



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL - DCFL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

ISRAEL VICENTE DA SILVA JUNIOR

**POTENCIAL DE FALHA EM ÁRVORES UTILIZANDO TOMÓGRAFO DE
IMPULSO NA PRAÇA DA MADALENA EM RECIFE/PE**

RECIFE

2024

ISRAEL VICENTE DA SILVA JUNIOR

**POTENCIAL DE FALHA EM ÁRVORES UTILIZANDO TOMÓGRAFO DE
IMPULSO NA PRAÇA DA MADALENA EM RECIFE/PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciência Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Nogueira

RECIFE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586p

Silva Junior, Israel Vincente da

Potencial de falha em árvores utilizando tomógrafo de impulso na praça da Madalena em Recife/PE / Israel Vincente da Silva Junior. - 2024.

48 f. : il.

Orientador: Marcelo Nogueira.

Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Engenharia Florestal, Recife, 2024.

1. Arborização Urbana. 2. Deterioração . 3. Fuste. I. Nogueira, Marcelo, orient. II. Título

CDD 634.9

**POTENCIAL DE FALHA EM ÁRVORES UTILIZANDO TOMÓGRAFO DE
IMPULSO NA PRAÇA DA MADALENA EM RECIFE/PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciência Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Nogueira

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Simone Mirtes Araújo Duarte
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Everaldo Marques de Lima Neto
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Orientador - Prof. Dr. Marcelo Nogueira
Universidade Federal Rural de Pernambuco

RECIFE – PE

2024

AGRADECIMENTOS

Gostaria de começar agradecendo inicialmente a Deus, por ter me proporcionado todo discernimento e me ajudado na perseverança para continuar nessa jornada difícil que foi minha graduação. A Ele dedico este trabalho e qualquer vitória e conquista que eu alcance em minha vida. Bem como agradeço a Nossa Senhora do Carmo e aos meus mentores e guias espirituais por todas as interseções que tanto pedi nos momentos de atribulação.

Agradeço também a minha amada mãe, Ivonete de Lima da Silva, cujo amor incondicional, apoio inabalável e sacrifícios incansáveis tornaram possível minha educação e crescimento pessoal. À minha querida noiva, Andressa Cristina de Luna, expresso minha mais profunda gratidão, por ter me ajudado nos estresses do dia a dia, nas idas e vindas da universidade para casa e vice-versa, além do seu companheirismo dentro e fora da universidade. Sua presença constante e encorajamento foram luzes em meus dias mais sombrios.

Além disso, agradeço aos meus colegas de classe, Ana Clara, Marcos Dias, Lucas Paz, Irlan Campelo, Kamilo Alboodi, Jonatas Carlos, Lorena Paulina, Úrsula Neves, João Victor, Gustavo Vieira, Carol Caren, Renata Barbosa, Gustavo Coelho, Logan Moreira, Marcelo Magalhães e Luan d’Miranda, já que tornaram mais fácil o cotidiano e tanto me auxiliaram a vencer barreiras acadêmicas e profissionais.

Para finalizar agradeço a Priscila Barreto, Ricardo Ferreira e Júlio Cesar que me ajudaram a vencer os obstáculos para desenvolvimento desse trabalho, a Frank Silva, Adélia Madeira, Suzana Lopes, a professora Simone Duarte, Everaldo Marques e especialmente ao professor Marcelo Nogueira, meu Orientador, que além de me auxiliarem, ensinaram grande parte do que sei e com toda certeza, contribuíram para quem sou. Sem sombra de dúvidas, suas influências positivas e apoio inabalável foram verdadeiramente indispensáveis a minha formação.

MUITO OBRIGADO!

“A humildade exprime uma das raras certezas de que estou certo: a de que ninguém é superior a ninguém.”

- Paulo Freire

RESUMO

Na cidade do Recife - PE, a queda de árvores decorre, principalmente, de fatores como a ausência de vegetação bem estruturada, devido a ocorrência de pragas, patógenos e falhas mecânicas. Assim, a avaliação estrutural das árvores urbanas tem se tornado uma prioridade, pois é crucial a boa condição das árvores distribuídas pela cidade. Para realizar essa avaliação, métodos não destrutivos, como o uso de tomografia por impulso, são essenciais, pois não comprometem as propriedades mecânicas das árvores. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a condição estrutural da arborização da praça da Madalena no município de Recife – PE por meio de ensaios não destrutivos. A pesquisa foi conduzida na Praça da Madalena, onde foram examinadas seis árvores que compõem a vegetação da área verde. Para avaliar a presença e o nível de deterioração interna dos fustes das árvores, foi utilizado o método de análise não destrutiva através do tomógrafo de impulso ARBOTOM®. Além disso, com base na interpretação dos gráficos indicativos de degradação gerados pelo equipamento, foi possível uma classificação do grau de deterioração dos troncos das árvores, categorizando-os com baixo, médio, alto ou severo potencial de falha. Dos indivíduos avaliados, três árvores, apresentaram um melhor estado de conservação estrutural de seus caules. Por outro lado, a quarta árvore avaliada foi a que demonstrou maior comprometimento mecânico, pois possui em seu fuste cupins, insetos brocadores fungos apodrecedores, além de podas mal realizadas. Há possibilidade da presença de agentes xilófagos e fungos apodrecedores, mesmo que em menor grau, no cerne da árvore dois, uma vez que esta apresentou uma falha mecânica em sua região central, sem nenhum indício externo de degradação. Já a terceira árvore possui fragilidade estrutural relacionada à ação de forças mecânicas, como tração e compressão de fibras, devido sua inclinação. Todas as árvores apresentaram fragilidade estrutural causada principalmente pela ação de xilófagos e fungos apodrecedores, além da inclinação dos fustes avaliados. Portanto, faz-se necessária ações de substituição de alguns exemplares arbóreos, considerando que o agravamento da degradação do tronco oferece risco direto aos frequentadores da Praça da Madalena.

Palavras-chave: Arborização Urbana; Deterioração e Fuste

ABSTRACT

In the city of Recife - PE, the falling of trees mainly results from factors such as the absence of well-structured vegetation, due to the occurrence of pests, pathogens, and mechanical failures. Therefore, the structural evaluation of urban trees has become a priority, as the good condition of trees distributed throughout the city is crucial. To perform this evaluation, non-destructive methods, such as impulse tomography, are essential as they do not compromise the mechanical properties of the trees. Thus, the objective of this work was to evaluate the structural condition of the trees in Madalena Square in the municipality of Recife - PE through non-destructive tests. The research was conducted in Madalena Square, where six trees that make up the vegetation of the green area were examined. To evaluate the presence and level of internal deterioration of the tree trunks, the non-destructive analysis method using the impulse tomograph ARBOTOM® was used. Furthermore, based on the interpretation of degradation indicative graphs generated by the equipment, it was possible to classify the degree of trunk deterioration, categorizing them with low, medium, high, or severe potential for failure. Of the evaluated individuals, three trees showed a better structural conservation state of their stems. On the other hand, the fourth evaluated tree demonstrated the highest mechanical compromise, as it has termites, boring insects, decaying fungi, as well as poorly executed pruning in its trunk. There is a possibility of the presence of xylophagous agents and decaying fungi, even to a lesser extent, in the core of tree two, since it showed a mechanical failure in its central region, without any external indication of degradation. The third tree, on the other hand, has structural fragility related to the action of mechanical forces, such as traction and compression of fibers, due to its inclination. All trees showed structural fragility caused mainly by the action of xylophagous agents and decaying fungi, in addition to the inclination of the evaluated trunks. Therefore, it is necessary to take actions to replace some tree specimens, considering that the worsening of trunk degradation poses a direct risk to the users of Madalena Square.

Key-Words: Urban Tree Canopy; Deterioration and Stem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modo de funcionamento e instalação dos sensores do tomógrafo ARBOTOM	15
Figura 2. Gráficos gerados pelo software ARBOTOM®	15
Figura 3. Mapa de localização da Cidade do Recife e da área de estudo	16
Figura 4. Croqui das Árvores analisadas na Praça da Madalena	17
Figura 5. Conjunto do equipamento do Tomógrafo ARBOTOM®	18
Figura 6. Sensores do ARBOTOM presos ao fuste de uma árvore	19
Figura 7. Sensores inseridos no fuste da árvore	19
Figura 8. Gráficos gerados pelo ARBOTOM para a Espatódia 1	21
Figura 9. Tabela de velocidade da transmissão das ondas de choque analisadas na árvore 1 (espatódia)	22
Figura 10. Gráficos gerados pelo ARBOTOM para Espatódia 2	23
Figura 11. Tabela de velocidade da transmissão das ondas de choque analisadas na árvore 2 (espatódia)	24
Figura 12. Gráficos gerados pelo ARBOTOM para o Ipê Rosa	25
Figura 13. Tabela de velocidade da transmissão das ondas de choque analisadas na árvore 3 (Ipê Rosa)	26
Figura 14. Gráficos gerados pelo ARBOTOM para a Aroeira	27
Figura 15. Tabela de velocidade da transmissão das ondas de choque analisadas na árvore 4 (Aroeira)	28
Figura 16. Degradação do fuste da Aroeira	28
Figura 17. Gráficos gerados pelo ARBOTOM para a Acácia Rosa	30
Figura 18. Tabela de velocidade da transmissão das ondas de choque analisadas na árvore 5 (Acácia Rosa)	31
Figura 19. Gráficos gerados pelo ARBOTOM para o Pau Brasil	32

Figura 20. Tabela de velocidade da transmissão das ondas de choque analisadas na árvore 6 (Pau Brasil) 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação do grau de deterioração da secção transversal das árvores analisadas 21

Tabela 2. Dados das árvores analisadas via ARBOTOM® na Praça da Madalena 37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivos Gerais	11
2.2 Objetivos Específicos	11
3 REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1 Causas e Consequências da Degradação de Árvores Urbanas	11
3.1.1 Cupins e Outros Xilófagos	11
3.1.2 Fungos Apodrecedores	12
3.1.3 Agentes Climáticos	13
3.1.4 Forças Mecânicas	13
3.2 Métodos de Avaliação	14
4 MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo	17
4.2 Caracterização dos Métodos e das Espécies Analisadas	18
4.2.1 Análise com Tomógrafo	19
4.2.2 Coleta de Dados	20
4.3 Classificação e Análise de Dados	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
6 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	

1. INTRODUÇÃO

O crescimento constante de centros urbanos tem gerado impactos consideráveis em nível ambiental, e, por conseguinte, em nível social (PAULO, 2018). No caso das grandes cidades, a construção de edificações implica na direta retirada da vegetação arbórea, restando assim poucos exemplares de árvores (PEREIRA JUNIOR *et al.*, 2018). Por outro lado, a falta desses indivíduos arbóreos tem ocasionado consequências preocupantes, de modo que tem se tornado comum encontrar casos de desastres ou agravamento de situações climáticas em áreas ambientalmente desertificadas, ou seja, sem vegetação (PAHIM, 2019).

A cidade do Recife - PE, por exemplo, tem sofrido bastante com questões climáticas, que decorrem de fatores como áreas com alta densidade urbana e ausência de vegetação bem estruturada, que por sua vez, resulta na queda das árvores já existentes e causam danos diretos e/ou indiretos a população (MENDES *et al.*, 2019; MOREIRA, 2021; MARTINS, 2023). Como a exemplo, a queda de 12 árvores em áreas públicas em uma única noite, devido ocorrência de chuvas e vento na cidade do Recife, que obstruiu consideravelmente o trânsito (MARTINS, 2023).

Nesse contexto, o estudo a sanidade das árvores tem ganhado enfoque. Uma vez que é importante não só que haja árvores correta e amplamente dispostas pelas cidades, mas que essas estejam saudáveis (ARAÚJO *et al.*, 2010; GONÇALVES *et al.*, 2018). Já que a queda dessas árvores pode acarretar uma série de danos econômicos e a saúde dos cidadãos (RIBEIRO, 2011).

Dada a importância da sanidade estrutural e fitossanitária das árvores, considerando que o objeto de estudo são seres vivos, e por tanto, susceptíveis a ação de patógenos e pragas, a análise por métodos não destrutivos se faz indispensável. De modo que tais ensaios não alteram as propriedades químicas, físicas e mecânicas das árvores, não causando danos futuros ao indivíduo (ROSS *et al.*, 1998). São exemplos de métodos de análise não destrutivos o método visual, resistência elétrica, resistência a penetração, propriedades vibracionais e acústicas, dentre outros (CARVALHO, 2019).

Assim, para que as árvores urbanas sejam efetivas na execução de sua função ambiental, como melhoria da qualidade do ar, na beleza cênica e em um maior bem-estar da população (SHINZATO e DUARTE, 2018). Faz-se necessária sua avaliação estrutural, visto

os danos que os indivíduos arbóreos são capazes de causar em caso de falha mecânica. Além disso, é preferível o uso de ensaios que não danifiquem a estrutura da árvore, as propriedades orgânicas e físicas dos indivíduos.

2. OBJETIVOS:

2.1. Objetivo Geral:

Avaliar a condição estrutural da floresta urbana que compõem a arborização da praça da Madalena no município de Recife – PE por meio de ensaios não destrutivos.

2.2. Objetivos Específicos:

- ✓ Classificar o grau de deterioração do tronco das árvores utilizando o tomógrafo de impulso, para auxiliar na tomada de decisão quanto a manutenção, intervenção ou recomendar sua erradicação, caso necessário;
- ✓ Diagnosticar visualmente os sinais de agentes bióticos e abióticos responsáveis pela deterioração da madeira e as patologias encontradas que compõem as estruturas em questão;
- ✓ Indicar as possíveis causas e consequências do comprometimento estrutural das árvores.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Para garantir que as árvores urbanas se encontrem em bom estado de conservação, é necessário avaliar seus três estratos, copa, tronco e, quando possível, suas raízes (LOPES, 2023). Já que a presença de pragas ou patógenos, deficiência estrutural, dentre outros, são aspectos determinantes na avaliação de sanidade arbórea (VAN DER HEIJDEN et al., 1998; SKATTER e KUCERA, 2000; LUNDSTRÖM, 2010; FLORIAN, 2013).

3.1. Causas e consequências da degradação de árvores urbanas

3.1.1. Cupins e outros xilófagos

Pertencentes a ordem *Blattodeae*, os cupins são xilófagos, ou seja, se alimentam de madeira (FREITAS, 2023), ou mais precisamente da celulose presente, principalmente no alburno das árvores, logo, os insetos podem se alimentar de madeira morta ou viva (GAZAL et al., 2023; VASCONCELOS, 1999; THORNE e HAVERTY, 2000). Assim, podem atacar as raízes e o tronco das árvores deixando-as ocas para construção de suas colônias, o que tem direta ligação com a resistência da árvore, promovendo sua fragilização (ABREU et al., 2020; BRAZOLIN, 2009).

Tem-se como um dos principais fatores que impulsionam a infestação de cupins na arborização urbana as práticas inadequadas de manejo dessas árvores, que atreladas a um clima favorável e a uma má escolha de espécies, propicia ainda mais o desenvolvimento desses insetos. Sendo os gêneros *Nasutitermes* e *Microcerotermes* os mais comumente encontradas nas árvores do Brasil (ABREU et al., 2020; CONSTATINO, 2002).

Entretanto, outros insetos, além dos cupins, têm destaque quando se trata de arborização urbana. Uma vez que também formam as galerias na madeira, o que diminui sua resistência mecânica. É comum a ocorrência de xilófagos das ordens *Coleoptera* e *Diptera* nas árvores urbanas (SHORTLE et al., 2010).

Considerando que a abertura de galerias e a formação de ocos, como citado anteriormente, fragiliza a estrutura das árvores, isso torna-a propicia morte, danos mecânicos, e posteriormente, a queda, principalmente quando somados a ação dos demais fatores bióticos e abióticos citados neste estudo.

3.1.2. Fungos apodrecedores

Segundo Coutinho (2018), o ataque biológico por fungos pode ser um agravante no que tange a perda de resistência da madeira, e com isso sua sanidade estrutural. De maneira que muitos desses organismos, que comumente atacam a região do alburno, causam o apodrecimento da madeira do fuste. Logo, coloca em risco a vida da árvore (DINIZ, 2018; MAESTRI, 2019), bem como a segurança de transeuntes.

Quando se trata de árvores urbanas, existem alguns indícios da presença de fungos no indivíduo arbóreo, que podem ser externos (danos na casca; cavidades, expansões no

tronco e a presença de corpos fúngicos propriamente dito) ou internos. E nesse último caso, é mais difícil da identificação e classificação do grau de comprometimento (FERREIRA, 2017). O que é intensificado se for considerado que as células da madeira tendem a demonstrar maior fragilidade em sua parte interior, de modo que o comprometimento estrutural por fungos acontece de fora para dentro das árvores (ALLISON e WANG, 2015).

3.1.3. Agentes Climáticos

O clima é um forte representante dos fatores capazes de degradar árvores urbanas, já que quando expostas a intempéries (ventos, chuva, raios, alagamentos, deslizamentos, erosão etc.), esse material tende a apresentar uma maior propensão a deterioração. De modo que a higroscopicidade da madeira presente nos galhos e tronco afeta consideravelmente suas propriedades estruturais (KLOCK e ANDRADE, 2013; DINIZ, 2018).

A ação dos ventos, por exemplo é um fator de grande influência na queda de árvores urbanas. Principalmente, quando associada a fatores como idade, dimensão, largura do fuste e densidade da madeira (OLIVEIRA e LOPES, 2007). Além disso, tem-se o porte da árvore, que é fator decisivo, já que em grandes centros urbanos, árvores de grande porte, influenciadas pela compactação do solo em detrimento de pavimentações, geralmente desenvolvem um sistema radicular raso caindo facilmente quando submetidas a ventos fortes (OLIVEIRA e LOPES, 2007; MOSER et al., 2010).

Considerando que estruturalmente a madeira (principal constituinte do tronco e galhos) é um material orgânico e higroscópico, ou seja, absorve umidade do ar, o fuste das árvores, quando expostos a umidade atmosférica, podem alterar suas conformações estruturais. (KLOCK e ANDRADE, 2013). Dessa forma, apesar de sua resistência e adaptação ao ambiente, uma árvore é passível de deterioração quando submetida a consideráveis fatores externos e/ou esforços mecânicos.

3.1.4. Forças Mecânicas

Parâmetros mecânicos como a interação entre sistema radicular com solo, ou com o fuste, além das condições de crescimento (reguladas tanto pela fenologia da espécie, como pela condução do crescimento da muda), podas mal cicatrizadas, injúrias no fuste e/ou nos ramos tem grande influência nos possíveis danos estruturais de árvores (VOLPE-FILIK, 2009; BOBROWSKI, 2010)

Esses danos se expressam principalmente como rupturas, que segundo Brazolin, (2009) e Rollo (2009b) podem ser por flexão ou tração das fibras, quando há esforços em galhos com inserção fraca ou em troncos com cavidades e apodrecimento por fungos; por cisalhamento, quando há fraturas longitudinais, ocasionadas por tensões no tronco ou em sua base comprometida, que por sua vez podem sofrer influência de esforços de flexão.

Existem também, ainda de acordo com segundo Brazolin, (2009) e Rollo (2009a), rupturas por torção, que se apresentam mais comumente em árvores de grã helicoidal ou em troncos que sofrem esforços na região da copa e em única direção (nesse caso pelas forças de tração e compressão); e por forças transversais, que se dão em fustes e galhos com grande inclinação, que ocasiona a separação das fibras longitudinais.

É importante salientar que os agentes mecânicos são muitas vezes consequências dos demais fatores citados. Principalmente, quando combinados entre si, os fatores climáticos e biológicos (nesse inclui-se também o fator antrópico) tendem a agravar a fragilidade mecânica dos troncos e galhos dos indivíduos arbóreos urbanos.

3.2. Métodos de Avaliação

Dados os fatores que podem influenciar o grau de conservação das árvores urbanas, para avaliar seu estado, é necessário que sejam realizadas vistorias técnicas para identificar e promover um acompanhamento periódico de sua degradação. Para tal existem duas formas eficazes quando se trata de avaliação do potencial de falha estrutural de árvores urbanas, o método de avaliação visual, bastante difundido, e a avaliação por tomografia de impulso (SACRAMENTO, 2013).

A identificação visual é um tipo de inspeção que permite o avaliador observar os possíveis danos, naturais ou provocados, nas árvores. Estimando, quando possível, a origem

e a direção de queda da estrutura. Pode-se assim observar durante uma análise visual indicadores como danos na casca; presença de cavidades; corpos fúngicos e danos ou protuberâncias na base do fuste (FERREIRA, 2017).

No entanto, nem sempre é viável detectar visualmente a presença de defeitos, especialmente aqueles relacionados a problemas mecânicos internos, como a existência de cavidades dentro do tronco das árvores (SACRAMENTO, 2013). Nesse contexto, é possível empregar a abordagem de análise estrutural utilizando um tomógrafo de impulso. Uma técnica que se baseia no uso de um equipamento de tomografia arbórea, capaz de estimar a velocidade de uma onda gerada por impacto, considerando a capacidade da madeira de armazenar e transmitir energia (JAYNE, 1959). Desse modo, o tomógrafo, a partir do tempo de deslocamento e recepção da onda, deduz o estado atual do fuste, possibilitando a avaliação de sua estrutura e estabilidade (FERREIRA, 2017).

A velocidade de deslocamento das ondas de impacto está diretamente ligada as propriedades de heterogeneidade, anisotropia e higroscopia da madeira (ROLLO, 2009a; Rinntech, 2018). De modo que a composição bioquímica das células do lenho, os diferentes planos de corte e a capacidade de interagir com ambiente, absorvendo ou perdendo umidade, respectivamente, interferem na densidade do lenho (CARRASCO E AZEVEDO JUNIOR, 2003; ROLLO 2009b; LATORRACA, et al. 2011).

Segundo Shimoyama (2005), uma madeira de menor densidade, logo, com uma maior quantidade de espaços vazios, demonstra uma velocidade de propagação de ondas inferior. Isso se deve à má condução de ondas de choque pelo ar, incapaz de permitir um deslocamento contínuo, resultando em um "desvio" na trajetória das ondas. Assim, o desvio na propagação indica os pontos de sustentação da árvore comprometidos, revelando as áreas que estão submetidas a esforços de sustentação. (RINNTECH, 2014; RINNTECH, 2018).

Além da velocidade, a propagação das ondas de impacto se dá através de outros dois atributos físicos, a frequência e o comprimento das ondas, representados na equação 1 e 2, conforme a 2ª lei de Newton e a lei de Hooke, por meio do módulo de elasticidade. Sendo as interferências (ocos) do lenho responsáveis pela mudança de trajetória das ondas, ou seja, na alteração desses atributos (CARVALHO, 2019; ROLLO, 2009b).

$$V = \lambda \times f \quad \text{equação (1)}$$

$$V = \sqrt{Ei * D} \quad \text{equação (2)}$$

Onde: V = velocidade de propagação da onda (m/s); λ = comprimento de onda; f = frequência da onda (nº de oscilações/s); Ei = módulo de elasticidade da madeira (N/m²) e D = densidade (kg/m³).

O tomógrafo de impulso ARBOTOM® da Rinntech é baseado em um sistema de deslocamento de impactos, produzidos propositalmente, que por sua vez geram ondas de choque captadas por sensores dispostos e fixados ao redor do tronco da árvore, gerando uma espécie de “abraçamento” do fuste (figura 1).



Figura 1. Modo de funcionamento e instalação dos sensores do tomógrafo ARBOTOM. **Fonte:** ROLLO et al., (2013).

Uma vez emitida uma onda de choque, o deslocamento da onda é captado pelos sensores, que refletem o estado de conservação da madeira com a geração de gráficos (figura 2). Cada gráfico possui uma aplicabilidade, sendo, o de linhas viabilizador do gráfico 2D, que permite uma visualização aproximada do estado de conservação da madeira, por meio de cores (FERREIRA, 2017).

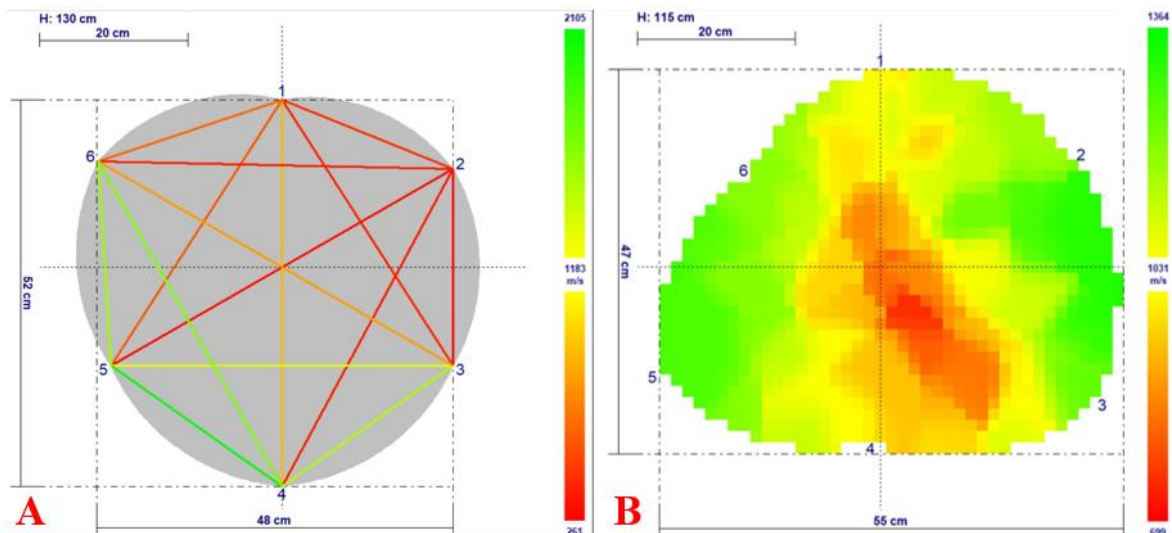


Figura 2. Gráficos gerados pelo software ARBOTOM®. A: Gráfico de linhas e B: Gráfico 2D.
Fonte: O autor, 2024.

Nesse contexto, faz-se relevante a avaliação estrutural e fitossanitária das árvores urbanas, e especificamente, da madeira de seus troncos. Visando além da preservação dos indivíduos analisados, um diagnóstico da situação atual desses, da necessidade de erradicação ou não das árvores que sofram eventualmente com a ação de algum dos fatores biótico, climáticos e/ou mecânicos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização e Caracterização da área de estudo:

O estudo se desenvolveu na Praça da Madalena, no bairro do Recife – PE (figura 3). Localizada na posição central da cidade do Recife, nas coordenadas de latitude 8° 03' 11'' sul e longitude 34° 54' 31'' e com uma área de aproximadamente 1.900 m² (GOOGLE EARTH, 2024). O município possui uma área de 218.843 Km² divididos em 94 bairros, com uma população de 1.488.920 pessoas (PREFEITURA DO RECIFE, 2023; IBGE, 2022).

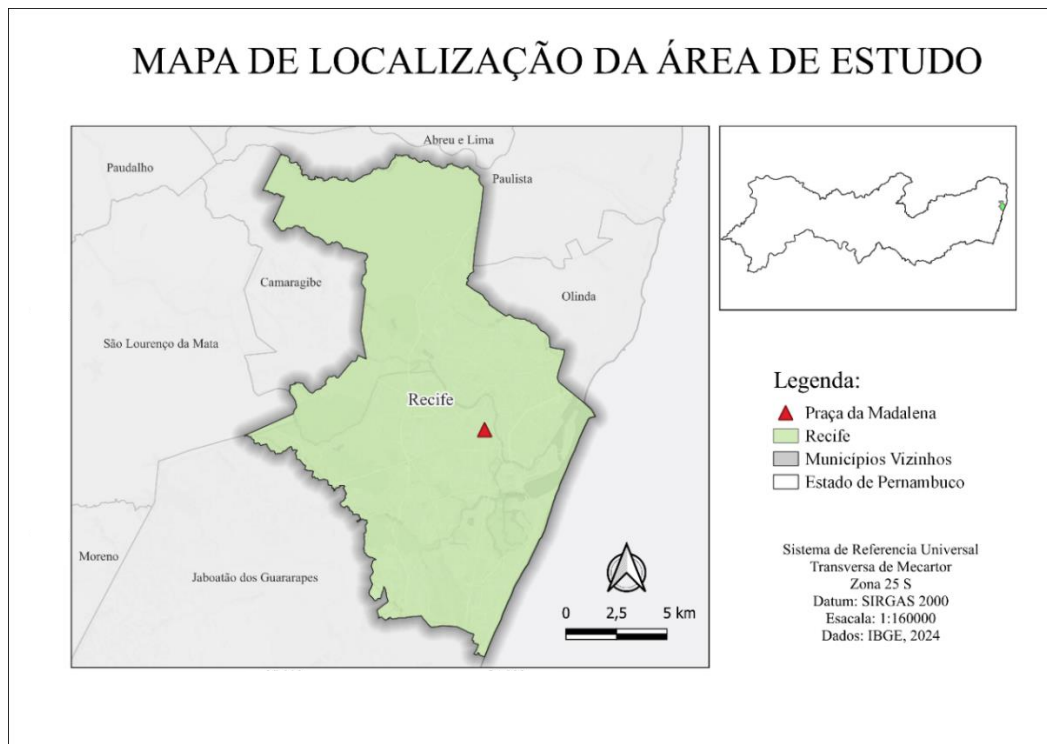


Figura 3. Mapa de localização da Cidade do Recife e da área de estudo. **Fonte:** O autor, 2024.

Em relação as características ambientais, a cidade do Recife possui um clima do tipo Am (tropical-úmido ou de monção) segundo a classificação de Köppen. Com uma precipitação média anual de 2.457 mm, sendo o mês de novembro com menor incidência de chuva, 48 mm, e o mês junho o com maior precipitação média, 390 mm. Sua vegetação é representativa do domínio morfogeográfico da Mata Atlântica (SABOYA *et al.*, 2021; IBGE, 2022; APAC, 2023).

4.2. Caracterização dos métodos e das espécies analisadas

O experimento foi conduzido em seis árvores presentes na Praça da Madalena (tabela 1) e que fazem parte da arborização da área verde (figura 4). Foram levados em consideração os fatores de influência direta e indiretamente ligados as árvores para identificar a existência e a(s) possível(is) causa(s) de degradação dos indivíduos arbóreos, bem como remedia-las, se possível.

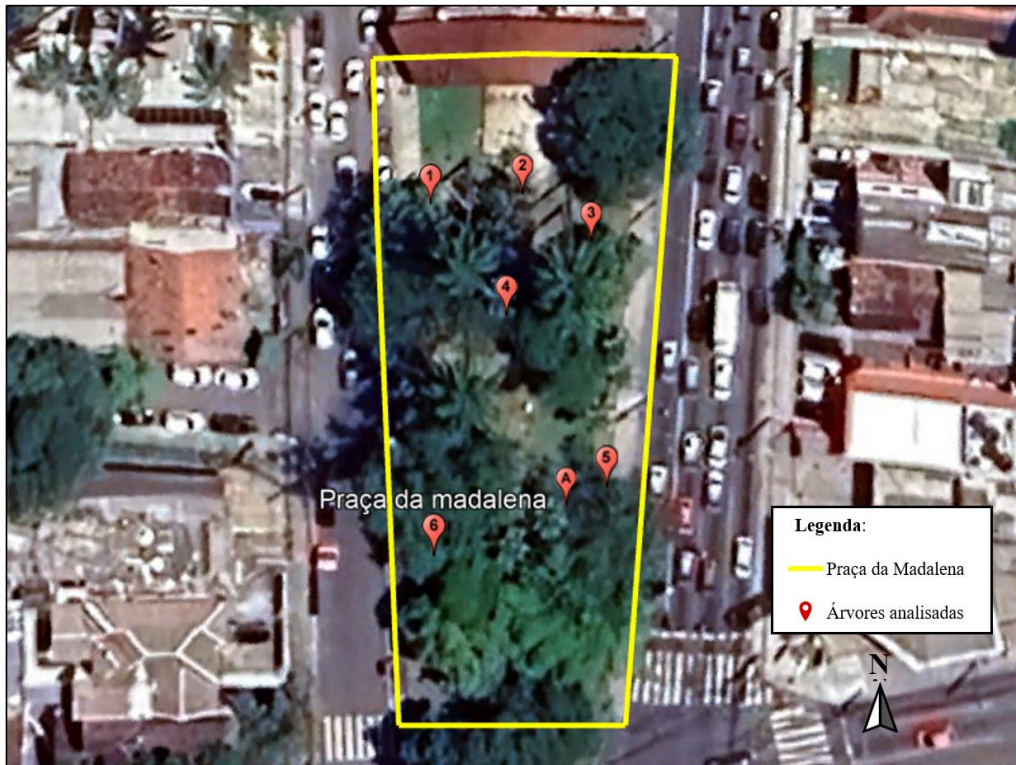


Figura 4. Croqui das Árvores analisadas na Praça da Madalena. Onde: 1. *Spathodea campulada* P. Beau (Espatódea); 2. Espatódea; 3. *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos (Ipê Rosa); 4. *Schinus terebentifolia* Raddi (Aroeira); 5. *Cassia grandis* L. (Acácia Rosa) e 6. *Paubrasilia echinata* (Lam.) Gagnon. H.C.Lima & G.P. Lewis (Pau Barsil). **Fonte:** O autor, 2024.

Para o aferimento da existência e do grau de deterioração externo e interno das árvores avaliadas, utilizou-se o método de análise não destrutiva por meio de tomografia de impulso; e para relacionar com a análise do equipamento, foi realizada uma inspeção visual verificando a ocorrência de alguma praga, patógeno ou condição estrutural.

4.2.1. Análise com Tomógrafo:

A análise com tomógrafo teve por objetivo avaliar o estado de conservação das árvores estudadas por meio de ondas mecânicas, principalmente no que corresponde ao fuste (parte de análise do equipamento), uma vez que tal método permite a identificação de cavidades e/ou ausência de formação de parede celular de preenchimento.

Para este tipo de análise não destrutiva foi utilizado o tomógrafo de impulso ARBOTOM® da fabricante Rinntech cedido pela empresa Engemaia & Cia (figura 5a). Esse

equipamento é capaz de avaliar o estado de conservação interno do tronco da árvore por meio de um conjunto de sensores (figura 5b) e gerar um banco de dados indicativo do estado estrutural do fuste avaliado (FERREIRA, 2017).



Figura 5. A – Conjunto do equipamento do Tomógrafo ARBOTOM®. B- Sensor utilizado para aferimento do tomógrafo. **Fonte:** O autor, 2024.

4.2.2. Coleta de dados

Para análise com o tomógrafo foram estimadas a altura da árvore e medida a circunferência com auxílio de uma trena, e essas inseridas no software ARBOTOM®. De modo que após inseridas as informações, os sensores foram fixados seguindo uma padronização recomendada pelo fabricante, onde o primeiro sensor foi instalado na direção Sul, a distâncias regulares, com pregos, em profundidade suficiente para sustentar o peso sensor. E foram conectados entre si e com o computador via cabo (figura 6).



Figura 6. Sensores do ARBOTOM presos ao fuste de uma árvore. **Fonte:** O autor, 2024.

As leituras foram realizadas em um intervalo de altura entre 0,30 m e 2 m do nível do solo, pois há uma maior tendência a ocorrer falhas mecânicas nessa região. De modo que os sensores foram preferencialmente instalados na região mais basal do fuste (30 cm), exceto em casos de dano físico aparente que oferecesse perigo a sua conservação estrutural. Nesse caso, os sensores foram, dentro do intervalo estabelecido, alocados próximos a essas regiões danificadas (figura 7).

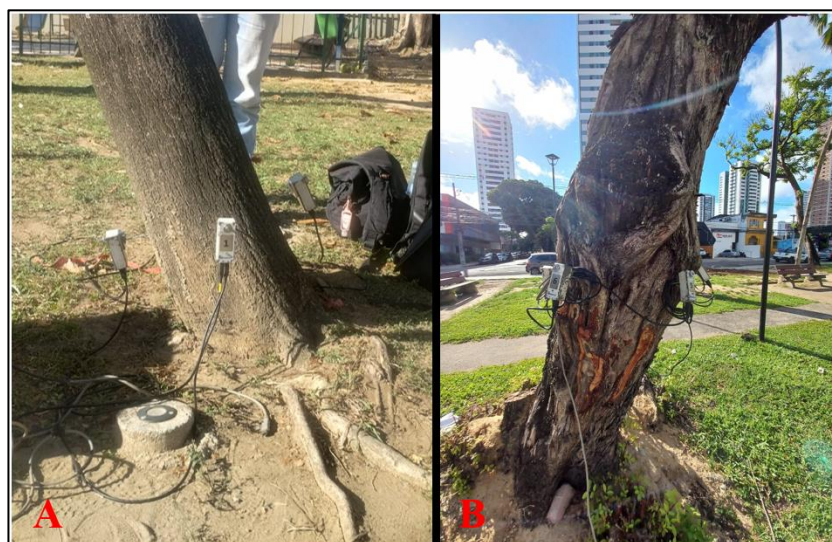


Figura 7. Sensores inseridos no fuste da árvore. A – Sensores na base da árvore. B- Sensores a 115 cm do nível do solo devido obstáculos. **Fonte:** O autor, 2024.

As análises foram feitas com a leitura da seção transversal do fuste, utilizando seis sensores em cada fuste e a partir de cinco marteladas leves em cada sensor. E após realizadas, devido ao modelo do equipamento, o software gerou os gráficos indicativos do estado de conservação do tronco.

4.3. Classificação e Análise de Dados

A partir das análises realizadas com o ARBOTOM® as imagens foram submetidas ao software AutoCad 2024, da AutoDesk, onde foram quantificadas as áreas totais e comprometidas de cada árvore analisada, sendo considerado com bom estado estrutural as cores verde ou amarelo dos gráficos e ruim as regiões laranja ou vermelha.

No caso da não existência de regiões laranja ou vermelha nos gráficos, a árvore foi considerada com um bom estado de conservação não sendo submetida a classificação de deterioração, que foi realizada conforme Rollo (2009a), onde a classificação é tida com base no risco de queda da árvore (Tabela 2).

Tabela 1. Classificação do grau de deterioração da secção transversal das árvores analisadas.

Risco de queda	Porcentagem de área deteriorada
Baixo	Lesões em até 10% da área
Médio	Lesões entre 10% e 30% da área
Alto	Lesões entre 30% e 50% da área
Severo	Lesões superiores a 50% da área

Fonte: Adaptado de Rollo (2009a).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises realizadas possibilitaram a visualização do estado estrutural dos fustes estudados. Uma vez gerados os gráficos 2D, bem como os demais dados de velocidade de emissão e recepção das ondas de choque, quando atrelados a avaliação visual dos troncos, torna-se possível inferir sobre as regiões de fragilidade, os esforços mecânicos presentes e o potencial de falha estrutural da árvore.

A primeira árvore analisada, uma *Espatódea* - E1 (Figura 8) com 10 m de altura e 167 cm de diâmetro, apresentou uma fragilidade na região sudoeste do gráfico que ocupa 15% da área transversal do tronco. Contudo, essa diminuição na densidade, não implica ainda em um problema estrutural, considerando que a árvore não apresentou comprometimento no tronco (figura 8A), e portanto, sendo classificada com baixo potencial de falha estrutural da árvore.

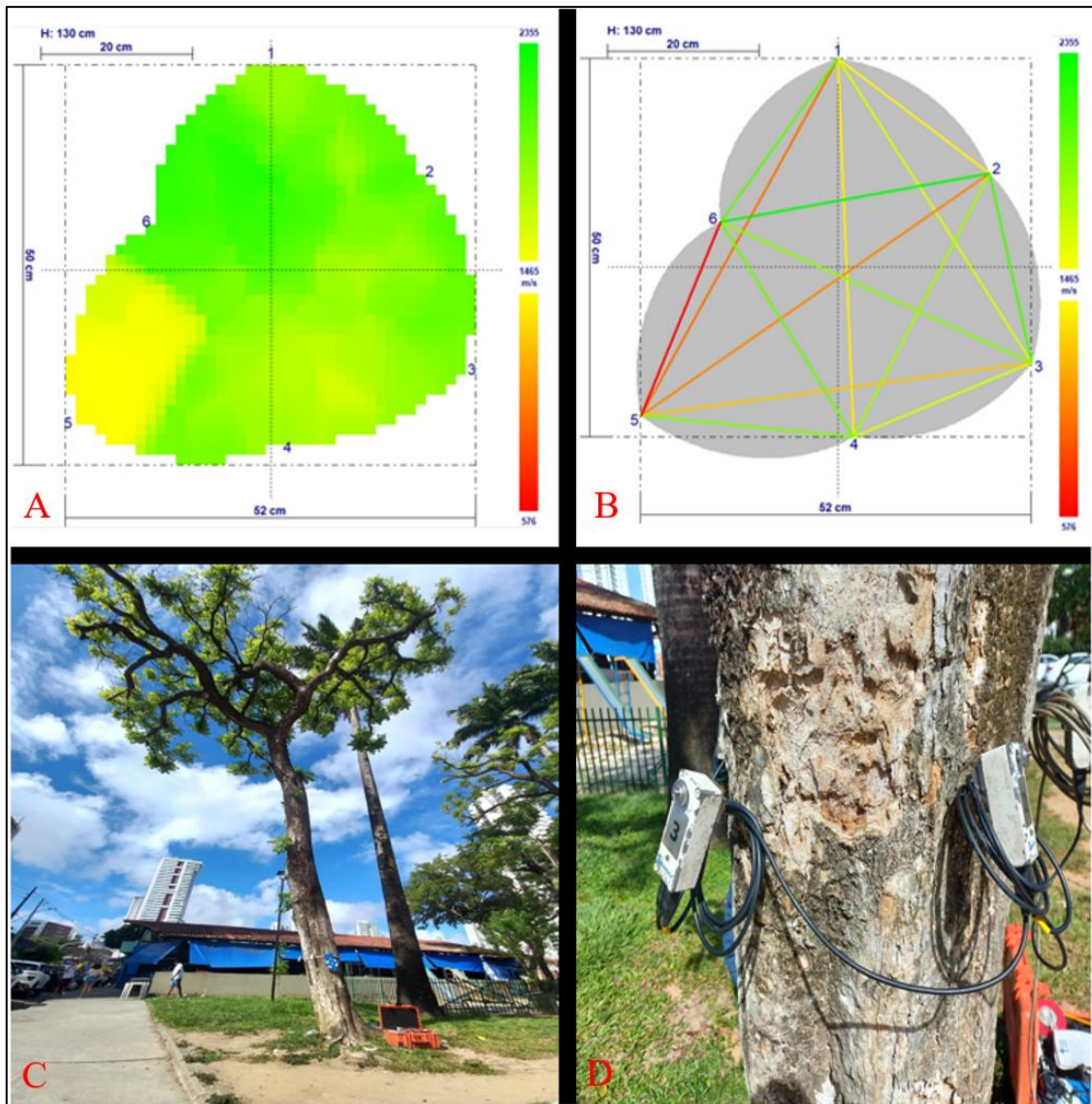


Figura 8. Gráficos gerados pelo ARBOTOM para a E1. A – Gráfico 2D. B- Gráfico de Linhas. C – Árvore analisada. D – Posicionamento dos sensores na região analisada do fuste. **Fonte:** O autor, 2024.

A fragilidade presente, evidenciada pela região amarelada no gráfico 2D (Figura 8A), bem como no gráfico de linhas, se deve a menor velocidade de propagação das ondas de choque. O que também se demonstra na tabela de velocidade de transmissão de ondas (figura 9), em que as ondas de choque causadas e receptadas no sensor 5 se mostram mais lentas, com um mínimo de velocidade de 418 m/s (no quinto sensor) e um máximo de 2017 m/s (entre os sensores 2 e 5). Ou seja, na região há algum obstáculo físico que dificulta a transmissão das ondas em linha reta.

Arbotom 1.73a (c) 1999-2011 Frank Rinn / RINNTTECH. - [ESPATÓDIA 1.abt]

Arquivo Medição Configurações Ajuda

Posicionamento | Distâncias [cm] | Tempos de execução [μs] | Velocidades [m/s] | Delta [%] | Linhas | 2D | 3D | Mecânica | Notícias/GPS

Sensor	1	2	3	4	5	6
1		1005	1153	1369	777	1520
2	989		1454	1448	1029	2017
3	1246	1281		952	969	1834
4	1373	1270	1120		1331	1655
5	770	834	891	1161		418
6	1546	1719	1742	1647	436	

Figura 9. Velocidade da transmissão das ondas de choque analisadas na árvore E1. **Fonte:** O autor, 2024.

Uma explicação para a menor velocidade de propagação da onda na região do sensor 5, é a ocorrência de cupins, como é possível ver na figura 8D, com formação de galerias no fuste da árvore. Segundo Nobre et al. (2022), para se alimentar e construir suas colônias, é comum que os cupins criem um conjunto de “trilhas ou galerias” nos troncos das árvores, tanto superficialmente, quanto internamente. Além disso, pode haver ação de outros xilófagos brocadores que atacaram a madeira da E1 de forma semelhante aos cupins, abrindo as galerias (QUEIROZ e GARCIA, 2007; SHORTLE et al., 2010).

Já a segunda árvore analisada, também uma Espatódia - E2 (figura 10), apesar de ter dimensões semelhantes, 9 m de altura e 177 cm de diâmetro, apresentou maior deterioração na região do cerne e de suas extremidades norte e sul do gráfico (figura 10 A). Demonstrando uma maior fragilidade estrutural no fuste, o que pode acarretar num maior o potencial de falha estrutural da árvore, uma vez que a árvore é bastante próxima a região do parque infantil presente na praça, logo, frequentado por crianças e seus responsáveis.

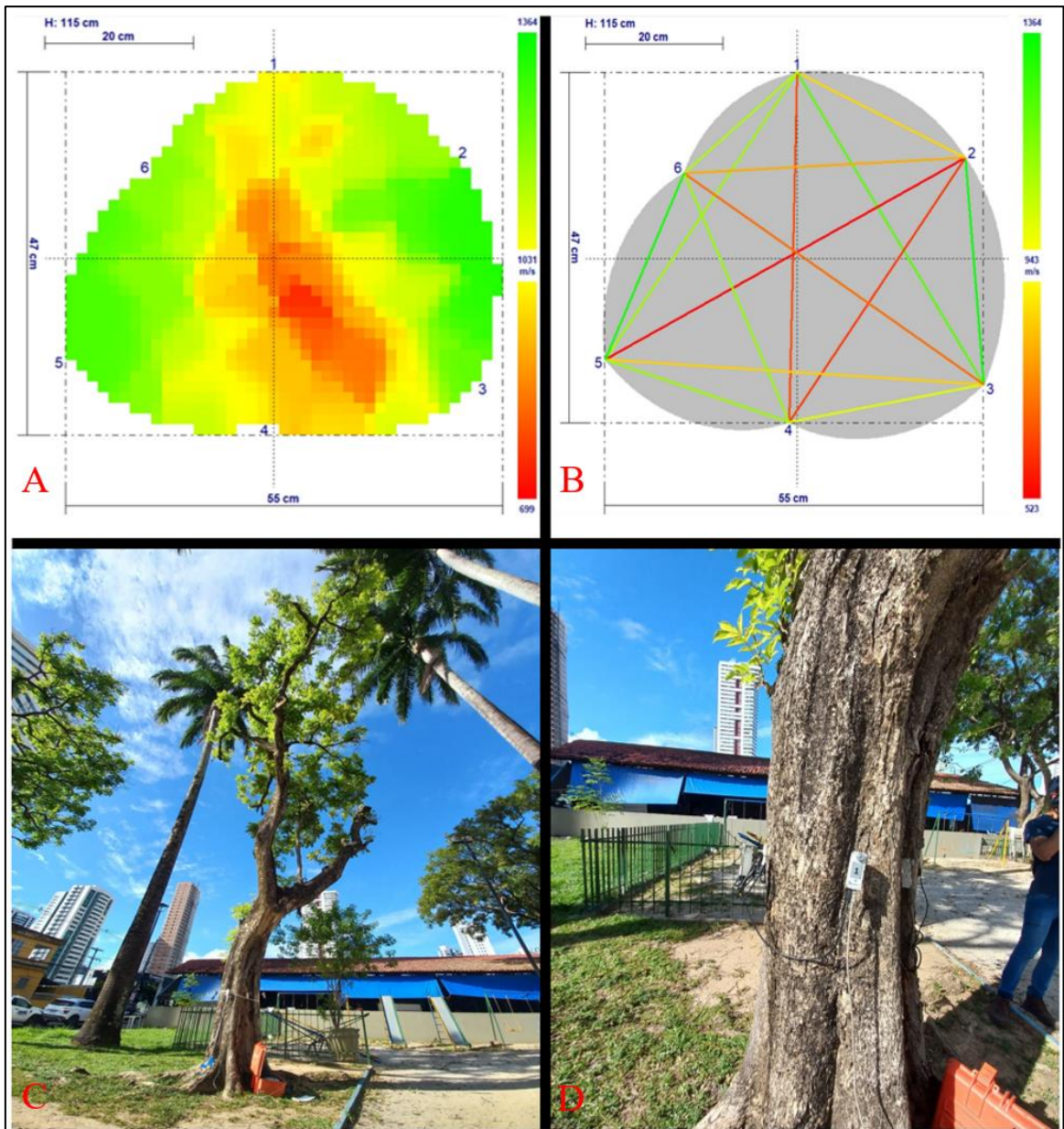


Figura 10. Gráficos gerados pelo ARBOTOM para Espatódia (E2) 2. A – Gráfico 2D. B- Gráfico de Linhas. C – Árvore analisada. D – Posicionamento dos sensores na região analisada do fuste. Fonte: O autor, 2024.

A E2 apresentou um comprometimento de 14% da área transversal do fuste, o que a classifica com médio potencial de falha de árvore. Essa classificação faz necessária a realização de avaliações periódicas na árvore, visando identificar o surgimento e/ou aumento de ocosidades na árvore. (BUTANTAN, 2023).

A menor interação das ondas de choque entre os sensores (figura 10 B), representam a baixa transmissão e recepção dos sensores 1, 2 e 4, representantes da área mais afetada

conforme a figura 10 A. O que é evidenciado na tabela de velocidade de transmissão de ondas de choque (figura 11), uma vez que é nos sensores citados que há os menores valores aferidos, como por exemplo, a “comunicação” entre os sensores 2 e 4 apresentaram a menor velocidade de transmissão de ondas de toda a análise nessa árvore, 470 m/s. Em contrapartida a emissão e recepção das ondas entre os sensores 5 e 6, com a maior velocidade de transmissão, 987 m/s, o que somado a representação gráfica (figuras 10 A e B), confirma a boa conservação da região do fuste através da cor verde forte.

Sensor	1	2	3	4	5	6
1		624	978	626	874	792
2	594		931	502	516	658
3	959	886		714	680	688
4	603	470	664		802	924
5	827	504	652	776		912
6	797	654	691	943	987	

Figura 11. Velocidade da transmissão das ondas de choque analisadas na árvore E2. **Fonte:** O autor, 2024.

Apesar de não ser aparente a presença de xilófagos no fuste da árvore, há possibilidade da ocorrência desses seres na região central. Segundo Cooper e Grace (1987), existem espécies de cupins que podem atacar apenas o cerne da árvore, não sendo aparente sua presença no meio externo. O que corrobora com Fontes et al. (1997), que no estudo de árvores urbanas adultas que nunca haviam passado por nenhuma poda ou outro processo que torne vulnerável a ocorrência de xilófagos, verificou a presença de cupins-do-cerne (*Coptotermes* spp.) no interior dos fustes.

Outra possibilidade é a ocorrência de fungos apodrecedores no cerne das árvores, que segundo Brazolin et al. (2011), possui um grande potencial de degradação dos cernes das árvores junto aos insetos brocadores e aos cupins de solo. Entretanto, a identificação mais detalhada dos possíveis xilófagos presentes no interior da Espatódia analisada, só seria possível com uma análise destrutiva da árvore, o que não é objeto de interesse deste trabalho.

A madeira da espécie Espatódia é considerada mole, logo, possui uma baixa densidade, e por tanto, uma baixa resistência mecânica (VALE et al., 2005). O que a torna mais propensa a ação de fatores abióticos, como a umidade e ventos, que segundo Emerick

e Martini (2020), pode ter influência no risco de ruptura e queda, além de tornar o fuste propício a ocorrência de fungos do apodrecimento.

A terceira árvore analisada, o Ipê Rosa – II (figura 12), que possui aproximadamente 12 metros de altura, com 90 cm de diâmetro, apresentou uma alta gravidade em relação a fragilidade estrutural em seu tronco, uma vez que possui um comprometimento estrutural de aproximadamente 39% da área transversal do fuste, apesar de não demonstrar nenhuma injúria ou dano físico que venha a causar a queda da árvore.

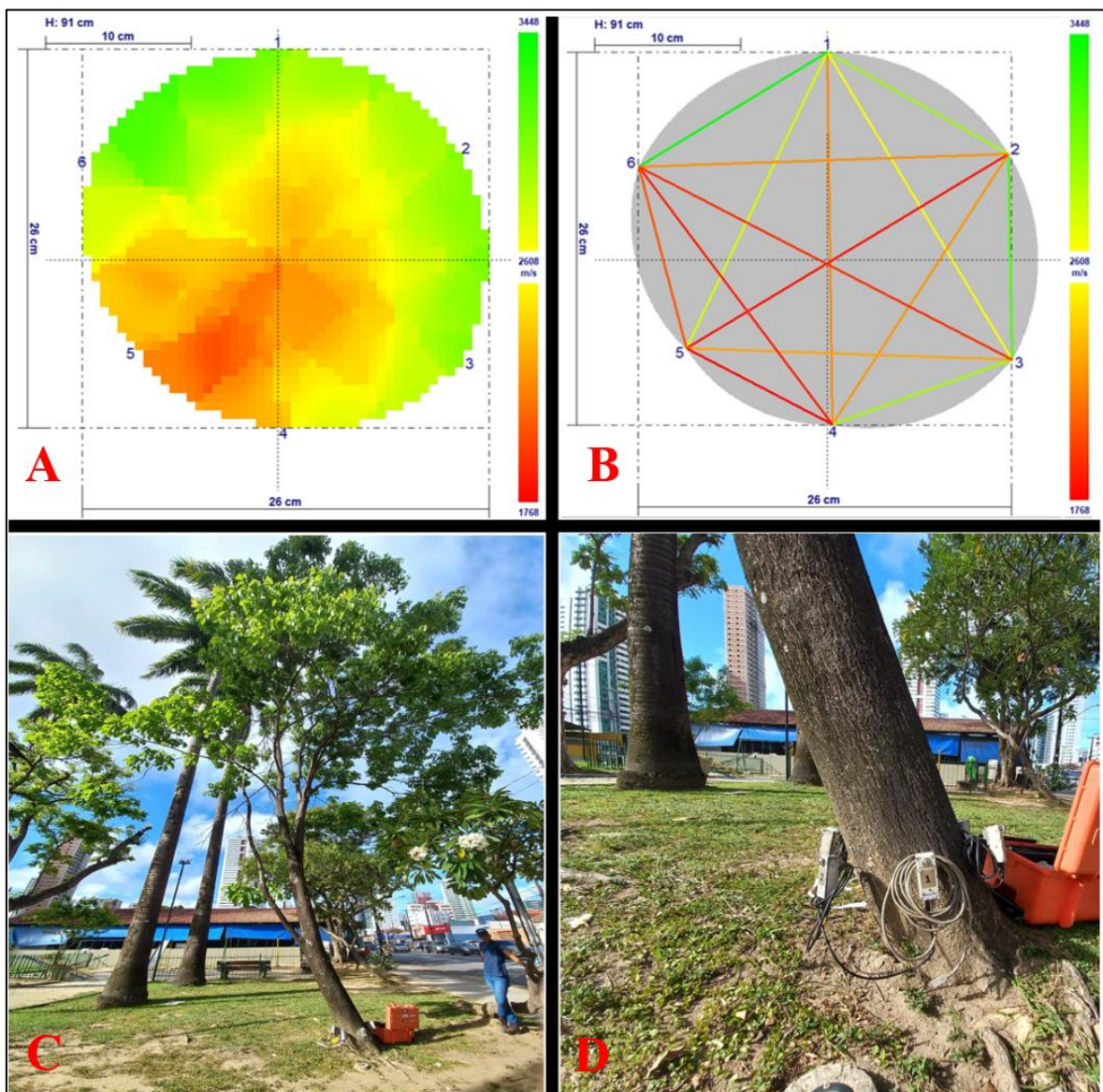


Figura 12. Gráficos gerados pelo ARBOTOM para o Ipê Rosa. A – Gráfico 2D. B- Gráfico de Linhas. C – Árvore analisada. D – Posicionamento dos sensores na região analisada do fuste. **Fonte:** O autor, 2024.

Com relação a transmissão de ondas pelos sensores, representada no gráfico de linhas (figura 12 B), menor interação ocorre entre os sensores 2, 4, 5 e 6. O que concorda com a tabela de velocidade de transmissão de ondas gerada para a árvore (figura 13), em que a menor velocidade registrada foi de 1126 m/s entre os sensores 4 e 5 e a maior foi de 2338 m/s, registrada entre os sensores 1 e 6.

The screenshot shows the 'Arbotom 1.73a' software interface. The main window displays a table with the following data:

Sensor	1	2	3	4	5	6
1		1964	2026	2013	2216	2338
2	1392		1463	1806	1791	1639
3	1962	2173		2049	1850	1893
4	2200	1722	1681		1277	1454
5	1678	1603	1533	1126		1338
6	2268	1765	1694	1473	1441	

Figura 13. Velocidade da transmissão das ondas de choque analisadas na árvore I3. **Fonte:** O autor, 2024.

Não foi detectada a presença de agentes xilófagos na árvore que justifiquem essa fragilidade estrutural. Considerando que em termos de qualidade da madeira, o Ipê Rosa é classificado com uma espécie de madeira de elevada densidade (PAES et al. 2004), sua deterioração por agentes bióticos e abióticos é mais difícil, bem como possui uma boa resistência contra o apodrecimento (IPT, 1989).

Por outro lado, a inclinação da árvore (figura 12 C) é um fator que deve ser levado em consideração quando se analisa a resistência estrutural do Ipê avaliado, uma vez que as forças de tração e compressão da madeira influenciam na sua resistência mecânica (SACRAMENTO, 2013), afetando a estabilidade estrutural da árvore. Sacramento (2013), afirma que a presença de inclinação da árvore implica na perda de resistência a flexão, o que pode explicar a maior predominância de regiões amarelas no gráfico 2D gerado para o Ipê.

Essa inclinação, representada no gráfico, principalmente, na região entre os sensores 3 e 4, faz relevantes a análise das forças de tração e compressão, pois essas forças compreendem a tolerância da árvore a cargas. De maneira que se há tração aplicada no lenho, há também uma menor tendência de lignificação, aumentando as chances de a árvore cair (ATAÍDE et al., 2015).

No caso da I1, a compressão das fibras na região entre os sensores 2, 3 e 4 é mais elevada, visto que o peso da árvore é aplicado nessa direção, conforme a figura 12 C. Já a tração presente se dá, principalmente, na região que compreende os sensores 1, 5 e 6, que coloca em evidência a ação dos ventos, que segundo Ataíde et al. (2015), pode causar a queda da árvore devido a perda da resistência às forças de tração e/ou compressão. Desse modo, faz-se necessária intervenção na árvore por meio de escoramento do tronco, que segundo a Prefeitura de Sobral (2018), é um método bastante eficaz para árvores inclinadas.

A quarta árvore analisada, uma Aroeira - A1 de 11,5 m de altura e 168 cm de diâmetro, dentre todos os indivíduos avaliados, foi a que demonstrou maior grau de deterioração (figura 14). O comprometimento do tronco da árvore que ocupa mais que a metade da área de análise, 52%, é aparente mesmo com uma análise visual prévia.

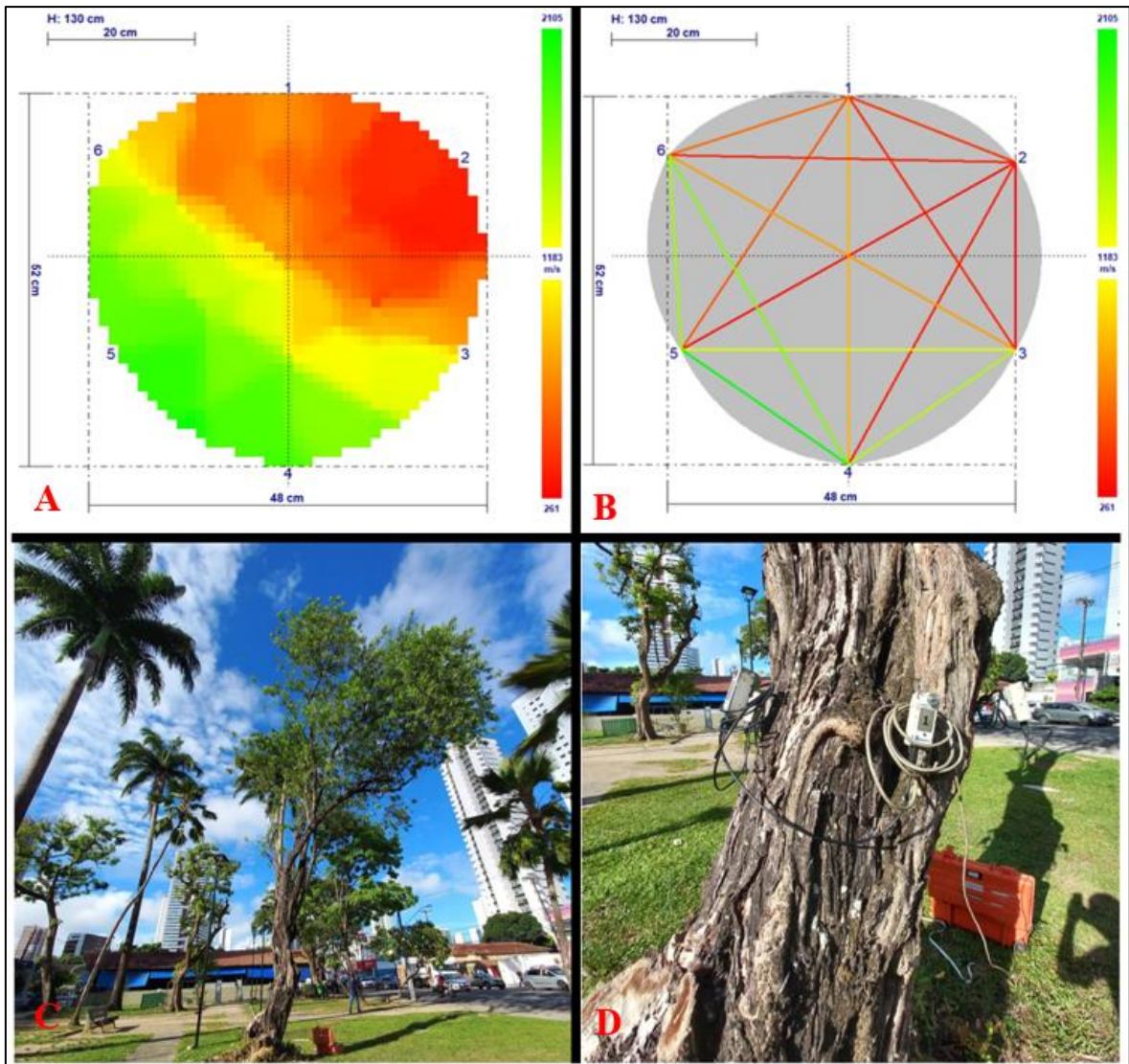


Figura 14. Gráficos gerados pelo ARBOTOM para a A1. A – Gráfico 2D. B- Gráfico de Linhas. C – Árvore analisada. D – Posicionamento dos sensores na região analisada do fuste. **Fonte:** O autor, 2024.

O grau de deterioração da árvore, a classifica com um severo potencial de falha, de forma que a medida recomendada é a erradicação da árvore, visto o risco que a árvore oferece aos frequentadores da praça é alto, principalmente, pelo fato de moradores de rua dormirem em uma área próxima à árvore.

Além dos gráficos gerados e da avaliação visual realizada, a tabela de velocidade de transmissão de ondas (figura 15) demonstra que a deterioração nas áreas que compreendem os sensores 1, 2, 3 e 6 é bem maior que as áreas consideradas boas estruturalmente, com um mínimo e máximo de 128 m/s (leitura entre os sensores 2 e 3) e 1439 m/s (leitura entre os

sensores 4 e 5), respectivamente. Fato que se deve, conforme supracitado a má condução das ondas de impacto na área avaliada (figura 14 D).

The screenshot shows the Arbotom 1.73a software interface. The title bar reads 'Arbotom 1.73a (c) 1999-2011 Frank Rinn / RINNTECH. - [AROEIRA 1.abt]'. The menu bar includes 'Arquivo', 'Medição', 'Configurações', and 'Ajuda'. Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main window displays a table with the following data:

Sensor	1	2	3	4	5	6
1		308	309	916	464	452
2	302		181	235	280	204
3	316	128		460	1036	760
4	466	287	998		1439	1260
5	450	305	874	1331		955
6	447	296	827	1285	1061	

Figura 15. Velocidade da transmissão das ondas de choque analisadas na árvore A1. **Fonte:** O autor, 2024.

A deterioração do fuste da Aroeira se deve, dentre vários fatores, à ação de xilófagos, nesse caso, principalmente, cupins (figura 16 A) que assim como a E1, ocorre a degradação pela formação de galerias no tronco. Entretanto, o comprometimento estrutural do fuste é agravado pela presença de podridão no fuste (figura 16 B), que segundo Santos (1992) e Oliveira et al. (2005) pode ser causada por fungos e ter grande influência nas propriedades mecânicas e de resistência das árvores, podendo, por exemplo, no caso de ocorrência na madeira por fungos de podridão provocar uma diminuição na resistência à flexão considerável (SHORTLE *et al.*, 2010).



Figura 16. Degradação do fuste da Aroeira. A – Ação de cupins e outros xilófagos na madeira da Aroeira. B – Ocos e podridão no fuste da Aroeira. **Fonte:** O autor, 2024.

Uma provável razão para a ocorrência dos fungos de podridão foi a má condução de poda realizada na base da árvore, onde um outro fuste foi retirado. De acordo com Coelho (2022) e Rossetti (2007), a má condução de podas, e conseqüentemente a má cicatrização, aumenta as chances da entrada de patógenos no tronco da árvore. Considerando que, conforme afirmam Allinson e Wang (2015), a podridão por fungos ocorre de fora para dentro, e que o interior da árvore está visivelmente oco e com presença de fungos, fica claro o nível de degradação presente na Aroeira.

A madeira da Aroeira, assim como a madeira do Ipê é de alta densidade (PAES et al., 2009) e com isso apresenta uma maior resistência a xilófagos, patógenos e mecânica. Nesse caso, a madeira da espécie é mais resistente às forças de tração e compressão, porém, o grau de deterioração e a inclinação da árvore podem ser agravantes para a queda do indivíduo (WEBER e BRAZOLIN, 2022), uma vez que a árvore possui inclinação (figura 14 C) no sentido oposto a região comprometida, o que põe sob maior esforço seu fuste.

Stangerlin (2012) estudando o monitoramento das propriedades biológicas, físicas, químicas e mecânicas de árvores, conferiu que uma madeira sob ação de fungos apodrecedores perde consideravelmente sua resistência mecânica, o que aumenta a

possibilidade de queda, que, nesse caso, apesar de não ter como alvo direto o parque infantil, possui porte para atingir frequentadores da praça.

A quinta árvore avaliada, a Acácia Rosa – A2 (figura 17) com 8 m de altura e 200 cm, semelhante a E2 apresentou deterioração do lenho na região central, que corresponde ao cerne da árvore. Todavia, a intensidade no gradiente de cores gerado pelo gráfico 2D (figura 17 A), demonstra um menor grau de comprometimento estrutural da árvore, se comparada a E2.

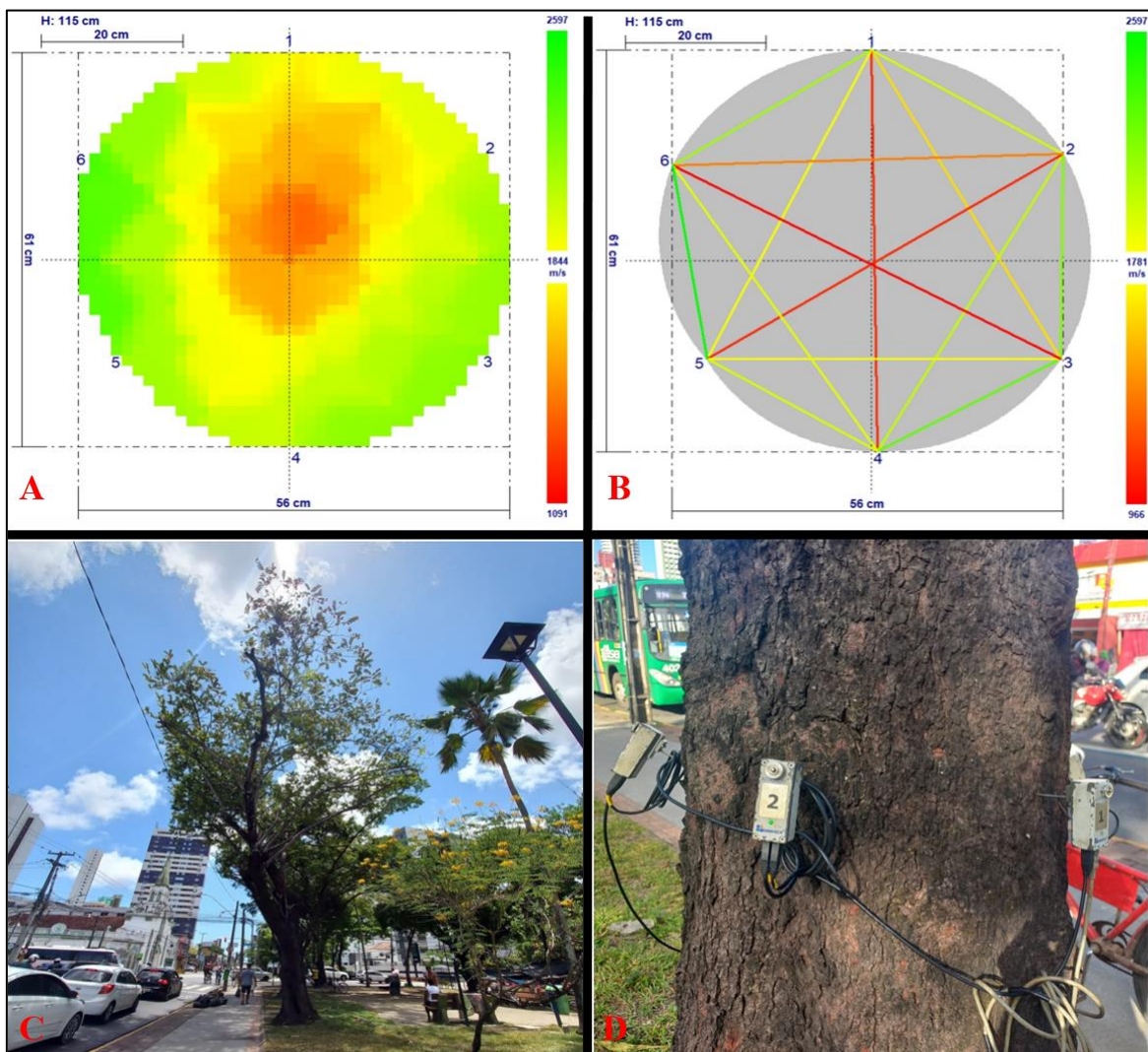


Figura 17. Gráficos gerados pelo ARBOTOM para a Acácia Rosa - A2. A – Gráfico 2D. B- Gráfico de Linhas. C – Árvore analisada. D – Posicionamento dos sensores na região analisada do fuste. **Fonte:** O autor, 2024.

A Acácia Rosa é classificada com médio potencial de falha de árvore, com uma região de fragilidade ocupando 21% da área transversal avaliada, o que exige uma maior

periodicidade nas avaliações estruturais da árvore, assim como na E2, visando a observação do aumento da degradação no fuste.

A menor interação das ondas de choque entre sensores opostos indica a baixa transmissão e recepção nos sensores 1 e 4; 2 e 5 e 3 e 6 (figura 17 B), representando a área central do fuste como a mais afetada. O que concorda com os valores mais baixos de velocidade de transmissão de ondas (figura 18), como os 704 m/s entre os sensores 1 e 4. Por outro lado, os sensores 5 e 6 mostram a maior velocidade de transmissão, 1826 m/s, sugerindo melhor conservação na região do periférica do fuste.

The screenshot shows the 'Arbotom 1.73a' software interface. The main window displays a table with the following data:

Sensor	1	2	3	4	5	6
1		1151	1185	704	1461	1409
2	1320		1438	1573	1075	1096
3	1332	1508		1601	1443	958
4	1083	1480	1481		1350	1488
5	1418	1011	1178	1227		1741
6	1440	1069	873	1431	1826	

Figura 18. Velocidade da transmissão das ondas de choque analisadas na árvore A2. **Fonte:** O autor, 2024.

Não foram identificados indícios da presença de agentes xilófagos na parte externa da árvore que expliquem sua fragilidade estrutural. No entanto, há a possibilidade da ocorrência desses xilófagos na região central do fuste, especialmente levando em consideração a ação dos cupins que atacam o cerne da árvore e a presença de fungos apodrecedores do cerne das árvores, o que juntamente com insetos brocadores e cupins de solo, apresenta um grande potencial de degradação dos cernes das árvores.

Arelado a qualidade da madeira, tem-se como ponto positivo na conservação estrutural da árvore, o formato circular do fuste, que de acordo com Ferreira (2017), garante uma maior estabilidade estrutural a árvore, uma vez que as cargas aplicadas sobre a base do fuste são mais bem distribuídas em fustes com formato circular.

O Pau brasil – P1, última árvore avaliada (figura 19), possui 10 m de altura e 71 cm de diâmetro, foi, dentre as árvores avaliadas, a de melhor sanidade estrutural. Já que

conforme explicitam os gráficos 2D e de linhas (figuras 19 A e B, respectivamente) há uma predominância de boa emissão e recepção das ondas de choque gerada por todos os sensores. O que corresponde a um bom estado de conservação da madeira, pois as ondas de choque se deslocaram de maneira linear entre os sensores.

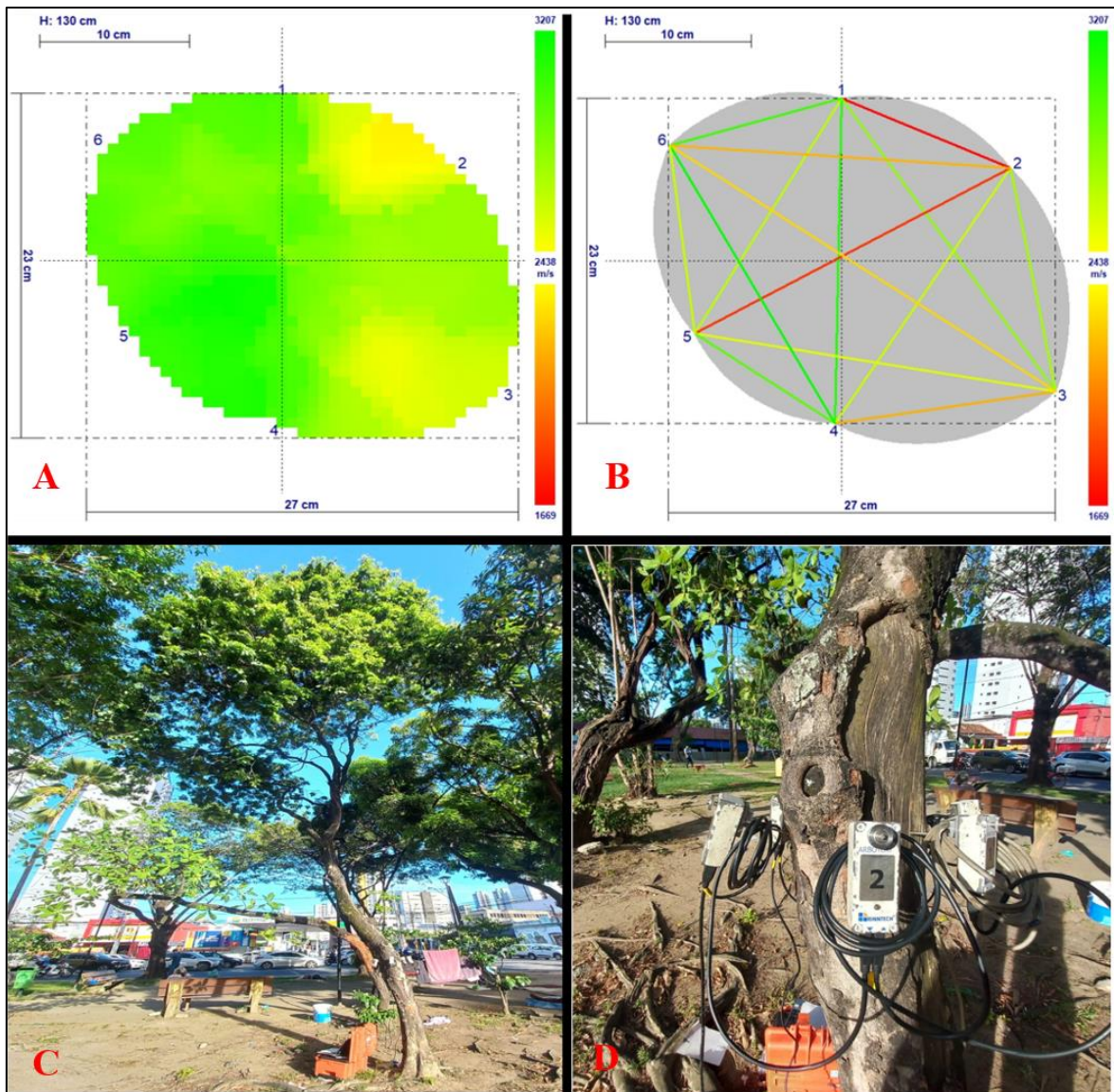


Figura 19. Gráficos gerados pelo ARBOTOM para o Pau brasil – P1. A – Gráfico 2D. B- Gráfico de Linhas. C – Árvore analisada. D – Posicionamento dos sensores na região analisada do fuste. **Fonte:** O autor, 2024.

A fragilidade observada, indicada pelas áreas levemente amareladas no gráfico 2D (figura 19 A), corresponde à menor velocidade na transmissão das ondas de choque entre os sensores 1 e 2; 3 e 4, e ocupa 14% da área transversal do tronco, porém não implica em um comprometimento estrutural preocupante. Essa tendência também é refletida na tabela de

velocidade de transmissão de ondas (figura 20), onde as ondas de choque geradas e recebidas no sensor 2 foram de modo geral mais lentas. Isso sugere a presença de algum obstáculo físico na região, dificultando a transmissão das ondas em linha reta.

Sensor	1	2	3	4	5	6
1		1198	2225	2897	2161	1752
2	1123		1846	1991	1795	1566
3	2168	1846		1553	2028	2065
4	3095	2129	1508		2159	2489
5	2161	1720	1849	1761		1537
6	2152	1740	2289	2605	1862	

Figura 20. Velocidade da transmissão das ondas de choque analisadas na P1. **Fonte:** O autor, 2024.

O Pau brasil não apresentou nenhum indício de ação de xilófagos ou fungos apodrecedores que possam causar deterioração do seu fuste, bem como nenhum sinal de fragilidade estrutural pela ação das forças de tração e/ou compressão. O que somado a qualidade da madeira, com alta densidade (MARQUES et al., 2012), e com isso, com boa resistência mecânica e estrutural, ajuda a explicar o bom estado de conservação da árvore quando comparada aos demais indivíduos avaliados.

Por outro lado, mesmo sem grande fragilidade estrutural, há no fuste injurias causadas por ação antrópica. Uma parte da casca da árvore foi retirada deixando exposta a madeira a ação de pragas e patógenos, porém a cicatrização eficaz na área auxiliou a não ocorrência dos agentes degradadores da madeira. Uma vez que a boa cicatrização de uma árvore é essencial para a sanidade estrutural do indivíduo, pois garante um bom estado de conservação e a continuidade da vida da árvore (SALVADOR, 2016).

De maneira geral, as seis árvores avaliadas apresentaram particularidades na estrutura de seu fuste, conforme é elencado na Tabela 2. Quando analisadas somente as árvores A1 e P1 não apresentaram nenhum grau de deterioração grave, estando todas as demais árvores submetidas de algum modo a esforços mecânicos devido a degradação de seu lenho.

Tabela 2. Dados das árvores analisadas via ARBOTOM® na Praça da Madalena.

ÁRV.	G.D.	A.C.	V. MÁX (m/s)	V. MÍN (m/s)	DANO/CAUSA	M. P.
E1	-	15%	2017	418	Cupim	Manutenção
E2	Médio	14%	987	470	Cupim/Fungo de cerne	Acompanhamento contínuo
I1	Alto	39%	2338	1126	Inclinação	Intervenção
A1	Severo	52%	1439	128	Cupim/Fungo/Poda	Erradicação
A2	Médio	21%	1826	704	Cupim/Fungo de cerne	Acompanhamento contínuo
P1	-	14%	3095	1123	Injuria	-

Onde: ÁRV: Árvore; G.D.: Grau de Deterioração; A.C.: Área Comprometida; V. MÁX: Velocidade Máxima das ondas; V. MÍN: Velocidade Mínima das Ondas; M.P.: Medida preventiva.

Fonte: O autor, 2024.

6. CONCLUSÃO

A avaliação não destrutiva utilizando o tomógrafo de impacto mostrou-se uma ferramenta eficaz na análise da condição das florestas urbanas que compõe a arborização das cidades, podendo ser utilizada em conjunto com outras técnicas de avaliação.

As árvores avaliadas apresentaram fragilidade estrutural, especialmente E2, A1 e A2, comprometidas principalmente pela ação de xilófagos e patógenos tanto externamente, quanto internamente. Essa degradação estrutural acarreta risco à segurança dos cidadãos que frequentam a Praça da Madalena, considerando que se não forem tomadas medidas preventivas, como intervenção (da E2 e da A2) e erradicação (A1). Assim, essas árvores podem aumentar seu grau de comprometimento e conseqüentemente o potencial de falha aumentar.

As demais árvores analisadas, a A1, I1 e o P1, apesar de não apresentarem deterioração por xilófagos também possuem a necessidade de manutenção, principalmente relacionada a inclinação, dadas as forças mecânicas aplicadas em seus fustes.

Recomenda-se, portanto, uma avaliação com tomógrafo em outras árvores da cidade do Recife, principalmente, as que compõe arborização de áreas verdes e vias públicas, dados os alvos potenciais (cidadãos, carros, construções, dentre outros) que tais árvores podem atingir.

REFERÊNCIAS

ABREU, R. L. S.; QUEIROZ, L. O.; GOUVEIA, F. B. P; SALES-CAMPOS, C. Cupins associados a árvores urbanas de 10 bairros da cidade de Manaus, Amazonas. **Brasileian journal development**. v. 6, n. 11, p. 88793-88809, 2020.

ALLISON, R. B.; WANG, X. Non destructive testing in the Urban Forest. In: ROSS, R. J. (Ed. 2) **Nondestructive evaluation of wood**. Forest Products Laboratory – USDA, p. 82–93, 2015.

APAC - AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Climatologia**. Recife, 2023. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/climatologia/519-climatologia>. Acesso em: 30/11/2023.

ARAÚJO, J. L. O.; ARAÚJO, A. C.; ARAÚJO, A.C. Percepção ambiental dos residentes do bairro Presidente Médici em Campina Grande-PB, no tocante à arborização local. **Revista Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 5, n. 2, p. 67-81, 2010.

ATAÍDE, G. D. M.; CASTRO, R. V. O.; CORREIA, A. C. G.; REIS, G. G. D.; REIS, M. D. G. F.; ROSADO, A. M. Interação árvores e ventos: aspectos ecofisiológicos e silviculturais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 523-536, 2015.

AUTODESK. **AutoCad**. 2024. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/products/autocad-lt/free-trial>. Acesso: 22/02/2024.

BOBROWSKI, R. **A Avaliação de árvores e ações de manejo de risco**. In. II Seminário de Atualização Florestal e XI Semana de Estudos Florestais, 2010, Irati - Paraná, 2010.

BRAZOLIN, S. **Biodeterioração, anatomia do lenho e análise de risco de queda de árvores de tipuana, *Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze, nos passeios públicos da cidade de São Paulo, SP**. 2009. 265p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

BRAZOLIN, S.; TOMAZELLO FILHO, M.; YOJO, T.; OLIVEIRA NETO, M. A.; CHAGAS, M. P.; MOUTINHO, V. H. P. Avaliação do lenho biodeteriorado de árvores de Tipuana (*Tipuana tipu*) em área urbana: análise macroscópica e massa específica aparente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.9, n.91, p.291-299, 2011.

CARRASCO, E. V. M.; AZEVEDO JÚNIOR, A. P. Avaliação não destrutiva de propriedades mecânicas de madeiras através de ultra-som fundamentos físicos e resultados experimentais. **Cerne**, v. 9, n. 2, p. 178-191. 2003.

CARVALHO, C. A. **Tomógrafo de impulso como método não destrutivo para determinação da sanidade de árvores plantadas às margens do Rio Carahá no município de Lages/SC**. 2019. 87 p. Dissertação (Mestrado em engenharia florestal) – Universidade de Santa Catarina, Santa Catarina, 2019.

COELHO, C. B. **Análise comparativa entre plantios, erradicações e quedas de árvores urbanas em Recife-PE**. 2022. 62p. Monografia (Trabalho de conclusão de curso em engenharia florestal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2022.

CONSTANTINO, R. The pest termites of South America: taxonomy, distribution and status. **Journal of Applied Entomology**, v. 126, s. n., p.355-365, 2002. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1046/j.1439-0418.2002.00670.x>. Acesso em: 27/11/2023.

COOPER, P. A.; GRACE, J. K. Association of the Eastern subterranean térmite, *Reticulitermes flavipes*(Kollar) (Isoptera: *Rhinotermitidae*), with living trees in canada. **Journal of Entomological Science**, v.22, n.4, p.353-354, 1987. Disponível em: <https://meridian.allenpress.com/jes/article/22/4/353/75173/ASSOCIATION-OF-THE-EASTERN-SUBTERRANEAN-TERMITE>. Acesso em: 22/11/2023.

COUTINHO, A. L. M. **Telhados de Edificações Habitacionais**. 2018. 128p. Trabalho de Conclusão de curso – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

DINIZ, D. P. V. **Estruturas de madeira e de aço para telhados: vantagens e desvantagens do uso na engenharia civil**. 2018. 74p. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Rio Grande do Norte, 2018.

EMERICK, T. G.; MARTINI, A. Diagnóstico da arborização após a ocorrência de evento climático extremo. **Nature and Conservation**, v.13, n.1, p.77-85, 2020.

FERREIRA, D. **Análise de risco de queda de árvores: a espécie *Tilia tomentosa* Moench no parque dr. Manuel braga, Coimbra/Portugal**. 2017. 110p. (Mestrado em Biodiversidade e Biotecnologia Vegetal) – Universidade de Coimbra (Faculdade de Ciência e Tecnologia), Coimbra, 2017.

FLORIAN, A. Principais agentes deterioradores de madeira. **Revista da Madeira - Remade**, n. 134, p. 32–37, 2013. Disponível em: https://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1652&subject=Preservante&title=Principais%20agentes%20deterioradores%20de%20madeiras. Acesso em: 03/11/2023.

FONTES, L. R.; MAURO, M. R.; BERTI FILHO, E.; MARTINS, V. G. Cupim do cerne, *Coptotermes havilandi*, praga da arborização urbana em São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 16., ENCONTRO NACIONAL DE FITOSSANITARISTAS, 7., Salvador, 1997. **Resumos**. Salvador: Sociedade Entomológica do Brasil / EMBRAPA-CNPMPF, p.277, 1977.

FREITAS, D. S. **Cupins de Pernambuco: diversidade e distribuição**. 2023. 46p. (Trabalho de conclusão e curso de licenciatura em ciências biológicas) – Unidade Acadêmica de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2023.

GAZAL, V.; SANTOS, A. B.; BERBER, G. de C. M.; RIGUEIRA, G.; FERNANDES, V.; SOUZA, T. S.; AGUIAR-MENEZES, E. L.; MENEZES, E. B. Nidificação e forrageamento habitual de térmitas (Insecta: *Blattodea*) em espécies arbóreas. **Scientific Electronic Archives**, v. 16, n. 3, p.70-80, 2023.

GONÇALVES, L. M.; MONTEIRO, P. H. S.; SANTOS, L. S.; MAIA, N. J. C.; ROSAL, L. F. Arborização Urbana: a Importância do seu Planejamento para Qualidade de Vida nas Cidades. **Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 22, n. 2, p. 128–136, 2018.

GOOGLE. **Google Earth Pro**. 2024. Disponível em: <https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/about/versions/#earth-pro>. Acesso em: 25/01/2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2022**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>. Acesso em: 28/11/2023.

INSTITUTO BUTANTAN. **Saiba como identificar árvores doentes ou com risco de queda e como agir**. 2023. Disponível em: <https://encurtador.com.br/nIKS6>. Acesso em: 23/02/2024.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. 2ª ed. São Paulo: IPT, 1989.

JAYNE, B. A. Vibrational properties of wood as indices of wood quality. **Forest Products Journal**, Madison, v. 9, n. 11, p. 413-416, 1959.

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. **Química da Madeira**. 4º ed. 2013.

LATORRACA, J. V. de F.; RODRIGUES, N. D.; VIEIRA, M. C.; OHANA, C. C.; TEIXEIRA, J. G. Efeito da umidade da madeira na propagação de ondas mecânicas. **Floresta e Ambiente**, Seropédica. v. 18, n. 4, p. 451-459, 2011.

LOPES, O. P. **Reforços naturais na avaliação de falha em árvores**. 2023. 21 f. (Mestrado em Arborização urbana) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2023.

LUNDSTRÖM, T. **Mechanical stability and growth performance of trees**. 2010. Tese (Doutorado em ciências naturais) – Faculdade de ciências, Universidade de Friburgo, Suíça, 2010. Disponível em: <https://folia.unifr.ch/unifr/documents/301603>. Acesso em: 30/11/2023.

MAESTRI, M. A. P. **Inspeção, diagnóstico e sugestão de intervenções nos componentes de madeira em edificação de sistema plataforma (light wood frame): estudo de caso no protótipo Stella-UFSC**. 2019. 190 p. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2019.

MARQUES, S. D. S.; OLIVEIRA, J. T. D. S.; PAES, J. B.; ALVES, E. S.; SILVA, A. G. D.; FIEDLER, N. C. Estudo comparativo da massa específica aparente e retratibilidade da madeira de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) nativa e de reflorestamento. **Revista Árvore**. Viçosa, v.36, n.2, p.373-380, 2012.

MARTINS, M. P. **Recife registrou 12 ocorrências com árvores ou galhos caídos nesta quarta-feira (14)**. Folha de Pernambuco, 2023. Disponível em: <https://www.folhape.com.br/noticias/recife-registrou-12-ocorrencias-com-arvores-ou-galhos-caidos-nesta/275580/>. Acesso em: 11/03/2024.

MENDES, T. G. L.; ANJOS, R. S.; SANTOS, T. N.; MOREIRA, A. B.; NÓBREGA, R. S. Abordagem científica sobre ilhas de calor em Recife-PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. Recife, v. 4, n. 1, p. 1-13, 2019.

MOREIRA, A. B. **A vulnerabilidade socioespacial à ilha de calor urbana na Cidade de Recife – PE, Brasil**. 2021. 156 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

MOSER, P.; SILVA, A. C.; HIGUCHI, P.; SANTOS, E. M.; SCHMITZ, V. Avaliação pós-tempestade da arborização do *campus* da Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages-SC. **REVSBAU**, v.5, n.2, p.40-51, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v5i2>. Acesso em: 28/11/2023.

NOBRE, R. V. L.; TREVISAN, H.; CARVALHO, A. G. Danos de *Pantophthalmus pictus* (WIEDEMANN, 1821) em árvores urbanas de *Platanus acerifolia* WILLD. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**. v. 15, n. 4, p. e9904, 2022. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/9904/7197>. Acesso em: 27/11/2023.

OLIVEIRA, J. T. D. S.P; SOUZA, L. C. D.; DELLA LUCIA, R. M.; SOUZA JÚNIOR, W. P. D; Influência dos estrativos nas resistências ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.5, p.819-826, 2005.

OLIVEIRA, S.; LOPES A. Metodologia de avaliação do risco de queda de árvores devido a ventos fortes, o caso de Lisboa. In: CONGRESSO DA GEOGRAFIA PORTUGUESA, 6., 2007, Lisboa. **Anais**. Lisboa, p. 1-21, 2007.

PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; LIMA, C. R. Resistência natural de nove madeiras do semi-árido brasileiro a fungos xilófagos em condições de laboratório. **Revista Árvore**. Viçosa, v.28, n.2, p.275-282, 2004.

PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; LIMA, C. R.; SANTOS, G. J. C. Resistência natural de nove madeiras do semiárido brasileiro a fungos xilófagos em simulares de campo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.3, p.511-520, 2009.

PAHIM, M. S. **Educação ambiental e Construção civil: A importância da implantação da vegetação arbórea nativa nos índices verdes das construções civis de Santa**

Maria/RS. 2019. 43 p. Monografia (Especialista em Educação Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

PAULO, R. F. **Crescimento Urbano Desordenado: o papel do Estado e da Sociedade diante dos impactos socioambientais**. Porto Alegre, RS: Editora Fi, 2018.

PEREIRA JUNIOR, J. A. **Acompanhamento das atividades do setor de arborização e compensação da secretaria de meio ambiente e sustentabilidade (SMAS) da prefeitura do Recife**. 2021. 31 p. Relatório de Estágio Supervisionado Obrigatório – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

PEREIRA JÚNIOR, A.; RODRIGUES, A. B.; CONCEIÇÃO, M.; PEREIRA, L. Paredes verdes, urbanização, vegetação e as tendências de variações da temperatura, umidade do ar e ventos. **Enciclopédia biosfera**, v. 15, n. 28, p. 1-16, 2018.

PREFEITURA DE SALVADOR. **Manual técnico de: poda de árvores**. 2016. 35 p. Disponível em: <https://dspace.sistemas.mpba.mp.br/handle/123456789/336>. Acesso em: 10 fev. 2024.

PREFEITURA DE SOBRAL. **Plano de Arborização Urbana de Sobral**. 2018. 66 p. Disponível em: https://www.sobral.ce.gov.br/media/com_download/files/20180824133524.pdf. Acesso em: 24/02/2024.

PREFEITURA DO RECIFE. **Caracterização do território**. 2023. Disponível em: <http://www2.recife.pe.gov.br/pagina/caracterizacao-do-territorio>. Acesso em: 10/11/2023.

QUEIROZ, J. M.; GARCIA, M. A. Ocorrência de besouros de ambrósia (coleoptera: *platypodidae*) em área urbana de Campinas, SP. **Floresta e Ambiente**. v. 15, n. 1, p. 01-05, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/nydwjLc6bSJDPGRHx6d7Zkx/?lang=pt>. Acesso em: 27/11/2023.

RIBEIRO, P. J. R. **Queda de árvores motivada por ventos fortes em Lisboa**. 2011. 79p. (Mestrado em Geografia física e ordenamento do território) - Instituto de geografia e ordenamento do território, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2011.

RINNTECH. **ARBOTOM Sonic Tomograph Data Analysis with Frank Rinn**. 2014. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=_EL8gqifPOs. Acesso em: 17/01/2024.

RINNTECH. **Tomógrafo para árvores ARBOTOM (Configuração) – Rinntech**. 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=6mMg4KQGrRg>. Acesso em: 17/01/2024

ROLLO, F. M. A. **Identificação de padrões de resposta à tomografia de impulso em tipuanas (*Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze)**. 2009. 123p. (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009a.

ROLLO, F. M. A.; SOAVE JUNIOR, M. A.; VIANA, S. M.; ROLLO, L. C. P.; COUTO, H. T. Z. D.; SILVA FILHO, D. F. D. Comparação entre leituras de resistógrafo e imagens tomográficas na avaliação interna de troncos de árvores. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 331-337, 2013.

ROLLO, L. C. P. **Tomografia de impulso para estimativa da densidade da madeira**. 2009. 49 p. Dissertação (Mestrado em recursos florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2009b.

ROSS, R. J.; BRASHAW, B. K.; PELLERIN, R. F. Non destructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 14-19, 1998.

ROSSETTI, A. I. N. **A arborização na qualificação do espaço da rua: uma proposta metodológica de inventário, manejo e planejamento de verde viário em dois bairros paulistanos**. 2007. 208p. Dissertação (Mestrado em arquitetura e urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SABOYA, L. M. F.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; FRANÇA, M. V.; ARAÚJO, W. R.; ROLIM NETO, F. C. Métodos das classificações climáticas de Thorntwaite e Köppen para Recife – PE, Brasil. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**. v. 2, n. 8, p.1-16, 2021.

SACRAMENTO, F. D. C. B. **Tomografia das árvores do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra: avaliação do estado de conservação Tomografia das árvores do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra**. 2013. 69 p. (Mestrado em

Biodiversidade e Biotecnologia Vegetal) - Universidade de Coimbra (Faculdade de Ciência e Tecnologia), Coimbra, 2013.

SANTOS, Z. M. **Avaliação da durabilidade natural da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill: Maiden em ensaios de laboratório.** 1992. 75p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

SHIMOYAMA, V. R. **Estimativas de propriedade da madeira de *Pinus taeda* através do método não-destrutivo emissão de ondas de tensão, visando à geração de produtos de alto valor agregado.** 2005. 151p. Tese (Dourado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SHINZATO, P.; DUARTE, D. H. S. Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 197- 215, 2018.

SHORTLE, W. C.; DUDZIK, K. R.; SMITH, K. T. Development of wood decay in wound-initiated discolored wood of eastern red cedar. **Holzforschung**. v. 64, n.4, 529 - 536, 2010. Disponível em: <http://doi.org/10.1515/HF.2010.051>. Acesso em: 28/11/2023.

SKATTER, S.; KUCERA, B. Tree breakage from torsional wind loading due to crown asymmetry. **Forest Ecology and Management**, n.135, p. 97–103, 2000. Disponível em: [http://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00301-7](http://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00301-7). Acesso em: 17/01/2024.

STANGERLIN, D. M. **Monitoramento de propriedades de madeiras da Amazônia submetidas ao ataque de fungos apodrecedores.** 2012. 259p, Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

THORNE, B. L.; HAVERTY, M. I. Nest growth and survivorship in three species of neotropical Nasutitermes (Isoptera: *Termitidae*). **Environmetal. Entomology**. v.29, n. 2, p. 256-264, 2000. Disponível em: <https://academic.oup.com/ee/article-abstract/29/2/256/342915>. Acesso em: 27/11/2023.

VALE, A. T. D.; SARMENTO, T. R.; ALMEIDA, A. N. Caracterização e uso de madeiras de galhos de árvores provenientes da arborização de Brasília, DF. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 411-420, 2005.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; KLIRONOMOS, J. N.; URSIC, M.; MOUTOGLIS, P.; STREITWOLF-ENGEL, R.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I. R. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature**, n. 396, p. 69-72, 1998. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/23932>. Acesso em: 28/11/2023.

VASCONCELLOS, A. **Estrutura e dinâmica de ninhos policíclicos de uma espécie de *Nasutitermes* (Isoptera: Termitidae) em Mata Atlântica e no meio urbano de João Pessoa, Paraíba, Brasil.** 1999. 84p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 1999.

VOLPE-FILIK, A. **Trincas nas calçadas e espécies muito utilizadas na arborização: comparação entre Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa* Dc.) e Falsa-murta (*Murraya paniculata* (L.) Jacq.), no município de Piracicaba/SP.** 2009. 97p. (Doutorado em agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

WEBER, A. S.; BRAZOLIN, S. Avaliação de risco de queda de árvores de *Tipuana tipu* (benth.) Kuntze na ‘rua mais bonita do mundo’, em Porto Alegre, RS, Brasil. **REVSBAU**, Curitiba, v.17, n.4, p. 23-40, 2022.