



Universidade de Brasília

Departamento de Engenharia Florestal

Engenharia Florestal

Sthefany Henrique de Souza Teixeira

Análise Qualitativa da *Swietenia macrophylla* na Arborização Urbana de Brasília: Relações com o Entorno e Qualidade da Madeira

Brasília

2024

Sthefany Henrique de Souza Teixeira

**Análise Qualitativa da *Swietenia macrophylla* na Arborização Urbana de Brasília:
Relações com o Entorno e Qualidade da Madeira**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. José Henrique Camargo Pace

Coorientadora: Profa. Juscelina Arcanjo dos Santos

Brasília

2024

Sthefany Henrique de Souza Teixeira

**Análise Qualitativa da *Swietenia macrophylla* na Arborização Urbana de Brasília:
Relações com o Entorno e Qualidade da Madeira**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal

Data da aprovação:

José Henrique Camargo Pace — Orientador
Doutor em Ciências Ambientais e Florestais (UFRRJ)
Professor do Departamento de Engenharia Florestal (UnB)

Juscelina Arcanjo dos Santos — Coorientador
Mestre em Mestre em Ciências Florestais (UESB)
Professora do Departamento (UnB)

Ailton Teixeira do Vale — Membro da Banca
Doutor em Energia na Agricultura (UNESP)
Professor do Departamento de Engenharia Florestal (UnB)

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Dr. José Henrique Camargo Pace, expresso minha gratidão por seus valiosos conhecimentos, amizade e apoio durante a realização deste trabalho. A professora Jucelina Arcanjo pelo apoio à pesquisa e a sua disposição em compartilhar conhecimentos e experiências

Aos professores Ailton Teixeira, pela oportunidade de utilizar o laboratório sob sua coordenação e pelas valiosas instruções; Mauro Eloi e Reuber Brandão, agradeço pela amizade construída ao longo dos anos de graduação e o apoio nos diversos desafios enfrentados.

A funcionária do Departamento de Engenharia Florestal Flávia Paula, agradeço a ajuda, atenção e presteza que me dispensou durante todo o processo.

Aos amigos formados durante a graduação, Arielly, Claudia, Maria Regina Thiago e tantos outros, agradeço por compartilharem dessa jornada ao meu lado e por contribuírem para minha formação como futura engenheira florestal.

À minha família, minha mãe Ludmila, minha avó Dona Terezinha, Almy, meus irmãos Gabriel, Miguel, Rafael e minha tia Taize, expresso minha profunda gratidão pelo amor incondicional, pelo apoio, estímulo e por acreditarem no meu potencial. Vocês foram a minha base durante toda a graduação e me motivaram a nunca desistir dos meus sonhos, mesmo quando pareciam impossíveis.

Ao meu esposo, Stephano, agradeço a inestimável ajuda na coleta de dados, a compreensão, o apoio e o amor durante essa jornada tão importante para mim.

A todos muito obrigada.

RESUMO

A arborização urbana desempenha um papel fundamental na promoção do bem-estar das populações urbanas, proporcionando benefícios ambientais, sociais e psicológicos. Estudos recentes, como o de Costa et al. (2020), destacam que a presença de árvores e áreas verdes nas cidades pode reduzir o estresse, a ansiedade e a depressão, além de melhorar o humor e promover uma sensação geral de bem-estar. Além disso, a arborização urbana contribui para a criação de um ambiente mais saudável e sustentável, aumentando a biodiversidade e melhorando o microclima urbano (Loboda, 2005; Biondi, 2015). Este estudo investigou a densidade da madeira de *Swietenia macrophylla*, uma espécie amplamente utilizada na arborização urbana de Brasília, e sua correlação com características fitossanitárias e qualitativas das árvores. O objetivo foi analisar a influência do ambiente urbano na densidade da madeira e avaliar o estoque de carbono dessas árvores. A pesquisa utilizou amostras de árvores localizadas nas regiões da Asa Sul e Asa Norte de Brasília, conforme a norma NBR 16246-3:2019, que orienta a inspeção visual e avaliação fitossanitária. Os resultados revelaram uma densidade média de 0,544 g/cm³, sem diferenças significativas entre as posições radiais ou direções de coleta, mas com variação significativa entre as regiões da Asa Norte e Asa Sul. A correlação entre a densidade da madeira e a largura da copa foi fraca. A estimativa do estoque de carbono totalizou 2841,42 kg75 toneladas, evidenciando o papel crucial das árvores urbanas na mitigação das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Avaliação de risco, densidade da madeira, estoque de carbono, qualidade ambiental, fitossanidade.

ABSTRACT

Urban forestry plays a fundamental role in promoting the well-being of urban populations by providing environmental, social, and psychological benefits. Recent studies, such as that by Costa et al. (2020), highlight that the presence of trees and green areas in cities can reduce stress, anxiety, and depression, as well as improve mood and promote a general sense of well-being. Additionally, urban forestry contributes to the creation of a healthier and more sustainable environment by increasing biodiversity and improving the urban microclimate (Loboda, 2005; Biondi, 2015). This study investigated the wood density of *Swietenia macrophylla*, a species widely used in urban forestry in Brasília, and its correlation with the phytosanitary and qualitative characteristics of the trees. The objective was to analyze the influence of the urban environment on wood density and assess the carbon stock of these trees. The research utilized samples from trees located in the Asa Sul and Asa Norte regions of Brasília, following the NBR 16246-3:2019 standard, which guides visual inspection and phytosanitary evaluation. The results revealed an average density of 0.544 g/cm³, with no significant differences between radial positions or collection directions, but with significant variation between the Asa Norte and Asa Sul regions. The correlation between wood density and canopy width was weak. The estimated carbon stock totaled 2841.42 kg, highlighting the crucial role of urban trees in mitigating climate change.

Keywords: Risk assessment, wood density, carbon stock, environmental quality, phytosanitary health.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Morfologia da <i>Swietenia macrophylla</i> , inflorescência (1), fruto (2), folhas (3), detalhe da nervação (4), detalhe dos pecíolos pulvinados (5) e ritidoma (6). Fonte: "100 árvores urbanas de Brasília - guia de campo", autoria de Manoel Cláudio e Roberta Lima.	7
Figura 2: Mapa de ocorrência da espécie <i>Swietenia macrophylla</i> . Fonte: cncflora	7
Figura 3: Mapa de localização, com identificação dos pontos de coleta.....	8
Figura 4: Tela de login do aplicativo mobile earbo floresta urbana inteligente, utilizado para a coleta de dados fitossanitários e dendrométricos das árvores urbanas.	9
Figura 5: Posicionamento da sonda em ângulo reto em relação ao tronco da árvore.	13
Figura 6: Remoção da amostra com auxílio de uma espátula.	13
Figura 7: Vista detalhada da amostra após a coleta.....	13
Figura 8: Esquema de coleta de amostras não destrutivas utilizando a sonda de pressler na altura do dap (diâmetro à altura do peito).	13
Figura 9: Amostra armazenada em tubo plástico com rótulo de identificação.	14
Figura 10: Amostras mantidas congeladas para conservação do material.	14
Figura 11: Esquema do dimensionamento das amostras e do procedimento de coleta das medidas de diâmetro.	15
Figura 12: Processo de preparação das amostras para análise.....	15
Figura 13: Amostras segmentadas em cilindros de aproximadamente 3 centímetros.	15
Figura 14: Amostras segmentadas, separadas por árvore.	16
Figura 15: Amostras identificadas com o número da árvore e a direção da coleta.	16
Figura 16: Amostras colocadas em um recipiente para submersão.	16
Figura 17: Água sendo adicionada no recipiente.	16
Figura 18: Peso colocado sobre as amostras para garantir que fiquem completamente submersas.	16
Figura 19: Medição do comprimento e diâmetro das amostras, após período de saturação.	16

Figura 20: Amostras posicionadas na estufa para o início do processo de secagem.	17
Figura 21: Amostras dispostas na estufa para iniciar a secagem.....	17
Figura 22: Após 24 horas, as amostras foram transferidas para um dessecador a vácuo.....	17
Figura 23: Obtenção da massa seca das amostras.	17
Figura 24: Distribuição diamétrica das árvores amostradas.	20
Figura 25: Valores de densidade nos sentidos de coleta para cada árvore coletada.	22
Figura 26: Interpolação dos valores de largura de copa com as posições radiais.	23
Figura 27: Gráfico de pizza representado as condições qualitativas do entorno. Fonte earbo.....	27
Figura 28: Gráficos de pizza representado as condições qualitativas da copa das árvores amostradas. Fonte earbo.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Formulário para análise visual fitossanitária.....	10
Tabela 2: Tabela da densidade básica nas três posições radiais, para os sentidos de coleta.	21
Tabela 3: Tabela da densidade básica nas três posições radiais, para os locais de coleta.....	21
Tabela 4: Tabela da correlação entre a largura da copa e os valores de densidade.	23
Tabela 5: Valores quantitativos das árvores de <i>s. Macrophylla</i> coletadas.	25
Tabela 6: Correlação de pearson para as variáveis de área de copa e lcr com os valores de densidade.....	26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Hipótese	2
1.2	Objetivo Geral	3
1.3	Objetivos Específicos	3
2	REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1	Qualidade de vida nas cidades	3
2.2	Arborização urbana e seus benefícios	4
2.3	Métodos de manejo e gestão	4
2.4	Importância da densidade	5
2.5	Estoque de Carbono	6
2.6	<i>Swietenia macrophyla</i>	6
3	MATERIAIS E MÉTODOS	8
3.1	Caracterização da área de estudo	8
3.2	Análise Fitosanitária	9
3.3	Coleta e extração de amostras	12
3.4	Determinação da densidade das amostras	14
3.5	Estimativa de estoque de carbono	18
3.6	Análise de regressão e correlação entre parâmetros fitossanitários, dendrométricos e a densidade da madeira	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
5	CONCLUSÕES	28
6	REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

Desde o início do século XX, temos testemunhado um processo acelerado de urbanização, caracterizado pelo êxodo rural e a concentração crescente da população em centros urbanos densamente povoados. Conforme aponta Alves & Marra (2009), a urbanização crescente e o conseqüente êxodo rural têm transformado as paisagens urbanas, levando à redução dos espaços naturais e impactando negativamente o bem-estar das populações urbanas. Conforme Costa et al. (2020), estudos recentes destacam que o contato com a natureza tem efeitos positivos significativos, como a redução do estresse, ansiedade e depressão, além de melhorar o humor e promover um sentimento geral de bem-estar. A arborização urbana emerge, assim, como uma estratégia eficaz para mitigar os efeitos adversos da urbanização, promovendo bem-estar e oferecendo diversos benefícios ambientais e sociais. A criação de espaços verdes nas cidades contribui para um ambiente mais saudável e sustentável, além de aumentar a biodiversidade e melhorar o microclima urbano (Loboda, 2005; Biondi, 2015).

Atualmente, o tema da arborização urbana ganha atenção devido à necessidade de criar espaços verdes que melhoram a qualidade de vida nas cidades (Biondi, 2015). Levantamentos apontam que entre os desafios enfrentados, destaca-se a necessidade de manter a saúde fitossanitária das árvores e garantir que elas ofereçam os benefícios esperados sem representar riscos (Embrapa, 2002). A falta de manutenção adequada, a presença de pragas e doenças, e a interação com a infraestrutura urbana são dificuldades que complicam a gestão da arborização (Zagalli, 2020). Com o objetivo de realizar a avaliação destas árvores, normas com a NBR 16246-3:2019 e a TRAQ (Tree Risk Assessment Qualification) auxiliam com uma abordagem focada na inspeção visual e avaliação fitossanitária, sendo fundamental para a gestão de florestas urbanas, conforme exposto por Klein et al. (2023), permitindo a identificação e mitigação de riscos associados às árvores.

Uma espécie amplamente utilizada na urbanização de Brasília (Novacap, 2023) é a *Swietenia macrophylla*, uma espécie de árvore nativa das florestas tropicais da América Central e do Sul, com ocorrência desde o sul do México até a Amazônia brasileira (Silva Junior, 2010). Considerada uma das madeiras mais valiosas do mundo, o Mogno é

conhecido pela sua madeira de alta qualidade, com características que a tornam amplamente utilizada na fabricação de móveis, instrumentos musicais, e outros produtos de luxo. Quanto a fenologia, a floração dessas árvores ocorrem durante a estação seca, a frutificação ocorre posteriormente, os frutos são cápsulas lenhosas que, ao amadurecerem liberando sementes aladas que são dispersas pelo vento. A *Swietenia macrophylla* é uma árvore de grande porte, com copa ampla, arredondada e densa.

Embora seja uma espécie de ampla distribuição, *Swietenia macrophylla* está listada no Apêndice II da CITES (Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies da Fauna e da Flora Silvestres Ameaçadas de Extinção) devido à exploração excessiva e ao desmatamento, que ameaçam suas populações naturais (Embrapa, 2013). A espécie desempenha um papel ecológico importante nas florestas tropicais, contribuindo para a biodiversidade e fornecendo habitat para diversas espécies de fauna.

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar a madeira de *Swietenia macrophylla*, sob o ponto de vista da densidade básica e sua relação com parâmetros da arborização, como características fitossanitárias e qualidade das árvores. Além disso, busca avaliar o estoque de carbono armazenado nessas árvores, contribuindo para a compreensão do papel das florestas urbanas na mitigação das mudanças climáticas. A escolha desta espécie justifica-se em razão de suas características específicas de crescimento e densidade, bem como pela sua importância na indústria moveleira e na conservação ambiental (Grogan 2002; Gomes 2015).

O estudo realizou-se no centro de Brasília, especificamente nas áreas da Asa Sul e Asa Norte. A base de dados para a coleta incluiu registros históricos de plantios fornecidos pela Novacap – Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil, além de observações diretas nas áreas da Asa Sul e Asa Norte de Brasília.

1.1 HIPÓTESE

Como a densidade básica e as características fitossanitárias dessas árvores se relacionam com os padrões estabelecidos pela NBR 16246-3:2019?

H1: Árvores com maior densidade básica da madeira apresentam menor probabilidade de quedas e falhas estruturais.

H1: Presença de sintomas de doenças, pragas e injúrias pode estar correlacionada com menor densidade básica da madeira, indicando maior risco de queda ou falha.

1.2 OBJETIVO GERAL

Analisar qualitativamente árvores de *Swietenia macrophylla*, plantadas na arborização urbana de Brasília, verificando relações com o entorno e a qualidade da madeira.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a densidade básica da madeira de *Swietenia macrophylla* composta na arborização urbana.
- Qualificar as características fitossanitárias de acordo com a NBR 16246-3:2019.
- Identificar a correlação entre a densidade básica e as características qualitativas das árvores.
- Avaliar o estoque de carbono com as características qualitativas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 QUALIDADE DE VIDA NAS CIDADES

Com a formação dos grandes centros urbanos, a migração em massa da população rural para áreas urbanas, tornou-se proeminente, impulsionada pela busca por melhores oportunidades de emprego, acesso a serviços básicos e um estilo de vida mais moderno. Esse movimento não apenas remodelou a paisagem demográfica, mas também teve impactos significativos na economia, cultura e estrutura social das sociedades (alves & marra, 2009). No entanto, o crescimento urbano tem sido acompanhado pela preocupante redução dos espaços naturais, o que potencialmente prejudica o bem-estar das pessoas. Estudos recente, como os de costa et al. (2020), destacam que o contato com a natureza pode ter efeitos positivos significativos, tais como a redução do estresse,

ansiedade e depressão, ao mesmo tempo em que melhora o humor e promove um sentimento geral de bem-estar. Essas descobertas ressaltam a importância de preservar e promover o acesso a ambientes naturais em meio ao crescimento urbano.

Uma forma eficaz de mitigar os impactos negativos na vida de quem mora em ambientes urbanos é a arborização. Por meio dessa estratégia é possível criar espaços verdes nas cidades, promovendo bem-estar e oferecendo diversos benefícios associados às florestas urbanas (Loboda, 2005).

2.2 ARBORIZAÇÃO URBANA E SEUS BENEFÍCIOS

A arborização compreende um conjunto de ações estratégicas que visam o planejamento, plantio, manutenção e gestão da vegetação arbórea em áreas públicas e privadas dentro do perímetro urbano (Biondi, 2015, p. 28). Essa prática abrange as áreas verdes, parques e praças e ainda a arborização viária, que compreende calçadas, ruas e avenidas. A diversidade aplicada nessa prática contribui para criar ambientes mais ricos e biodiversos, além de aumentar a permeabilidade do solo e criar corredores ecológicos. Isso resulta na redução da temperatura, promovendo um microclima mais agradável e proporcionando sombra em áreas públicas e residenciais. Tal prática auxilia também na redução dos impactos do aquecimento global, aumento da variedade de espécies da fauna e flora, promovendo equilíbrio (Shashua-Bar e Hoffman, 2000; Embrapa, 2002; Mullaney et al, 2015; Furtado, 2017; Macedo & Sakata, 2002).

2.3 MÉTODOS DE MANEJO E GESTÃO

O estabelecimento de uma arborização urbana equilibrada e segura, exige o acompanhamento com avaliações periódicas das condições fitossanitária das árvores, a fim de identificar e mitigar possíveis riscos (Zangalli, 2020). Neste contexto, a Norma Brasileira ABNT NBR 16246-3:2019 e a Quantified Tree Risk Assessment - QTRA, da International Society of Arboriculture, estabelecem parâmetros técnicos para avaliação de risco de árvores em florestas urbanas.

Esta avaliação de risco constitui um instrumento fundamental para a gestão da arborização urbana, permitindo a identificação de indivíduos com elevado potencial de queda ou falha, para a partir daí promover o manejo adequado. A avaliação de risco

prevê ainda, a partir da inspeção visual, que analisa os componentes da árvore, incluindo sistema radicular, tronco, galhos e folhas, também é avaliado as condições do entorno da árvore, bem como a distância entre a árvore e construções, linhas de energia e outros elementos do ambiente urbano. A avaliação de risco inclui uma inspeção visual que analisa tanto os componentes da árvore quanto os do entorno. Os componentes da árvore examinados são o sistema radicular, o tronco, os galhos e as folhas. Já os componentes do entorno incluem a distância da árvore em relação a construções, linhas de energia e outros elementos do ambiente urbano. A partir dessa observação detalhada, pode-se sugerir podas corretivas, remoções ou intensificar o monitoramento (Klein et al., 2023). Para além da avaliação individual, pode-se estabelecer um planejamento de toda arborização por meio do Plano Diretor de Arborização Urbana, que estabelece, além do planejamento para novos plantios, um sistema permanente de manutenção das árvores de ruas, incluindo itens como: poda, controle fitossanitário, reparos de danos físicos, reposição adubação e irrigação, se a identificação dessas necessidades for apontada no monitoramento (Muller, 1998; Coelho-Duarte et al., 2021).

2.4 IMPORTÂNCIA DA DENSIDADE

A densidade da madeira é uma propriedade fundamental das árvores, que se refere à massa de madeira por unidade de volume, expressa em g/cm^3 . Madeira mais densa indica maior compactação das fibras e menor quantidade de espaços vazios (SFB, 2024), conferindo maior resistência à flexão, compressão e impactos. Essas características conferem às árvores maior robustez e resistência a ventos fortes, quebra de galhos e outros estresses mecânicos (Villar et al., 1997; Santos et al., 2009; Tsmis, 1991).

Estudos como o de Brasil et al (1971), feitos com eucalipto, demonstram que o espaçamento e as técnicas de manejo aplicadas influenciam significativamente o crescimento e a qualidade da madeira. Além da variação da densidade nas espécies, é importante considerar a variação ao longo do fuste de uma mesma árvore. Essa variação pode ser atribuída a uma combinação de fatores, como características genéticas, variações anatômicas, processos de crescimento e amadurecimento, além de influências ambientais (De Castro, 2017).

2.5 ESTOQUE DE CARBONO

O sequestro de carbono é essencial para equilibrar os níveis de CO₂ atmosférico. A quantidade de carbono depende de diversos fatores, como o tipo de vegetação, o solo e o manejo da terra. Estudos como o de Batjes (2005), destaca a importância de ecossistemas como o da região Amazônica no ciclo global do carbono, apontando uma significativa quantidade de carbono armazenada. Para Nogueira et al. (2018), é possível estimar também a perda de estoque de carbono devido o desmatamento no bioma Amazônico. Frente a isso, as florestas urbanas atuam como sumidouros de carbono, absorvendo e armazenando, contribuindo para a mitigação do carbono atmosférico em áreas urbanas (Choudhury, 2020; Brun, 2012).

A quantificação deste estoque é fundamental para o desenvolvimento de políticas ambientais eficazes e para a implementação de estratégias de redução das mudanças climáticas. É possível utilizar diversos métodos para fazer esta estimativa, desde a métodos diretos e indiretos, tais como inventários florestais tradicionais e tecnologias de sensoriamento remoto como LiDAR (Furtado et al., 2017; Oliveira, 2021; Silva et al., 2015).

2.6 *SWIETENIA MACROPHYL*A

É uma espécie da família Meliaceae. Trata-se de uma árvore de grande porte, com altura média entre 24 a 30 metros, podendo chegar a 60 metros de altura; possui madeira com densidade variando entre 0,55 a 0,65 g/cm³, utilizada na arborização por fornecer sombra e por seu crescimento não oferecer riscos ao entorno, é uma madeira altamente utilizada na indústria moveleira e construção civil, sendo apreciada mundialmente, (Da Silva Junior, 2010; Gomes, 2015).

Detalhes da morfologia é destacada na Figura 1. Em razão disso a intensa exploração dessa espécie tornou necessário a aplicação de medidas que visem garantir sua conservação e o uso sustentável (Grogan, 2002). Conforme publicado pelo CNCFlora, a espécie em questão possui ampla distribuição neotropical, com registros em quase todos os países da América Latina. No Brasil, a ocorrência natural se dá na região Amazônica, mas devido sua alta adaptabilidade a outros ambientes. Podemos observar a distribuição na Figura 2.

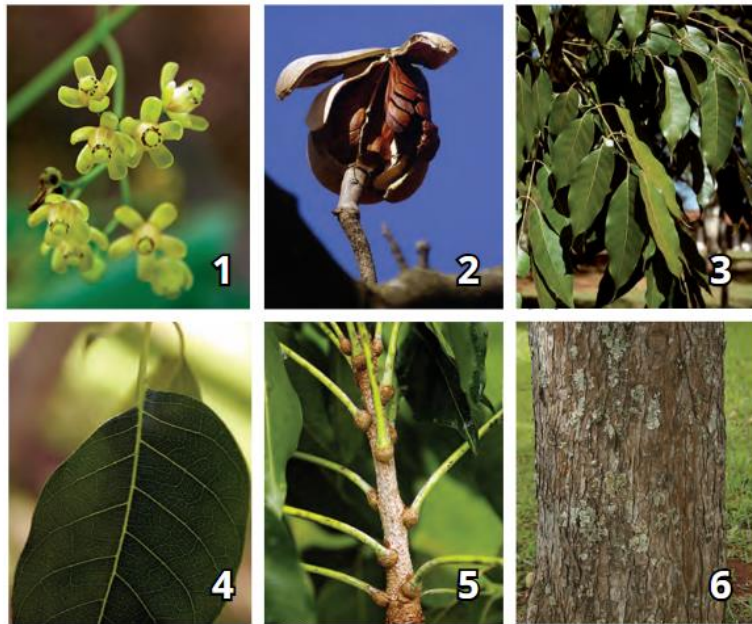


Figura 1: Morfologia da *Swietenia macrophylla*, inflorescência (1), fruto (2), folhas (3), detalhe da nervação (4), detalhe dos pecíolos pulvinados (5) e ritidoma (6). Fonte: "100 Árvores Urbanas de Brasília - Guia de Campo", autoria de Manoel Cláudio e Roberta Lima.

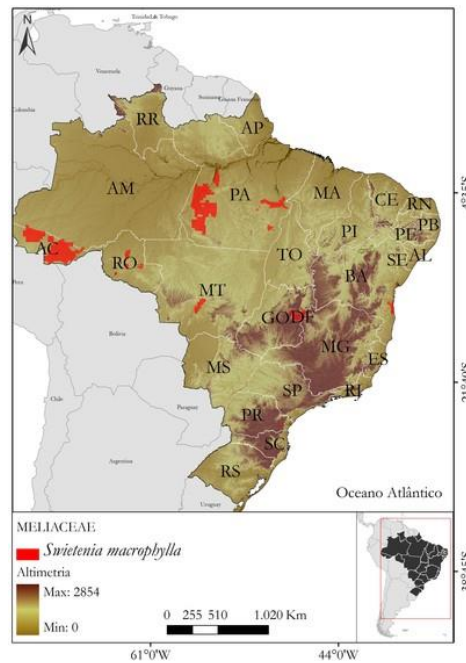


Figura 2: Mapa de ocorrência da espécie *Swietenia macrophylla*. Fonte: CNCFlora

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo selecionada compreende o centro de Brasília, abrangendo os bairros da Asa Sul e Asa Norte, que juntos formam uma extensão de aproximadamente 14 quilômetros. Esses bairros são divididos em quadras residenciais e comerciais, totalizando 120 superquadras, onde foram distribuídos os pontos de coleta, conforme demonstrado na Figura 3. Para a definição dos pontos de coleta, foi utilizado como referência o livro "100 Árvores Urbanas de Brasília: Guia de Campo", de autoria de Manoel Cláudio e Roberta Maria. Este guia, baseado em um inventário florestal detalhado, indica as quadras onde a espécie em estudo ocorre na região urbana de Brasília. Adotou-se o critério de não coletar mais do que duas árvores por quadra, onde elas ocorriam, garantindo assim uma amostragem equilibrada e representativa da área de estudo.

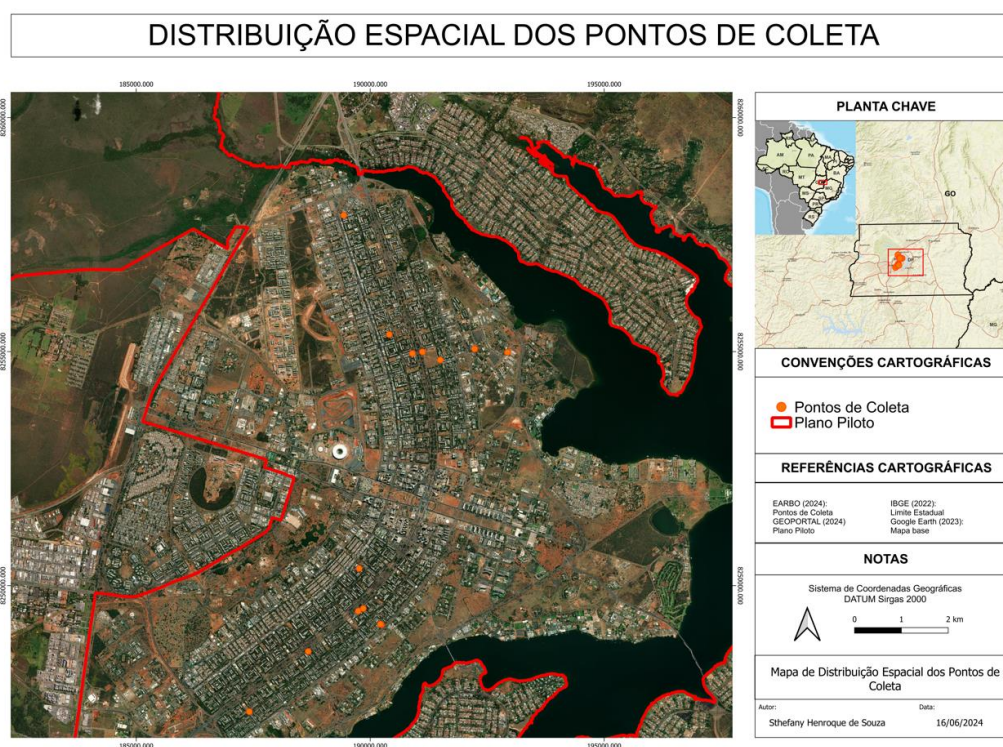


Figura 3: Mapa de localização, com identificação dos pontos de coleta.

3.2 ANÁLISE FITOSANITÁRIA

Para a avaliação fitossanitária das árvores, foi realizado um questionário por meio do aplicativo mobile eARBO Floresta Urbana Inteligente (Figura 4). A qualidade da copa foi avaliada, observando a densidade foliar da copa, a presença de galhos mortos ou danificados e sinais de doenças. O tronco foi inspecionado visual e tactilemente para identificar cavidades, rachaduras, exsudações de resina e outros indícios de problemas fitossanitários. As raízes, especialmente as superficiais visíveis, foram examinadas, e a base do tronco foi inspecionada para detectar sinais de desestabilização ou danos mecânicos. Além disso, foram identificados agentes externos, tanto bióticos quanto abióticos, que pudessem influenciar negativamente as árvores, incluindo pragas, patógenos e poluição. O entorno imediato das árvores também foi avaliado, considerando a proximidade de infraestruturas urbanas, como calçadas, ruas e edificações, bem como outras condições ambientais que pudessem impactar a saúde arbórea (Tabela 1).

Além das avaliações fitossanitárias, foram coletadas medidas dendrométricas importantes, incluindo a circunferência à altura do peito (CAP), a altura total da árvore e a largura e altura da copa.

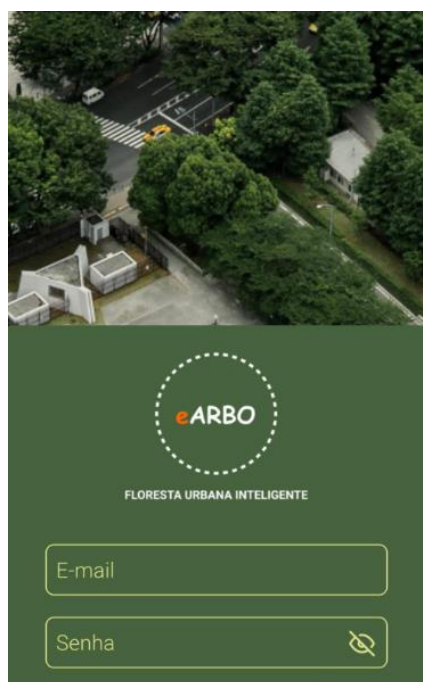


Figura 4: Tela de login do aplicativo mobile eARBO Floresta Urbana Inteligente, utilizado para a coleta de dados fitossanitários e dendrométricos das árvores urbanas.

Tabela 1: Formulário para análise visual fitossanitária.

TEMÁTICA	OBSERVAÇÕES
Qualidade da Copa	<p>Copa com presença necrose nas folhas, desfolhamentos, galhos mortos e /ou danificados devido a podas anteriores, acidentes e eventos climáticos.</p> <p>Copa com a presença danificados devido a podas anteriores, acidentes e eventos climáticos.</p> <p>Copa com brotações epicórmicas com ritmo adequado e/ou em período sazonal com ausência de folhas.</p> <p>Copa exuberante, robusta e sadia.</p>
Qualidade da poda	<p>Presença de poda drástica com tocos residuais, linha de corte irregular e lascas.</p> <p>Presença de má cicatrização como resultado de podas anteriores, mas com intervenção e manejo pode-se resolver.</p> <p>Podas anteriores com boa cicatrização e que o formato da espécie não foi descaracterizado.</p> <p>Ainda não foi realizada nenhuma poda anterior.</p>
Equilíbrio da árvore	<p>Copa desbalanceada, não condizendo com as características da arborização urbana, com chances de queda da árvore.</p> <p>Copa desbalanceada para espécies da arborização urbana devido a poda drásticas, de rebaixamento de copa e/ou liberação de fiação.</p> <p>Copa ou tronco fora do padrão esperado de ocorrência na arborização urbana, com manejo e intervenção pode solucionar.</p> <p>Copa balanceada e tronco de acordo com as características da espécie implantada na arborização.</p>
Presença de hemiparasitas	<p>>ou = 75 % da copa ocupada, tendência de futura supressão;</p> <p>Entre 74% e 26% da copa ocupada, nesse caso intervenção ainda é válida;</p> <p>< 25% da copa ocupada - fácil manejo</p> <p>Copa livre de hemiparasitas</p>
Contato com a fiação	<p>Contato com a fiação de alta tensão.</p> <p>Contato com a fiação</p> <p>Com potencial de contato com a fiação.</p> <p>Sem possibilidade de contato com a fiação elétrica.</p>
Deterioração do tronco	<p>Tronco com alto índice de lesões e ataques de patógenos, com maior chance de queda da árvore.</p> <p>Tronco possui cavidades e lesões que facilitam entrada de patógenos e dificultam a estabilidade da árvore.</p> <p>Tronco injuriado devido acidentes e lascas por podas antigas ou vandalismo.</p> <p>Tronco íntegro que garante estabilidade para a árvore.</p>
Características da bifurcação	<p>Bifurcação abaixo do DAP caracterizando uma situação de atenção.</p> <p>Bifurcação acima do DAP caracterizando maiores chances de queda, pois cria um ponto de acúmulo de umidade.</p> <p>Bifurcação acima do DAP que garante maior estabilidade.</p> <p>Sem bifurcação que possibilita copa ampla e menor índice de intervenções e podas.</p>
Inclinação do tronco	<p>Tronco que apresenta risco de queda aparente.</p> <p>Tronco com inclinação média.</p> <p>Tronco com inclinação leve.</p> <p>Tronco de acordo com o padrão da espécie</p>

Desenvolvimento das raízes	<p>O local pode propiciar um bom desenvolvimento para as raízes</p> <p>O local tem boas características e impedimentos leves</p> <p>O local apresenta alguns impedimentos, necessitando manejo.</p> <p>O local não proporciona um bom desenvolvimento para as raízes.</p>
Afloramento de raízes	<p>Afloramento de raízes com danos a construção mais próxima.</p> <p>Apresenta afloramento de raízes com estouro do pavimento do entorno</p> <p>Apresenta afloramento de raízes e/ou envelhecimento</p> <p>Não apresenta afloramento de raízes</p>
Fitossanidade	<p>Árvore com grande risco de queda por ataques de patógenos.</p> <p>Árvore com galhos atacados por patógenos com grande risco de queda.</p> <p>Árvores com presença ou resquícios dos ataques de patógenos.</p> <p>Árvores sadia sem presença de patógenos.</p>
Ecologia	<p>Presença de epífitas, insetos ou fungos.</p> <p>Presença de animais de grande porte no indivíduo.</p> <p>Presença de aves ou ninhos, e animais de pequeno porte.</p> <p>Presença de líquens e musgo.</p>
Parasitagem	<p>Presença de plantas parasitas, causando risco a integridade da árvore.</p> <p>Presença de plantas parasitas no fuste e copa, com fácil solução de manejo.</p> <p>Início de presença de plantas parasitas.</p> <p>Indivíduo não parasitado.</p>
Exposição aos ventos	<p>Árvores com exposição a corrente de vento, vulnerável a queda com fortes rajadas.</p> <p>Árvore com exposição a corrente de vento.</p> <p>Árvores com exposição parcial a corrente de vento.</p> <p>Árvore protegida por prédios ou outras árvores, com baixa exposição.</p>
Injúrias	<p>Árvores com injúrias graves de podas anteriores, colocando galhos em risco de queda.</p> <p>Árvore com injúrias graves ou vandalismos (objetos, tomadas).</p> <p>Árvore sadia com injúrias leves de fácil condução.</p> <p>Árvore sadia sem injúrias.</p>
Compatibilidade com o meio	<p>Indivíduo arbóreo não está compatível com o meio devido a podas irregulares, espécie, porte e local inadequados.</p> <p>Indivíduo arbóreo que pode tornar-se compatível com o meio se realizadas intervenções e manejos adequados.</p> <p>Indivíduo arbóreo que se encontra compatível com o meio.</p> <p>Indivíduo arbóreo pode se torna um problema futuro.</p>
Topografia	<p>Se a topografia do terreno é muito inclinada (maior que 30°)</p> <p>Se a topografia do terreno é inclinada (entre 10° a 30°).</p> <p>Se a topografia do terreno que levemente inclinada (menor que 10°).</p> <p>Se a topografia do terreno que o indivíduo esta é plana.</p>
Local	<p>Se o indivíduo está em uma via pública.</p> <p>Se o indivíduo está em um canteiro.</p> <p>Se o indivíduo está em uma calçada.</p> <p>Se o indivíduo está em uma área verde (parque e praças).</p>

Pavimento	<p>Se o entorno do indivíduo o pavimento é asfalto.</p> <p>Se o entorno do indivíduo o pavimento é concreto ou cerâmica.</p> <p>Se o entorno do indivíduo o pavimento é pedras ou paralelepípedos.</p> <p>Se o entorno do indivíduo é terra ou grama.</p>
Tráfego	<p>Se o fluxo do tráfego é intenso ou alta velocidade.</p> <p>Se o fluxo do tráfego é médio.</p> <p>Se o fluxo do tráfego é leve e baixa velocidade.</p> <p>Se o fluxo do tráfego é ocasional.</p>
Distância para construções e edificações	<p>Conflito com edificações e construções.</p> <p>Distância <2 metros para construções ou edificações.</p> <p>Distância de 2 a 5 metros de construções.</p> <p>Distância maior que 5 metros de construções ou edificações.</p>
Distância da árvore mais próxima	<p>Distância nula com sobreposição de fuste.</p> <p>Distância <2 metros para espécie mais próxima.</p> <p>Distância de 2 a 5 metros para espécie mais próxima.</p> <p>Distância maior que 5 metros para espécie mais próxima.</p>
Distância da calçada ou meio-fio	<p>Indivíduo localizado em canteiros < 2 metros.</p> <p>Distância <2 metros para calçada ou meio fio.</p> <p>Distância de 2 a 5 metros para calçada ou meio fio.</p> <p>Distância maior que 5 metros para calçadas ou meio fio.</p>

3.3 COLETA E EXTRAÇÃO DE AMOSTRAS

As árvores *S. macrophylla* foram identificadas, no total foram catalogadas 15 árvores, distribuídas no Plano Piloto. Para a coleta de amostras não destrutivas, utilizou-se a sonda de Pressler, conforme ilustrado nas Figuras 5 a 7. Foram obtidas duas amostras por indivíduo na altura do DAP. A posição geográfica das árvores foi considerada, de modo que uma amostra foi coletada no sentido Norte-Sul e a outra no sentido Leste-Oeste, conforme exemplificado na Figura 8.

Para prevenir a atividade de patógenos na área lesionada da árvore, foi aplicada uma solução de calda bordalesa, seguida da aplicação de uma massa à base de cera de abelha.



Figura 5: Posicionamento da sonda em ângulo reto em relação ao tronco da árvore.



Figura 6: Remoção da amostra com auxílio uma espátula.



Figura 7: Vista detalhada da amostra após a coleta

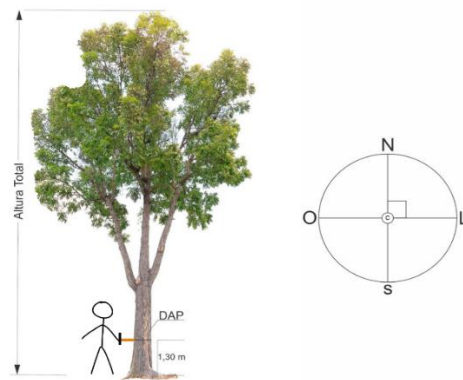


Figura 8: Esquema de coleta de amostras não destrutivas utilizando a sonda de Pressler na altura do DAP (Diâmetro à Altura do Peito).

As amostras foram devidamente codificadas, acondicionadas em tubos e congeladas para posterior análise no laboratório de Anatomia da Madeira, situado no departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, vide Figura 9 e 10.



Figura 9: Amostra armazenada em tubo plástico com rótulo de identificação.



Figura 10: Amostras mantidas congeladas para conservação do material.

3.4 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DAS AMOSTRAS

Para determinar a densidade básica da madeira, cada amostra foi dividida em três partes. Foram coletadas medidas de diâmetro e comprimento, além da massa em balança de precisão. O diâmetro das amostras foi medido em três pontos: no início, no meio e no final, e a média dessas três medidas foi utilizada para o cálculo do volume, Figura 11.

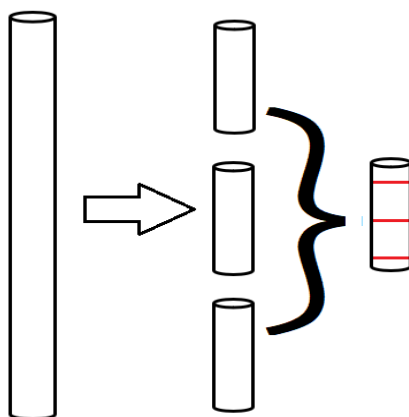


Figura 11: Esquema do dimensionamento das amostras e do procedimento de coleta das medidas de diâmetro.

As amostras foram então saturadas com água por um período de 5 dias para absorção máxima de umidade. Após a saturação, as amostras foram secas em uma estufa de circulação de ar a $101 \pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas. Em cada etapa, foram coletadas medidas de diâmetro, comprimento e massa. Todo o processo pode ser observado como segue as Figura 12 a Figura 24.

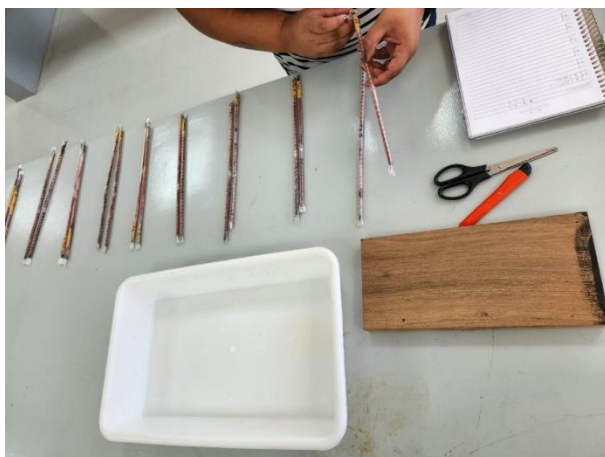


Figura 12: Processo de preparação das amostras para análise.

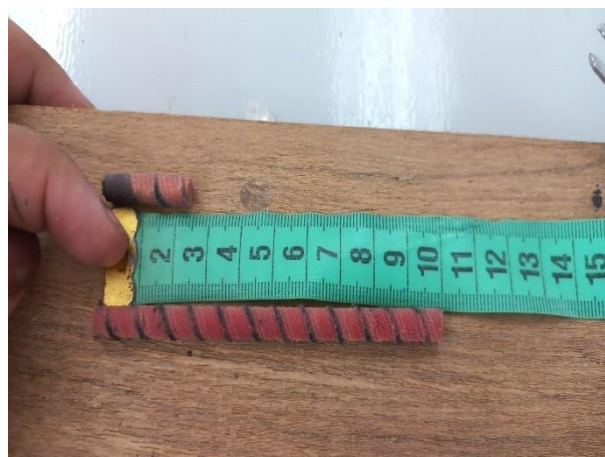


Figura 13: Amostras segmentadas em cilindros de aproximadamente 3 centímetros.

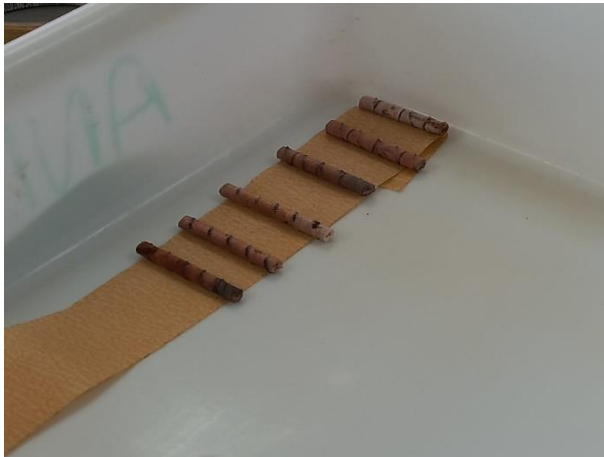


Figura 14: Amostras segmentadas, separadas por árvore.



Figura 15: Amostras identificadas com o número da árvore e a direção da coleta.



Figura 16: Amostras colocadas em um recipiente para submersão.



Figura 17: Água sendo adicionada no recipiente.



Figura 18: Peso colocado sobre as amostras para garantir que fiquem completamente submersas.



Figura 19: Medição do comprimento e diâmetro das amostras, após período de saturação.



Figura 20: Amostras posicionadas na estufa para o início do processo de secagem.



Figura 21: Amostras dispostas na estufa para iniciar a secagem.



Figura 22: Após 24 horas, as amostras foram transferidas para um dessecador a vácuo.



Figura 23: Obtenção da massa seca das amostras.

A densidade básica da madeira foi determinada pela relação entre a massa seca e o volume saturado, Equação 1.

$$Db = \frac{Ms}{V_{sat}} \times 100$$

Onde:

Db = Densidade básica (g/cm³)

Ms = Massa seca (g)

Vsat = Volume saturado (cm³)

3.5 ESTIMATIVA DE ESTOQUE DE CARBONO

A estimativa do estoque de carbono foi realizada com base nos valores de biomassa seca obtidos para as árvores catalogadas. A biomassa seca foi calculada por meio da Equação 2, enquanto o carbono assimilado e o carbono equivalente foram determinados utilizando-se as Equações 3 e 4, respectivamente.

Equação 2:

$$Bio_{seca} = \frac{0,000337(H \times DAP^2)^{0,821526} \times 0,1009 \times (DAP^2,2472) \times H^{0,4333} \times (Db^{0,7865})}{2}$$

Onde:

Bio seca: Biomassa seca (kg)

DAP: Diâmetro à altura do peito (m)

H: Altura total (m)

Db = Densidade básica (g/cm³)

Equação 3:

$$\text{Carbono}_{\text{assimilado}} = \text{Bio}_{\text{seca}} \times 0,47$$

Onde:

Bio seca: Biomassa seca (kg)

Equação 4:

$$\text{Carbono}_{\text{equivalente}} = \text{CO}_2_{\text{assimilado}} \times 0,27$$

Onde:

CO2 assimilado: Carbono assimilado (kg)

3.6 ANÁLISE DE REGRESSÃO E CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS FITOSSANITÁRIOS, DENDROMÉTRICOS E A DENSIDADE DA MADEIRA

Para os dados quantitativos, obtidos através de coletas não destrutivas de densidade básica, foram verificados os pressupostos estatísticos, incluindo a normalidade dos dados (Teste de Kolmogorov-Smirnov com nível de significância de 95%) e a homogeneidade das variâncias (Teste de Levene com nível de significância de 95%). A análise de variância (ANOVA) foi realizada utilizando o Teste de Tukey com nível de significância de 5%. Para investigar a relação entre a densidade do fuste e a largura da copa das árvores, foi utilizada a correlação de Pearson, assim como para outras variáveis quantitativas (Área de copa e Razão de Comprimento da Copa - LCR). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SPSS versão 20 da IBM. Os dados qualitativos foram analisados com o objetivo de atribuir uma nota de qualidade às variáveis contidas no questionário do aplicativo utilizado neste estudo, o eARBO Florestas Urbanas Inteligentes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O gráfico de distribuição diamétrica (Figura 24) apresenta a frequência das árvores amostradas em diferentes classes de diâmetro à altura do peito (DAP). Os valores de DAP variam de aproximadamente 30 cm a 90 cm, sendo agrupados em sete intervalos de classe para facilitar a visualização da distribuição.

Observa-se que a maior parte das árvores se encontra na classe de DAP entre 50 e 60 cm, com uma frequência de cinco indivíduos, indicando uma predominância de árvores com diâmetros intermediários na amostra. As classes extremas, como aquelas com DAP entre 30 e 40 cm e entre 90 e 100 cm, apresentam menor frequência, com apenas dois indivíduos em cada. Isso sugere que há uma menor presença tanto de árvores jovens ou de menor porte quanto de árvores de maior diâmetro.

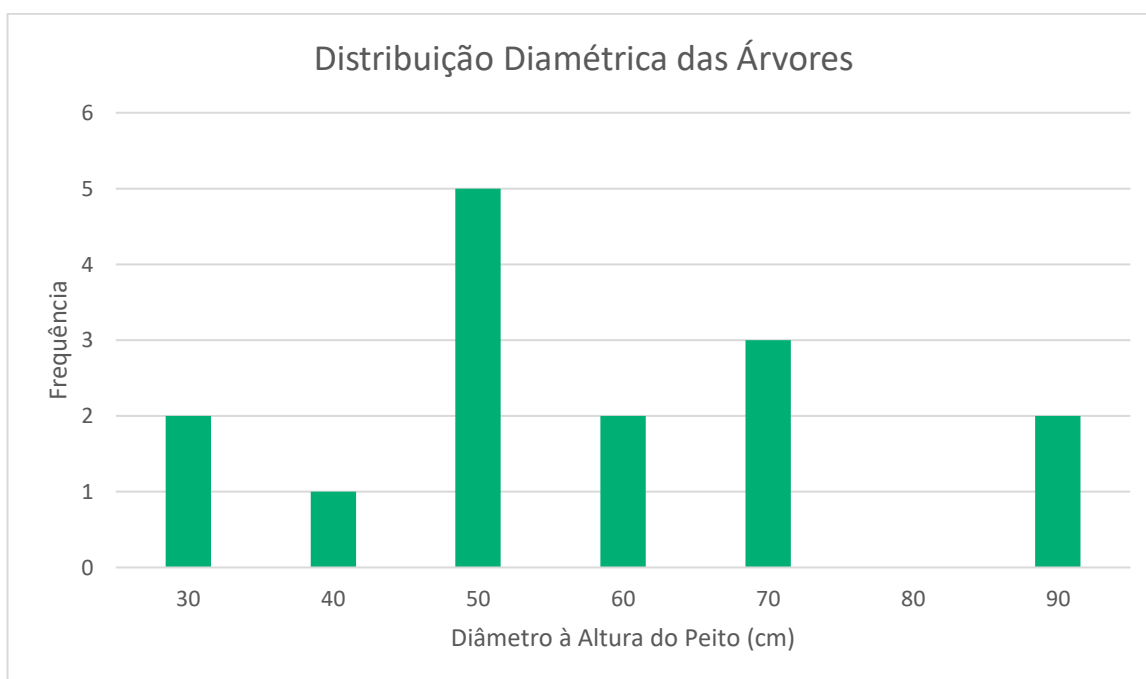


Figura 24: Distribuição diamétrica das árvores amostradas.

A média da densidade básica de *S. macrophylla*, considerando todas as coletas, foi de 0,544 g/cm³. Conforme apresentado na Tabela 2, a uniformidade dos valores entre as diferentes posições radiais (câmbio, intermediário e medula) dentro de cada sentido de coleta (norte-sul e leste-oeste) sugere uma homogeneidade na densidade básica ao longo do tronco da árvore. Embora a ANOVA não tenha identificado diferenças estatisticamente significativas, uma tendência de densidade básica ligeiramente superior no sentido leste-oeste foi observada, o que pode indicar uma variação ambiental.

Enquanto a Tabela 3, observa-se que a densidade básica na Asa Norte apresentou diferença significativa nas posições do câmbio e da medula quando comparada à Asa Sul. Essa diferença, entretanto, não se refletiu na média geral das densidades de todas as posições radiais. Esse resultado sugere que fatores locais podem influenciar a densidade básica em posições específicas do tronco, mas que esses efeitos podem se neutralizar ao considerar a média geral.

Alvarado (2010) demonstrou em seu estudo que as amostras apresentaram maior densidade na área do alburno, com uma redução gradativa conforme se aproximava do cerne. Esta mesma variação foi observada nas amostras coletadas do câmbio e da medula, embora de forma menos acentuada. Zaque (2018) encontrou uma variação ainda mais significativa ao comparar a densidade do câmbio com a da medula. Tal resultado pode ser atribuído ao fato de que sua amostragem incluiu árvores de *Araucaria angustifolia* em diferentes idades

Tabela 2: Tabela da Densidade básica nas três posições radiais, para os sentidos de coleta.

Sentido	Densidade básica (g/cm ³)			
	Db_cambio	Db_intermediario	Db_medula	Db_media
Norte-Sul	0,5441 ^{0,041}	0,543 ^{0,052}	0,5457 ^{0,065}	0,5442 ^{0,044}
Leste-Oeste	0,5503 ^{0,053}	0,5487 ^{0,057}	0,5477 ^{0,053}	0,5489 ^{0,047}

Sobrescrito=coeficiente de variação

Tabela 3: Tabela da Densidade básica nas três posições radiais, para os locais de coleta.

Local	Densidade básica (g/cm ³)			
	Cambio	Intermediário	Medula	Média
Asa norte	A 0,5541 ^{0,038}	A 0,5441 ^{0,044}	0,5586 ^{0,039}	A 0,5523 ^{0,028}
Asa sul	B 0,5392 ^{0,056}	A 0,5478 ^{0,065}	0,5331 ^{0,074}	B 0,5401 ^{0,059}

As letras são analisadas verticalmente. Letras diferentes com Tukey (95% de significância). Sobrescrito=coeficiente de variação

Para compreender o comportamento dos locais de coleta (Asa Norte e Asa Sul), pode-se observar a Figura 25, que apresenta as médias de densidade básica (Db_média_NS e Db_média_LO) nas diferentes quadras. Nota-se que a coleta na quadra 215 Sul apresentou um valor significativamente baixo de densidade básica comparado com as demais coletas. Esse valor atípico possivelmente influenciou os resultados gerais quando comparados os locais de coleta, destacando a importância de considerar outliers na análise estatística.

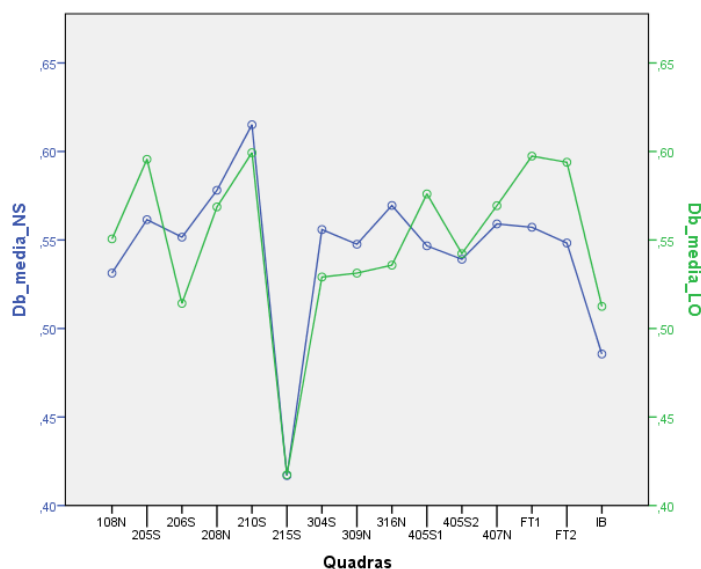


Figura 25: Valores de densidade nos sentidos de coleta para cada árvore coletada.

Esses valores de densidade foram correlacionados com valores da largura de copa, visto que na arborização urbana as copas são bem mais pronunciadas quando comparadas as copas observadas em matas secundárias para essa espécie (Da Silva, 2019). Os valores de largura foram mensurados, respeitando os sentidos norte-sul e leste-oeste, assim como as coletas não destrutivas de densidade. Pela análise da tabela 4 observa-se que os valores de correlação não foram significativos, independentemente da posição radial. A correlação entre os valores das posições radiais apresentaram, como esperado, alta correlação.

Observa-se que a densidade básica medida nas diferentes regiões radiais do tronco (câmbio, intermediário e medula) não é um bom preditor da largura da copa das árvores. A Figura 26 ilustra essa relação, apresentando a interpolação dos valores de largura de copa com as posições radiais. A figura inclui a linha de tendência do gráfico, a equação da reta de regressão e o valor de R^2 (coeficiente de determinação), que quantifica a correlação observada.

Tabela 4: Tabela da Correlação entre a Largura da copa e os valores de densidade.

Correlação				
Correlação de Pearson	Largura_copa	Db_medula	Db_intermediario	Db_cambio
Largura_copa	1	0,076	-0,144	-0,055
Db_medula	0,076	1	0,583**	0,695**
Db_intermediario	-0,144	0,583**	1	0,423*
Db_cambio	-0,055	0,695**	0,423*	1
N	30	30	30	30

** Correlação é significativa ao nível de 0,01 (bicaudal)

* Correlação é significativa ao nível de 0,05 (bicaudal)

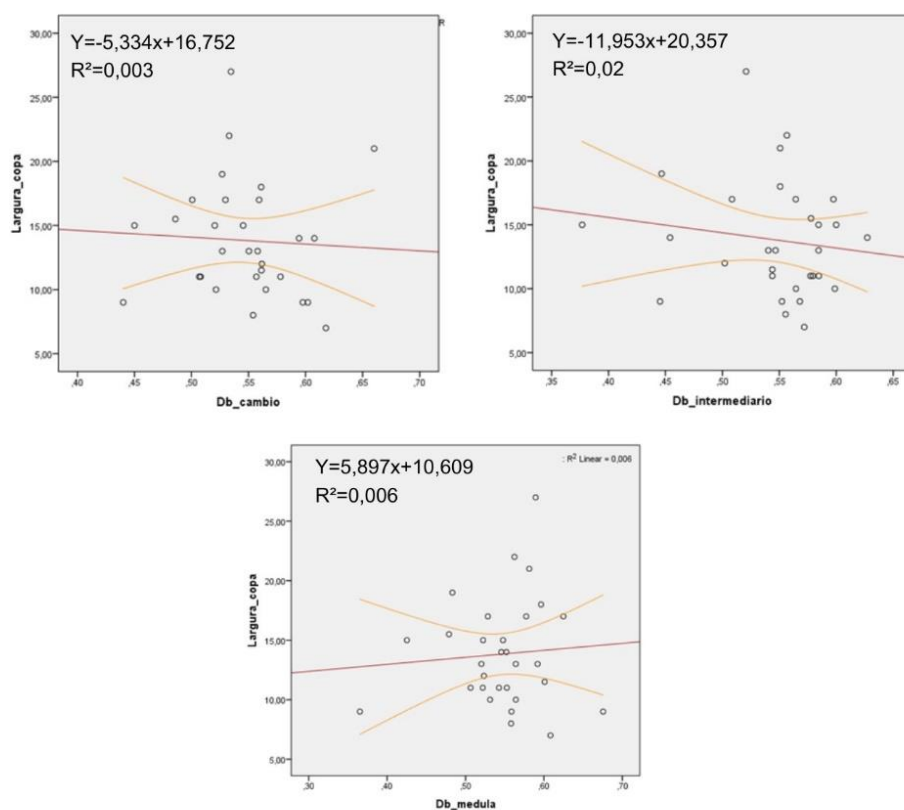


Figura 26: Interpolação dos Valores de Largura de Copa com as Posições Radiais.

A análise da Figura 26 confirma que, embora haja alguma variação nas densidades ao longo das diferentes posições radiais, essa variação não se traduz em uma previsão significativa da largura da copa. Os valores de R^2 apresentados indicam uma correlação fraca entre a densidade básica do fuste e a largura da copa das árvores urbanas de *S. macrophylla*. Isso sugere que outros fatores podem estar influenciando mais fortemente o desenvolvimento da copa em ambientes urbanos.

Conforme demonstrado pela pesquisa de Poorter et al. (2012) no estudo das espécies arbóreas da Península Ibérica, a disponibilidade de luz e a exposição aos ventos, são fatores ambientais que influenciam o crescimento da copa das árvores, impactando na arquitetura das árvores e refletindo na morfologia e estrutura da copa, desse modo, as condições do entrono (Figura 28) podem explicar melhor o desenvolvimento da copa das árvores, explicando também a diferença observada quando comparado os valores da Asa Norte e Sul (Tabela 5)

A Tabela 5 apresenta os valores quantitativos das árvores de *S. macrophylla* coletadas nos dois locais de coleta: Asa Norte e Asa Sul. Vários parâmetros foram medidos, incluindo densidade básica, altura total, altura da copa, DAP (diâmetro à altura do peito), largura da copa nos sentidos norte-sul e leste-oeste, área de copa, LCR, volume, biomassa, carbono estocado e carbono equivalente.

A análise desses valores indica que a Asa Norte apresenta, em média, maiores valores de densidade básica, largura de copa (nos sentidos norte-sul e leste-oeste), área de copa, volume, biomassa, carbono estocado e carbono equivalente em comparação com a Asa Sul. No entanto, a altura total e a altura da copa são maiores na Asa Sul.

Essas diferenças podem ser atribuídas a fatores ambientais e de manejo urbano distintos entre as duas áreas. A densidade básica levemente superior na Asa Norte sugere uma maior compactação da madeira, possivelmente devido a condições de crescimento diferentes. A maior área e largura de copa na Asa Norte indicam um crescimento mais expansivo das árvores, o que pode estar associado a maior espaço disponível ou a práticas de manejo específicas. Por outro lado, a maior altura das árvores na Asa Sul pode refletir uma competição vertical por luz em um ambiente mais densamente arborizado.

Tabela 5: Valores quantitativos das árvores de *S. macrophylla* coletadas.

Variáveis	Asa norte	Asa sul	Max/min
Densidade básica (g/cm ³)	0,552	0,54	0,67/0,36
Altura total (m)	15,07	16,5	23,5/11,0
Altura da copa (m)	3,28	4,81	7,00/2,00
DAP (cm)	75,5	51,0	92,6/39,4
Largura_NS (m)	16,5	10,5	27,0/8,00
Largura_LO (m)	17,0	12,3	22,0/7,00
Área de copa (m ²)	287,2	127,3	459,0/63,0
LCR (%)	77,5	71,6	86,8/62,9
Volume (m ³)	4,57	2,3	8,32/0,98
Biomassa (kg)	4120,6	1918,17	7774,7/875,5
Carbono estocado (kg)	1936,6	904,82	3654,1/424,5
Carbono equivalente (Kg)	7107,1	3317,6	13398,5/1556,7

Os valores de carbono estocado e carbono equivalente nas árvores de *S. macrophylla* coletadas revelam diferenças significativas entre as regiões de Asa Norte e Asa Sul. O carbono estocado médio, que se refere ao total de carbono acumulado na biomassa das árvores, foi de 1936,6 kg na Asa Norte e 904,82 kg na Asa Sul. Já o carbono equivalente médio, que considera a conversão do carbono estocado em dióxido de carbono (CO₂) equivalente, foi de 7107,1 kg na Asa Norte e 3317,6 kg na Asa Sul. Esses valores indicam que as árvores da Asa Norte possuem maior capacidade de sequestrar carbono em comparação às da Asa Sul, refletindo em um maior impacto positivo no balanço de carbono urbano. O somatório do estoque de carbono pelas árvores amostradas nas duas regiões é de 75 toneladas, destacando a importância dessas árvores para a mitigação das mudanças climáticas (Sandker, 2024).

Podemos analisar na Tabela 6 os coeficientes de correlação de Pearson para quatro variáveis: densidade da madeira nas direções norte-sul (Db_N_S) e leste-oeste (Db_L_O), área da copa das árvores (Area_copa) e razão de comprimento da copa (LCR). Esta tabela apresenta esses coeficientes de correlação, permitindo entender as relações entre essas variáveis.

Tabela 6: Correlação de Pearson para as variáveis de área de copa e LCR com os valores de densidade.

Correlação de Pearson	Correlação			
	Db_N_S	Db_L_O	Area_copa	LCR
Db N-S	1	0,824**	-,166	-,166
Db L-O	0,824**	1	0,214	0,214
Área da copa	-,166	0,214	1	1,000**
LCR	-,166	0,214	1,000**	1
N	30	30	30	30

** Correlação é significativa ao nível de 0,01 (bicaudal).

A análise dos coeficientes de correlação de Pearson, permite inferir que há uma correlação forte e positiva entre a densidade da madeira nas direções norte-sul e leste-oeste, quando comparado Área da copa com LCR, nota-se uma correlação perfeita 1,00**, o que é esperado, pois LCR é uma medida derivada da copa. Por fim, as correlações entre a densidade da madeira em ambos os sentidos e a área da copa são fracas, isso sugere que a densidade da madeira não é um bom preditor da área da copa ou do LCR.

Na Figura 27, observamos as condições do entorno das árvores amostradas, verificamos que, em grande parte, havia uma distância aceitável para a árvore mais próxima, reduzindo assim a competição por nutrientes e luz solar. Em relação à distância para edificações, constatamos que a maioria das árvores estava localizada a uma distância considerada adequada das construções, garantindo seu bom desenvolvimento.

Essa observação é corroborada pela comparação entre os gráficos de distância para edificações e calçadas com o gráfico de localização. Metade das árvores amostradas estava situada em áreas verdes, como praças, por exemplo. Os casos de atenção

apontados no gráfico de distância podem estar relacionados às árvores localizadas em calçadas e/ou vias públicas. De maneira geral, os dados indicam que a maioria das árvores amostradas está em condições favoráveis de desenvolvimento, com a maioria apresentando boas distâncias de outras árvores, edificações e calçadas.

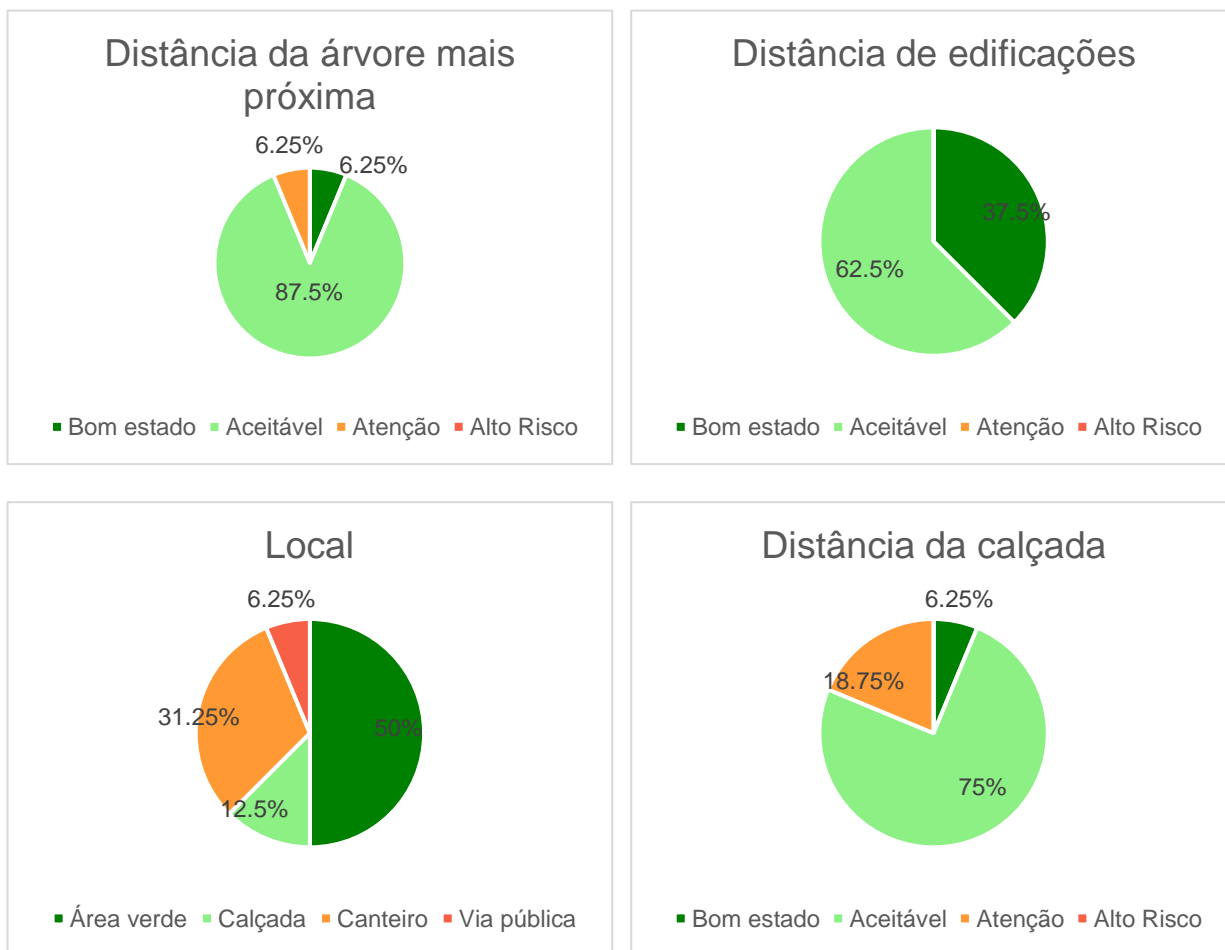


Figura 27: Gráfico de pizza representado as condições qualitativas do entorno. Fonte eARBO.

Ao analisar os gráficos representados na Figura 28, identificamos que os dados qualitativos das árvores indicam, de maneira geral, boas condições de saúde e desenvolvimento. A uniformidade na qualidade da copa e equilíbrio das árvores sugere práticas de manejo adequadas. No entanto, a variabilidade na qualidade da poda e o contato com fiação indicam áreas que requerem atenção para que não causem transtornos futuros.

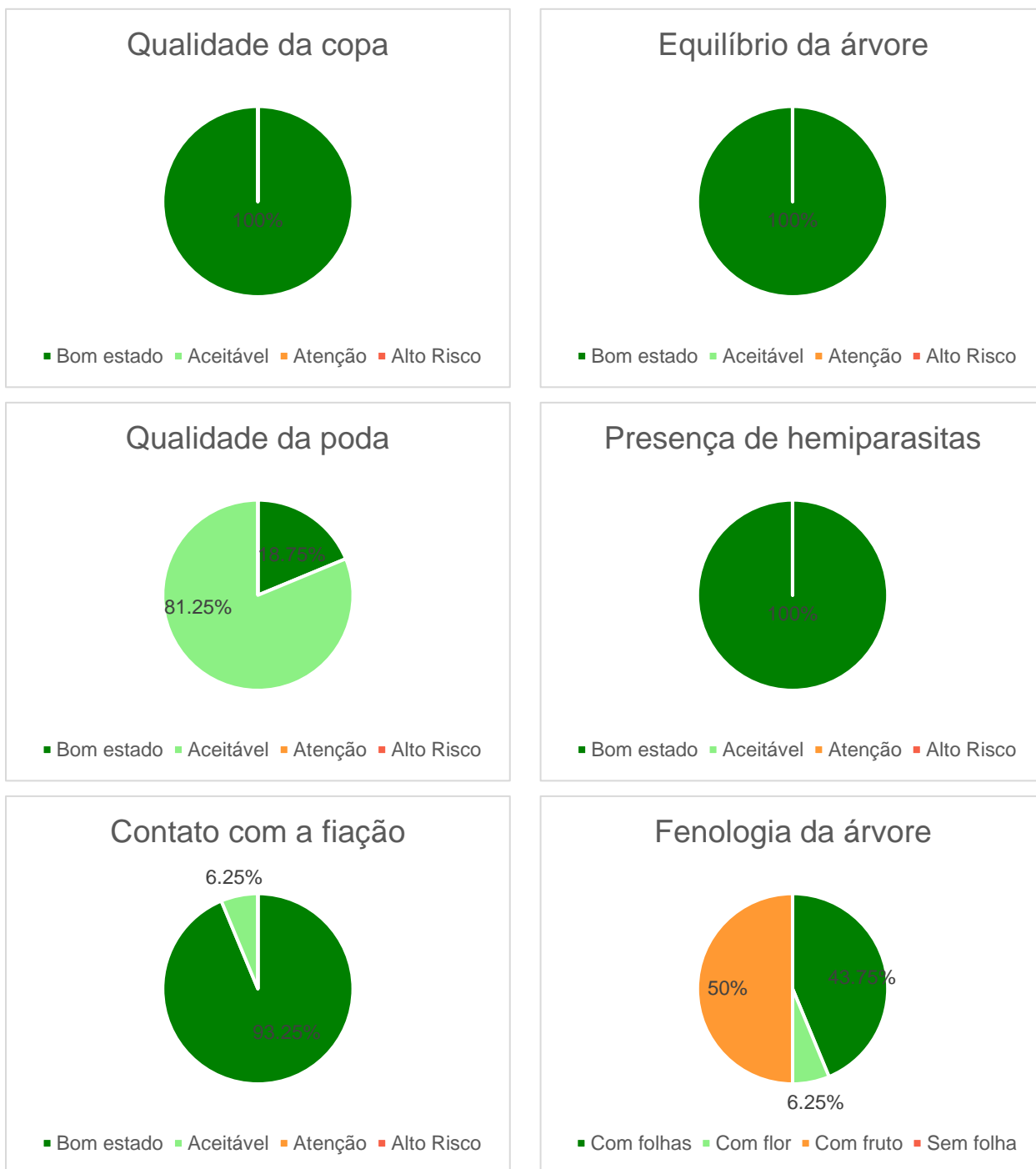


Figura 28: Gráficos de pizza representado as condições qualitativas da copa das árvores amostradas. Fonte eARBO.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que, apesar da necessidade de ampliar a amostragem e realizar mais pesquisas para alcançar uma conclusão definitiva, a literatura existente permite afirmar que a relação entre a densidade básica da madeira e as características fitossanitárias das árvores está diretamente ligada à integridade estrutural e ao cumprimento dos padrões estabelecidos pela NBR 16246-3:2019. Esse vínculo sugere que árvores com boas condições fitossanitárias tendem a apresentar maior densidade básica, o que contribui para uma resistência mecânica superior e menor risco de falhas estruturais.

No contexto da arborização urbana, verificou-se que *Swietenia macrophylla*, quando em boas condições fitossanitárias, é uma espécie adequada, dado seu elevado potencial de resistência e adaptação. No entanto, fatores externos, como disponibilidade de luz, ventos, podas inadequadas e a presença de hemiparasitas, exercem influência significativa sobre o desenvolvimento da copa e, conseqüentemente, sobre a saúde geral da árvore.

É evidente que o plantio e manejo adequados resultam em árvores saudáveis, que, além de promoverem um microclima mais agradável e fornecimento de sombra, desempenham um papel importante na mitigação das mudanças climáticas, através do armazenamento de carbono e da conseqüente redução das emissões de gases de efeito estufa.

Por fim, recomenda-se o uso do mogno para a arborização urbana, devido às suas características promissoras. Contudo, é necessária a realização de estudos mais aprofundados que correlacionem diretamente a densidade da madeira com o desenvolvimento da copa, a fim de garantir a seleção ideal das espécies e o manejo sustentável da arborização urbana.

6 REFERÊNCIAS

ALVARADO, Jedi Rosero et al. Variação da densidade do lenhoff e relação com a largura dos anéis de crescimento de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla*, da floresta tropical amazônica do Peru. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 171-179, 2010.

ALVES, Eliseu; MARRA, Renner. A persistente migração rural-urbana. *Revista de Política Agrícola*, Brasília, v. 18, n. 4, p. 5-17, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16246: Florestas urbanas — Manejo de árvores, arbustos e outras plantas lenhosas. Parte 3: Avaliação de risco de árvores. Rio de Janeiro, 2019.

BATJES, N. H. Organic carbon stocks in the soils of Brazil. *Soil Use and Management*, Oxford, v. 21, n. 1, p. 22-24, 2005.

BIONDI, Daniela. Floresta urbana: conceitos e terminologias. In: BIONDI, D. Floresta urbana. Curitiba: O Autor, 2015. Cap. 1.

BRASIL, M. A. A.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw, *E. Saligna* Smith e *Eucalyptus grandis*, Hill ex-Maiden aos cinco anos de idade, função do local e do espaçamento. *IPEF*, Piracicaba, n. 2/3, p. 129-149, 1971.

BRUN, Flavia Gizele König. Avaliação do potencial de estoque de carbono por *Sibipiruna* (*Poincianella pluviosa* var. *peltophoroides* (Benth.) LP Queiróz) na arborização viária de Maringá-PR. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) — Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

Centro Nacional de Conservação da Flora (CNCFlora). *Swietenia macrophylla*. Disponível em: <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Swietenia%20macrophylla>. Acesso em: 04 jul. 2024.

CHOUDHURY, Md Abdul Mueed et al. Urban tree species identification and carbon stock mapping for urban green planning and management. *Forests*, Basel, v. 11, n. 11, p. 1226, 2020.

COELHO-DUARTE, Ana Paula et al. Tree risk assessment: Component analysis of six visual methods applied in an urban park, Montevideo, Uruguay. *Urban Forestry & Urban Greening*, Amsterdam, v. 59, p. 127005, 2021.

COSTA, Ana Beatriz et al. Cognitive and emotional responses to urban and nature exposures in the Brazilian Cerrado. *Heringeriana*, Brasília, v. 14, n. 1, p. 21-32, 2020.

DA SILVA, Renildo Medeiros et al. Modelagem da relação hipsométrica para um povoamento urbano de *Swietenia macrophylla* King no município de Marabá, Pará, Brasil. *Revista Agroecossistemas*, Rio Largo, v. 11, n. 1, p. 204-220, 2019.

DE CASTRO, Mayra Estevão Barros et al. VARIACÃO DA DENSIDADE AO LONGO DO TRONCO DE DOIS CLONES DE *Eucalyptus* spp. 2017.

E-arbo. Disponível em: <https://e-arbo-front.vercel.app/>. Acesso em: 04 jul. 2024.

EMBRAPA; RODRIGUES, C. A. G. et al. Árvores: importância para a arborização urbana. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1064113/arvores-importancia-para-a-arborizacao-urbana>. Acesso em: 30 mai. 2024.

FURTADO, S. C.; ROCHA, T. L. P.; MACHADO, A. J. S.; FIGUEIREDO, S. C. G. Potencial de sequestro de carbono por espécies arbóreas em vias públicas de Manaus. In: CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE E ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2., 2017, Belém. Anais [...]. Belém: UFRA Campus Belém-PA, 2017.

GOMES, J. I. et al. Conhecendo espécies de plantas da Amazônia: mogno (*Swietenia macrophylla* King- Meliaceae). Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2015. 1 folheto.

GROGAN, J.; BARRETO, P.; VERÍSSIMO, A. Mogno na Amazônia Brasileira: ecologia e perspectivas de manejo. Belém: Imazon, 2002. 40 p.

KLEIN, Ryan W. et al. Evaluating the Reproducibility of Tree Risk Assessment Ratings Across Commonly Used Methods. *Arboriculture & Urban Forestry*, Champaign, v. 49, n. 6, p. 271-282, 2023.

LOBODA, Carlos Roberto; DE ANGELIS, Bruno Luiz Domingues. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. *Ambiência*, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 125-139, 2005.

MACEDO, S. S.; SAKATA, F. G. Parques Urbanos no Brasil. São Paulo: Edusp, 2002. 207 p.

MULLANEY, Jennifer; LUCKE, Terry; TRUEMAN, Stephen J. A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. *Landscape and Urban Planning*, Amsterdam, v. 134, p. 157-166, 2015.

MULLER, J. Orientação básica para o manejo de arborização urbana. Porto Alegre: Nova Prova, 1998.

NOGUEIRA, Euler Melo et al. Carbon stocks and losses to deforestation in protected areas in Brazilian Amazonia. *Regional Environmental Change*, Heidelberg, v. 18, p. 261-270, 2018.

NOVACAP. Plano Anual de Arborização - Locais onde foram plantadas mudas de mogno a partir de 2004. Emitido em novembro de 2023.

OLIVEIRA, Cinthia Pereira de et al. Modeling and spatialization of biomass and carbon stock using LiDAR metrics in tropical dry forest, Brazil. *Forests*, Basel, v. 12, n. 4, p. 473, 2021.

POORTER, Lourens et al. Architecture of Iberian canopy tree species in relation to wood density, shade tolerance and climate. **Plant ecology**, v. 213, p. 707-722, 2012.

QTRA - Quantified Tree Risk Assessment. Cheshire, 2023. Disponível em: <https://www.qtra.co.uk>. Acesso em: 30 mai. 2024.

SANDKER, M. et al. Technological innovation driving transparent forest monitoring and reporting for climate action. Rome: FAO, 2024.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. LPF - Madeiras Brasileiras. 2024. Disponível em: <https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/bd-madeiras-brasileiras>. Acesso em: 30 mai. 2024.

SHASHUA-BAR, Limor; HOFFMAN, Michael E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Buildings*, Lausanne, v. 31, n. 3, p. 221-235, 2000.

SILVA JÚNIOR, Manoel Cláudio da; LIMA, Roberta Maria Costa e. 100 árvores urbanas: guia de campo. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado, 2010.

TSOUMIS, G. Science and technology of wood: Structure, properties and utilization. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p.

VILLAR, P. et al. Stem xylem features in three *Quercus* (Fagaceae) species along a climatic gradient in NE Spain. *Trees - Structure and Function*, San Diego, v. 12, n. 2, p. 90-96, 1997.

ZANGALLI, Charline et al. Avaliação quali-quantitativa da arborização no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/Udesc. *Acta Biológica Catarinense*, Lages, v. 7, n. 2, p. 15-27, 2020.

ZAQUE, Leonardo Antônio Moraes; FERREIRA, Mayra Daniela; MELO, Rafael Rodolfo. Variação radial e longitudinal da massa específica básica da madeira de *Araucaria angustifolia* com diferentes idades. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 38, 2018.