima-se que mais de 75% dos cálculos renais apresentem oxalato de cálcio como principal componente (Holmes *et al.*, 2001; Nordin *et al.*, 1979).

Conforme visto em nossa pesquisa, Alves *et al.* (2008) também observaram maior número de estômatos e cristais de oxalato de cálcio ao avaliar a influência da poluição urbana na cidade de São Paulo sobre *E. uniflora*.

A análise da deposição química na superfície das folhas de *Ora-pro-nobis* forneceu evidências complementares sobre o impacto do gradiente de urbanização, com a detecção de potássio (K) e cloro (Cl) apresentando diferenças estatísticas significativas entre as áreas. A maior concentração desses elementos nos indivíduos da Área 3 (mais urbanizada) pode ser interpretada como um reflexo da deposição de material particulado proveniente das emissões veiculares e atividades antrópicas. Esses achados corroboram o estudo de Bui *et al.* (2023), que, ao analisar espécies de beira de estrada em ambientes de tráfego intenso, identificou o potássio e o cloro como componentes

abundantes na composição elementar das partículas acumuladas sobre a superfície foliar.

O cloro (Cl) é um micronutriente essencial das plantas superiores e participa de diversos processos do metabolismo fisiológico. Em níveis adequados, o cloro atua no crescimento e desenvolvimento da planta, incluindo regulação osmótica e estomática, produção de oxigênio pela fotossíntese e resistência e tolerância a doenças (CHEN *et al.*, 2010). Cl é também um dos principais resíduos gasosos tóxicos liberados por processos industriais, e altamente volátil (MORIM *et al.*, 2020). Em excesso, pode ser um dos principais componentes do estresse salino para as plantas e pode até mesmo ser tóxico (CHEN *et al.*, 2010).

O Pb é um metal tóxico não essencial às plantas e não apresenta qualquer função no processo de metabolismo celular vegetal, mas é facilmente absorvido e acumulado em diferentes partes de uma planta (NAS; ALI, 2018). A deposição atmosférica de Pb é uma das vias principais de absorção (TOMAŠEVIČ; ANICIC, 2010; HROTKO, 2020). Além das interferências no desenvolvimento dos estômatos observadas, as plantas tratadas com Pb também exibiram nas suas folhas densidade de tricomas reduzida (KOUL; BHATNAGAR, 2017).

Um agravante quando se fala em poluição do ar é a sua capacidade de se dispersar no meio ambiente. Esse tipo de contaminação é percebido em nível local, regional e global, podendo ser sentido também em áreas vizinhas, que muitas vezes não abrigam as próprias fontes de emissão (DANTAS *et al.*, 2020). Assim, a dispersão desses elementos pelo ar pode explicar a presença de certos elementos resultantes de atividades antrópicas intensas.

A detecção desses elementos em níveis estatisticamente superiores na Área 3 sugere que a Ora-pro-nobis pode atuar como um receptor de partículas atmosféricas e o aumento observado na espessura da cutícula adaxial e da epiderme abaxial nesta área pode estar relacionado a retenção dessas partículas. Enquanto a literatura destaca que o acúmulo de material particulado pode interferir na fisiologia vegetal, a mudança estrutural desenvolvida pela Ora-pro-nobis parece atuar como uma estratégia de proteção periférica (Shahid, *et al.*, 2017; Bui, *et al.*, 2023). Dessa forma, diferenças morfoanatômicas entre áreas com distinta incidência urbana, como variações em espessura de cutícula e epiderme e ajustes estomáticos, podem ser interpretadas como respostas aclimatativas ao aumento de deposição e retenção de poluentes relacionados

ao tráfego, com efeitos diretos sobre a superfície e indiretos sobre processos fisiológicos que repercutem na organização interna da folha (Nkansah, 2025).

A capacidade das plantas de acumular poluentes atmosféricos depende tanto da deposição superficial de partículas quanto da absorção interna de gases (Bui *et al.*, 2023). Características foliares como rugosidade, presença de tricomas, espessura da cutícula e organização epidérmica influenciam significativamente a retenção de material particulado em ambientes urbanos. Espécies com cutícula mais espessa tendem a reter maior quantidade de partículas, enquanto a entrada de poluentes gasosos ocorre principalmente via estômatos, podendo envolver transformações internas (Linden *et al.*, 2023). As modificações que levam a um ajuste ótimo entre controle de trocas gasosas e absorção de poluentes pelos estômatos podem ocorrer tanto como a planta reduzindo a absorção de poluentes diminuindo a densidade estomática KULSHRESHTHA *et al.*, 1994), quanto aumentando a densidade estomática, reduzindo o tamanho dos estômatos (ALVES *et al.*, 2008; GOSTIN, 2009). Por isso, diferenças morfoanatômicas observadas em *Ora-pro-nobis* ao longo de gradientes de urbanização podem refletir não somente respostas diretas à luz ou ao microclima, mas também à diferença na deposição e retenção de poluentes entre áreas urbanas e menos urbanizadas, com implicações tanto para biomonitoramento quanto para as funções fisiológicas da planta.

Lajayer *et al.* (2017) mostraram que as plantas tolerantes à urbanização podem ser uma boa alternativa de cultivo nesses ambientes, com uma abordagem de manejo e exploração de solos moderadamente poluídos por metais pesados, principalmente quando a matéria-prima a ser utilizada é o óleo essencial. Porém, devido à maior capacidade de algumas plantas em acumular contaminantes nas partes comestíveis, o uso dessas plantas medicinais para consumo deve seguir rigorosamente as regulamentações baseadas nos limites máximos permitidos pela OMS (2005).

De acordo com Hamilton, *et al.*, (2001), que descrevem um trade-off fisiológico entre crescimento (produção de novo tecido) e diferenciação (especialização celular e defesa), os recursos fotoassimilados disponíveis na planta podem ser direcionados para a expansão celular ou para a produção de estruturas diferenciadas e metabólitos secundários envolvidos na defesa da planta. Nesse contexto, as diferenças observadas entre indivíduos e áreas podem refletir estratégias distintas de alocação de recursos. Variações anatômicas em tecidos como mesófilo, parênquima paliçádico e lacunoso, epiderme e cutícula podem indicar ajustes estruturais associados a condições ambientais específicas. Da mesma forma, padrões na densidade de cristais ou na

resposta citotóxica podem representar um maior investimento em mecanismos de defesa química ou estrutural, possivelmente às custas do crescimento (Hattas, Scogings, Julkunen-Tiitto, 2017).

Os resultados indicam que *Ora-pro-nobis*, devido às suas características estruturais mais robustas, pode apresentar maior tolerância relativa, mas potencialmente maior retenção superficial de partículas, o que a torna relevante como biomonitor passivo de deposição atmosférica.

5 CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que o gradiente de urbanização influencia significativamente os atributos morfoanatômicos e a deposição de elementos químicos nas folhas de *Ora-pro-nobis*, que apresenta características estruturais típicas da família como cutícula espessa, mesofilo dorsiventral, folhas anfiestomáticas e presença de drusas de oxalato de cálcio, porém exibem respostas específicas às condições urbanas.

Ora-pro-nobis mostrou estabilidade estrutural, com ajustes na espessura do mesofilo, epiderme e cutícula e redução da densidade estomática nas áreas mais urbanizadas, sugerindo modulação das trocas gasosas sob maior estresse ambiental.

A análise por EDS demonstrou que a deposição de elementos na superfície foliar estão associados à poluição atmosférica, reforçando a interação direta dessas espécies com o ambiente urbano e seu potencial como bioindicadoras. A resposta citotóxica dos extratos variou somente conforme concentração, indicando a necessidade de estudos mais aprofundados acerca da composição química das espécies.

Embora a espécie demonstre capacidade de aclimação, as diferenças observadas evidenciam que o ambiente urbano pode alterar tanto a estrutura foliar quanto a retenção de poluentes, com implicações para biomonitoramento e segurança alimentar. Os resultados reforçam a necessidade de monitoramento ambiental e práticas adequadas de higienização no consumo de PANCs cultivadas em áreas urbanas. Os dados anatômicos são subsídios para estudos taxonômicos e ampliam o conhecimento sobre as espécies, os achados apresentados também podem subsidiar futuros estudos sobre a conservação da biodiversidade e a influência do ambiente urbano nas plantas.

Diante disso, sugerimos a realização de mais estudos acerca do tema, afim de compreender melhor como o ambiente tem influenciado as plantas utilizadas para consumo humano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, E.S. *et al.* Análise estrutural de folhas de *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae) coletadas em ambientes rural e urbano, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 22: 241-248, 2008.
- BERTOLINO, L. T. *et al.* Impact of stomatal density and morphology on water-use efficiency in a changing world. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 225, 2019.
- BEZERRA, L. de A.; CALLADO, C.H.; CUNHA, M. D. Does an urban environment affect leaf structure of *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae)? **Acta Botanica Brasilica**, v. 34, n. 2, p. 266-276, 2020.
- BUI, H-T. *et al.* Particulate Matter Accumulation and Elemental Composition of Eight Roadside Plant Species. **Urban Science**. 7(2):51, 2023.
- BUTTERWORTH, C.A.; WALLACE, R. S. Molecular phylogenetics of the leafy cactus genus *Pereskia* (Cactaceae). **System Bot** 30:800808, 2005.
- CHEN, W. *et al.* Chlorine nutrition of higher plants: progress and perspectives. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 7, p. 943-952, 2010.
- CHOI, Y.E. *et al.* Detoxification of cadmium in tobacco plants: formation and active excretion of crystals containing cadmium and calcium through trichomes. **Planta** 213: 45-50, 2001.
- CHUA, L. C.; LAU, O. S. Stomatal development in the changing climate. **Development**, v. 151, n. 20, p. dev202681, 2024.
- CRAVALHEIRO, I. P.; DE CAMARGO, L. E. A.; LUDWIG, D. B. Avaliação farmacognóstica de *Pereskia aculeata* Mill.(cactaceae). **Infarma-Ciências Farmacêuticas**, v. 35, n. 3, p. 375-384, 2023.
- DANTAS, G. *et al.* A reactivity analysis of volatile organic compounds in a Rio de Janeiro urban area impacted by vehicular and industrial emissions. **Atmospheric Pollution Research**, v. 11, n. 5, p. 1018-1027, 2020.
- DE FARIAS, H. S. O impacto da atividade da CSA na qualidade do ar na bacia aérea 1 da região metropolitana do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, 2019.
- DUARTE, M. R.; HAYASHI, S. S. Anatomical study of the leaf and stem of *Pereskia aculeata* Mill. (Cactaceae). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, p. 103-109, 2005.
- FERNANDES, V.F. *et al.* Anatomia e ultraestrutura foliar de *Ocimum gratissimum* sob diferentes níveis de radiação luminosa. **Ciência Rural** 44: 1037-1042, 2014.

GOSTIN, I. N. Air pollution effects on the leaf structure of some Fabaceae species. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 37, n. 2, p. 57-63, 2009.

GRANTZ, D.A. *et al.* Ecological effects of particulate matter. **Environment international**, v. 29, n. 2-3, p. 213-239, 2003.

HAMILTON, J. G. *et al.* The carbon–nutrient balance hypothesis: its rise and fall. **Ecology letters**, v. 4, n. 1, p. 86-95, 2001.

HAO, L. *et al.* Drought dampens the positive acclimation responses of leaf photosynthesis to elevated [CO₂] by altering stomatal traits, leaf anatomy, and Rubisco gene expression in *Pyrus*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 211, p. 105375, 2023.

HATTAS, D.; SCOGINGS, P. F.; JULKUNEN-TIITTO, R. Does the growth differentiation balance hypothesis explain allocation to secondary metabolites in *Combretum apiculatum*, an African savanna woody species?. **Journal of Chemical Ecology**, v. 43, n. 2, p. 153-163, 2017.

HERTEL, M.F. *et al.* Different leaf traits provide light-acclimation responses in two neotropical woody species. **Theor. Exp. Plant Physiol.** 33, 313–327, 2021.

HOLMES, R.P. *et al.* Contribution of dietary oxalate to urinary oxalate excretion. **Kidney International** 59: 270-276, 2001.

KHOSROPOUR, E. *et al.* Response of *Platanus orientalis* leaves to urban pollution by heavy metals. **Journal of forestry research**, v. 30, n. 4, p. 1437-1445, 2018.

KIM, G. T. *et al.* Photomorphogenesis of leaves: shade-avoidance and differentiation of sun and shade leaves. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 4, n. 9, p. 770-774, 2005.

KOUL, M.; BHATNAGAR, A.K. Changes in the leaf epidermal features of *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. in response to lead in soil. **Phytomorphology**, v. 67, p. 1-1, 2017.

LAJAYER, B. A. *et al.* Heavy metals in contaminated environment: destiny of secondary metabolite biosynthesis, oxidative status and phytoextraction in medicinal plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 145, p. 377-390, 2017.

LINDEN, J. *et al.* Air pollution removal through deposition on urban vegetation: The importance of vegetation characteristics. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 81, p. 127843, 2023.

MILIÃO, G. Leite *et al.* Unconventional food plants: Nutritional aspects and perspectives for industrial applications. **Future Foods**, v. 5, p. 100124, 2022.

MORIM, A. *et al.* Chlorine Gas Toxicity. **StatPearls**, 2020.

NAS, F. S.; ALI, M. The effect of lead on plants in terms of growing and biochemical parameters: a review. **MOJ Eco Environ Sci**, v. 3, n. 4, p. 265-268, 2018.

NKANSAH, F. K. Air pollution and plant responses: A study on morphological and anatomical changes in roadside trees along traffic-dense roads. **BMC Environmental Science**, v. 2, n. 1, p. 16, 2025.

NOGUEIRA, N. F. S. *et al.* *Pereskia aculeata* Miller as a novel food source: a review. **Foods**, v. 12, n. 11, p. 2092, 2023.

PAPADOPOULOU, S. *et al.* Structural and physiological traits of compound leaves of *Ceratonia siliqua* trees grown in urban and suburban ambient conditions. **Plants**, v. 12, n. 3, p. 514, 2023.

POURKHABBAZ, A. *et al.* Influence of environmental pollution on leaf properties of urban plane trees, *Platanus orientalis* L. **Bull Environ Contam Toxicol**. 85(3):251-5, Sep 2010.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024.

SANT'ANNA-SANTOS, B.F. *et al.* Diagnostic and prognostic characteristics of phytotoxicity caused by fluoride on *Spondias dulcis* Forst. F. (Anacardiaceae). **Annals of the Brazilian Academics of Sciences**, v. 84, p. 689-702, 2012.

SHAHID, M. *et al.* Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. **Journal of hazardous materials**, v. 325, p. 36-58, 2017.

SQUENA, A. P. *et al.* Análise morfoanatômica de partes vegetativas aéreas de *Pereskia aculeata* Mill., Cactaceae. **Cadernos da Escola de Saúde**, v. 2, n. 8, 2012.

STRITTMATTER, C. D. Nueva técnica de diafanización. Bol. Soc. Argent. Bot, 15, 126-129, 1973.

TOMAŠEVIČ, M. *et al.* Contribution to biomonitoring of some trace metals by deciduous tree leaves in urban areas. **Environmental Monitoring and Assessment** 137: 393-401, 2008.

.

Capítulo 2: Respostas morfoanatômicas e citotóxicas de Taioba cultivada em hortas urbanas na cidade do Rio de Janeiro, Brasil.

RESUMO

As Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs) desempenham papel importante na agricultura urbana devido ao seu potencial nutricional, econômico e sustentável, especialmente em comunidades urbanas socialmente vulneráveis. Entre essas espécies, a *Xanthosoma sagittifolium*, popularmente conhecida como Taioba, destaca-se pelo elevado valor nutricional e ampla utilização alimentar. Entretanto, a exposição às condições adversas do ambiente urbano, como poluição atmosférica e influência antrópica, pode comprometer a qualidade, segurança alimentar e características estruturais dessas plantas. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a influência do ambiente urbano sobre espécies comercializadas e cultivadas como Taioba em hortas urbanas da cidade do Rio de Janeiro, por meio de análises anatômicas, ultraestruturais e citotóxicas, além da investigação da deposição de elementos químicos na superfície foliar e da identificação botânica das plantas amostradas. As coletas foram realizadas em três hortas urbanas submetidas a diferentes níveis de urbanização e impacto ambiental. Para as análises anatômicas, amostras foliares foram processadas seguindo protocolos específicos. Também foram realizadas análises em microscopia eletrônica de varredura (MEV) associadas à espectroscopia por energia dispersiva de raio X (EDS), possibilitando identificar partículas e elementos químicos depositados na superfície das folhas. Os resultados demonstraram que o ambiente urbano influencia diretamente a organização anatômica e a deposição de elementos químicos nas plantas analisadas. Além disso, verificou-se um importante aspecto relacionado à segurança alimentar e à correta identificação botânica: embora as plantas fossem popularmente reconhecidas e cultivadas como sendo a mesma espécie de Taioba, foram identificadas espécies distintas em duas das três hortas avaliadas. As análises anatômicas evidenciaram diferenças estruturais significativas entre as áreas estudadas, principalmente relacionadas à densidade de cristais nas regiões mais urbanizadas, sugerindo respostas adaptativas às condições ambientais e à exposição a poluentes atmosféricos. As análises em MEV-EDS confirmaram maior deposição de elementos químicos nas folhas provenientes das áreas mais impactadas pela urbanização. Apesar das alterações anatômicas observadas e da presença de partículas depositadas na superfície foliar, os extratos das plantas não apresentaram atividade citotóxica significativa nas condições analisadas. Os resultados indicam que o ambiente urbano interfere nas características estruturais e na interação dessas espécies com poluentes ambientais, além de evidenciar os riscos associados à comercialização e cultivo de diferentes espécies sob a mesma denominação popular. Dessa forma, o estudo reforça a importância da correta identificação botânica, do monitoramento ambiental e da adoção de práticas adequadas de manejo e higienização, visando garantir a segurança alimentar e o consumo seguro de PANCs cultivadas em ambientes urbanos.

Palavras-chave: *Colocasia esculenta*; PANCs; *Xanthosoma sagittifolium*.

ABSTRACT

Unconventional food plants (UFPs) play an important role in urban agriculture due to their nutritional, economic, and sustainable potential, especially in socially vulnerable urban communities. Among these species, *Xanthosoma sagittifolium*, popularly known as Taioba, stands out because of its high nutritional value and wide use as food. However, exposure to adverse urban environmental conditions, such as atmospheric pollution and anthropogenic influence, may compromise the quality, food safety, and structural characteristics of these plants. In this context, the present study aimed to evaluate the influence of the urban environment on species cultivated and commercialized as Taioba in urban gardens in the city of Rio de Janeiro through anatomical, ultrastructural, and cytotoxic analyses, as well as the investigation of chemical element deposition on the leaf surface and the botanical identification of the sampled plants. Samples were collected from three urban gardens subjected to different levels of urbanization and environmental impact. For the anatomical analyses, leaf samples were processed according to specific protocols. Scanning electron microscopy (SEM) analyses associated with energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) were also performed, enabling the identification of particles and chemical elements deposited on the leaf surface. The results demonstrated that the urban environment directly influences the anatomical organization and the deposition of chemical elements in the analyzed plants. In addition, an important issue related to food safety and proper botanical identification was observed: although the plants were popularly recognized and cultivated as the same Taioba species, distinct species were identified in two of the three evaluated gardens. Anatomical analyses revealed significant structural differences among the studied areas, mainly related to crystal density in the most urbanized regions, suggesting adaptive responses to environmental conditions and exposure to atmospheric pollutants. SEM-EDS analyses confirmed greater deposition of chemical elements on the leaves collected from the areas most affected by urbanization. Despite the anatomical alterations observed and the presence of particles deposited on the leaf surface, the plant extracts did not show significant cytotoxic activity under the analyzed conditions. The results indicate that the urban environment interferes with the structural characteristics and interaction of these species with environmental pollutants, while also highlighting the risks associated with the commercialization and cultivation of different species under the same popular name. Therefore, the study reinforces the importance of correct botanical identification, environmental monitoring, and the adoption of appropriate management and hygiene practices to ensure food safety and the safe consumption of PANCs cultivated in urban environments.

Keywords: *Colocasia esculenta*; PANCs; *Xanthosoma sagittifolium*.

1 INTRODUÇÃO

O avanço da urbanização e da industrialização promove transformações ambientais, sociais e econômicas que intensificam problemas urbanos, especialmente em áreas com menor infraestrutura (Castro, 2023; Chaolin, 2020). Esse crescimento desordenado, associado à expansão urbana, monoculturas e uso excessivo de agrotóxicos, também aumenta a pressão sobre a produção agrícola e compromete a segurança alimentar (Terra; Viera, 2019). Além disso, a urbanização modifica a dinâmica do solo e da vegetação, favorecendo a formação de ilhas de calor e agravando problemas relacionados à qualidade do ar e à saúde ambiental (Cosgrove; Berkelhammer, 2018; IPCC, 2019).

O aumento do tráfego veicular urbano e das atividades industriais contribui significativamente para a emissão de poluentes atmosféricos, como CO₂, CH₄, N₂O e CFCs, impactando tanto a saúde humana quanto o meio ambiente (Araújo *et al.*, 2018; Power *et al.*, 2018; Gurjar *et al.*, 2008; Hou *et al.*, 2019). Esses poluentes podem afetar diretamente a vegetação, alterando a absorção de elementos químicos pelas plantas e favorecendo o acúmulo de substâncias potencialmente tóxicas nos tecidos vegetais (Grantz *et al.*, 2003; Amato-Lourenço *et al.*, 2016). Assim, o monitoramento de contaminantes em plantas cultivadas em áreas urbanas torna-se fundamental tanto para a segurança alimentar quanto para a avaliação da qualidade ambiental (Street, 2012; Echem & Kabari, 2013; Barima *et al.*, 2014).

Na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, fatores como elevada densidade populacional, tráfego intenso, atividade industrial e condições geográficas contribuem para o agravamento da poluição atmosférica e das ilhas de calor urbanas (INEA, 2020; Oliveira *et al.*, 2017; Ribeiro, 2020; Silveira, 2021). Nesse contexto, a agricultura urbana surge como importante estratégia para promoção da segurança alimentar e sustentabilidade nas cidades (Prefeitura do RJ, 2021). Entre essas iniciativas destaca-se o Projeto Hortas Cariocas, implantado em comunidades e escolas do Rio de Janeiro com base em sistemas orgânicos de produção (Jardim *et al.*, 2023).

Entre as espécies cultivadas nessas hortas, destaca-se a Taioba (*Xanthosoma sagittifolium*), uma PANC de elevado valor nutricional, rica em proteínas, fibras, minerais e vitaminas, além de apresentar fácil cultivo e ampla utilização alimentar (Araújo *et al.*, 2019; Duarte *et al.*, 2024; Castro, 2006). Entretanto, a comercialização e o cultivo popular da Taioba frequentemente envolvem diferentes espécies identificadas pelo mesmo

nome popular, o que pode gerar riscos relacionados à identificação incorreta, consumo inadequado e segurança alimentar, especialmente devido à existência de espécies morfológicamente semelhantes que podem apresentar diferentes composições químicas e níveis de toxicidade (Lebot, Ivančič, Lawac, 2024).

Nesse contexto, considerando a localização dessas hortas em áreas submetidas a diferentes níveis de urbanização e poluição, torna-se necessário compreender como o ambiente urbano pode influenciar a estrutura, qualidade e segurança alimentar dessas plantas. Dessa forma, este estudo buscou investigar a identificação correta da Taioba, alterações estruturais e citotóxicas de PANCs cultivadas em hortas urbanas do Rio de Janeiro sob distintos níveis de influência antrópica.

2 METODOLOGIA

2.1 Áreas de estudos e condições de coleta

Os locais de estudo são hortas comunitárias do Projeto Hortas Cariocas. As hortas foram escolhidas para representar um gradiente de urbanização e poluição, incluindo áreas mais arborizadas e regiões altamente urbanizadas estrategicamente localizadas na cidade do Rio de Janeiro, Brasil: (Área 1) Horta Anil, localizada próximo ao Parque Nacional da Tijuca (-22.965250, -43.342694); (Área 2) Horta Getúlio, que está localizada às margens da Avenida Brasil (-22.850361, -43.383333) e (Área 3) Horta Manguinhos (-22.881194, -43.252139) (Figura 1), localizada dentro da comunidade Manguinhos, cujo tráfego é intenso, onde já foram detectados poluentes citotóxicos e mutagênicos (INEA, 2020; RAINHO *et al.*, 2013).



Figura 1: Áreas de estudo (Área 1) Horta Anil, próxima ao Parque Nacional da Tijuca; (Área 2) Horta Getúlio, às margens da Avenida Brasil; e (Área 3) Horta Manguinhos, localizada dentro da comunidade Manguinhos.

Os dados climáticos foram obtidos através das estações meteorológicas do Sistema de Alerta Rio (Rio de Janeiro) mais próximas de cada um dos locais determinados: Estação Meteorológica de Rio Centro para a Área 1 (Figura 2), Irajá para a Área 2 (Figura 3) e São Cristóvão para a Área 3 (Figura 4). Os gráficos mostram as características ambientais de cada local.

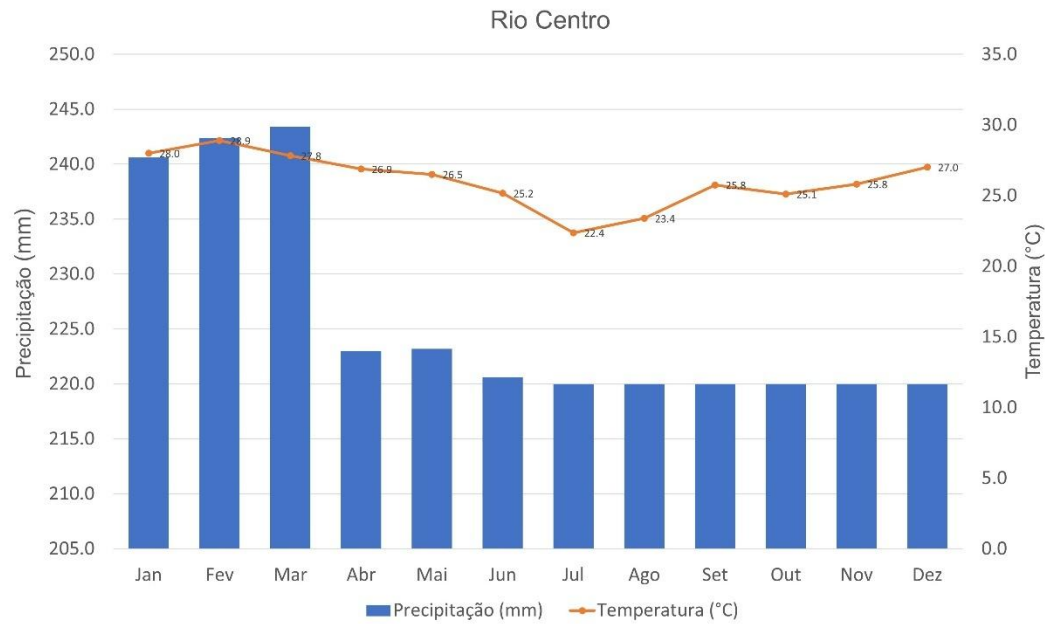


Figura 2: Gráfico representando precipitação e temperatura média para o ano de 2024, estação meteorológica Rio Centro para Área 1.

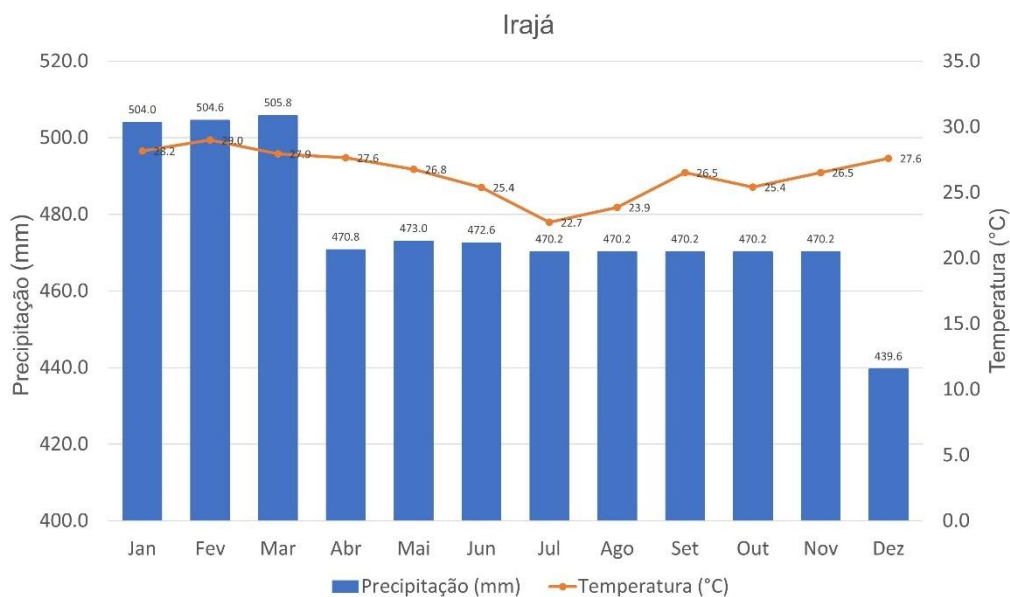


Figura 3: Gráfico representando precipitação e temperatura média para o ano de 2024, estação meteorológica Irajá para Área 2.

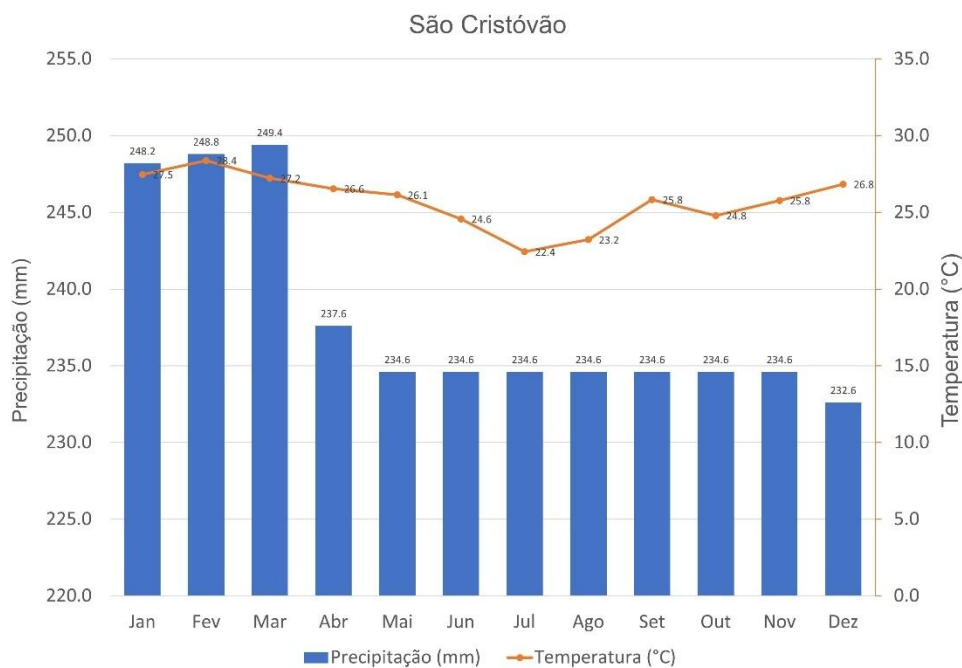


Figura 4: Gráfico representando precipitação e temperatura média para o ano de 2024, estação meteorológica São Cristóvão para Área 3.

Para análise de qualidade do ar foram utilizados dados do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) para o ano de 2024 nas estações meteorológicas de Taquara para a Área 1, Engenhão para a Área 2 e Manguinhos para a Área 3. A horta com maior incidência urbana apresentou as maiores concentrações médias de ozônio, foram registrados episódios classificados como “Ruim” e “Muito Ruim”, com concentrações máximas de até 179 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ultrapassando o padrão estabelecido pela legislação brasileira (140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 15 vezes ao longo do ano (INEA, 2024). A Área 2 apresentou 1 moderada, 2 ruins e 2 muito ruins. Área 1 não apresentou valores enquadrados nessa classificação.

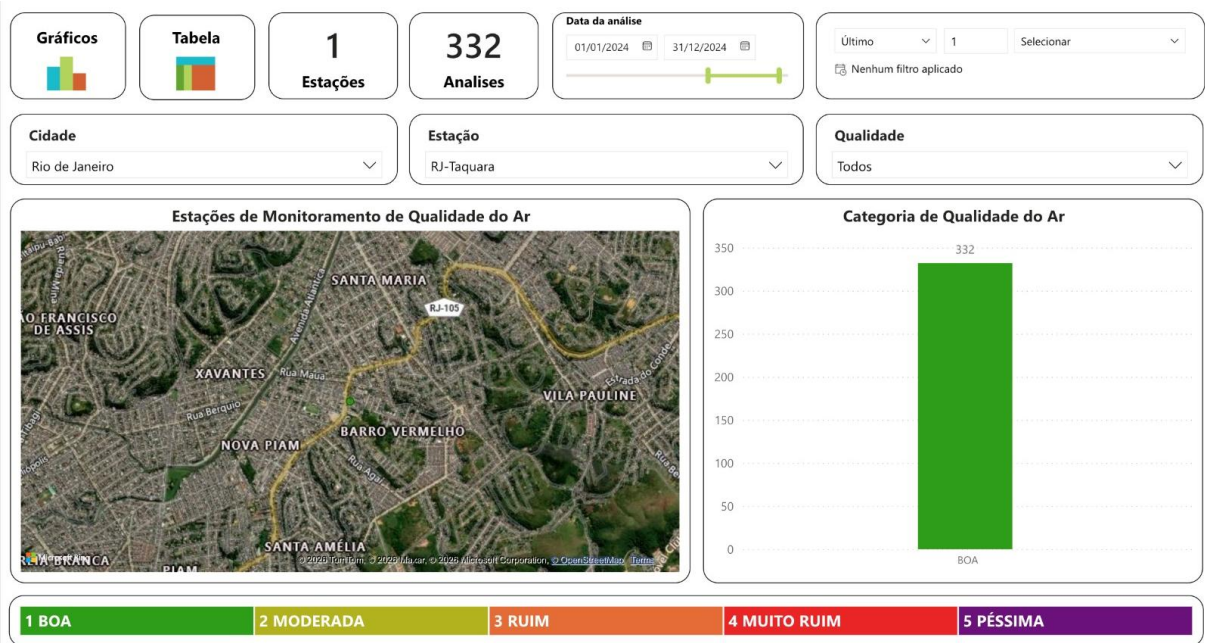


Figura 5: Gráfico representando qualidade do ar para o ano de 2024, estação de monitoramento Taquara para Área 1.



Figura 6: Gráfico representando qualidade do ar para o ano de 2024, estação de monitoramento Engenho para Área 2.

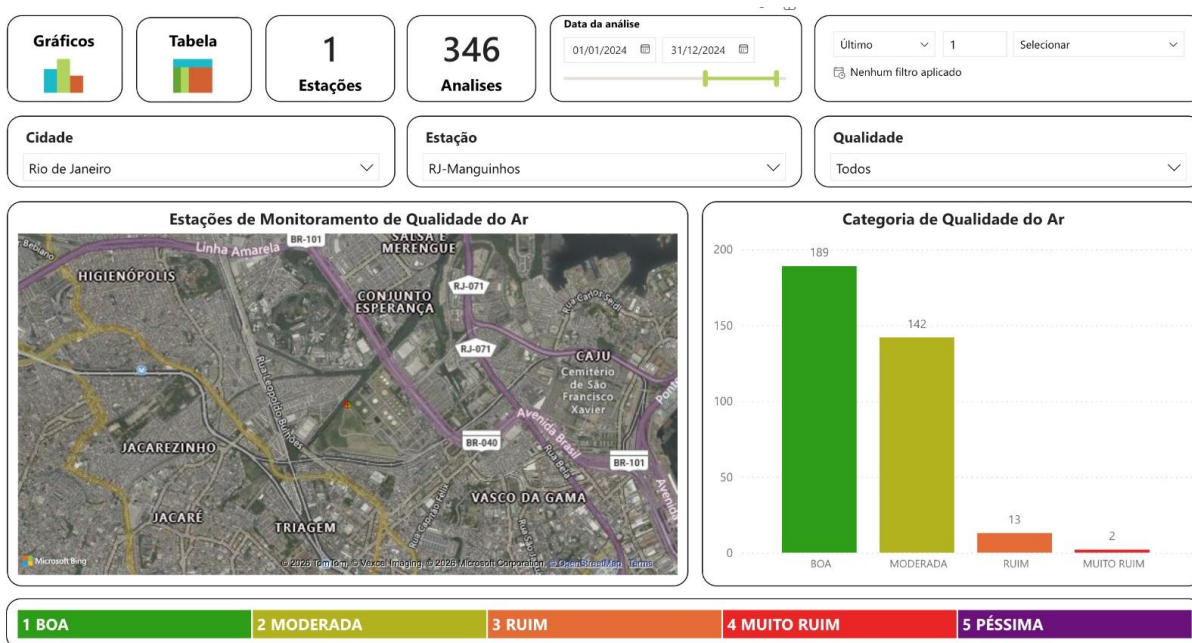


Figura 7: Gráfico representando qualidade do ar para o ano de 2024, estação de monitoramento Manguinhos para Área 3.

As amostras foliares de Taioba foram coletadas nas três hortas selecionadas. Observações em situ foram realizadas para analisar as características macroscópicas das plantas, com foco na identificação de possíveis danos visíveis, como a presença de pontos de necrose ou alterações na coloração das folhas. Exemplos dos indivíduos coletados foram depositados no herbário da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF).

2.2 Análise de solo

Para a caracterização química do solo foram feitas coletas das 3 hortas designadas, sendo três amostras de solo em três pontos diferentes por espécie, coletando a uma profundidade de aproximadamente 10,0 cm, totalizando 18 amostras nos locais de estudo. A serrapilheira ou camada de pedra será removida antes da coleta do solo. As coletas seguiram o protocolo estabelecido pela Empresa Brasileira Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e analisados pela Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional (FUNDENOR). O solo possui pH de neutro a levemente alcalino, alta fertilidade, elevada saturação por bases, ausência de alumínio trocável e baixa acidez potencial, indicando condições químicas favoráveis. Os teores de fósforo, enxofre, carbono e matéria orgânica variaram entre as amostras, assim como os cátions trocáveis, com predomínio de cálcio na Área 1. Os micronutrientes apresentaram heterogeneidade espacial, enquanto o índice de saturação por sódio manteve-se baixo. Quanto à textura, observou-se variação entre os pontos amostrados, com predomínio da fração de areia, seguida por argila e silte, caracterizando solos de textura média a arenosa. Em conjunto, os resultados indicam heterogeneidade físico-química entre as áreas, mantendo, porém, um padrão geral de solos bem supridos em bases e com baixa limitação química.

2.3 Microscopia óptica

Para análise anatômica, amostras da região mediana das folhas do terceiro nó foram fixadas em campo de acordo com Karnovsky (1965), modificado por Da Cunha *et al.* (2000) em solução aquosa de 2,5% de glutaraldeído, 4,0% de formaldeído e tampão de cacodilato de sódio a 0,05 M e pH 7,2, lavadas em tampão cacodilato 0,05 M pH 7,2 e pós-fixado em 1% de tetróxido de ósmio. As amostras foram então desidratadas em uma

gradação série de acetona. Posteriormente, o material foi infiltrado com Resina sintética Epon®. As amostras foram então seccionadas em micrótomo rotativo, nas espessuras de 5 µm. Os cortes histológicos foram corados por Azul de Toluidina O (O'BRIEN; FEDER; MCCULLY, 1964), montados em Entellan® e observados sob microscopia de luz. A análise foi realizada com o auxílio do microscópio óptico (Axioplan, ZEISS, Alemanha) e as imagens obtidas através de uma câmera de vídeo acoplado a um sistema de captura de imagens (Moticam Pro 282B, Hong Kong). A contagem de cristais foi realizada a partir da diafanização de cinco folhas por indivíduo seguindo o método adaptado de Strittmatter (1973). O material fixado foi inserido em etanol 96% e fervido em placa aquecedora por 10 minutos. Em seguida, o material foi transferido para uma mistura de hidróxido de sódio 5% e etanol 96%, em uma proporção 1:1, e fervido em placa aquecedora de 5-10min, o tempo para ferver pode variar de acordo com a consistência do material. Após ferver, o material foi lavado em água corrente, depois em água destilada e transferido para água sanitária 50% até tornar-se transparente, o tempo para clarificar varia de acordo com o material. Por fim, o material clarificado foi corado com Safranina, montado em lâminas semipermanentes e visualizadas em microscópio óptico (Axioplan, ZEISS, Alemanha). As análises foram realizadas utilizando sistema digital de processamento de imagens Image-Pro Express 6.0.

2.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para análise anatômica das superfícies foliares, amostras da região mediana das folhas do terceiro nó foram fixadas em solução aquosa de 2,5% de glutaraldeído, 4,0% de formaldeído e tampão de cacodilato de sódio a 0,05 M e pH 7,2 (KARNOVSKY, 1965, modificado por DA CUNHA *et al.*, 2000), desidratadas em série alcoólica ascendente (JOHANSEN, 1940) e submetidas ao ponto crítico de CO₂ líquido, com o auxílio do aparelho Bal-Tec Critical Point Dryer CPD 030. Em seguida, os fragmentos secos foram aderidos com fita adesiva de carbono em suportes próprios e cobertos com uma fina camada de ouro de 20 nm (Bal-Tec Sputer Coater SCD 050). As imagens foram obtidas no microscópio eletrônico de varredura (MEV) (JEOL JSM-IT210) a uma voltagem de 15 KV. A análise e o mapeamento espacial dos elementos químicos depositados na superfície foliar foram realizados em folhas frescas adquiridas nas hortas designadas, utilizando espectroscopia por dispersão de energia de raios X (EDS). As amostras de Taioaba foram examinadas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) (JEOL JSM-

IT210), com seis áreas aleatórias analisadas na face adaxial de cada folha. Os elementos presentes foram identificados e quantificados.

2.5 Preparo do extrato

Para testes de citotoxicidade foram coletados dois quilos de folhas das espécies, o material vegetal foi seco a temperatura ambiente, em seguida, com auxílio de um moinho de facas, triturado. O material triturado passou por maceração exaustiva, utilizando-se o solvente etanol. Este procedimento resultou em uma solução que ao ser concentrada, em pressão reduzida no evaporador rotativo, resultou em extratos brutos (NOGUEIRA *et al.*, 2021).

2.6 Teste de citotoxicidade de extrato etanólico

O teste de citotoxicidade foi realizado para avaliar o potencial citotóxico de extratos etanólicos de folhas e verificar possíveis diferenças entre amostras provenientes de áreas com diferentes níveis de urbanização. Células epiteliais LLC-MK2 (ATCC® CCL-7™, rim de *Macaca mulatta*) foram cultivadas em frascos de 25 cm² contendo meio RPMI 1640 (Sigma Aldrich, EUA), suplementado com 10% de soro fetal bovino (SFB), mantidas a 37 °C em atmosfera com 5% de CO₂. A cada 48 horas ou após a formação de monocamadas confluentes, as culturas foram tratadas com solução de tripsina/EDTA (Sigma-Aldrich, EUA) para obtenção de subculturas. A viabilidade das células hospedeiras após o tratamento com os compostos foi avaliada com base na redução do MTT [3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazólio brometo] (Sigma-Aldrich, EUA). Em placas de 96 poços, foram cultivadas 1×10^5 células por poço em meio DMEM suplementado com 5% de soro fetal bovino (FBS). As células foram lavadas e tratadas com os compostos em diferentes concentrações. Como controle negativo, as células foram cultivadas nas mesmas condições, porém sem adição dos compostos. Como controle positivo, as células foram tratadas com 10% de Triton X-100. Após 24 horas de tratamento, foi adicionada solução de MTT (5 mg/mL em DMEM) a cada poço, e a placa foi incubada por 4 horas a 37 °C, em atmosfera com 5% de CO₂. Os cristais de formazan resultantes foram solubilizados com a adição de 150 µL de DMSO. Um volume de 150 µL do sobrenadante de cada poço foi transferido para uma nova placa de 96 poços e

lido a 570 nm utilizando um leitor de microplacas VersaMax (Molecular Devices) e o software SoftMax Pro 6.0.

2.7 Análise estatística

Todos os resultados quantitativos foram analisados estatisticamente com o software R, versão 4.2.1 (R Core Team, 2024). Os dados foram inicialmente avaliados quanto à normalidade e homogeneidade de variâncias por meio dos testes de Shapiro–Wilk e Levene, respectivamente. Quando ambos os testes foram atendidos, aplicou-se ANOVA, seguida do teste de Tukey para comparações múltiplas. Para variáveis que não atenderam ao teste de normalidade e/ou homogeneidade, utilizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dunn com correção de Bonferroni para identificar diferenças entre pares de indivíduos. (ZAR, 2010).

3 RESULTADOS

3.1 Descrição anatômica

Taioba (Figura 8A, B, C) apresentada *in natura*, destacando seus aspectos morfológicos gerais nas áreas de cultivo analisadas. Observa-se que a espécie apresenta folhas amplas, sagitadas, com limbo bem desenvolvido e textura mais delicada. A disposição foliar, o formato do limbo, a consistência e a superfície das folhas são evidentes na imagem diferenciando as duas espécies (A) *Xanthosoma sagittifolium*, (B) e (C) *Colocasia esculenta*.

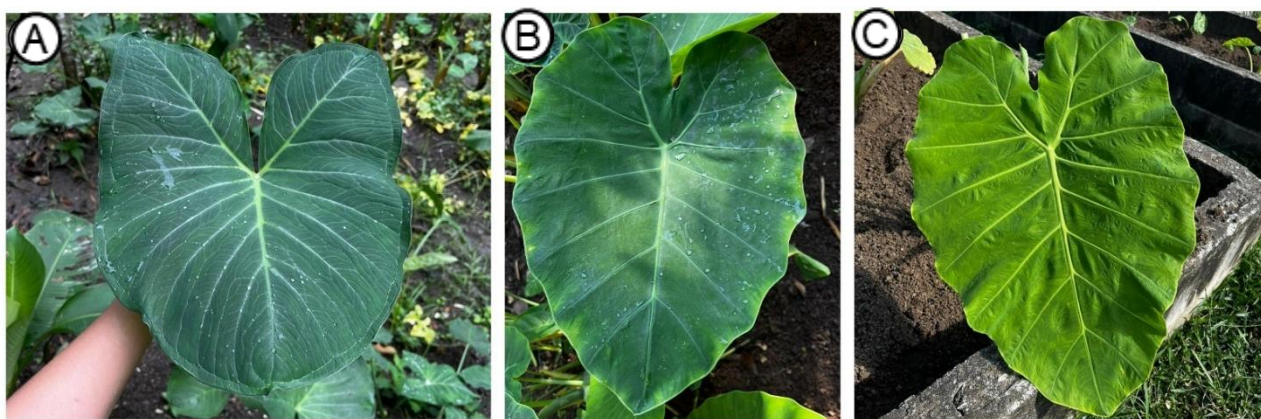


Figura 8: Imagens da superfície foliar de Taioba. Área 1 (Horta Anil) – A (*Xanthosoma sagittifolium*). Área 2 (Horta Getúlio) – B (*Colocasia esculenta*). Área 3 (Horta Manguinhos) – C (*Colocasia esculenta*).

A Taioba, em seção transversal, apresenta epiderme unisseriada, com células epidérmicas em uma única camada levemente sinuosa envolta por uma fina camada de cutícula. O mesofilo é dorsiventral, apresentando parênquima paliçádico logo abaixo da epiderme adaxial, com duas ou três camadas. O parênquima lacunoso apresenta espaços intercelulares, contendo até seis camadas (Figura 9A, B, C). Drusas de oxalato de cálcio (Figura 12A, B, C) e canais laticíferos são observados na lâmina foliar (Figura 9C).

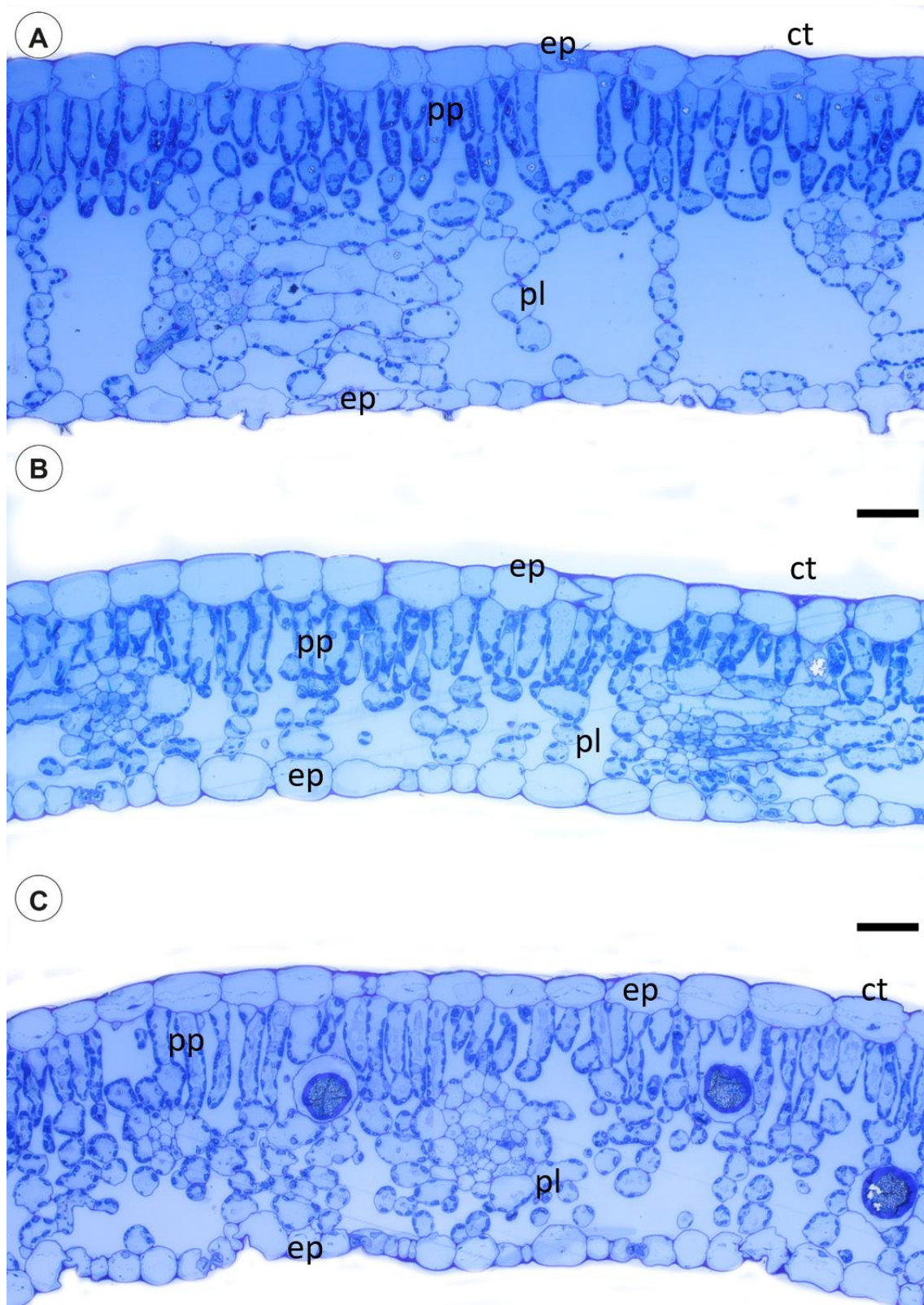


Figura 9: Lâmina foliar em seção transversal lâmina foliar de Taioba. observadas por microscopia óptica (MO), corados com azul de toluidina. A – Área 1, B – Área 2, C – Área 3. Siglas: ct-cutícula, ep-epiderme, pp-parênquima paliçádico, pl-parênquima lacunoso. Barra 50 μ m.

Em vista frontal a epiderme é lisa, a folha é anfiestomática, contendo estômatos nas duas faces, mas com maior densidade na face abaxial, sendo esses do tipo paracítico (Figura 10B, D, F). Foi observado nos indivíduos da Área 1, a presença de papilas com estriações cuticulares na face abaxial (Figura 10B). A avaliação morfoanatômica preliminar revelou que os espécimes recolhidos sob a denominação de Taioba nas diferentes hortas urbanas pertencem, na verdade, a espécies botânicas distintas, sendo a espécie da Área 1 a *Xanthosoma sagittifolium* e das demais Áreas *Colocasia esculenta*.

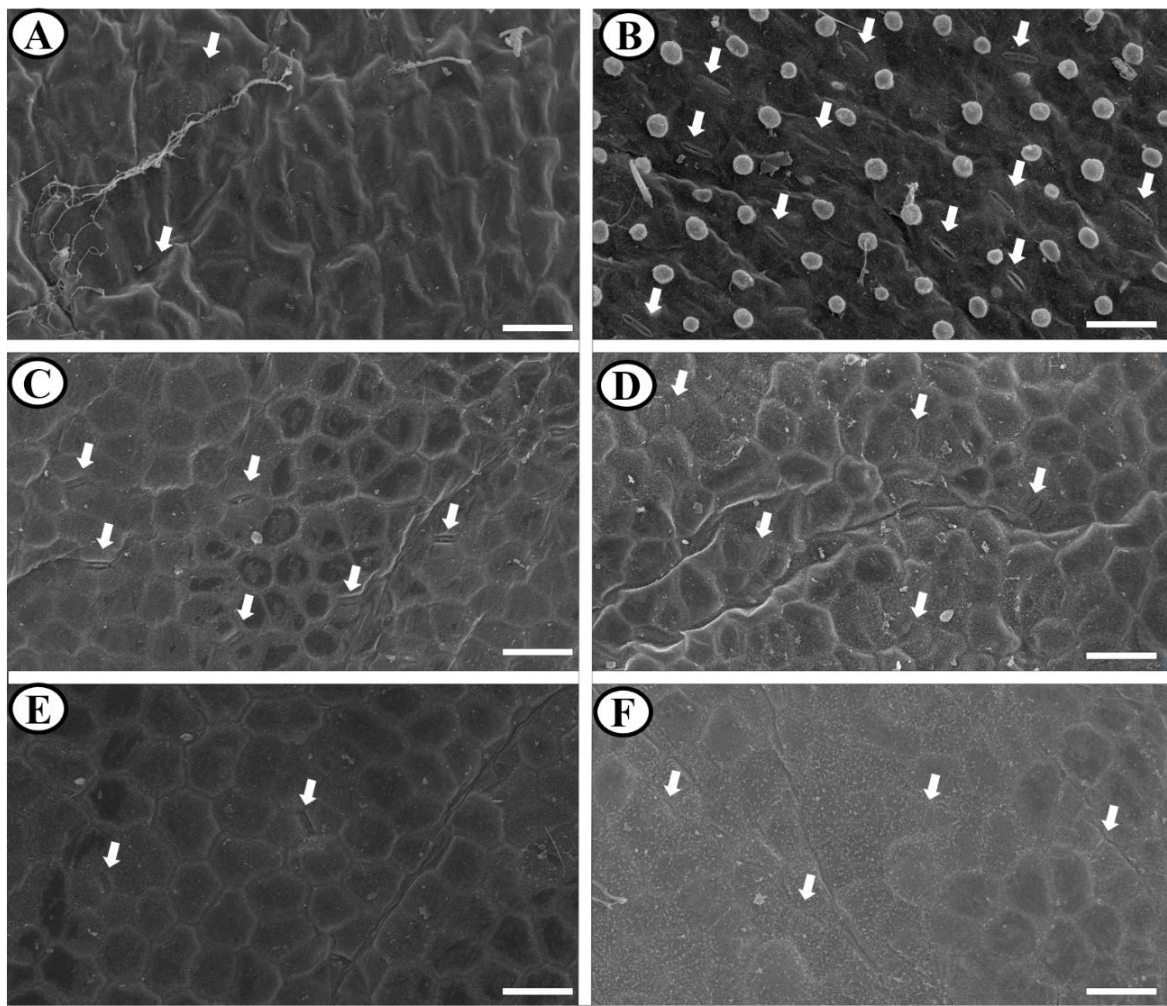


Figura 10: Visão geral da superfície foliar de Taioba, observadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A, B – Área 1; C, D – Área 2; E, F – Área 3. A, C e E – Superfície adaxial. B, D e F – Superfície abaxial. Setas indicando estômatos. Barra 50 µm.

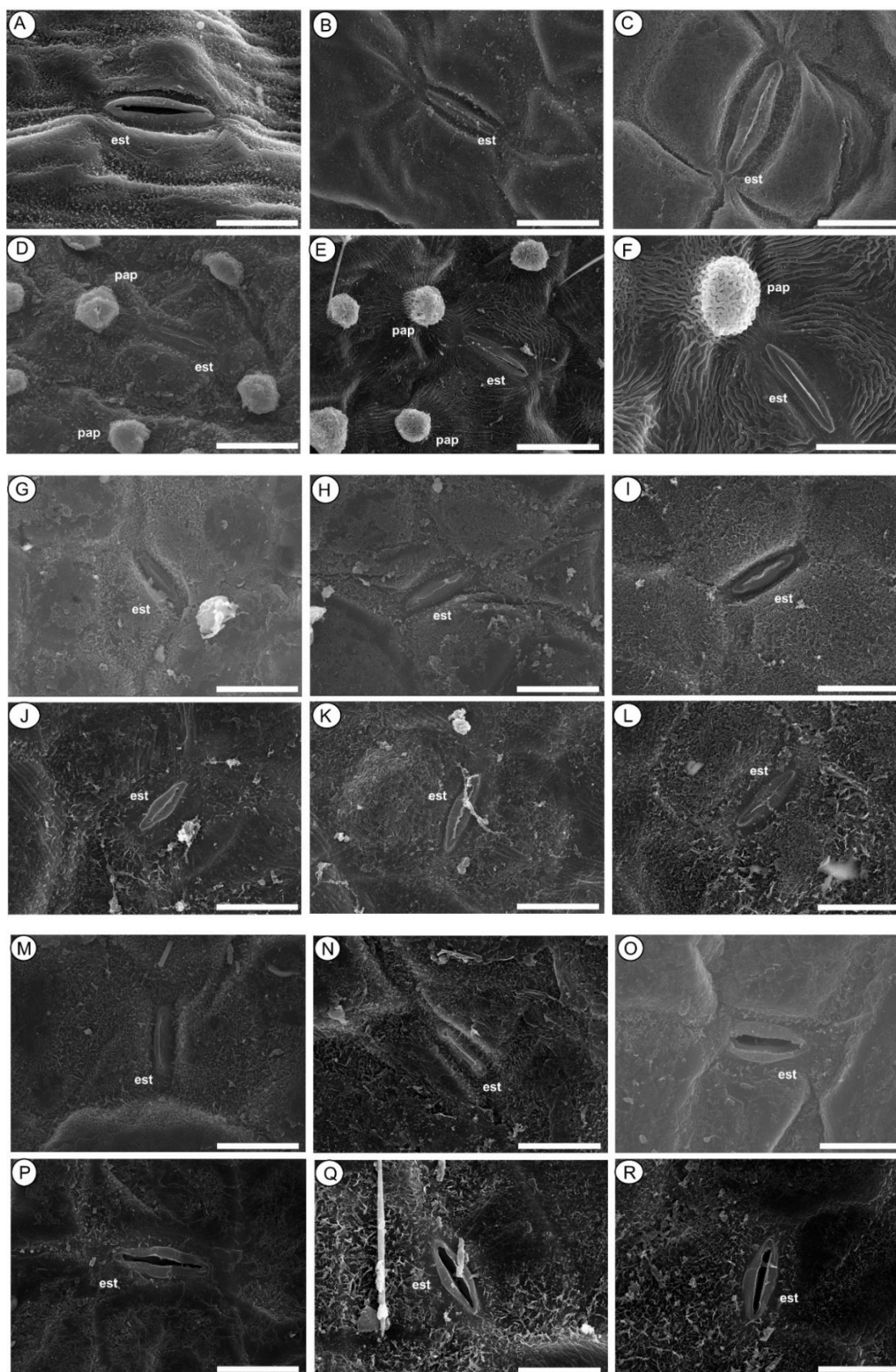


Figura 11: Detalhes dos estômatos de Taioba, observados por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A, B, C, D, E, F – Área 1; G, H, I, J, K, L – Área 2; M, N, O, P, Q, R – Área 3. A, B, C, G, H, I, M, N, O – Superfície adaxial. D, E, F, J, K, L, P, Q, R – Superfície abaxial. est: estômato. pap: papila. Barra 10 μ m.

3.2 Densidade de cristais

Para Taioba, observou-se maior variação na densidade de cristais entre as áreas. As médias foram semelhantes entre as áreas 1 e 2, enquanto a área 3 apresentou média substancialmente mais elevada (Figura 13B). Assim, para Taioba, a densidade de cristais foi significativamente maior na área 3 em comparação às demais áreas avaliadas.

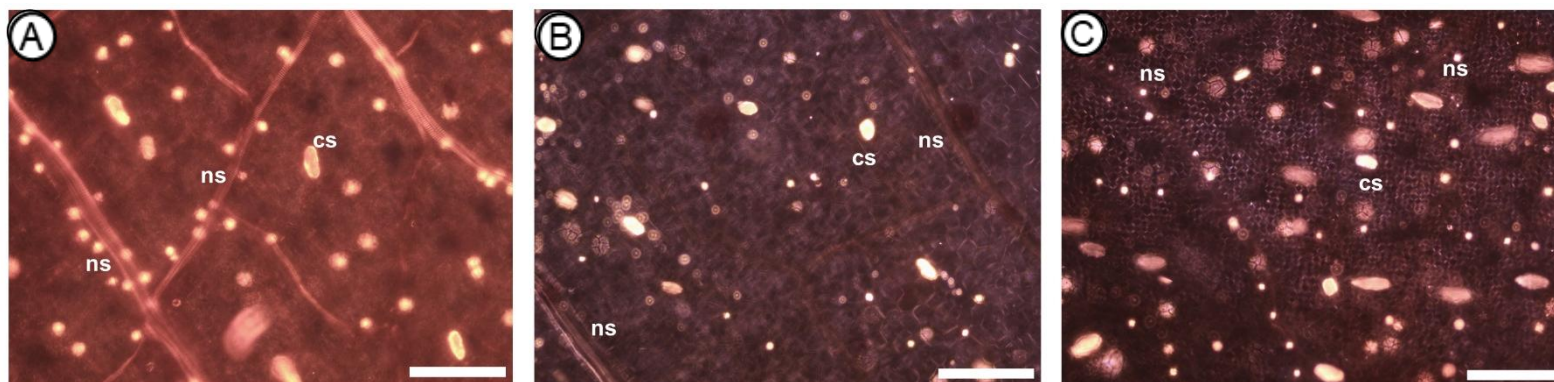


Figura 12: Folhas diafanizadas da espécie de estudo, observadas por MO, evidenciando cristais e nervuras. A, B, C – Taioba. Área 1 – A. Área 2 – B. Área 3 – C. cs: cristais. ns: nervura secundária Barra 100 μm .

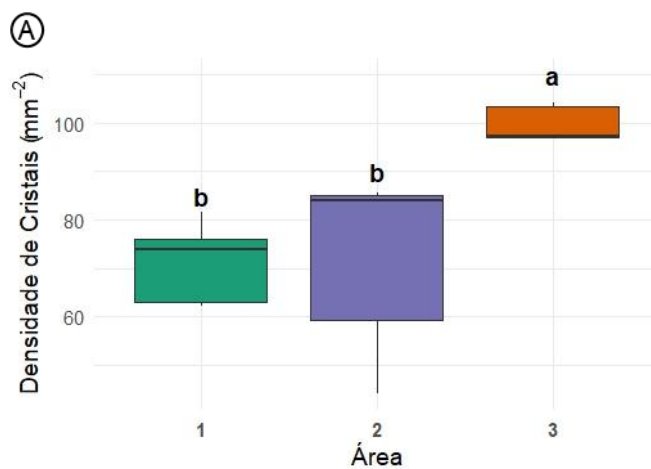


Figura 13: Boxplots referentes à densidade de cristais entre as áreas - Taioba.

3.3 Teste de citotoxicidade

A avaliação da citotoxicidade dos extratos das PANCs foi conduzida de forma exploratória. A comparação entre as áreas foi realizada nas concentrações de 10, 50, 100, 200 e 500 µg/mL. Para Taioba, (Figura 14) indica que a resposta citotóxica variou em função da concentração dos tratamentos. Nas três áreas avaliadas, as menores concentrações (10 e 50 µg/mL) apresentaram valores mais elevados de resposta citotóxica, enquanto as maiores concentrações (100, 200 e 500 µg/mL) resultaram em redução significativa da resposta, formando grupos estatisticamente inferiores. Entre as áreas não foi observado variação na resposta citotóxica. De modo geral, o padrão foi semelhante entre as áreas, indicando que a resposta citotóxica é dependente da concentração e apresenta diferenças pontuais associadas às condições ambientais de cada área.

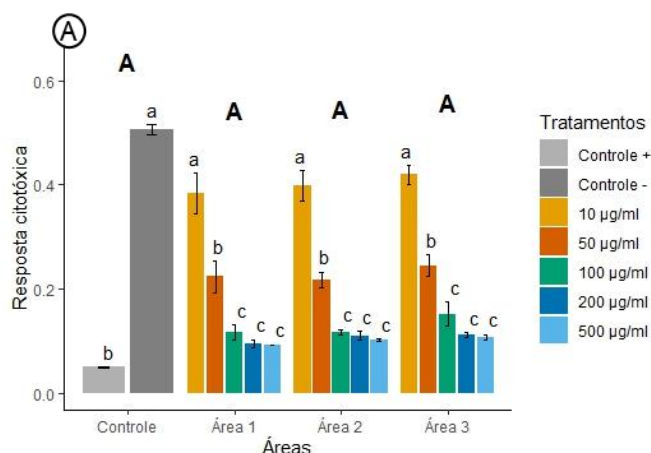


Figura 14: Gráfico referente ao teste de citotoxicidade da Taioba.

3.4 Deposição de elementos químicos na folha

A análise química da superfície foliar por EDS em Taioba identificou doze elementos químicos depositados na superfície das folhas: C, O, Cl, K, Al, Si, Ca, Cu, Zn, Cd, Ba e Pb. Entre os elementos detectados, a Área 1 apresentou maiores teores médios de C, K, Ca, Cu, Zn e Pb, enquanto a Área 2 destacou-se pelo maior valor de Ba. A Área 3 apresentou maiores concentrações médias de O, Cl, Si e Cd. Entre os metais potencialmente tóxicos, o Pb apresentou maior valor na Área 1, seguido da Área 3,

enquanto o Cd foi mais elevado na Área 3. De modo geral, observou-se variação na distribuição dos elementos entre as áreas, com destaque para a presença de metais como Pb, Cd, Cu e Zn em todas as áreas avaliadas, porém, estatisticamente, somente Ca teve resultado significativo, sendo mais presente na Área 1 (Figura 16A)

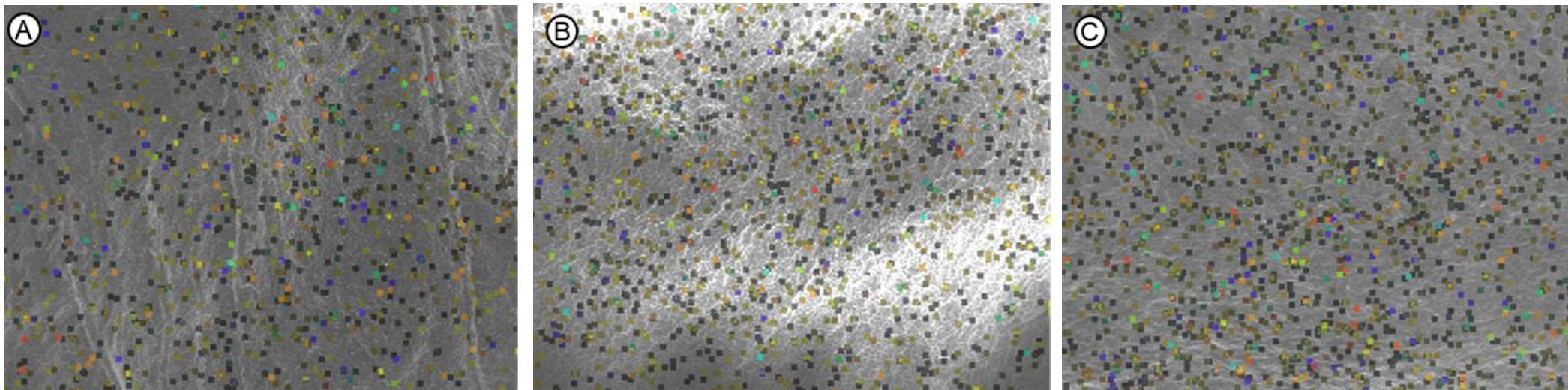


Figura 15: Análise com EDS: elementos químicos depositados na superfície das folhas. (A) Área 1, (B) Área 2, (C) Área 3. Cada pontilhado colorido representa um elemento químico diferente detectado na superfície foliar de Taioba.

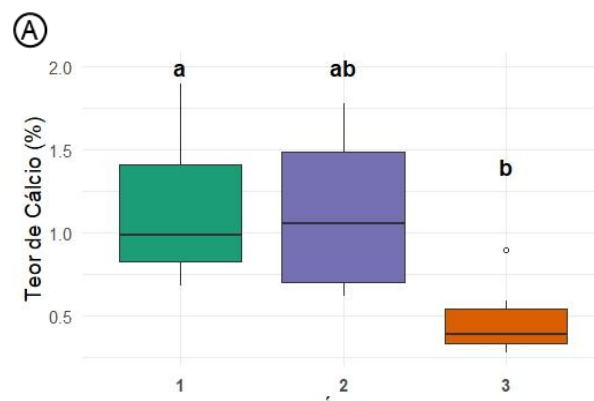


Figura 16: Boxplot referente à presença de elementos químicos na superfície foliar em Taioba. (A) teor de cálcio.

4 DISCUSSÃO

Análises estruturais podem ser esclarecedoras em estudos sobre o impacto do ambiente urbano nas plantas, possibilitando identificar diferentes estratégias adaptativas e diferentes graus de tolerância da planta (GRANTZ *et al.*, 2003; SANT'ANNA-SANTOS *et al.*, 2012).

Taioba é caracterizada por pecíolos longos, folhas grandes e sagitadas, em forma de flecha, com pontas agudas e lóbulos basais profundos e largos (Lebot; Ivančič; Lawac, 2024). Apresenta folha com epiderme unisseriada em ambas as faces, mesofilo dorsiventral com parênquima paliçádico e lacunoso diferenciados e presença de drusas de oxalato de cálcio, característica comum da família Araceae descritas anteriormente para a espécie (Sakuragui *et al.*, 2026).

Um estudo realizado por Osuji e Nwala (2014) investigou a delimitação taxonômica entre *Xanthosoma* e *Colocasia*, fornecendo evidências microscópicas e citológicas que transcendem a frequente confusão entre a aparência externa das folhas.

Os autores destacam que, embora ambos os gêneros sejam anfiestomáticos, possuindo estômatos tanto na face superior quanto na inferior, a densidade dessas estruturas e o índice estomático variam significativamente entre as espécies, sendo influenciados pelo ambiente, mas mantendo um padrão genético distinto. Anatomicamente, as duas espécies se diferem na presença de papilas epidérmicas, a pesquisa revela que as células da face abaxial de *Xanthosoma* apresentam essas pequenas projeções, que conferem uma textura específica à epiderme, enquanto o gênero *Colocasia* não apresenta papilas, mantendo uma superfície celular mais lisa. Essa característica funciona como um marcador diagnóstico prático para a microscopia, permitindo separar a taioba verdadeira de outros "falsos inhames".

Sakuragui *et al.* (2026) evidenciaram que o mercado consumidor frequentemente confunde a "taioba verdadeira" (*Xanthosoma taioba*), sinônimo para *Xanthosoma sagittifolium* no Brasil, com espécies morfológicamente próximas, como a *Leucocasia gigantea* (falsa-taioba), a *Colocasia esculenta* (taro) e a *Alocasia macrorrhizos*. O estudo ainda enfatiza que a comercialização dessas "falsas taiobas" pode comprometer a segurança alimentar, já que podem apresentar teores de oxalato ou substâncias irritantes que exigem métodos de preparo diferentes.

A modulação da densidade estomática representa uma estratégia morfoanatômica aclimatativa às condições microambientais impostas pela urbanização,

como alterações na disponibilidade hídrica, temperatura e concentração de CO₂ atmosférico (Zu, *et al.*, 2016; Chua, Lau, 2024; Hao, *et al.*, 2023; Bertolino, Caine, Gray, 2019). Os resultados observados para a espécie de estudo, nos quais a Área 1 (menos urbanizada) apresentou maior densidade estomática em comparação às Áreas 2 e 3 (mais urbanizadas), são consistentes com evidências de que ambientes urbanos com maior exposição a emissões veiculares podem reduzir a densidade estomática foliar.

Um estudo realizado por Valenzona (2022) sobre cristais de oxalato de cálcio em dez gêneros de Araceae demonstrou ampla variação na densidade e tamanho de cristais, mesmo que a presença de cristais seja uma característica taxonômica estável, a densidade desses cristais pode diferir significativamente entre linhagens ou condições do ambiente, o que corrobora com os resultados encontrados em Taioba em uma área com maior incidência urbana. Diferenças na densidade de cristais entre áreas podem refletir respostas específicas da espécie às condições ambientais e fisiológicas, estando associadas a estratégias de defesa e regulação de cálcio, o que pode explicar o aumento desse parâmetro em determinados ambientes, assim como os resultados encontrados na espécie supracitada (Gómez-Espinosa, 2021). De forma geral, os resultados indicam padrões distintos entre as espécies, com ausência de variação espacial na densidade de cristais em *Ora-pro-nobis* (capítulo 1) e aumento significativo desse parâmetro em Taioba na área 3, sugere respostas específicas da espécie às condições ambientais dos locais de cultivo.

O aumento na densidade desses cristais, observado nos indivíduos provenientes da área com maior incidência urbana, representa uma resposta já documentada em diferentes espécies expostas a poluentes atmosféricos (Alves *et al.*, 2008). Segundo a literatura, as plantas podem atuar como filtros biológicos, retendo e removendo parte dos poluentes presentes no ambiente urbano (Tomašević *et al.*, 2008). Esse processo contribui para a manutenção do equilíbrio iônico celular, frequentemente comprometido sob elevada carga poluente, além de favorecer a incorporação de metais pesados em cristais de oxalato acumulados nos tecidos vegetais (Choi *et al.*, 2001; Tomašević *et al.*, 2008). A exposição a poluentes aumenta a permeabilidade das membranas celulares, facilitando o influxo de Ca⁺⁺ do apoplasto para o interior das células. Nesse contexto, a formação de cristais de oxalato de cálcio funciona como mecanismo de defesa, permitindo o sequestro e a imobilização do excesso de cálcio intracelular (Fink, 1991). Entretanto, a presença de oxalato nos tecidos vegetais também possui implicações para a saúde humana, uma vez que seu consumo excessivo pode estar associado a

distúrbios renais. Estima-se que mais de 75% dos cálculos renais apresentem oxalato de cálcio como principal componente (Holmes *et al.*, 2001; Nordin *et al.*, 1979).

Conforme visto em nossa pesquisa, Alves *et al.* (2008) também observaram maior número de estômatos e cristais de oxalato de cálcio ao avaliar a influência da poluição urbana na cidade de São Paulo sobre *E. uniflora*.

Do ponto de vista da segurança alimentar, ambas as espécies cultivadas em ambientes urbanos requerem atenção, pois a deposição de poluentes pode comprometer a qualidade do alimento, seja por retenção superficial de partículas ou por possíveis alterações fisiológicas associadas à exposição ambiental. Esses achados reforçam a importância do monitoramento ambiental em hortas urbanas e da adequada higienização antes do consumo.

5 CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que o gradiente de urbanização influencia significativamente no acúmulo de elementos químicos nas folhas. A análise por EDS demonstrou que a deposição de elementos na superfície foliar estão associados à poluição atmosférica, reforçando a interação direta dessa espécie com o ambiente urbano e seu potencial como bioindicadora. A resposta citotóxica dos extratos variou somente conforme concentração, indicando a necessidade de estudos mais aprofundados acerca da composição química da espécie.

Embora a espécie demonstre capacidade de adaptação, as diferenças observadas evidenciam que o ambiente urbano pode alterar a retenção de poluentes, com implicações para biomonitoramento e segurança alimentar. Os resultados reforçam a necessidade de monitoramento ambiental e práticas adequadas de higienização no consumo de PANCs cultivadas em áreas urbanas. Os dados desse estudo ampliam o conhecimento sobre a espécie, os achados apresentados também podem subsidiar futuros estudos sobre a conservação da biodiversidade e a influência do ambiente urbano nas plantas.

Diante disso, sugerimos a realização de mais estudos acerca do tema, afim de compreender melhor como o ambiente tem influenciado as plantas utilizadas para consumo humano.

6 PERSPECTIVAS FUTURAS

Os resultados obtidos nesta pesquisa abrem possibilidades relevantes de aprofundamento científico e de aplicação prática no contexto urbano. Como desdobramento imediato, pretende-se realizar ações de divulgação científica direcionadas às comunidades envolvidas, especialmente às hortas urbanas participantes, bem como à Prefeitura do Rio de Janeiro, com o objetivo de apresentar os dados gerados e discutir suas implicações para o cultivo seguro de Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs) em ambientes urbanos. A socialização desses resultados visa fortalecer o diálogo entre universidade, gestores públicos e agricultores urbanos, contribuindo para práticas mais informadas e sustentáveis.

No âmbito acadêmico, está prevista a organização dos resultados em manuscritos científicos a serem submetidos a periódicos qualificados da área, ampliando o alcance e o impacto da pesquisa. A publicação permitirá inserir os dados obtidos no debate científico mais amplo sobre características bioindicadoras, citotoxicidade e efeitos do ambiente urbano sobre plantas de interesse alimentar.

Além disso, a pesquisa será ampliada no projeto de doutorado da discente, a ser desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). O novo estudo dará continuidade à investigação da influência do ambiente urbano, com foco no cultivo de plantas aromáticas em hortas cariocas, aprofundando as análises anatômicas, fisiológicas e químicas. Essa continuidade permitirá expandir a linha de pesquisa voltada à avaliação da qualidade e segurança de plantas cultivadas em contextos urbanos, integrando aspectos ambientais, produtivos e de saúde pública.

Dessa forma, as perspectivas futuras indicam tanto a consolidação acadêmica dos resultados quanto sua aplicação social, reafirmando o compromisso da pesquisa com a produção de conhecimento científico articulado às demandas da sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, E.S. *et al.* Análise estrutural de folhas de *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae) coletadas em ambientes rural e urbano, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 22: 241-248, 2008.
- AMATO-LOURENCO, L. F. *et al.* The influence of atmospheric particles on the elemental content of vegetables in urban gardens of Sao Paulo, Brazil. **Environmental Pollution**, v. 216, p. 125-134, 2016.
- ARAÚJO, P. C. C. *et al.* Uso de carvão ativado na remoção de CO₂. **Sci Plena**, v. 14, p. 1-9, 2018.
- ARAÚJO, S.S. *et al.* ARGANDOÑA, E.J.S. Bromatology, food chemistry and antioxidant activity of *Xhantosoma sagittifolium* (L.) Schott. **Emir. J. Food Agric.** 31 (3), 188–195, 2019.
- BARIMA, Y. *et al.* Assessing atmospheric particulate matter distribution based on Saturation Isothermal Remanent Magnetization of herbaceous and tree leaves in a tropical urban environment. **Science of the total environment**, v. 470, p. 975-982, 2014.
- BERTOLINO, L. T. *et al.* Impact of stomatal density and morphology on water-use efficiency in a changing world. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 225, 2019.
- CASTRO, A. O. C. de. Impactos da urbanização nas condições geomorfológicas da bacia hidrográfica do **Rio das Pedras–Jacarepaguá–RJ**, 2023.
- CASTRO, G. R. Studies on cocoyam (*Xanthosoma* spp.) in Nicaragua, with emphasis on Dasheen mosaic virus. Tese doutorado. **Swedish University of Agricultural Sciences**, 2006.
- CHAOLIN, G. Urbanization. **International encyclopedia of human geography**, v. 14, p. 141-153, 2020.
- CHOI, Y.E. *et al.* Detoxification of cadmium in tobacco plants: formation and active excretion of crystals containing cadmium and calcium through trichomes. **Planta** 213: 45-50, 2001.
- CHUA, L. C.; LAU, O. S. Stomatal development in the changing climate. **Development**, v. 151, n. 20, p. dev202681, 2024.
- COSGROVE, A.; BERKELHAMMER, M. Downwind footprint of an urban heat island on air and lake temperatures. **Climate and Atmospheric Science** 1: 1-10, 2018.
- DUARTE, S.P.A. *et al.* Valorization of taioba products and by-products: focusing on starch. **Foods** 13(15), 2415, 2024.

ECHEM, O. G.; KABARI, L. G. Heavy Metal Content in Bitter Leaf (*Vernonia amygdalina*) Grown Along Heavy Traffic Routes in Port Harcourt. In: **Agricultural Chemistry**. InTech, 2013.

FINK, S. Un usual patterns in the distribution of calcium oxalate in spruce needles in their possible relationships to the impact of pollutants. **New Phytologist** 119: 41-51, 1991.

GÓMEZ-ESPINOSA, O. *et al.* Calcium oxalate crystals in leaves of the extremophile plant *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. (Caryophyllaceae). **Plants**, v. 10, n. 9, p. 1787, 2021.

GRANTZ, D.A. *et al.* Ecological effects of particulate matter. **Environment international**, v. 29, n. 2-3, p. 213-239, 2003.

GURJAR, B. R. *et al.* Evaluation of emissions and air quality in megacities. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 7, p. 1593-1606, 2008.

HAO, L. *et al.* Drought dampens the positive acclimation responses of leaf photosynthesis to elevated [CO₂] by altering stomatal traits, leaf anatomy, and Rubisco gene expression in *Pyrus*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 211, p. 105375, 2023.

HOLMES, R.P. *et al.* Contribution of dietary oxalate to urinary oxalate excretion. **Kidney International** 59: 270-276, 2001.

HOU, S. *et al.* Pollution characteristics, sources, and health risk assessment of human exposure to Cu, Zn, Cd and Pb pollution in urban street dust across China between 2009 and 2018. **Environment International**, v. 128, p. 430-437, 2019.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente (RJ). Relatório da qualidade do ar do Estado do Rio de Janeiro: ano base 2018 / Instituto Estadual do Ambiente (RJ). – **Rio de Janeiro**, 2020.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente (RJ). Relatório da qualidade do ar do Estado do Rio de Janeiro: ano base 2024 / Instituto Estadual do Ambiente (RJ). – **Rio de Janeiro**, 2024.

IPCC – International Panel on Climate Change. Climate change and Land - Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. **WMO, UNEP**, 2019.

JARDIM, F. *et al.* How is a Community Urban Garden Program Related to the Law? Analysis of Hortas Cariocas (Rio de Janeiro, Brazil). **U. St. Thomas JL & Pub. Pol'y**, v. 16, p. 198, 2023.

JOHANSEN, D.A. **Plant Microtechnique**. New York, McGraw-Hill Book Company Inc., 1940.

LEBOT, V.; IVANČIČ, A.; LAWAC, F. Cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott) genetic resources and breeding: a review of 50 years of research efforts. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 72, n. 3, p. 2593-2612, 2024.

NOGUEIRA, T. S. R. *et al.* Anti-Mycobacterium tuberculosis Activity of Compounds from *Cedrela fissilis* Vell Seeds (Meliaceae). **Rev. Virtual Quim**, v. 13, p. 1116-1121, 2021.

O'BRIEN, T.P.; FEDER, M.; MCCULLY, E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma** 59: 367-373, 1964.

OLIVEIRA, M. T. de; GANEM, K. A.; BAPTISTA, G. M. de M. Análise sazonal da relação entre sequestro de carbono e ilhas de calor urbanas nas metrópoles de São Paulo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 4, p. 807-825, 2017.

OSUJI, J. O.; NWALA, P. C. Epidermal and cytological studies on cultivars of *Xanthosoma* (L.) Schott. and *Colocasia* (L.) Schott. (Araceae). **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 4, n. 2, p. 149-155, 2014.

POWER, M. C. *et al.* The association of long-term exposure to particulate matter air pollution with brain MRI findings: the ARIC study. **Environmental Health Perspectives**, v. 16, p. 027009.1-027009.8, 2018.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024.

RIBEIRO, E. V. *et al.* Comportamento do vento e aspectos geomórficos que condicionam a movimentação da pluma de poluentes atmosféricos do distrito industrial de Pirapora-MG. **GEOgraphia**, v. 22, n. 48, 2020.

SAKURAGUI, C.M. *et al.* More than one taioba: morpho-anatomical differentiation of Araceae species sold under a single vernacular name and their relevance for food quality and identification. **Brazilian Journal of Botany**, v. 49, n. 1, p. 4, 2026.

SANT'ANNA-SANTOS, B.F. *et al.* Diagnostic and prognostic characteristics of phytotoxicity caused by fluoride on *Spondias dulcis* Forst. F. (Anacardiaceae). **Annals of the Brazilian Academics of Sciences**, v. 84, p. 689-702, 2012.

SILVEIRA, T. S. *et al.* Análise do clima e relevo na concentração de material particulado em Madrid (Espanha) e São Paulo (Brasil). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 520-543, 2021.

STREET, R.A. Heavy metals in medicinal plant products – an African perspective. **South African Journal of Botany**, v. 82, p. 67–74, 2012.

STRITTMATTER, C. D. Nueva técnica de diafanización. *Bol. Soc. Argent. Bot*, 15, 126-129, 1973.

TERRA, S. B.; VIERA, C. T. R. Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs): levantamento em zonas urbanas de Santana do Livramento, RS. **Ambiência, Guarapuava, PR**, v. 15, n. 1, p. 112-130, 2019.

TOMAŠEVIČ, M. *et al.* Contribution to biomonitoring of some trace metals by deciduous tree leaves in urban areas. **Environmental Monitoring and Assessment** 137: 393-401, 2008.

VALENZONA, M. A. V. N. Occurrence and variation of calcium oxalate crystals in ten different genera of family Araceae. **Science and Education**, v. 4, n. 1, p. 117-128, 2023.

ZAR, J.H. **Biostatistical Analysis**. 5th ed. New Jersey; p. 947, 2010.

MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela 1 – Análise química e física do solo das três áreas de estudo.

AMOSTRA	unidade	Área 1	Área 2	Área 3
pH	H ₂ O	7,1	6,9	7,5
S-SO ₄	mg/dm ³	46	24	33
P	mg/dm ³	70	132	80
K	mmolc/dm ³	4,60	2,40	2,20
Ca	mmolc/dm ³	129,30	118,80	119,70
Mg	mmolc/dm ³	14,60	9,90	7,20
Al	mmolc/dm ³	0,00	0,00	0,00
H+Al	mmolc/dm ³	8,20	14,00	3,40
Na	mmolc/dm ³	3,80	1,60	2,50
C	g/dm ³	27,20	19,30	16,50
MO	g/dm ³	46,89	33,27	28,45
CTC	mmolc/dm ³	160,50	146,70	135,00
SB	mmolc/dm ³	152,30	132,70	131,60
V	%	95	90	97
m	%	0	0	0
ISNa	%	2	1	2
Fe	mg/dm ³	153,86	57,62	65,08
Cu	mg/dm ³	2,72	3,88	1,96
Zn	mg/dm ³	15,09	55,05	32,52
Mn	mg/dm ³	39,30	86,99	50,48
B	mg/dm ³	0,31	0,33	0,31