

CAROLINA ALVES CARVALHO

**TOMÓGRAFO DE IMPULSO COMO MÉTODO NÃO DESTRUTIVO PARA
DETERMINAÇÃO DA SANIDADE DE ÁRVORES PLANTADAS ÀS MARGENS DO
RIO CARAHÁ NO MUNICÍPIO DE LAGES/SC**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Alexsandro Bayestorff da Cunha

Co-orientadora: Profª. Drª. Martha Andreia Brand

LAGES, SC

2019

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Carvalho, Carolina Alves

Tomógrafo de impulso como método não destrutivo para determinação da sanidade de árvores plantadas às margens do rio Carahá no município de Lages/SC / Carolina Alves Carvalho. -- 2019.

87 p.

Orientador: Alexsandro Bayestorff da Cunha
Coorientadora: Martha Andreia Brand

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2019.

1. Arborização urbana. 2. Tomografia de impulso. 3. Álamo-europeu. 4. Análise visual. 5. Risco de queda. I. Cunha, Alexsandro Bayestorff da . II. Brand, Martha Andreia. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

CAROLINA ALVES CARVALHO

TOMÓGRAFO DE IMPULSO COMO MÉTODO NÃO DESTRUTIVO PARA DETERMINAÇÃO DA SANIDADE DE ÁRVORES PLANTADAS ÀS MARGENS DO RIO CARAHÁ NO MUNICÍPIO DE LAGES/SC

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Florestal.

Banca examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Alexsandro Bayestorff da Cunha
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

Prof.ª Dra. Maria Raquel Kanieski
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro externo:

Dra. Luciana Cavalcante Pereira

Lages, 27 de fevereiro de 2019

À quem sempre me ensinou a ter amor por
todo ser vivo, especialmente, na forma de
plantas, minha nona Angela Ogliari (*in
memoriam*), dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, principalmente, à Deus por todas as dificuldades e pedras no caminho que serviram de provas de fé e dessa forma, me tornaram perseverante a alcançar meus sonhos.

A minha família, especialmente, a meus pais Sadi e Rosane por serem meus exemplos de vida, sempre acreditarem na minha pessoa, pelo amor e confiança depositados em mim. Pelas inúmeras mensagens de apoio, otimismo, motivação e todo o incentivo, devo tudo a vocês.

Ao meu namorado Fabrício, que nos momentos de dificuldade, nunca me deixou desistir. Me aconselhou e jamais deixou de acreditar no meu potencial, me incentivando a buscar por todos meus objetivos. Obrigada por estar sempre ao meu lado.

Ao CAV/UDESC pelo estudo de graduação e mestrado de excepcional qualidade e dispor dos melhores professores que eu poderia ter.

A CAPES pela bolsa de estudos.

Ao meu orientador e professor Alexsandro, minha admiração, pelos valiosos conselhos profissionais, acadêmicos e por se tornar um grande amigo. És um grande exemplo pra mim, de profissional e de ser humano.

Aos professores que auxiliaram em minha formação, principalmente, Martha Brand, Polliana Rios, Pedro Higuchi, Maria Raquel Kanieski, Marcos Nicoletti e Fábio Nascimento, por não medir esforços para compartilhar sua sabedoria, sempre dispostos a me auxiliar.

Às minhas estagiárias, pois sem vocês não seria possível a realização desse trabalho: Isabela, Ana Carolina, Karina, Débora e Amanda, tenho enorme gratidão por toda ajuda prestada e pelos momentos bons e ruins, que serviram de aprendizado.

À Francielle e Luana, que estiveram presentes desde a graduação, no mestrado se tornaram grandes amigas, comigo nos momentos em que mais precisei e, em quem tenho a certeza que posso contar sempre.

Aos colegas que o mestrado me presenteou: Carla, Deyvis, Bruno, Ricardo, Rodrigo e Sandra. Ao Felipe Matheus, por sanar minhas dúvidas e por todo auxílio, sempre que necessário.

A todos que de alguma forma estiveram comigo e me auxiliaram na realização desse grande sonho, minha gratidão.

RESUMO

CARVALHO, Carolina Alves. **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 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Área: Engenharia Florestal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2019.

Estudos que avaliam a arborização presente nos centros urbanos são de extrema importância, uma vez que auxiliam na preservação e na condução das árvores existentes, bem como na prevenção do risco de queda. Este trabalho teve por objetivo avaliar a sanidade de árvores da espécie *Populus nigra* L. plantadas às margens de um rio urbano, por meio da utilização de duas técnicas não destrutivas: a análise visual e a tomografia de impulso. A área de estudo se caracterizou em um trecho às margens do rio Carahá, no município de Lages/SC. Foram coletadas informações dendrométricas, como altura total e da primeira ramificação, em árvores com CAP (circunferência à altura do peito) igual ou maior que 80 cm. Foram mensurados dados referentes a declividade, aspectos fenológicos, necessidade de manejo, sistema radicular, poda anterior, pragas e doenças. A tomografia de impulso foi aplicada à altura de base (30 cm), no qual foram instalados os sensores e posteriormente realizada a indução da onda mecânica que percorreu o lenho, gerando a imagem tomográfica 2D. Utilizou-se a classificação supervisionada para distinção de três classes: boa, intermediária e ruim, possibilitando atribuir níveis de risco de queda, baixo (10% da área deteriorada), médio (10-30%), alto (30-50%) e severo (mais que 50% da área lesionada). A análise dos dados foi realizada por meio do emprego da estatística descritiva e pela análise fatorial para dados mistos, enquanto que, para a classificação das variáveis explicativas em função da variável dependente, foi utilizada a função da árvore de classificação. Como resultados da avaliação da sanidade das árvores, verificou-se que, dos 113 indivíduos avaliados, 49 apresentaram o risco de queda severo, 15 risco baixo, 32 médio e 17 risco de queda alto, porém, quando comparadas à análise visual, 107 árvores apresentaram a condição ruim, principalmente em função das podas drásticas e demais agravantes como a presença de fungos, inclinação, afloramento de raízes e cavidade na base da árvore. Com base na árvore de classificação, a altura total foi a variável que mais se associou com o resultado da classificação supervisionada. Na análise fatorial para dados mistos, a variável contínua que apresentou maior influência sobre as demais foi novamente a altura total. Conclui-se que a maioria dos indivíduos arbóreos avaliados, apresentou a condição ruim pela análise visual, confirmado pela tomografia de impulso, que apresentou risco de queda elevado, em decorrência, principalmente, da destopa realizada nas árvores, que impacta sobre as demais características. Desta forma, as árvores que apresentaram maior risco de queda, devem ser retiradas primeiramente, preservando aquelas que possuem um risco de queda baixo ou médio, que devem ser derrubadas de forma gradual com a implantação de outras espécies. A utilização da tomografia de impulso somada à análise visual caracteriza-se em uma avaliação completa, uma vez que são aferidas informações referentes à porção interna e externa, além do meio em que a árvore está inserida, resultando em um diagnóstico preciso e confiável.

Palavras-chave: Arborização urbana. Tomografia de impulso. Álamo-europeu. Análise visual. Risco de queda.

ABSTRACT

CARVALHO, Carolina Alves. **Impulse tomograph as a non-destructive method to determine the sanity of trees planted along the banks of the Carahá river in the municipality of Lages / SC.** 2019. 87 f. Dissertation (Master in Forest Engineering - Area: Forest Engineering) - State University of Santa Catarina, Agroveterinary Sciences Center, Postgraduate Program in Forest Engineering, Lages, 2019.

Studies evaluating the afforestation present in urban centers are of the utmost importance as it aids in preserving existing resources as well as preventing the risk of falling. This work aimed to evaluate the nature of certain types of trees and plant populations, such as visual analysis and impulse tomography. An area of study is characterized in a stretch on the banks of the Carahá river, in the municipality of Lages / SC. Dendrometric information, such as total height and the first branch, were collected on trees with CBH (circumference at breast height) equal to or greater than 80 cm. The meanings referring to declivity, phenological aspects, man's transformation, root system, anterior pruning, pests and diseases were inserted. An impulse tomography was applied at a base height (30 cm) without the membranes being introduced and having been subjected to induction of the mechanical wave of the course, generating a 2D tomographic image. It was used a supervised classification for the classes of three classes: good, intermediate and bad, allowing the fall of levels of risk of fall, low (10% of deteriorated area), medium (10-30%), high (30- 50%) and severe (more than 50% of the injured area). Data analysis was performed using descriptive statistics and factorial analysis for mixed data, while a classification tree function was used to classify the explanatory variables as a function of the dependent variable. As the results of the evaluation of the health of the trees, it was verified that of the 113 evaluated, the risk of the fall of the risk, 15 risk low, 32 medium and 17 risk of discharge, however, when compared to the visual analysis, 107 trees to the condition of the main, especially in function the drastic podras and other aggravating to the presence of fungi, inclination, outcropping of roots and cavity in the base of the tree. Based on a classification, the total height was a variable that was more associated with the result of the supervised classification. The analysis factorial is mixed data, a variable that has greater relevance on what was again a total height. Conclusion of most of the evaluated criteria, presented a verification by the visual analysis, confirmed by the tomography of impulse, presented a risk of fall, mainly due to the realization of trees, the impact on the other characteristics. In this way, as those that are most likely to fall, they must be removed first, preserving those that have a risk of low or medium fall, should be launched gradually with a deployment of other species. The use of pulse tomography is a characteristic visual analysis in a complete evaluation, since the internal and external sources of information, besides the medium in which a tree is inserted, are measured, resulting in an accurate and reliable diagnosis.

Keywords: Urban greening. Pulse tomography. Black-Poplar. Visual analysis. Risk of falling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Cidades mais arborizadas do Brasil.....	23
Figura 2 -	Rio Carahá em Lages/SC em período de enchente.....	24
Figura 3 -	Características da espécie <i>Populus nigra</i>	27
Figura 4 -	Queda de árvores urbanas pela ação do vento.....	28
Figura 5 -	Esquema do funcionamento do tomógrafo de impulso	41
Figura 6 -	Localização do município de Lages na Serra Catarinense.....	44
Figura 7 -	Trecho avaliado no estudo.....	45
Figura 8 -	Histograma de frequência das espécies arbóreas plantadas no trecho avaliado.....	46
Figura 9 -	Sensores do tomógrafo de impulso alocados ao longo da circunferência da árvore à altura de base (0,30m)	48
Figura 10 -	Imagens tomográficas da seção transversal da árvore.....	49
Figura 11 -	Interpretação da imagem tomográfica pela classificação supervisionada.	50
Figura 12 -	Distribuição de frequência das variáveis dendrométricas.....	52
Figura 13 -	Folhas da espécie <i>Populus nigra</i>	58
Figura 14 -	Presença de esporos do fungo <i>Septoria</i> sp. em folhas da espécie <i>Populus nigra</i>	58
Figura 15 -	Árvores da espécie <i>Populus nigra</i> às margens do rio Carahá em Lages/SC apresentando inclinação do tronco	59
Figura 16 -	Exemplos de poda drástica encontrados nas árvores de <i>Populus nigra</i>	60
Figura 17 -	Retirada de partes da casca durante a poda.....	61
Figura 18 -	Resistência estrutural em árvores.....	62
Figura 19 -	Problemas decorrentes da compactação do solo e erosão.....	63
Figura 20 -	Árvores da espécie <i>Populus nigra</i> às margens do rio Carahá com sinuosidade no tronco	63
Figura 21 -	Madeira de reação, para folhosas: madeira de tração e para coníferas: madeira de compressão	64
Figura 22 -	Cavidade na base da árvore de <i>Populus nigra</i>	64
Figura 23 -	Árvore de classificação para as variáveis obtidas pela análise visual e tomografia de impulso.....	65
Figura 24 -	Variáveis quantitativas explicativas em função das variáveis qualitativas	67
Figura 25 -	Relação da presença ou ausência de epífitas com a variável altura	68
Figura 26 -	Relação da presença ou ausência de sistema radicular aparente com a variável altura	68
Figura 27 -	Relação da necessidade ou ausência da necessidade de poda de limpeza com a variável altura	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 ARBORIZAÇÃO URBANA	21
2.3 ARBORIZAÇÃO URBANA ÀS MARGENS DE CURSOS D'ÁGUA	23
2.4 <i>Populus nigra</i> L.	26
2.5 FATORES QUE LEVAM AO RISCO DE QUEDA DE ÁRVORES URBANAS	27
2.5.1 Espécies inadequadas	28
2.5.2 Espaço inadequado	29
2.5.3 Condução inadequada.....	30
2.5.4 Biodegradação do lenho de árvores urbanas	32
2.5.4.1 Biodeterioração do lenho por fungos apodrecedores	32
2.5.4.2 Biodeterioração do lenho por cupins	33
2.5.5 Fatores externos.....	33
2.6 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	34
2.7 MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS PARA AVALIAÇÃO DA SANIDADE DE ÁRVORES	36
2.7.1 Análise visual	36
2.7.2 Resistógrafo	39
2.7.3 Tomógrafo de Impulso	40
3 MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	43

3.2 SELEÇÃO DA ESPÉCIE ESTUDADA	45
3.3 ANÁLISE VISUAL	46
3.4 ANÁLISE NÃO DESTRUTIVA	48
3.5 INTERPRETAÇÃO DAS IMAGENS TOMOGRÁFICAS	49
3.6 AVALIAÇÃO DO RISCO DE QUEDA	50
3.7 ANÁLISE DOS DADOS	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1 CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DAS ÁRVORES DE <i>P. nigra</i> L.	53
4.2 AVALIAÇÃO DA SANIDADE DAS ÁRVORES	56
4.2.1 Fatores agravantes da análise visual das árvores	58
4.2.1.1 <i>Agravantes médios</i>	58
4.2.1.2 <i>Agravantes críticos</i>	59
4.3 ÁRVORE DE CLASSIFICAÇÃO	66
4.4 ANÁLISE FATORIAL PARA DADOS MISTOS	68
5 CONCLUSÃO.....	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

1 INTRODUÇÃO

O processo da industrialização e consequente modernização, que buscavam o avanço de sistemas econômicos, teve também como consequência o surgimento dos grandes centros urbanos, os quais foram responsáveis pela modificação da paisagem local e mudança no equilíbrio natural existente (Locastro et al., 2017). Progressivamente, surgiram diversos problemas ambientais, destacando-se a retirada da vegetação natural, a impermeabilização do solo e a poluição atmosférica, hídrica, sonora e visual (Rocha et al., 2004).

Pensando na qualidade de vida dos habitantes dos centros urbanos, começaram a ser utilizados preceitos ambientais que visavam uma melhoria, uma vez que, a qualidade ambiental se dá pela interação de variáveis que determinam a formação de um ambiente salubre, confortável e que satisfaça os requerimentos para a sustentabilidade da vida humana (Velázquez; Celemín, 2010). Desta forma, em meados do século XX, ganhou atenção o conceito de arborização urbana, com a introdução e valorização de ambientes vegetados em áreas urbanas, como exemplo de jardins, praças e parques (Gonçalves; Rocha, 2003).

A condução de indivíduos arbóreos nas cidades, contribui para o conforto ambiental, seja na melhoria da qualidade do ar, no conforto acústico, na redução de ilhas de calor, como agente purificador do ar pela fotossíntese, como sombra para pedestres e automóveis e diminuição da poluição atmosférica. Além disso, ameniza o impacto da chuva sobre o solo, auxilia na manutenção do ciclo hidrológico, na preservação da diversidade de fauna, assim como, reduz a incidência de enchentes no local e atua esteticamente, embelezando a paisagem urbana (Mendonça, 2000; Guizzo; Jasper, 2005; Carvalho et al., 2010).

Geralmente, acredita-se que o ato de plantar uma árvore em ambiente urbano já elenca todos os benefícios mencionados, porém, um plantio sem prévio planejamento e manutenção acarreta em desvantagens e problemas. Com o plantio inadequado, as árvores podem entrar em conflito com a rede elétrica, postes de iluminação, encanamentos, calhas e bueiros. Associado a isso, a manutenção desses indivíduos visando podas drásticas contribui para a alocação de pragas e doenças, gerando injúrias e posterior morte e queda do indivíduo (Ribeiro, 2009).

Árvores pertencentes à mata ciliar de rios, córregos, lagos e nascentes, sofrem ainda mais com situações adversas do meio urbano, pois podem sujeitar-se a enchentes, inundações, além da poluição constante que assola os cursos d'água. Grande parte das cidades foram formadas às margens dos rios e a partir disso, houve a crescente eliminação da vegetação ciliar, o que agrava os eventos de cheias, inundações, poluição, doenças e modificação da paisagem que são consequência desses atos depredatórios (Ferreira; Dias, 2004).

Um exemplo desta situação é o município de Lages/SC, onde o rio de maior importância urbana, que corta a cidade e bordeia a extensa avenida Belisário Ramos, o rio Carahá, se encontra num estágio avançado de poluição e sofre com eventos reincidentes de cheias. Este curso d'água detém as suas margens, em alguns pontos, arborizadas. Atualmente, as árvores já apresentam um elevado porte e sinais de deterioração, além disso, regularmente, são constatadas morte e queda destas sobre as vias de circulação de automóveis e pedestres. Nesses casos, o monitoramento constante dessas áreas é imprescindível.

O monitoramento de árvores urbanas baseia-se na utilização de métodos não destrutivos, pois não é desejável a derrubada de árvores, uma vez que, se preza pela sua preservação. A avaliação consiste na mensuração de indicadores visíveis nas árvores, ou ainda, na utilização de equipamentos que quantificam e qualificam as propriedades da árvore em pé. A avaliação não destrutiva se disseminou em função de apresentar baixo custo de medição, rapidez e praticidade da coleta de dados, permitindo que propriedades físicas e mecânicas sejam aferidas (De Paula et al., 2016).

Um dos instrumentos para monitoramento da arborização urbana é o inventário florestal, que tem por objetivo principal a observação de cada indivíduo arbóreo e nas informações agregadas como total, médias, porcentagens, gráficos e tabelas para fornecer subsídios para o manejo (Araújo; Araújo, 2011). Auxilia no conhecimento do patrimônio existente e identifica condições atuais das espécies arbóreas (Silva; Gonçalves, 2012).

Agregado ao inventário, outra ferramenta de grande aplicabilidade é a análise visual. Nesse método, as árvores são avaliadas quanto à face visível aos olhos, assim é possível fazer inferências ao tronco, folhas, galhos, copa e raízes. Aliado a isso, podem ser agrupadas em classes de qualidade como a tortuosidade do tronco, ao afloramento de raízes, diâmetro de copa, quantidade de folhas, entre outros. Dados referentes à patologias também podem ser coletados, auxiliando no diagnóstico de doenças. Os dados para coleta vão depender do objetivo principal do trabalho e dos dados disponíveis (Silva et al., 2006). Porém, esta categoria de avaliação é considerada subjetiva, uma vez que, a análise fica restrita à face externa do tronco da árvore, não identificando possíveis danos internos.

Na atualidade, ganha destaque outro método não destrutivo para a avaliação da sanidade de árvores, a tomografia de impulso, que parte do princípio da cronometragem das ondas mecânicas por meio de sensores fixados transversalmente no tronco ou galhos dos indivíduos arbóreos. Com base na diferença de velocidade de propagação das ondas, são geradas imagens tomográficas, as quais podem ser correlacionadas com propriedades como: densidade, módulo

de elasticidade, umidade, determinação de cerne/alburno, madeira de reação, nós e lenho biodegradado (Rinntech, 2005).

A união de técnicas para avaliação de árvores pode vir a auxiliar na tomada de decisão quanto ao risco de queda na arborização urbana, uma vez que, um método pode complementar o outro. Na avaliação visual, são computados dados referentes à face externa, enquanto que na tomografia de impulso, são coletados dados da face interna da árvore, desta forma, é possível aferir com maior certeza o diagnóstico destes indivíduos.

Dessa forma, este estudo teve por objetivo avaliar a sanidade de árvores da espécie *Populus nigra* L. plantadas às margens de um rio urbano, por meio da utilização de duas técnicas não destrutivas: a análise visual e a tomografia de impulso.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ARBORIZAÇÃO URBANA

A soma de todos os indivíduos arbóreos e vegetações associadas no interior e entorno a assentamentos humanos, desde pequenas comunidades rurais até regiões metropolitanas é conhecida como floresta urbana. Caracteriza-se pela arborização viária, residencial, presente em áreas como em cinturões verdes, totalizando um verdadeiro mosaico complexo da vegetação e desenvolvimento urbano (Miller, 1996).

Áreas urbanas arborizadas costumam ser a melhor opção para visitação, por se tratar de ambientes agradáveis aos sentidos humanos. Assim, a vegetação torna-se um elemento importante no planejamento dos municípios (Souza et al., 2013). Além da função paisagística, pode-se citar outros inúmeros benefícios, como: recreação, bem-estar psicológico ao homem, sombra para pedestres e veículos, redução da poluição sonora, efeito quebra-vento, melhoria na qualidade do ar, redução da amplitude térmica e abrigo para avifauna (Silva Filho, 2002).

Junto aos benefícios mencionados, as florestas urbanas, quando bem planejadas e manejadas, contribuem positivamente na melhoria dos recursos hídricos e do solo. O valor ambiental mais evidente caracteriza-se pela preservação e proteção de elementos naturais, que favorecem a melhoria de ventilação e aeração urbana, dispersão de poluentes, insolação em áreas muito adensadas, controle de temperatura, contribuição para o controle de enchentes e inundações pela melhoria das condições de drenagem das águas pluviais por meio da aberturas de áreas permeáveis adequadas, redução dos problemas de erosão e assoreamento, proteção e valorização de cursos d'água, valorização de imóveis, além da contribuição para o equilíbrio mental e físico do homem pelo contato com o meio natural (Grey, 1978; Price, 2003; Shams et al., 2009).

Desde a era da Pré-História, o homem convive em sociedade, sendo que a importância da vegetação difere nos diversos povos e igualmente, ao longo do tempo. De um lado, a presença da vegetação era crucial para sobrevivência da comunidade e do outro, ocupava um lugar puramente estético (Bonametti, 2001). Os jardins ganharam ênfase desde o paraíso prometido no livro de Gênesis da Bíblia, posteriormente nos jardins suspensos da Babilônia e nos jardins modernos. Estes registros são o reflexo de cada momento histórico na formação da estrutura urbana (Loboda; De Angelis, 2009).

A arborização teve seu auge na Grécia antiga, onde nesses locais, havia a prática de encontros e discussões filosóficas. Já em Roma, estes locais eram reservados unicamente aos

mais afortunados. A partir da Idade Média, as áreas verdes no interior das quadras foram se extinguindo com o crescimento dos centros urbanos (Silva, 1997).

Em meados do século XV, iniciou-se o desenvolvimento urbano na Europa e o aparecimento da vegetação em praças e jardins ocorreu no século XVII (Segawa, 1996). A partir daí as principais cidades da Europa já possuíam passeios ajardinados e ruas arborizadas (Terra, 2000). Simultaneamente, na América, começam a surgir os primeiros espaços ajardinados. Dessa forma, é notável a formação da urbanização, principalmente pela consolidação dos espaços urbanos, com base na ciência moderna, que resultou na redefinição das relações entre o homem e a natureza (Segawa, 1996).

Até meados do século XIX, não havia tão grande preocupação com a vegetação urbana no Brasil, visto que os centros urbanos demonstravam um ar totalmente ao contrário do ambiente rural (Gomes; Soares, 2003). O início do planejamento de áreas verdes junto a redes viárias só se intensificou com o surgimento da República e a partir daí o crescente aumento populacional nos centros urbanos (Meneghetti, 2003). Nesse contexto, a relação entre o desenvolvimento social e econômico está intimamente ligado às árvores, fato comprovado pelo nome da nação “Brasil” que foi cedido da árvore nativa conhecida popularmente como “pau-brasil” e cientificamente como *Caesalpinia echinata* Lam (Gonçalves et al., 2012; Lorenzi, 2002).

No Brasil, por muito tempo, os padrões de paisagismo urbano foram influenciados pelas tendências europeias e norte-americanas, com utilização de espécies exóticas como o ligustro (*Ligustrum lucidum* W. T. Aiton), o cinamomo (*Melia azedarach* L.), o plátano (*Platanus occidentalis* L.) e a extremosa (*Lagerstroemia indica* L.) (Oliveira et al., 2013).

No presente, é predominante a busca do homem por áreas urbanas como preferência para moradia, fato confirmado pelo IBGE (2015), em que cerca de 84,72% da população brasileira vive em área urbana. Diante disso, busca-se gradativamente o aumento de áreas verdes nos polos urbanos, de modo a melhorar a qualidade de vida dos habitantes.

Atualmente, com a preocupação de órgãos ambientais sobre o assunto, estão sendo direcionadas mais pesquisas sobre a arborização urbana, de modo a verificar se estão sendo supridas as necessidades de cada morador urbano. Segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde) citado por Cavalheiro e Del Picchia (1992), recomenda-se pelo mínimo, 12 m² de área verde por habitante. Já o ideal é considerado de 36 m² por habitante, o que resulta em cerca de três árvores por morador.

Como resultados do Censo do IBGE (2010), pode-se verificar na figura 1, as cidades mais arborizadas do país: Goiânia (89,5% dos domicílios), que ficou conhecida como a capital verde do Brasil, seguida de Campinas (88,4%), Belo Horizonte (83,0%), Porto Alegre (82,9%) e Curitiba em quinto lugar, com 76,4%.

Figura 1 - Cidades mais arborizadas do Brasil. A) Goiânia/GO. B) Campinas/SP. C) Belo Horizonte/MG. D) Porto Alegre/RS.



Fonte: A) Ministério do Turismo, 2017. B) Prefeitura Municipal de Campinas, 2012, C) Prefeitura de Belo Horizonte, 2017. D) Messenger, 2015.

2.3 ARBORIZAÇÃO URBANA ÀS MARGENS DE CURSOS D’ÁGUA

Além da arborização de praças, jardins e ruas, frequentemente visualiza-se a arborização de margens de cursos d’água. Além de caráter estético, busca a melhoria dos recursos hídricos, pois é notável a poluição de rios urbanos, muitas vezes atuando como depósito de lixo e esgoto, em função da falta de planejamento e o crescimento desordenado dos meios urbanos, pela ação do homem.

O Código Florestal deixa claro que o termo corpo d’água caracteriza as águas dormentes como o exemplo de lagos, lagoas, espelhos d’água e as águas em movimento como o caso dos rios, córregos, riachos, as nascentes temporárias ou intermitentes, além dos cursos d’água (Paiva; Gonçalves, 2012).

As margens de cursos d’água são amparadas pelo Código Florestal, o Código de Águas e a Lei de Uso e Ocupação do Solo Urbano, assim suas margens devem correr livres, sendo trabalhadas paisagística e ecologicamente de modo a melhorar a qualidade de vida da

população. Geralmente, a cidade não dá a atenção devida aos cursos d'água, há exceção apenas quando este curso é um divisor de pistas de uma grande avenida e então é valorizado (Paiva; Gonçalves, 2012).

Como exemplo do exposto, pode-se citar o município de Lages em Santa Catarina, no qual o principal rio, o Carahá, que corta a cidade e bordeia a extensa avenida Belisário Ramos, detém as suas margens, em alguns pontos, arborizadas. Este rio é de suma importância, pois contribui para o Rio Caveiras, que é a principal fonte de abastecimento de água do município.

Frequentemente, a população local sofre as consequências de cheias, que foram recorrentes nos anos de 1997, 2005, 2008, 2010, 2011, 2013, 2015, 2017, causando grandes prejuízos, além de perigo aos habitantes, como apresentado na figura 2. Os eventos de enchentes também geram problemas para a vegetação que bordeiam o rio, ocasionados pelos ciclos de umedecimento e secagem. Caso a árvore contenha alguma vulnerabilidade para entrada de patógenos em conjunto com elevada umidade, a probabilidade de ocorrer o ataque de agentes xilófagos é aumentada. Somado a isso, a partir do ataque de pragas e doenças, a árvore sofre biodeterioração, que em cenários severos, pode causar a morte e queda do indivíduo e caso esta queda aconteça no leito do rio, agrava ainda mais a situação do ciclo das águas, auxiliando no processo de inundações e enchentes.

Figura 2 – Rio Carahá em Lages/SC em período de enchente.



Fonte: Santos, 2015.

De acordo com a análise de Reis et al. (2009), que avaliaram a arborização realizada às margens do rio, existia uma baixa diversidade de espécies, prevalecendo espécies exóticas e com bom estado fitossanitário, levando em conta somente a avaliação visual. As principais espécies encontradas no trecho avaliado foram: *Populus nigra* L.; *Salix babylonica* L. e

Ligustrum japonicum Thunb, o que demonstra defasagem de utilização de espécies nativas da região. Além disso, não há estudos recentes contemplando a área, principalmente, vinculados a equipamentos de maior precisão e com menor grau de subjetividade.

Conforme os autores, outras espécies foram encontradas fora do transecto (com CAP menor do que o estipulado, $CAP \geq 15$ cm), entre elas: as espécies exóticas *Cupressus sempervirens* L., *Thuja orientalis* L., *Lagerstroemia indica* L., *Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl., *Melia azedarach* L., *Musa paradisiaca* L., *Eucalyptus* sp., *Ligustrum sinense* Lour., *Chusquea* sp., *Hovenia dulcis* Thumb. e *Citrus* sp., e as espécies nativas *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze, *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman, *Handroanthus albus* (Cham.) Mattos, *Sapium glandulosum* (L.) Morong, *Bauhinia forficata* Link, *Senna pendula* (Willd.) H.S.Irwin & Barneby, *Campomanesia xanthocarpa* O.Berg, *Eugenia involucrata* DC., *Eugenia uniflora* L., *Plinia* sp., *Psidium cattleianum* Sabine e *Solanum mauritianum* Scop. Os autores destacam que provavelmente as árvores foram implantadas no mesmo momento, caracterizando uma floresta equiânea, que atualmente associado à baixa riqueza de espécies, ocasiona uma estrutura vertical pouco diferenciada, com a maioria dos indivíduos ocorrendo em estratos verticais próximos (Reis et al., 2009).

O estudo de De Betio (2017), analisou um trecho do rio Carahá com foco na sanidade das árvores, utilizando somente o tomógrafo de impulso. O autor constatou que, das 59 árvores avaliadas, 37 pertenciam à espécie *Populus nigra*, destas, 13 (35,2%) foram classificados como ruim, 15 (40,5%) como moderado, 5 (13,5%) como bom e 4 (10,8%) como ótimo. Para segunda espécie mais expressiva *Ligustrum lucidum*, foram encontrados 11 fustes, destes, 4 fustes (36,4%) ruins, 4 (36,4%) moderados, 1 (9,1%) bom e 2 (18,1%) ótimos. A espécie *Platanus acerifolia* Willd. com 5 exemplares, obteve 3 fustes (60%) ruins, 1 (20%) moderado e 1 (20%) bom. Para espécie *Salix babylonica*, 5 árvores, no qual 3 (60%) ruins, 1 (20%) moderado e 1 (20%) bom e a espécie *Araucaria angustifolia* apresentou apenas 1 fuste, classificado como moderado.

Desta forma, verifica-se a necessidade de um estudo que conteplete uma área com maior representatividade das árvores que compõem este rio, visando detectar problemas futuros, principalmente, o risco de queda. Como a espécie de maior ocorrência nas amostragens realizadas foi *Populus nigra*, esta será o objeto deste estudo.

2.4 *Populus nigra* L.

Originário da Europa, o álamo, também conhecido como choupo ou álamo-europeu, é uma espécie muito utilizada na arborização urbana brasileira, pela beleza e vistosidade do movimento de suas folhas, além do efeito causado pelo outono, tornando sua folhagem amarelada, muito característica de seu local nativo (Lorenzi et al., 2003). Na Europa, ocupa as florestas de várzeas, considerada representativa dos locais ribeirinhos (Vietto et al., 2008).

Van Der Schoot et al. (2000), citam em seu trabalho Cottrell et al. (1997); Arens et al. (1998), Winfield et al. (1998) e todos os autores afirmam que, o álamo europeu é uma espécie de grande importância social e econômica. Como característica principal de locais ribeirinhos, esta espécie, contribui para o controle de inundações, assim como da qualidade da água. Ao longo dos anos, a Europa vem demonstrando preocupação com a restauração de margens de rios, não obstante o controle de inundações, de forma a criar corredores ecológicos.

A espécie *P. nigra* é representante da família Salicaceae, apresentando tronco reto e geralmente cilíndrico, casca mais acinzentada, superficialmente fissurada (Figura 3A), podendo atingir até 35 metros de altura e 2,0 metros de diâmetro (Backes; Irgang, 2004). Árvores individuais podem viver mais de 400 anos (Popivshchy et al., 1997).

Os ramos curtos tornam a copa estreita e ovalada. As folhas simples possuem formato trapezoidal e a coloração mais clara, atingindo até 15 centímetros de comprimento (Figura 3B). Suas flores são pequenas, de coloração avermelhada, unissexuais, reunidas em espigas e o fruto é uma capsula deiscente (Figura 3C) (Backes; Irgang, 2004).

Os autores Lorenzi et al. (2003) afirmam que o ambiente para o bom desenvolvimento desta espécie é o frio, preferindo solos úmidos. Guilloy-Froget et al. (2002) relataram que a condição mais favorável para germinação da plântula é um substrato continuamente molhado. É considerada uma espécie dominante em florestas mistas ribeirinhas juntamente com *P. alba* L., *Salix* spp., *Alnus* spp., *Acer* spp., *Ulmus* spp. (Arens et al., 1998 e Csencsics et al., 2009).

Segundo a Federação Nacional das Associações de Proprietários Florestais (FNAPF, 2018), o álamo europeu apresenta certo temperamento à luz, não suportando competição. Assim, é recomendado que seja respeitado uma área entre 5x5 m² a 6x6 m². Embora seja uma planta adaptada a ambientes encharcados, não tolera elevada umidade nos primeiros 50 centímetros de solo, local onde se desenvolvem as raízes. São exigentes com relação ao solo, uma vez que não aceitam locais muito pedregosos, em virtude de necessitar de grande volume de terra.

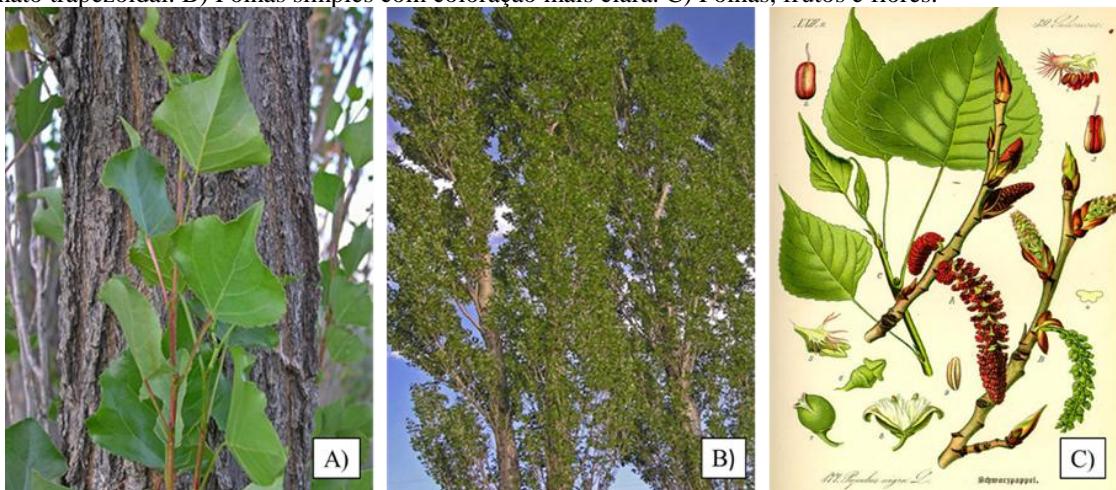
A madeira é considerada leve e serve para confecção de lápis, forros e palitos de fósforo. O gênero *Populus* é conhecido pela preferência a climas temperados, exigindo fotoperíodo e termoperíodo adequados, resultando em crescimento rápido. É bem adaptado ao Sul do Brasil, em função do inverno ser bem definido (Baldanzi, 1974).

Na Turquia, onde é amplamente encontrado e reflorestado, destaca-se em cerca de 57% da produção de madeira no país, empregado na fabricação de caixas e para construção, assim como para postes e vigas (Isik; Toplu, 2004).

Conforme os autores Backes e Irgang (2004), seu cultivo estende-se para praças, ruas e avenidas, além de barreiras de som e vento. Seu uso configura-se também para marcenaria e fabricação de assoalhos e tanoaria.

Além disso, como os componentes deste gênero apresentam cor clara, boa densidade e as fibras retas, seu uso se estende à indústria papeleira e à fabricação de lâminas (Baldanzi, 1974), por possuir baixa densidade e inexistência de odor. Junto à isso, possui boa trabalhabilidade, porém, com baixa resistência. (FNAPF, 2018).

Figura 3 – Características da espécie *Populus nigra*. A) Tronco reto e casca acinzentada, além das folhas em formato trapezoidal. B) Folhas simples com coloração mais clara. C) Folhas, frutos e flores.



Fonte: A) e B) Rocky Mountain Biological Laboratory of Gothic, Colorado, 2018. C) Flora da Alemanha Áustria e Suíça, 2007.

2.5 FATORES QUE LEVAM AO RISCO DE QUEDA DE ÁRVORES URBANAS

Milano (1984) aponta que arborizar não é apenas plantar árvores em ruas. Caso não planejado, de modo a melhorar a qualidade do microclima, seja pela ornamentação ou pela diminuição da poluição, não está desempenhando seu papel corretamente. Para atendimento destes quesitos é necessário que os plantios tenham fundamento técnico-científico.

Diante de todos os benefícios citados sobre as áreas verdes urbanas, encontram-se riscos associados à sua presença, caracterizados pelo risco de queda por completa ou de algumas partes, de modo a causar perigo a propriedades, bens e infraestrutura (Garutti, 2015).

Os indivíduos arbóreos nas cidades estão sujeitos a situações adversas das encontradas em campo, como a dificuldade de enraizamento, condicionado pela impermeabilização e compactação do solo, ocasionado pelas grandes construções; elevação das temperaturas e alterações no regime hídrico, consequentes do fenômeno das ilhas de calor, muito comum nos polos industriais pela alta concentração de poluentes; ainda há competição por espaço com os objetos urbanos como garagens, rede elétrica, entre outros (Quigley, 2004).

Outro fator que decresce a expectativa de vida das árvores nas cidades, é o vandalismo (Quigley, 2004). Por se tratar de um ser vivo, a árvore pode sofrer influência do meio biótico, que pode interferir ou não no seu ciclo de vida, como é o caso de agentes fitopatógenos e biodegradadores. A falta de manutenção das árvores urbanas diminui a sua expectativa de vida, visto que pode acarretar na morte e queda.

Exposta à várias situações incomuns, como o esforço sob influência de tração, compressão, cisalhamento, flexão e torção, a árvore, para evitar o tombamento ou a ruptura do tronco, como caracterizado na figura 4, busca mecanismos para compensar estes esforços, gerando tensões internas, alterando sua forma, tamanho e estrutura, conhecido como crescimento adaptado ou lenho de reação (Mattheck; Breloer, 1997).

Figura 4 – Queda de árvores urbanas pela ação do vento. A) Queda do indivíduo arbóreo por completo. B) Ruptura e queda da árvore.



Fonte: Rinn, 2016.

2.5.1 Espécies inadequadas

Franco (1993) constatou que a utilização de espécies inadequadas para arborização urbana, principalmente de ruas, tem como consequência um custo crescente na manutenção e

reparos da rede de fiação elétrica e cabos, além da infraestrutura subterrânea, como dutos e galerias. O autor afirma que, as árvores de crescimento rápido, que tem como característica a madeira mole, caule e ramos quebradiços, devem ser eliminadas, em decorrência do maior risco de queda em casos de chuvas e ventos fortes, ameaçando a segurança de pedestres, veículos e edificações.

As espécies adequadas à arborização urbana devem ter todas as suas características conhecidas, principalmente seu comportamento nas condições edafoclimáticas e físicas a que serão impostas. (Pivetta; Silva Filho, 2002). O conhecimento de todas as informações irá minimizar os conflitos gerados e a necessidade de práticas de manejo constantes, como a poda.

Segundo Pivetta e Silva Filho (2002), algumas características desejáveis para utilização na arborização urbana são: a resistência a pragas e doenças; que os frutos não sejam grandes, de modo a causar danos a pedestres e automóveis; os ramos e o tronco devem ser resistentes, para evitar a queda em via pública; espécies tóxicas devem ser evitadas; as flores devem possuir, preferencialmente, tamanho pequeno, para evitar odores fortes; de preferência, as espécies devem ser nativas e se exóticas, devem ser adaptadas, a folhagem deve possuir renovação e tamanho favoráveis; a copa deve ter forma e tamanho adequados, evitando causar interferência a pedestres, veículos e fiação elétrica e espécies com sistema radicular profundo são mais adequadas, pois se as raízes forem superficiais, podem causar danos a calçadas, fundações de prédios e muros.

Além disso, outro fator preocupante para a vegetação urbana é a baixa diversidade, pelo plantio de poucas espécies ou ainda, somente espécies exóticas, que conforme Rollo et al. (2013), pode resultar na suscetibilidade à doenças e pragas, uma vez contaminada, pode facilmente disseminar o patógeno para as demais.

2.5.2 Espaço inadequado

O espaço recomendado, de acordo com Gonçalves e Paiva (2013), para uma cova é de 0,5m x 0,5m x 0,5m, porém, em locais em que as características físico-químicas do solo são ruins, sempre que possível, deve-se optar por um espaço maior, conforme Kaniecki (2018), em torno de 1m x 1m x 1m, dessa forma, possibilitando a incorporação de insumos que melhorem estas características.

Quando não é possível respeitar este espaçamento, a árvore encontra dificuldades para enraizar, gerando grande quantidade de raízes superficiais e pouca de raízes profundas, comprometendo sua sustentação, principalmente no caso de espécies com porte elevado, logo,

tornando-se ainda mais sujeita à ação de fatores externos como o vento, que podem acarretar na queda (Santos e Teixeira, 2001).

Com o crescimento da muda e estabelecimento da árvore, deve-se prezar por maior espaço disponível para o seu bom desenvolvimento. Recomenda-se, no mínimo, 1m² de área disponível, sendo o ideal de 2m² para árvores com copa pequena e de 3m² para árvores com porte elevado (São Paulo, 2005). Atendido este requisito, haverá menor competição tanto com outros indivíduos arbóreos como com muros, construções, eliminando problemas também com a rua, pedestres e automóveis.

Com relação à copa das árvores, o planejamento deve estar atento principalmente à fiação elétrica, sempre que possível, utilizando o lado contrário para implantação das árvores. Caso não seja possível, para o lado da fiação, são indicadas árvores de no máximo 5 m de altura, deve-se obedecer a distância de 1m para redes de baixa tensão e 2 m para redes de alta tensão (Kanieski, 2018). O atendimento a esta recomendação, irá evitar problemas futuros com podas e necessidade de retirada do indivíduo arbóreo, consideradas atividades de difícil execução.

2.5.3 Condução inadequada

Para otimizar os benefícios fornecidos pelas plantas e reduzir os riscos de queda de árvores e galhos, que podem afetar a população, assim como animais e elementos urbanos, Miller (1996) afirma que é essencial o manejo adequado das árvores urbanas.

A prática de manejo mais habitual é a poda, que tem por objetivo o desenvolvimento de árvores seguras, com aspectos visuais agradáveis e compatíveis com o local onde estão inseridas (CEMIG, 2011). É considerada uma atividade onerosa frente a administração pública municipal, porém, é de extrema importância para evitar conflitos com a rede elétrica, pedestres e automóveis.

De acordo com a norma específica NBR 16246-1 (2013), a poda é conceituada como a retirada seletiva de partes indesejadas ou danificadas de uma árvore. Podem ser realizadas diversas modalidades de podas, entre elas:

- Poda de limpeza: remoção de galhos mortos, doentes ou quebrados;
- Desrama: têm o intuito de reduzir a densidade de galhos vivos;
- Elevação de copa: que busca o espaço vertical;
- Poda corretiva: com o objetivo de corrigir procedimentos incompletos ou equivocados;

- Poda para vistas: seletiva para permitir visualização de uma vista específica, poda de condução;
- Poda de condução: remoção de galhos que interferiram nos elementos urbanos ou que gerem atrito um com outro;
- Redução: com objetivo de reduzir a altura ou largura da copa, de acordo com a arquitetura da espécie;
- Poda de restauração: com a finalidade de aprimorar a estrutura, forma e aparência de árvores que tenham sofrido a destopa, vandalismo ou danos.

A NBR 16246-1 (2013) enfatiza que para alcançar os objetivos da poda, deve-se respeitar o ciclo de crescimento, a estrutura individual das espécies e o tipo de poda requerida. Além disso, deixa claro que não se deve retirar mais que 25% da copa, obedecendo a espécie arbórea, idade, estado sanitário e localização. Cabe salientar que, a poda do tipo destopo e *poodle* são consideradas práticas de manejo inaceitáveis para árvores. Outra recomendação importante, é que sejam utilizados equipamentos e práticas de manejo em que o tecido vivo e a casca não sofram dano. As podas consideradas inaceitáveis envolvem:

- Destopo: tem o propósito de reduzir o tamanho da árvore, restando apenas partes como brotos, tocos, entrenós e ramos secundários, considerados insuficientes grandes para assumir a dominância apical;
- Poda tipo *poodle*, uma técnica considerada inadequada e excessiva, em que se retira os galhos secundários do interior da copa, permanecendo um amontoado de galhos e folhas na extremidade do galho principal.

Conforme Pivetta e Silva Filho (2002), as podas necessárias são caracterizadas pela poda de formação da muda e as podas de limpeza, para retirada de ramos doentes, quebrados ou mal formados.

A poda por si só é considerada uma agressão ao indivíduo arbóreo, deslocando seu equilíbrio natural. Oliveira et al. (2015), afirmam que as podas de maior intensidade, podem comprometer o estado fitossanitário da árvore, provocado pela presença de cupins, brocas, injúrias físicas como anelamentos, caules ocos e podres, como de galhos lascados. Esta prática é muito comum no Brasil, pois sua origem ocorreu na colonização portuguesa.

No caso da destopa, em que toda a copa da árvore é retirada, configura-se como crime ambiental, conforme Art. 49 da Lei de Crimes Ambientais 9.605 (1998), que considera infração: “Destruir, danificar, lesar ou maltratar, por qualquer modo ou meio, plantas de ornamentação de logradouros públicos ou em propriedade privada alheia.” A pena para essa transgressão pode

incluir a detenção de três meses a um ano, ou multa, ou ambas as penas cumulativamente (Brasil, 1998).

2.5.4 Biodegradação do lenho de árvores urbanas

A biodeterioração caracteriza-se pelo ataque e a decomposição do material por insetos, fungos ou bactérias. A colonização de células e tecidos resultam em mudanças na estrutura anatômica e nas propriedades químico-físico-mecânicas do tecido afetado (Brazolin, 2009).

A árvore, em resposta às injurias mecânicas ou ataques de insetos e microorganismos, desenvolve barreiras de compartmentalização, segregando a área saudável da área atacada. As barreiras têm como característica células de parênquima pronunciado e células de parênquima axial com conteúdo celular quimicamente modificado, formando substâncias antimicrobianas (Shigo, 1989).

Boyce (1961) destaca que os fungos necessitam de umidade mínima e ar para causar a deterioração. Com a umidade abaixo de 15%, a madeira não sofrerá ataque de fungos, porém, com umidade de 25 a 32% ou superior (ponto de saturação das fibras), a madeira torna-se um atrativo para que ocorra a infestação. Por outro lado, madeira com alto grau de saturação 100% ou mais, não sofre o ataque de fungos, uma vez que não há oxigênio disponível para o processo biológico dos microorganismos.

2.5.4.1 Biodegradação do lenho por fungos apodreadores

Os fungos apodreadores podem levar à queda do indivíduo, principalmente em árvores urbanas, em estágio muito avançado de deterioração (Wagener, 1963; Shigo, 1989; Young, 1984; Rayner; Boddy, 1988; Mattheck; Breloer, 1997; Brazolin et al., 2006; Rollo, F., 2009). São classificados quanto à atividade enzimática que desempenham, podendo ser denominados como: podridão branca e parda (Rayner e Boddy, 1988). Contudo, Brazolin (2009) citando Rayner; Boddy (1988), afirmam que, em troncos de árvores também podem ser encontrados fungos de podridão mole, porém, são associados a processos de sucessão de microrganismos para posterior ataque de fungos de podridão parda e branca, portanto, não são responsáveis por expressivos danos ao lenho.

Geralmente encontrados em árvores folhosas como o *Eucalyptus* spp., os fungos de podridão branca, caracterizam-se pela degradação de todos os componentes da parede celular,

incluindo a lignina. A madeira sofre modificação, tornando-se uma massa esponjosa e macia, mais clara que o lenho sadio, afetando a resistência mecânica e densidade (Boyce, 1961; Foelkel et al., 1986; Shigo, 1989; Eaton; Hale, 1993).

Os fungos de podridão parda encontram-se especialmente em espécies de coníferas, em que os agentes causadores consomem a celulose e a hemicelulose da parede celular, tornando a lignina inalterada, resultando em lenho rígido, friável e quebradiço. A madeira fica com aspecto de massa com coloração marrom, facilmente pulverizada com as mãos (Boyce, 1961; Wilcox, 1973; Shigo, 1989; Eaton; Hale, 1993).

Os fungos de podridão mole atacam preferencialmente a celulose e hemicelulose e o ataque fica limitado à superfície da madeira, produzindo cavidades na parede celular, tornando o material mais rígido e pouco resistente à flexão, porém não são considerados como causa de drásticas alterações no lenho (Rayner; Boddy, 1988).

2.5.4.2 Biodeterioração do lenho por cupins

O alimento básico para os cupins xilófagos é caracterizado pela celulose do lenho, portanto, não causando prejuízos pois se alimenta da madeira parcial ou totalmente apodrecida (Oliveira et al., 1989).

Conforme Brazolin (2009), os cupins são agrupados conforme os hábitos de nidificação: cupins de madeira (a colônia se desenvolve integralmente na madeira seca ou úmida); cupins de solo (a colônia se desenvolve no solo, subterrânea ou epígea) e cupins arborícolas (a colônia se desenvolve sobre suporte, acima do solo, exemplo de uma árvore). Segundo o autor, o ataque de cupins em árvores está associado a porção do cerne (interior do tronco), sem a presença de sinais externos de ataque.

Para avaliar se a árvore apresenta biodeterioração por razão de pragas ou doenças, são utilizados métodos destrutivos (que impliquem na derrubada no indivíduo, que são indesejáveis na arborização urbana) ou ainda métodos não destrutivos (não há necessidade da derrubada), considerado mais indicado para árvores urbanas.

2.5.5 Fatores externos

Uma árvore que não apresenta sinais associados ao risco de queda como cavidades ou deterioração, não pode ser dada como totalmente segura, pois não está isenta da possibilidade de queda. Conforme a intensidade dos ventos e a qualidade do sistema radicular, pode ocorrer

o tombamento, enfatizando o cuidado que se deve ter com as raízes, uma vez que sua estabilidade pode ser comprometida. Dependendo da força dos ventos e de fragilidades na região radicular, pode acontecer um efeito vela, em que as árvores tombam inteiras (Garutti, 2015).

Young (1984) afirma que, o risco de queda do indivíduo arbóreo pela ação do vento, é aumentado com o apodrecimento, que pode ser evidenciado por corpos de frutificação, cavidades e apodrecimento visível do tronco. Ainda segundo o autor, o risco de queda por apodrecimento sem presença de corpos de frutificação, caracterizam-se principalmente nas seguintes situações: sintoma de doença na copa das árvores; grandes injúrias como poda drástica; forquilha dos galhos; pequenos galhos e movimentação do tronco.

Outro fator externo é a ocorrência de enchentes que são consideradas eventos raros, e por esse motivo, causam desequilíbrio nos ecossistemas que não estão habituados a um regime constante de inundações e períodos secos, afetando consideravelmente a estrutura de florestas que margeiam os rios (Damasceno-Junior et al., 2004).

2.6 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

Na Constituição Federal de 1988, o Art. 225 explicita que: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (Brasil, 1998).

A Lei 12.651, de 25 de maio de 2012, que ficou popularmente conhecida como Novo Código Florestal, estabelece normas gerais sobre a Proteção da Vegetação Nativa, incluindo Áreas de Preservação Permanente (APP). No Art. 4, caracterizam-se como APP: “As faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, as áreas no entorno dos reservatórios d’água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d’água naturais, as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d’água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 metros, as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues, os manguezais, as bordas dos tabuleiros ou chapadas, no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura

mínima da elevação sempre em relação à base, as áreas em altitude superior a 1.800 metros, qualquer que seja a vegetação” entre outros (Brasil, 2012).

Outra lei de grande importância sob o âmbito ambiental, diz respeito à Lei de Crimes Ambientais nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, esta, aborda sobre as sanções penais e administrativas acerca de atividades lesivas ao meio ambiente. Para árvores urbanas, no Art. 49 enfatiza que: “Destruir, danificar, lesar ou maltratar, por qualquer modo ou meio, plantas de ornamentação de logradouros públicos ou em propriedade privada alheia” sob pena de detenção, de três meses a um ano, ou multa, ou ambas as penas cumulativamente (Brasil, 1998).

As Leis Municipais de Lages foram implementadas pela Lei Complementar nº 218 de 2 de junho de 2004, nas quais estabelece que compete ao Município:

- planejar e desenvolver ações de autorização, promoção, proteção, conservação, preservação, recuperação, restauração, reparação, vigilância e melhoria da qualidade ambiental;
- definir e controlar a ocupação e uso dos espaços territoriais, de acordo com a legislação Federal, Estadual e Municipal pertinentes;
- elaborar e implementar o Plano Diretor Municipal de Proteção ao Meio Ambiente;
- coordenar qualquer uso das águas, inclusive das subterrâneas, levando em consideração a política de seus usos múltiplos, respeitadas as demais competências;
- definir áreas prioritárias de ação governamental relativas ao meio ambiente, visando a preservação e melhoria da qualidade ambiental e do equilíbrio ecológico.”

Dando ênfase a Flora, o Art. 44 especifica que: “As florestas e as demais formas de vegetação existentes no território municipal, reconhecidas de utilidade às terras que as revestem, são bens de interesse comum a todos os habitantes, exercendo-se os direitos de propriedade com as limitações que a legislação em geral e especialmente esta Lei Complementar estabelecem.”

No Capítulo XIX, artigos 85 e 86, que regulamenta a Arborização Urbana, fica claro que a fiscalização da arborização urbana será exercida pela SEMMAS, respeitada a competência dos órgãos federais e estaduais, e que a autorização de corte de árvore no perímetro urbano só poderá ser feita com autorização da mesma entidade, a qual regulamentará o seu procedimento (Lages, 2004).

2.7 MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS PARA AVALIAÇÃO DA SANIDADE DE ÁRVORES

Caracterizam-se como técnicas de avaliação não destrutiva, aquelas de identificação das propriedades de um determinado material sem alterar as suas características físicas, químicas e mecânicas e assim, não interferindo na sua capacidade de uso futuro (Ross et al., 1998).

São inúmeros os benefícios encontrados nos métodos não destrutivos, desde dispensar a derrubada da árvore para classificação do lenho, a rapidez de aplicação do método, a confiabilidade dos resultados obtidos, a redução das perdas de material, até vantagens financeiras proporcionadas pelo conjunto de vantagens citadas (Ross et al., 2004; Shimoyama, 2005).

Na determinação da sanidade de árvores aplicando técnicas de avaliação não destrutiva utilizam-se do método visual que se fundamenta na observação e classificação de parâmetros visíveis externamente nas árvores, e também de métodos físicos que incluem a resistência elétrica, propriedades dielétricas, resistência física (à penetração de materiais) como exemplo o resistógrafo, raio-x, propriedades ópticas, vibracionais e acústicas, neste último em que se destacam o ultrassom e o tomógrafo de impulso.

2.7.1 Análise visual

O estado geral de uma árvore em ambiente urbano pode ser avaliado com base no seu aspecto visual, de acordo com as características dendrométricas, do tronco, raízes, copa, o manejo implantado e fitossanidade (Brun, 2012). Dessa forma, quanto mais informações forem coletadas ao longo da análise visual, mais precisas e confiáveis serão as inferências sobre determinada árvore, de modo a contribuir para o diagnóstico e prognóstico adequado.

Com a utilização do método da análise visual é possível identificar facilmente características como cor e presença de defeitos (podridões e nós). Como vantagens, apresenta simplicidade e rapidez na sua aplicação. Porém, apresenta desvantagens, como: a avaliação apenas da seção externa da árvore, o que não garante o seu uso e a limitação apenas para valores qualitativos, ou seja, não mede a intensidade de defeitos. Dessa forma, inviabiliza a tomada de decisão, uma vez que, os parâmetros apresentam subjetividade (Shimoyama, 2005).

Os gestores das cidades, responsáveis pelas práticas de manejo e manutenção das árvores urbanas, autorizam, com frequência o corte das árvores que apresentam alguma suspeita

de periculosidade (Matheny; Clark, 1994). Porém, a maior dificuldade se dá em se prever quais árvores são verdadeiramente perigosas e necessitam remoção (Kennard et al., 1996). Habitualmente, as árvores urbanas consideradas perigosas passam por uma avaliação que agrupa a probabilidade prevista de falha, estimada pela análise dos defeitos encontrados no indivíduo. Por outro lado, como já comentado, o processo continua apresentando um grau de subjetividade (Hubbard, 1993).

Brazolin (2009) afirma que o aparecimento de sintomas de apodrecimento no tronco, assim como nas raízes ou parte área não indica confiavelmente que existe risco iminente de queda, isso dependerá da incidência e a extensão deste apodrecimento. Muitas vezes, os sinais podem ser enganosos, ou ainda, podem não apresentar sinal algum de injúria, por este motivo, a avaliação visual dá apenas uma ideia da saúde geral do indivíduo arbóreo (Hubbard, 1993; Matheny; Clark, 1994).

A ciência que estuda a estabilidade das árvores utiliza de princípios biológicos e de engenharia para avaliar a solidez estrutural da árvore, de forma a inferir o potencial que futuro de falhas (Wang; Alisson, 2008). Diversos autores afirmam que a análise visual foi e continua a ser o ponto de partida da avaliação de defeitos em árvores (Matheny; Clark, 1994; Mattheck; Breloer, 1994; Hayes, 2001; Pokorny, 2003; Luley, 2005), mas não é suficiente para um laudo final e preciso.

A metodologia pioneira para avaliação da estabilidade das árvores, descrita por Mattheck; Breloer (1994), se fundamenta em três etapas: primeiramente a inspeção visual de toda a árvore, de modo a buscar evidências de defeitos internos; a realização de um exame detalhado para verificar se tais defeitos existem e sua possível extensão; e por fim, a medição instrumental de defeitos internos e cálculo do resíduo força.

O sistema de Matheny; Clark (1994) se caracteriza pela facilidade de uso, permitindo que os inspetores e gestores responsáveis pelas árvores priorizem ações corretivas de maneira estruturada. O guia propõe um sistema de classificação dos perigos de falha da árvore, avaliando e aplicando um valor numérico de 1 a 4 para cada um dos três componentes que contribuem para o risco de falha da árvore: (1) potencial de falha, (2) tamanho da parte da árvore poderia falhar e (3) classificação alvo. A soma dos três escores igualmente ponderados é denominada “classificação de risco”. Uma classificação de risco de 12 representa o risco mais grave. O sistema permite a ampla priorização de riscos de falha de árvore, mas não quantifica os riscos associados.

Para avaliação de perigos de árvores em parques de *camping*, há um protocolo de diversos autores: Fakes, 2005; Johnson, 1981; Lonsdale, 2000; Sterken, 2005; USDA Forest

Service & Minnesota Department of Natural Resources, 1996. Esse protocolo engloba informações referentes à: saúde da árvore (galhos, sinais de podridão, ramos mortos, sinais de envelhecimento); com relação à estrutura da árvore (inclinação da árvore, danos nas raízes, tronco ou ramos, além do solo); a localização (susceptível ao vento, área de possível queda da árvore e galhos) e informações sobre o clima.

Os autores Mattheck e Breloer, em 1997, revolucionaram as metodologias avançando na detecção de defeitos na madeira de modo não destrutivo. O método conhecido como *Visual Tree Assessment* (VTA) utiliza três ferramentas para análise interna o tronco: som de pancadas de martelo na árvore, penetrômetro e medidor de fraturas. São utilizadas de quatro etapas principais: 1) Avaliação visual que considera como principais fatores a biologia do indivíduo, além de mecanismos de queda ou ruptura; 2) Inspeções detalhadas visando a quantificação de lenho degradado; 3) Critérios para avaliação do risco de queda e 4) Decisão sobre a árvore perante os demais fatores avaliados.

Conforme Pokorny et al., (2003), são sete categorias em que os defeitos podem ser encontrados na avaliação visual: apodrecimento, fissuras, problemas no sistema radicular, junção fraca entre os ramos, cancros, arquitetura inadequada e árvore/ramos mortos.

Os primeiros trabalhos que abordavam o inventário da arborização urbana são de origem internacional. Grey e Deneke (1978) frisaram que para realização do inventário as informações essenciais eram: o número total de árvores de rua, composição por espécie, localização das árvores, composição das árvores por espécie, localização das árvores, composição das árvores por tamanho e idade, classes de condição e necessidade de manejo. Por outro lado, Rhoads et al. (1981) avaliando árvores urbanas em Filadélfia, Estados Unidos, coletaram informações referentes à altura, diâmetro, diâmetro de copa, condições da folhagem, além de problemas com pragas e doenças.

A partir daí, foram se desenvolvendo estudos similares, Milano (1984) iniciou as pesquisas relacionadas a árvores urbanas no Brasil, em seu trabalho que inventariou a arborização urbana, utilizou informações referentes à localização das árvores em relação aos elementos da via urbana, altura com relação a fiação elétrica, altura da primeira bifurcação, a área livre no entorno do indivíduo arbóreo, condições das raízes, saúde da árvore, aliado ao tratamento necessário ao indivíduo.

Posteriormente, Santos e Teixeira (1990) no trabalho de levantamento quantitativo e qualitativo da arborização, aprimoraram ainda mais a metodologia, além das informações já coletadas por outros pesquisadores, registraram informações referentes à danos causados no

vegetal como vandalismo, acidente, tutoramento. Verificaram também se a árvore estava em equilíbrio com o meio visando estruturas, muros, fiação elétrica, entre outros.

Na década subsequente, houve um expressivo aumento nos trabalhos de inventário e avaliação da arborização urbana de cidades brasileiras. Em cada trabalho, os autores vinham adaptando as metodologias clássicas com a necessidade de informações pertinentes ao estudo. A análise visual se constitui em uma ferramenta de trabalho utilizada mundialmente, pela qual podem ser avaliados uma gama de problemas referentes a árvore e seu entorno.

Em virtude do orçamento dos órgãos municipais, a avaliação da sanidade comumente se resume a avaliação visual, porém, sabe-se que este tipo de classificação possui uma certa subjetividade, principalmente quando realizada por um profissional não especializado. Junto a isso, a avaliação visual, não é confiável, visto que não fornece informações sobre a situação do lenho interior das árvores, somente da parte externa. Em alguns casos, embora a árvore não esteja apresentando bons sinais visuais, não há necessidade da derrubada da mesma, apenas tratos silviculturais adequados.

2.7.2 Resistógrafo

O resistógrafo é um equipamento que conta com uma agulha de aço de cerca de 3 mm de diâmetro e por meio da qual é possível verificar a resistência oferecida pela madeira à rotação e a progressiva penetração desta agulha (Feio; Lourenço, 2005). Isto acontece a uma taxa de velocidade predeterminada, dependendo da espécie de madeira e do modelo empregado (Rinn et al., 1996).

Diante disso, obtém-se o perfil da madeira, diagnosticando zonas com variações de densidade, quando encontradas quedas abruptas tratadas como descontinuidades físicas, como fendas ou degradação biológica (Feio; Lourenço, 2005).

Conforme Rollo, (2009a), a principal vantagem desse equipamento é a apresentação de um resultado quantitativo, que se dá em uma escala de resistência em forma de representação gráfica, que torna fácil e precisa a identificação das lesões encontradas. O seu peso e tamanho, considerados maiores que a furadeira portátil, juntamente da necessidade de trocas periódicas na haste pelo desgaste de uso, são algumas desvantagens.

2.7.3 Tomógrafo de Impulso

A hipótese fundamental descrita por Jayne (1959) propõe que a armazenagem de energia e as propriedades de dissipação da madeira, que podem ser medidas pelos métodos não destrutivos, são controladas pelos mesmos mecanismos que determinam o comportamento deste material frente a solicitações estáticas.

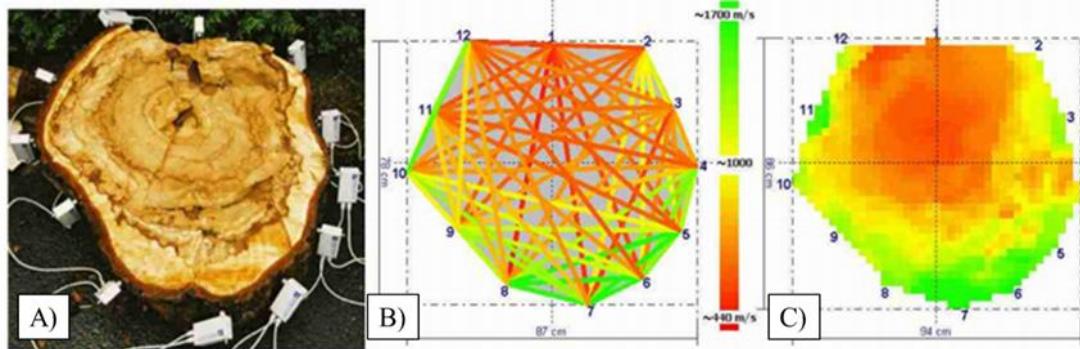
Com a utilização de alguma forma de propagação de energia, através ou em volta do material estudado, é possível deduzir características importantes sobre o material. A energia utilizada pode resultar tanto de cargas estáticas ou dinâmicas e pode ser gerada por ondas eletromagnéticas ou elásticas (Schad et al., 1996).

A tomografia de impulso é um método recente que determina com rapidez e praticidade a qualidade do lenho de árvores. Esse equipamento possibilita a reconstrução de seções transversais do tronco e dos galhos das árvores, visando delimitar e quantificar o lenho biodegradado e ainda ter acesso às suas propriedades. A imagem da estrutura interna do lenho gerada pelo tomógrafo de impulso, em resposta à diferença da velocidade de transmissão das ondas sonoras, pode ser correlacionada com as propriedades físico-químicas (densidade, módulo de elasticidade, umidade) e possibilita determinar a percentagem de cerne/alburno, madeira de reação, nós, podridão do lenho, excentricidade da medula, sanidade da árvore etc. (Picus, 2003; Bucur, 2006; Rinntech, 2018).

O método baseia-se na medição do tempo do percurso das ondas mecânicas (causadas por um martelo) pelo lenho, com auxílio dos sensores fixados ao longo do tronco da árvore. Com auxílio de alguns *softwares* como Arbotom® e Picus® Sonic Tomography, capazes de calcular a velocidade das ondas mecânicas e produzir imagens determinando diferentes tonalidades da seção transversal do lenho do tronco, é possível fazer inferências sobre as propriedades da árvore (Picus, 2003; Bucur, 2006; Pereira et al, 2007; Castro, 2011; Rinntech, 2018).

A velocidade do impulso está diretamente ligada com a densidade da árvore, módulo de elasticidade e umidade do tecido, o que permite a comparação entre os valores dessas variáveis (Rollo, 2009a; Rinntech, 2018). Segundo Uliana (2010), este aparelho consegue detectar facilmente a presença de ocos ou de podridões de árvores no local onde forem instalados os sensores do aparelho, como observado na figura 5.

Figura 5 – Esquema do funcionamento do tomógrafo de impulso. A) Sensores acoplados à circunferência da árvore. B) Cada sensor capta a onda mecânica para geração da imagem tomográfica. C) Imagem tomográfica da seção transversal da árvore.



Fonte: Rinn, 2008.

Com auxílio das informações obtidas por meio da avaliação visual conjuntamente com as imagens tomográficas, pode ser feita a identificação precisa de problemas fitossanitários e biomecânicos, possibilitando a avaliação completa sobre a qualidade e risco de queda de árvores urbanas (Rollo, 2009a).

Como trata-se de um material heterogêneo, anisotrópico e higroscópico, a madeira possui três planos de corte, resultando em três diferentes direções de propagação de onda mecânica: longitudinal (paralela às fibras); radial (paralela aos raios da seção transversal) e tangencial (paralela às camadas de crescimento anual). Por conta da anisotropia, as ondas viajam pela madeira, com velocidades diferentes (Rollo, 2009b).

Além da heterogeneidade do material madeira, da composição química, microestrutura, irregularidade na disposição dos elementos anatômicos (Carrasco; Azevedo Júnior, 2003), a propagação da velocidade de onda, também é afetada pela higroscopicidade, característica importante com relação à madeira, que se refere à capacidade de interagir com o meio ambiente absorvendo ou perdendo umidade, de forma a alterar suas propriedades físicas e mecânicas (Latorraca et al., 2011).

Conforme Bucur (2006), citado por Latorraca et al. (2011), abaixo do Ponto de Saturação das Fibras, ou seja, com menores teores de umidade, há a maior velocidade de propagação de ondas mecânicas. Desta forma, espécies com maiores densidades atreladas à baixo teor de umidade, resultarão em uma maior velocidade de propagação de ondas.

A propagação de ondas mecânicas através do lenho das árvores se dá pela velocidade, frequência e comprimento. A velocidade de propagação de onda se baseia na física que explica o comportamento das variáveis. Há uma relação entre as características do material, conforme a 2^a Lei de Newton (força=m.a) e de Hooke, através do módulo de elasticidade na Equação (1).

De acordo com as propriedades de um material, a velocidade de propagação é constante (Rollo, 2009b).

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

Em que:

V= velocidade de propagação da onda (m/s);
 λ = comprimento de onda e
f=frequência da onda (número de oscilações/segundo).

As interferências causadas no meio, são resultado do material, portanto, se o lenho apresentar a presença de oco, variará consideravelmente a velocidade de propagação dessa onda e sua trajetória (Rollo, 2009b).

O lenho se caracteriza com frequência e comprimento de ondas constante, assim, a fórmula para cálculo de velocidade de onda mecânica da madeira é conforme a Equação (2).

$$V = \sqrt{\frac{Ei}{D}} \quad \text{Equação (2)}$$

Em que:

V= velocidade de propagação da onda (m/s);
Ei= módulo de elasticidade da madeira (N/m²);
D= densidade (kg/m³).

Dessa forma, a velocidade de propagação da onda mecânica é inversamente proporcional à raiz quadrada da densidade do lenho (Castro, 2011), resultando em: quanto maior a densidade do lenho, maior será a velocidade de propagação das ondas mecânicas (Rinntech, 2005; Pereira et al., 2007).

Shimoyama (2005) afirma que madeiras com densidades mais elevadas apresentam maior teor de substância madeira, consequentemente menor quantidade de espaços vazios, ou seja, maior velocidade de propagação de ondas mecânicas em menor tempo. Logo, madeiras com densidades inferiores, possuem mais espaços vazios alterando a velocidade de propagação.

Muitos estudos nas mais diversas áreas estão obtendo resultados satisfatórios empregando o tomógrafo de impulso, como Rollo (2009a) em seu estudo de “Identificação de padrões de resposta à tomografia de impulso em tipuanas (*Tipuana tipu* Benth.)”, em que a tomografia de impulso demonstrou dados de maior qualidade e mais completos do que o resistógrafo.

Castro (2011) no seu trabalho “Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação de propriedades físicas do lenho de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. e *Tectona grandis* (L.f.)”, no qual a tomografia de impulso demonstrou-se boa na caracterização do lenho.

No trabalho de Rollo et al. (2013), comparando leituras do resistógrafo com imagens tomográficas para avaliação interna de troncos de árvores, os autores encontraram uma ótima correlação entre os dois equipamentos utilizados, caracterizando os dados referidos pelo tomógrafo como confiáveis.

Amodei et al. (2010), utilizaram o tomógrafo de impulso para uma avaliação preliminar da qualidade da madeira de *Tectona grandis* e o aparelho se mostrou eficaz com respeito aos parâmetros de qualidade estudados.

Pereira et al. (2007), compararam a técnica da tomografia de impulso juntamente com dados da densidade aparente de densitometria de raio X nas espécies: *Eucalyptus saligna* Sm. (eucalipto), *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, *Caesalpinia echinata* Lam. Foi possível encontrar resultados ótimos, em que a tomografia apresentou similaridade com as informações de densitometria de raio X e recomendam a utilização da tomografia para avaliação do interior do lenho das árvores, portanto, para avaliar o risco de queda.

Latorraca et al. (2011), confirmaram a possibilidade de associar os teores de umidade da madeira com a velocidade de propagação de ondas mecânicas com auxílio do tomógrafo de impulso, utilizando *Pinus caribaea*, verificando influência na formação da imagem tomográfica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido no município de Lages, pertencente a região do planalto serrano de Santa Catarina (Figura 6), considerado o município de maior extensão territorial do estado, com aproximadamente 2.632 km² e altitude média de 884 metros (IBGE, 2017).

Conforme a classificação de Köppen (1978), o clima do município se caracteriza como Cfb – subtropical, sem estação seca e com verão temperado (Alvares, et al., 2013). Como a umidade é constante, não há uma estação seca bem definida. Há chuvas em todas as estações do ano e a precipitação média do mês mais seco é superior a 60 milímetros. De acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (2018), a precipitação média anual é de cerca de 1500

milímetros e a temperatura média de 16°C. Do total populacional de 158.508 habitantes, cerca de 98,2% compõe o ambiente urbano, onde as vias públicas arborizadas correspondem a cerca de 32,9% do total (IBGE, 2016).

Figura 6 – Localização do município de Lages na Serra Catarinense.



Fonte: Revista Turismo Santa Catarina, 2010.

A bacia hidrográfica (BH) que drena o município é a do Rio Caveiras, caracterizada como a segunda maior sub-bacia da bacia hidrográfica do Rio Canoas e o maior abastecedor de águas da cidade. Os corpos d'água que cortam o seu território são o Rio Carahá, Rio Caveiras, Rio Lava Tudo, Rio Pelotinhos, Rio Pelotas e Rio Canoas (Estado de Santa Catarina, 2018).

O rio Carahá cruza o perímetro urbano de Lages, com cerca de nove quilômetros de extensão, até sua foz com o rio Caveiras. Possui dez principais afluentes: o Ribeirão Santa Helena; Córrego Copacabana; Arroio Bela Vista; Arroio Petrópolis; Córrego São Francisco; Rio Passo Fundo; Córrego da Cachoeira; Córrego Maria Luiza; Córrego Lagoão e Córrego Bom Jesus (Estado de Santa Catarina, 2018).

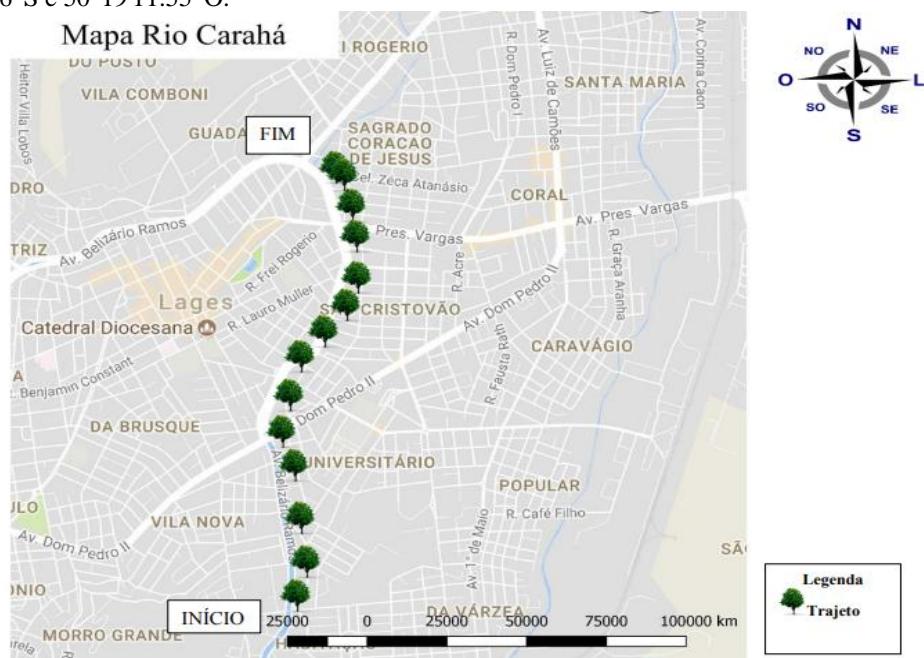
Em virtude de pertencer ao meio urbano, encontra-se em alto estágio de degradação. O rio Carahá bordeia a Avenida Belisário Ramos, que é de grande importância para auxiliar a fluir o trânsito no município e também, muito procurada por pedestres e ciclistas, em função de contar com uma ciclo faixa.

Com relação à vegetação arbórea encontrada no local, há baixa diversidade de espécies, além do predomínio de espécies exóticas como: *Populus nigra*; *Salix babylonica* e *Ligustrum japonicum* demonstrando grande defasagem na utilização de espécies nativas (Reis et al., 2009).

Os autores afirmam também que foi encontrada uma área de aproximadamente dois quilômetros de extensão de área ciliar sem vegetação arbórea.

Desta forma, o estudo se desenvolveu em um trecho às margens do rio Carahá, na Avenida Belisário Ramos, compreendido entre o cruzamento com a Rua Frei Gabriel, seguindo em direção à Avenida Duque de Caxias, totalizando cerca de 1,7 quilômetros de extensão, conforme demonstrado na figura 7. Esse trecho merece atenção, pois apresenta grande fluxo de pedestres, ciclistas e automóveis.

Figura 7 – Trecho avaliado no estudo, com coordenadas aproximadas de Início: 27°49'11.52"S e 50°19'15.92"O e Fim: 27°48'25.86"S e 50°19'11.55"O.

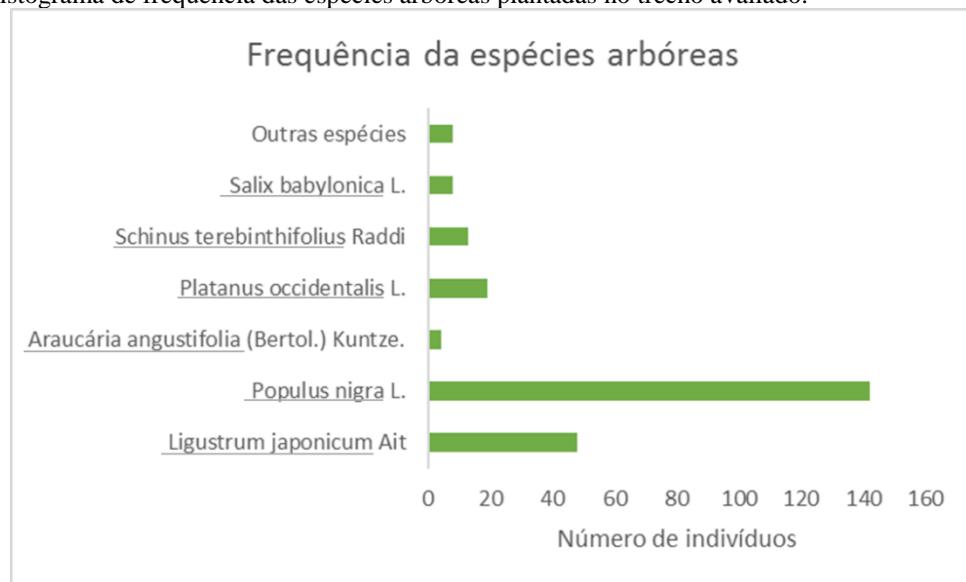


Fonte: elaborado pela autora, 2018.

3.2 SELEÇÃO DA ESPÉCIE ESTUDADA

Para a escolha da espécie a ser avaliada, foi determinada a frequência de cada uma, sendo verificado que *Populus nigra* L. foi a que apresentou o maior número de indivíduos, 142, o que representa 59% do total (Figura 8). Esta constatação, conforme Grey e Deneke (1978), ficou bem acima da frequência recomendada para exemplares de uma mesma espécie em zonas urbanas, que é de 10 a 15% do total.

Figura 8 – Histograma de frequência das espécies arbóreas plantadas no trecho avaliado.



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

A maior frequência de *Populus nigra* L. também foi encontrada em outros trechos do rio Carahá, como no trabalho de Reis et al. (2009), em que a espécie participava com cerca de 67% da vegetação, assim como no estudo de De Betio (2017), que encontrou um percentual de 62%.

Assim, a caracterização das árvores de *P. nigra* foi realizada nos indivíduos com CAP (circunferência a altura do peito) superior a 80 centímetros. Cabe salientar que, algumas árvores não foram avaliadas em função da falta de acessibilidade devido à elevada declividade e falta de cobertura com solo da raiz, o que geraram insegurança para os pesquisadores.

3.3 ANÁLISE VISUAL

Para a análise visual das árvores, foi utilizada uma caderneta de campo baseada no trabalho de Sampaio e De Angelis (2008), na qual constavam informações dendrométricas básicas e específicas, como condição das raízes, colo e tronco.

a) Identificação e localização:

- data de coleta, lado da via em que ocorreu a coleta e número do indivíduo;
- com relação ao porte do indivíduo arbóreo, foram mensuradas informações dendrométricas como altura total, altura da primeira bifurcação, CAP (circunferência a altura do peito, medidas à 1,30m do solo), circunferência de base (0,30 metros do solo), altura em que foram instalados os sensores para tomografia de impulso;
- para as informações dendrométricas, foi verificado também a ocorrência de bifurcação, e quando presente, se estava na conformação de “V” ou “U”.

b) Aspectos fenológicos:

- folhas: sem folhas; com poucas folhas (aproximadamente 50% da copa sem folhas) e com muitas folhas (mais que 50% da copa composta por folhas);
- flores: sem flores, com poucas flores (quando aproximadamente 50% da sua floração) e com muitas flores (quando apresentava toda a sua capacidade de floração);
- frutos: sem frutos, com poucos frutos (quando estavam presentes até 50% da frutificação) e com muitos frutos (quando apresentavam todo seu potencial de frutificação).

c) Necessidade de manejo: necessidade de poda: não necessária, poda de limpeza (quando existem galhos secos e doentes).

d) Qualidade

- raízes: sem afloramento quando a raiz não está evidente e facilmente visualizada, com afloramento dentro da área livre ficando visível, afetando rede subterrânea de forma evidente como rede de esgoto e água;
- cupins: se havia galerias em troncos e galhos, assim como ninhos e caminhos;
- fungos: se havia corpos de frutificação na base, tronco e galhos;
- epífitas: foram classificadas quanto a musgos, liquens, samambaias, figueiras, cactáceas e trepadeiras;
- podas anteriores: sem poda anterior, com poda anterior (pelos vestígios de retirada de galhos), poda com brotos visualizando retirada de galhos e rebrota e com poda drástica se a poda anterior causou desequilíbrio na árvore, assim como retirada excessiva de galhos.

e) Declividade: para cada indivíduo foi aferida a declividade em que se encontravam, visto que o terreno se apresentava visualmente muito íngreme. Assim, tomou-se como referência a reta imaginária perpendicular ao solo originária na sua base.

d) Condição geral:

- boa: se apresentava-se vigorosa, com poucos ou nenhum sinal de pragas, doenças e injúrias mecânicas;
- satisfatória: caracterizada pelo vigor médio que pode apresentar pragas e doenças ou ainda injúrias mecânicas
- ruim: agrega um estado geral insatisfatório com severos danos causados por doenças, pragas, além de danos de ordem física.

3.4 ANÁLISE NÃO DESTRUTIVA

Na tomografia de impulso, foi utilizado o ARBOTOM da Rinntech. Com a identificação da árvore a ser avaliada, primeiramente, verificou-se o Norte magnético com o auxílio de uma bússola, para que a fixação do primeiro sensor do equipamento fosse nesse sentido, com o objetivo de facilitar a interpretação das imagens geradas. Posteriormente, na altura da base da árvore (0,30m do solo), foi mensurada a circunferência correspondente, para que a fixação dos pregos sempre ocorresse de maneira equidistante, estabelecendo o mínimo de 10 centímetros de distância entre pregos. Em seguida, foram alocados os demais pregos a uma profundidade de cerca de 2 centímetros, para que posteriormente, pudessem receber os sensores.

Paralelamente a essa etapa, no *software* do aparelho foram preenchidas informações referentes ao indivíduo avaliado como circunferência, altura da medição realizada, número de sensores e distância entre sensores (Figura 9).

Figura 9 – Sensores do tomógrafo de impulso alocados ao longo da circunferência da árvore à altura de base (0,30m).

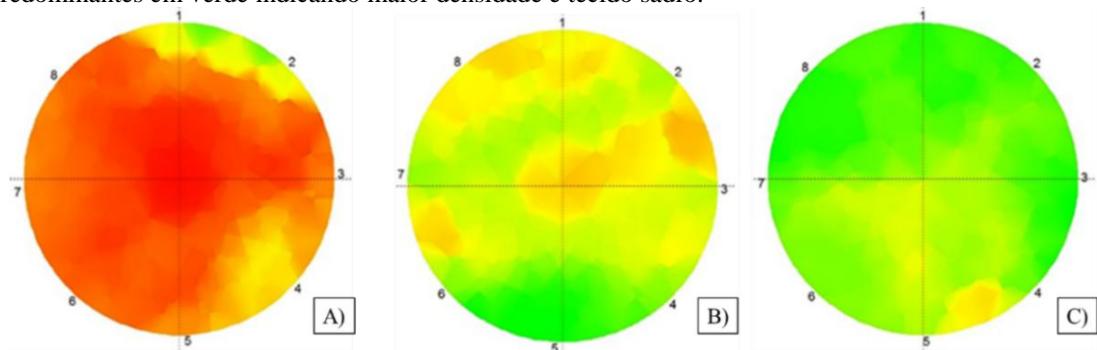


Fonte: a autora, 2018.

Após a instalação dos sensores, dado o sinal verde do aparelho que indica a correta instalação, procedeu-se a análise. Foram efetuadas cerca de cinco batidas com o martelo em cada sensor, ou até que o erro fosse reduzido para valores menores que 10% no *software* do Arbotom.

Como resultado, obteve-se a Imagem Tomográfica 2D, com a representação de cores vermelho, amarelo e verde. As áreas com tonalidade de vermelho sugerem uma menor velocidade de propagação de onda, ou seja, menores densidades, o que indica um tecido deteriorado ou em processo de deterioração. Já em locais em que as tonalidades variaram em tonalidades de verde, tem-se uma maior velocidade de propagação de onda, com uma maior densidade, indicando um tecido sadio (Figura 10).

Figura 10 – Imagens tomográficas da seção transversal da árvore. A) Tons predominantes em vermelho indicando menor densidade e tecido deteriorado. B) Tons predominantes em amarelo indicando densidade intermediária. C) Tons predominantes em verde indicando maior densidade e tecido sadio.



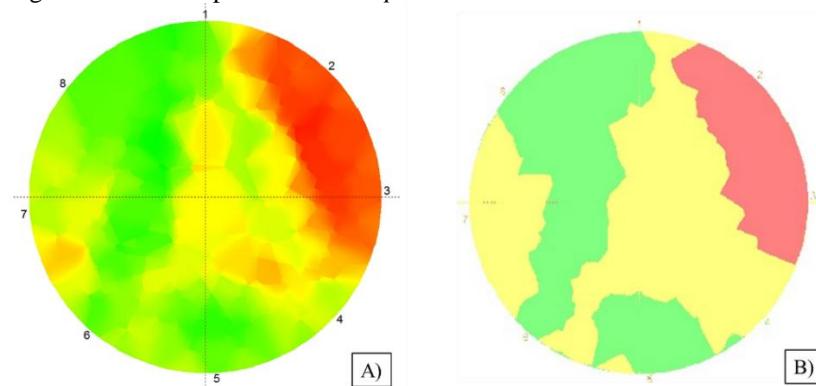
Fonte: elaborado pela autora, 2018.

3.5 INTERPRETAÇÃO DAS IMAGENS TOMOGRÁFICAS

De acordo com a metodologia adaptada por Pereira (2006), as imagens obtidas pela tomografia de impulso foram tratadas no *software* Arcgis, para decomposição em níveis de cinza. Com auxílio do *software* TNT mips versão 10.13.1., as imagens decompostas foram demarcadas em cada elemento da matriz *raster*. A partir disso, iniciou-se a realização da classificação supervisionada, que tem como objetivo a separação da imagem em classes, quantas sejam requeridas pelo operador.

Por meio do método *Step Wise Linear*, procedeu-se a classificação supervisionada. Para cada imagem, realizou-se um treinamento, no qual foram realizadas amostras nas três classes desejadas: i) classe 1, áreas de menor velocidade de propagação de onda (vermelho e laranja), caracterizando áreas lesionadas, ii) classe 2, áreas com densidade intermediárias (amarelo) e, iii) classe 3, áreas de maior velocidade de propagação de ondas (verde) demonstrando tecidos sadios, como demonstrado na figura 11. A partir desse treinamento, o *software* foi capaz de identificar e classificar de forma precisa toda a imagem, sem a subjetividade presente na análise visual.

Figura 11 – Interpretação da imagem tomográfica com auxílio da classificação supervisionada. A) Imagem tomográfica. B) Imagem classificada pelo método *Step Wise Linear*.



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Para avaliação da qualidade da classificação, ou seja, verificar se o *software* foi capaz de separar com clareza as classes requisitadas, a estatística Kappa e Acurácia global, apresentadas pelo próprio *software*, foram analisadas. Conforme alguns autores (Landis, Koch (1977), Rollo, (2009b), Uliana (2010)), os valores recomendados como bons para estatística Kappa variam entre 81 a 100%. Nos casos em que as duas estatísticas apresentassem valores inferiores a 90%, as imagens passavam por uma reclassificação, realizando todos os passos acima novamente, até que o valor encontrado fosse superior a 90%.

3.6 AVALIAÇÃO DO RISCO DE QUEDA

Na avaliação do risco de queda, a partir da classificação automática supervisionada, foi utilizada uma adaptação da metodologia proposta por Bond e Tucker (2006), reformulada por Pereira (2006), descrita na tabela 1.

Tabela 1 – Risco de queda atribuído com base nas imagens classificadas pela classificação supervisionada.

Risco de queda	Porcentagem de área lesionada identificada pela classificação automática supervisionada
Baixo	Lesões internas abrangendo até 10% da área da seção
Médio	Lesões internas abrangendo de 10 a 30% da área da seção
Alto	Lesões internas abrangendo de 30 a 50% da área da seção
Severo	Lesões internas abrangendo mais de 50% da área da seção

Fonte: Rollo, 2009a.

Com base na união das duas metodologias aplicadas para determinação do risco de queda das árvores, a análise visual e a tomografia de impulso, o diagnóstico dos indivíduos

arbóreos considerou principalmente a imagem tomográfica. Diante disso, árvores que apresentaram pela análise visual uma condição satisfatória e pela tomografia de impulso, um risco de queda atribuído severo, devem continuar nessa faixa, pois de acordo com Rollo, (2009a), as lesões internas das árvores são importantes indicadores de risco de ruptura das mesmas e muitas vezes, não evidenciadas externamente. Dessa forma, essas árvores devem ser colocadas num grupo de alerta, pois caso optada pela retirada, devem ser priorizadas.

Enquanto que, as árvores que pela análise visual foram classificadas como ruins e pela tomografia de impulso, o risco de queda foi médio ou baixo, não devem ter sua classificação aumentada, em virtude de não possuírem lesões internas, diagnosticado pela indiferença da densidade. Estes indivíduos arbóreos merecem atenção principalmente para tratos silviculturais e condução adequados e caso optada pela retirada, este grupo deveria ficar em segundo plano.

3.7 ANÁLISE DOS DADOS

De posse dos dados coletados pela análise visual como circunferência à altura do peito, altura total, altura da primeira bifurcação e declividade, foram construídas tabelas de distribuição de frequência, com intuito de facilitar a interpretação dos resultados. Além disso, foram calculadas as médias, coeficiente de variação e o valor mínimo e máximo observado.

Para os resultados referentes ao risco de queda atribuído pela classificação supervisionada, os dados foram agrupados em uma tabela, contendo também o resultado pela análise visual, com base nos agravantes de cada classe.

Com o objetivo de determinar o padrão de correlações entre as variáveis da análise visual (altura total, altura da primeira bifurcação, circunferência à altura do peito, declividade, epífitas, poda recomendada, sistema radicular) e do risco de queda atribuído pela classificação supervisionada (baixo, médio, alto e severo), realizou-se uma análise exploratória com base na análise fatorial para dados mistos, com auxílio da linguagem de programação estatística R (R Core Team, 2019). O intuito da análise é buscar a redundância entre as variáveis avaliadas, nesse caso, sete, que serão expressas por meio dos eixos e dessa forma, em quais variáveis os eixos estão conectados.

Enquanto que, para a classificação das variáveis explicativas (sistema radicular, epífitas, poda recomendada) em função da variável dependente (altura total), foi utilizada a função da árvore de regressão e classificação, por meio da aplicação do R. O classificador é responsável por mapear as informações levando a um diagnóstico, com base na melhor acurácia encontrada no cruzamento das mesmas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DAS ÁRVORES DE *P. nigra* L.

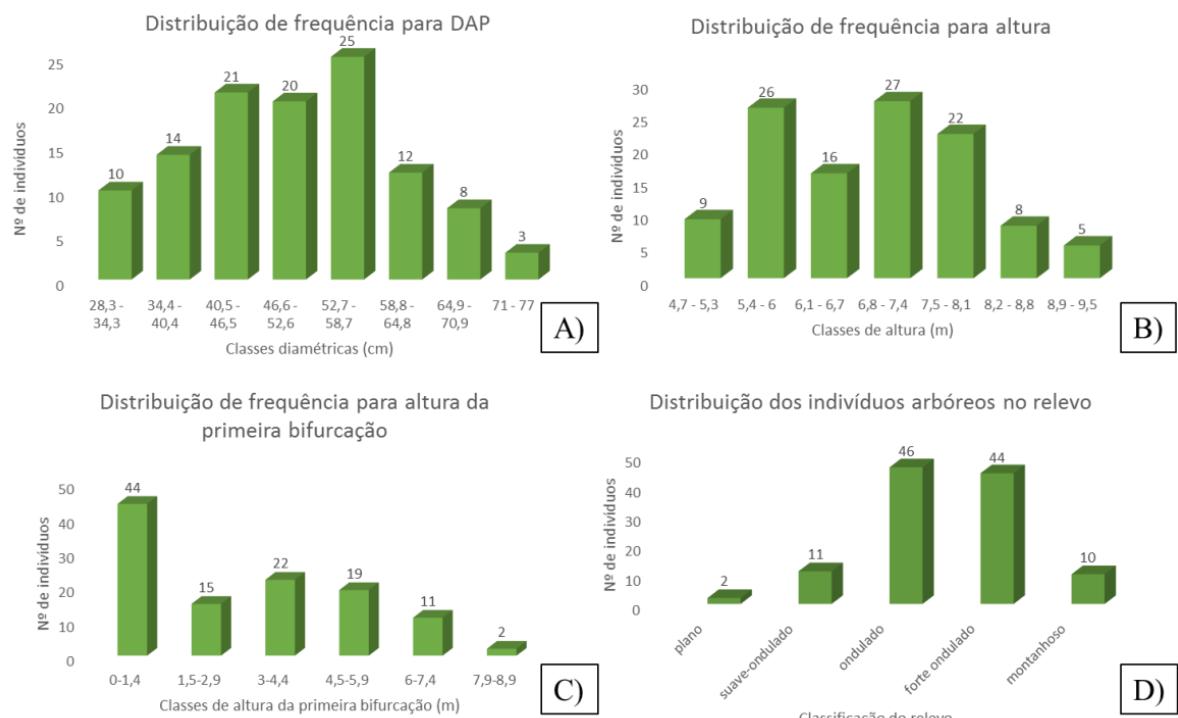
As características dendrométricas dos indivíduos de *Populus nigra* L. (tabela 2), demonstram altura total média de 6,8 m e DAP médio de 49,8 cm, com respectivos coeficientes de variação de 16,18% e 20,68%, que podem ser considerados como médios. No entanto, as variáveis de altura da primeira bifurcação e declividade do terreno apresentaram altos coeficientes de variação, com valores mínimos e máximos entre 0,00 m e 8,3 m para a primeira e entre 1,6% e 72,7% para a segunda. A heterogeneidade entre os indivíduos está demonstrada na figura 12 por meio de gráficos de frequência.

Tabela 2 – Estatística descritiva das características dendrométricas de interesse.

Característica	Média	Coef. de variação	Mínimo	Máximo
Altura total (m)	6,8	16,18	4,7	9,3
Altura 1ª bifurcação (m)	2,7	85,18	0,0	8,3
DAP (cm)	49,8	20,68	28,3	74,5
Declividade (%)	22,9	65,06	1,6	72,7
Total indivíduos	113			

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Figura 12 – Distribuição de frequência das variáveis dendrométricas. A) Diâmetro à altura do peito (DAP). B) Altura. C) Altura da primeira bifurcação. D) Declividade.



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Com base na distribuição de frequência para diâmetro à altura do peito (Figura 12A), verifica-se uma distribuição quase que normal, em que a maior frequência de indivíduos está alocada nas classes centrais. Para as classes de maior diâmetro, são constatados poucos indivíduos, em função de que grande parte das árvores de maior porte e, desse modo, de maior idade, foram suprimidas recentemente pelo órgão público responsável. Acredita-se, que este fato seja decorrente do custo mais elevado de manutenção quando comparado aos indivíduos mais jovens, e ao mesmo tempo, pela prevenção de queda.

O DAP médio das árvores do presente estudo está próximo do que foi encontrado no trabalho de Reis et al. (2009) em um trecho do mesmo rio, 44,9 cm, porém, salienta-se que este estudo foi realizado há pelo menos nove anos atrás e portanto, as árvores já se encontram em avançado estágio de desenvolvimento. Além disso, a avaliação contou com sorteio de transectos, em que as árvores avaliadas podem ser as mesmas ou não. Bobrowski (2016) avaliando a arborização urbana da cidade de Irati-PR, constatou dados para *Populus deltoides* em torno de 33 cm de DAP, diferindo dos resultados obtidos nesse estudo. Alegria (2014) encontrou para *Populus alba* em Castelo Branco, o valor de 13,6 para DAP, valor bem abaixo do deste estudo, mesmo se tratando de um exemplar do mesmo gênero. Cabe ressaltar que em todos os estudos referidos a idade dos exemplares avaliados não está evidente, assim como o presente estudo, em que não foi possível verificar a idade dos indivíduos de *Populus nigra*.

Para distribuição de frequência da variável altura (Figura 12B), verifica-se que não há uma distribuição homogênea e sim aleatória, isso é explicado pela poda drástica recentemente realizada nestas árvores. Esta modalidade de poda não segue um padrão, sendo que em alguns casos, é retirada toda a copa (destopa) e em outros corta-se a bifurcação, alterando o equilíbrio da árvore.

Para a variável altura total média, Reis et al. (2009) obtiveram resultados acima (10,4 m) dos encontrados nesse estudo (6,8 m), que pode ser explicado em razão das podas drásticas que ocorreram recentemente que alteram a conformação da árvore, além de diminuírem sua altura total, resultado da destopa. Enquanto que, Bobrowski (2016) com *P. deltoides* obteve para essa variável, a média de 14,75 m, que foi maior que o dobro do visualizado nesse estudo. De outro lado, Alegria (2014) para *P. alba* visualizou a média de 11 m.

Quando analisada a distribuição de frequência para altura da primeira bifurcação (Figura 12C), nota-se que os indivíduos estão concentrados na primeira classe (0-1,4 m) que não é uma classe ideal, em virtude de ser considerada uma altura baixa. Isso é resultado da grande quantidade de árvores que apresentam uma ou mais bifurcações abaixo de 1,3m. Tal resultado

pode estar correlacionado com as mudas utilizadas no momento da implantação das árvores, que pela falta de manutenção, como a poda de formação, tendem a produzir maior quantidade de bifurcações e ramos baixos por estar num período de elevado desenvolvimento. Esse resultado também é reflexo das podas inadequadas, em que é realizada a destopa, uma vez que o correto seria a retirada dos ramos baixos e sem vigor. Somado à isso, as podas drásticas contribuem para o desequilíbrio da biomassa aérea e raízes, uma vez que estimula a brotação de ramos epicórmicos.

Todavia, como essas árvores estão localizadas a uma boa distância da passagem de pedestres e ciclistas, não apresentam um problema grave, pois não entrarão em conflito com esses elementos. Os demais indivíduos estão bem distribuídos nas demais classes, confirmado pelo coeficiente de variação que obteve um valor alto.

Ainda para a altura média da primeira bifurcação (2,7 m), pode-se dizer que é ideal para arborização urbana, conforme Gonçalvez e Paiva (2013) que citam que a altura da primeira bifurcação deve ficar acima de 1,8 metros, de modo a não atrapalhar pedestres, automóveis e a visibilidade. Diferente desse estudo, Reis et al. (2009) visualizaram a média de 1,7 m para *P. nigra*. Brun (2012), verificou para a espécie *Poincianela pluviosa* var. *peltophoroides* (Benth.) L.P. Queiróz, que 90% dos exemplares apresentaram altura da primeira bifurcação entre 1,10 – 2m, também dentro do estipulado para árvores urbanas. Brazolin (2009) avaliando árvores de *Tipuana tipu* de uma área urbana, encontrou a média de 3,22 m, que para o estudo de caso, não se classificou como ideal, em função de que no local existem fiação elétricas com essa altura e possivelmente haverá conflito futuro.

Em conjunto das características dendrométricas, avaliou-se também a bifurcação, com intuito de verificar se esta apresentava conformação de “U” ou “V”. Todos os indivíduos avaliados que possuíam bifurcação, obtiveram o aspecto de “V”. Na silvicultura urbana, é preferencial que as árvores possuam, ou sejam manejadas para apresentar uma bifurcação em “U”, de modo a obter maior estabilidade, com um sinal de boa condução da muda. Além disso, podas que causem a conformação em “V” contribuem para produção de excessiva de ramos epicórmicos, que caracterizam uma poda agressiva. Essa informação é importante quanto ao risco de queda, árvores que possuam esse modelo de bifurcação, são mais propensas às rachaduras, confirmada na maioria dos casos pela casca inclusa.

De acordo com a distribuição da frequência para declividade (Figura 12D), verifica-se que poucos indivíduos estão em relevo plano (0-3%) e suave-ondulado (3-8%), considerados relevos adequados a um bom desenvolvimento. A maioria dos indivíduos está inserido em relevo ondulado (8-20%) e forte-ondulado (20-45%) e uma quantidade considerável em relevo

montanhoso (45-75%). Relevos acidentados dessa forma são comuns em margens de cursos d'água, tanto pelo caráter do rio, como pela erosão frequente, resultado das enchentes e chuvas intensas. Com base na Lei da Proteção da Vegetação Nativa, estes locais devem conter mata ciliar como forma de proteção, porém, em muitos trechos, isso não é verificado. Junto a isso, são consideradas áreas de risco, junto com áreas no entorno de rios e nascentes, as áreas de solos friáveis e escorregadios e as áreas sujeitas a inundações frequentes (Brasil, 2012).

A declividade média de 22,9% encontrada no trecho avaliado, classifica-se como forte ondulado, de acordo com a classificação da EMBRAPA (1979), porém o coeficiente de variação foi elevado, demonstrando que há indivíduos também nas demais classes de relevo, como no plano (0% a 3%) e no montanhoso (45% a 75%). O desenvolvimento nas classes de relevo ondulado e forte ondulado impacta na forma de crescimento do lenho, que pode estar compensando a inclinação, por meio da madeira de reação, o que pode gerar influência nas imagens tomográficas.

4.2 AVALIAÇÃO DA SANIDADE DAS ÁRVORES

Na tabela 3, que apresenta os resultados encontrados nas avaliações não destrutivas da sanidade das árvores, é possível observar que dos 113 indivíduos avaliados, 49 (43,36%) foram classificados pela tomografia de impulso como de risco severo em função de apresentar mais de 50% da área deteriorada (coloração vermelha); e destes, 45 (91,84%) foram classificados como ruim em função da poda drástica e 4 (8,16%) como satisfatória em função da presença de fungos e com necessidade de uma poda de limpeza, com base na análise visual.

Tabela 3 - Diagnóstico geral das árvores avaliadas com base na análise tomográfica e análise visual.

Número de Árvores	Risco de queda Tomografia de Impulso	Condição geral Análise visual	Agravantes
15	Baixo (até 10%)	Presença de fungos	
		Ruim (15)	Árvore inclinada
			Poda drástica

		Satisfatória (2)	Presença de fungos
	Médio (11-30%)		
32		Ruim (30)	Afloramento de raízes
			Poda drástica
			Árvore inclinada
	Alto (31-50%)		Árvore inclinada
17		Ruim (17)	Sinuosidade
			Poda drástica
		Satisfatória (4)	Presença de fungos
	Severo (maior que 50%)		Poda drástica
49		Ruim (45)	Árvore inclinada
			Sinuosidade
			Cavidade na base da árvore

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Nas demais classes de risco de queda da avaliação tomográfica (alto, médio e baixo), observa-se que, muitas vezes, não reflete o que se percebe visualmente, tendo em vista que este último, é realizado com certo grau de subjetividade, a exemplo da classe com baixo risco de queda (menos de 10% da área deteriorada), que na visual, todos os indivíduos foram classificados como ruins em função da presença de fungos, necessidade de uma poda de limpeza, inclinação e poda drástica nos ramos.

Resultados semelhantes foram encontrados no trabalho de Rollo, (2009a), que estudou árvores de *Tipuana tipu*, pela análise visual, grande parte dos indivíduos encontrava-se no risco de queda médio (51,28%) e alto (20,51%), em função das características analisadas

visualmente, como apodrecimento, inclinação, entre outros. No entanto, o autor afirma que, este resultado é resposta do modo como foram escolhidas as árvores para o estudo, em que, foram priorizadas aquelas que continham alguma injúria visível. Em contrapartida, para os resultados da classificação supervisionada, o autor encontrou maior quantidade de indivíduos nas classes de risco de queda baixo (50%) e médio (23,68%), porém, esse risco de queda foi aumentado, levando em consideração as características referentes à análise visual.

Assim, verifica-se que, muitas vezes, os fatores considerados como agravantes acabam por não colocar o indivíduo em situação de risco de queda, seja pelas características e tolerância da espécie, da extensão ao longo do fuste, galhos e folhas, ou ainda pelo tempo em que o fator está presente no indivíduo.

4.2.1 Fatores agravantes da análise visual das árvores

4.2.1.1 Agravantes médios

a) Presença de fungos: foram encontrados vestígios do fungo do gênero *Septoria* spp. nas folhas de todas as árvores avaliadas (Figuras 13 e 14). Este gênero teve ocorrência severa em plantações de *Populus deltoides* no Paraná, a qual foi verificada desde o viveiro até os plantios adultos (Santos et al., 2010). Conforme Mio e Amorim (2000), o organismo *Septoria musiva* é considerado pioneiro, em que, posteriormente *Fusarium solani*, *Cytospora chrysosperma*, *Phomopsis macrospora* e *Botryodiplodia theobromae*, podem vir a se instalar, de forma secundária na sucessão ecológica podendo causar a mortalidade da planta, isolada ou coletivamente. Estes cancros são mais severos em solos pobres e sob condições ambientais de estresse. A mancha foliar causada pelo organismo *Septoria populi* pode reduzir o crescimento das plantas pela queda prematura de folhas.

Avaliando sua relação com a imagem tomográfica, essa modalidade de agravante não apresentou diferenciação na imagem, pois se classifica como superficial. A localização da instalação desses esporos é, de forma mais evidente, na folha, portanto, na imagem tomográfica não haverá a identificação precisa dos fungos. Para que aconteça alteração da imagem tomográfica, é necessário que fungos biodeterioradores se instalem e danifiquem o lenho, gerando ocos e alteração da densidade da madeira.

Figura 13 – Folhas da espécie *Populus nigra*. A) Folhas com aspecto saudável. B) e C) Folhas contendo esporos do fungo *Septoria* sp.



Fonte: a autora, 2018.

Figura 14 – Presença de esporos do fungo *Septoria* sp. em folhas da espécie *Populus nigra*.



Fonte: a autora, 2018.

4.2.1.2 Agravantes críticos

a) Inclinação: a inclinação média de 22,9% classificou o terreno como forte ondulado e isso pode ter como consequência a inclinação da árvore, a dificuldade de enraizamento, a morte e a senescência da árvore. Muitos exemplares apresentaram a condição da inclinação (Figura 15), pelo fato de gerar o lenho de reação, que no caso do *Populus nigra* (folhosa), é conhecido como lenho de tração. Geralmente, esta categoria de lenho é formada em resposta a um estresse mecânico e auxilia a planta a voltar a posição ereta (Mattheck; Bethge, 1998). Quando acontece esse tipo de lenho, podem ocorrer mudanças nas propriedades físicas, químicas e mecânicas

dessa madeira, o que também pode interferir na imagem tomográfica, que se baseia na densidade.

Muitas vezes, a árvore com fuste inclinado, já está ancorada e com as forças equilibradas pelo lenho de reação, não apresentando risco de queda ou ruptura. Porém, a inclinação da árvore em conjunto com outros agravantes é um sinal de alerta para um elevado risco de queda. Albers et al. (2003) alertam que apenas devem ser suprimidas aquelas árvores em que a inclinação ultrapassa os 40°, mas destaca, que esta situação é válida somente quando se evidencia este agravante de forma isolada.

A dificuldade de enraizamento por consequência do relevo acidentado também é um fator importante, que pode levar à inclinação da árvore, em função da ineficiência da sustentação, quando as raízes não conseguem se desenvolver corretamente afetando o equilíbrio do indivíduo arbóreo.

Figura 15 – Árvores da espécie *Populus nigra* às margens do rio Carahá em Lages/SC apresentando inclinação do tronco.



Fonte: a autora, 2018.

b) Poda drástica (Figura 16): esta foi a característica mais observada em todos os indivíduos, causando preocupação, pois pode gerar muitos danos futuros, como exemplo da exposição do cerne a agentes xilófagos, resultado da dificuldade de cicatrização do indivíduo arbóreo, alteração do equilíbrio do tronco e galhos, causando inclinação, entre outros. A poda, quando realizada da forma adequada, expõe tecidos internos, ativa mecanismos metabólicos para impedir a contaminação por agentes patogênicos como fungos, bactérias e insetos causadores da degradação desses tecidos, de modo a induzir que o indivíduo arbóreo sofra a cicatrização e prossiga o desenvolvimento normal e saudável (São Paulo, 2015). Porém, quando

realizada a “mutilação” da árvore com base em podas drásticas e danosas, como é o caso das árvores do presente estudo, não fornecem chances para a mesma se recuperar, ocasionando um foco de incidência de patógenos. Além disso, podas desta natureza configuram crime ambiental, conforme o Art. 49 da Lei de Crimes Ambientais nº 9.605 (Brasil, 1998).

Velasco (2003) afirma que as podas mal executadas além de causarem danos a planta que sofre mutilação, altera também a estabilidade, o que pode causar o tombamento sobre casas, fiações e automóveis. A autora afirma que esta categoria de poda é a maior causa de perda de árvores urbanas, verificado pelo alto número de exemplares que morrem após tal operação.

A estética é outro fator importante referente a poda. O valor decorativo de uma árvore em seu estado natural, é maior do que após a prática da poda, no entanto, nas cidades é comum encontrar troncos mutilados e totalmente diferentes ao seu comportamento natural, retirando seu poder ornamental (Soares, 1998). Esta situação é evidenciada nas árvores plantadas às margens do Rio Carahá, principalmente entre os meses de agosto a setembro de cada ano, o que deixa a população perplexa pelo estado geral dos indivíduos após a operação.

Figura 16 – Exemplos de poda drástica encontrados nas árvores de *Populus nigra*. A) Retirada total de uma bifurcação. B) Retirada de grande parte da copa, além de retirada da casca na porção inferior.

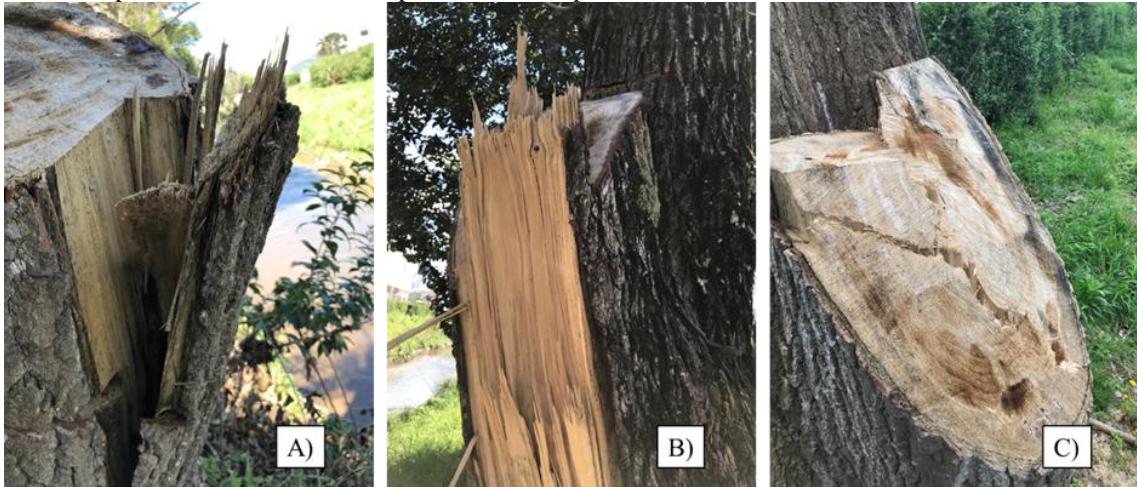


Fonte: a autora, 2018.

Outra característica importante quanto às podas severas realizadas na cidade, é que estas, prejudicam também a casca da árvore, que é um tecido importante de proteção contra entrada de patógenos (Figura 17). Os danos causados pela falta dessa proteção, acabam gerando ao indivíduo arbóreo maior vulnerabilidade para doenças, tanto pela inexistência de barreira física quanto pela produção de substâncias químicas que atuam como repelentes, assim como, pela falta de proteção quanto a perda de água pela evaporação e das oscilações de temperatura

durante o dia. Segundo a norma que regulamenta a poda, NBR 16246-1 (ABNT, 2013), devem ser utilizados equipamentos e práticas de manejo em que o tecido vivo e a casca não sofram dano, porém nesse caso, verifica-se totalmente o contrário.

Figura 17 – Retirada de partes da casca durante a poda. A) e B) Retirada da bifurcação e casca da árvore. C) Sinais de umidade, apodrecimento e rachadura provenientes da poda.



Fonte: a autora, 2018.

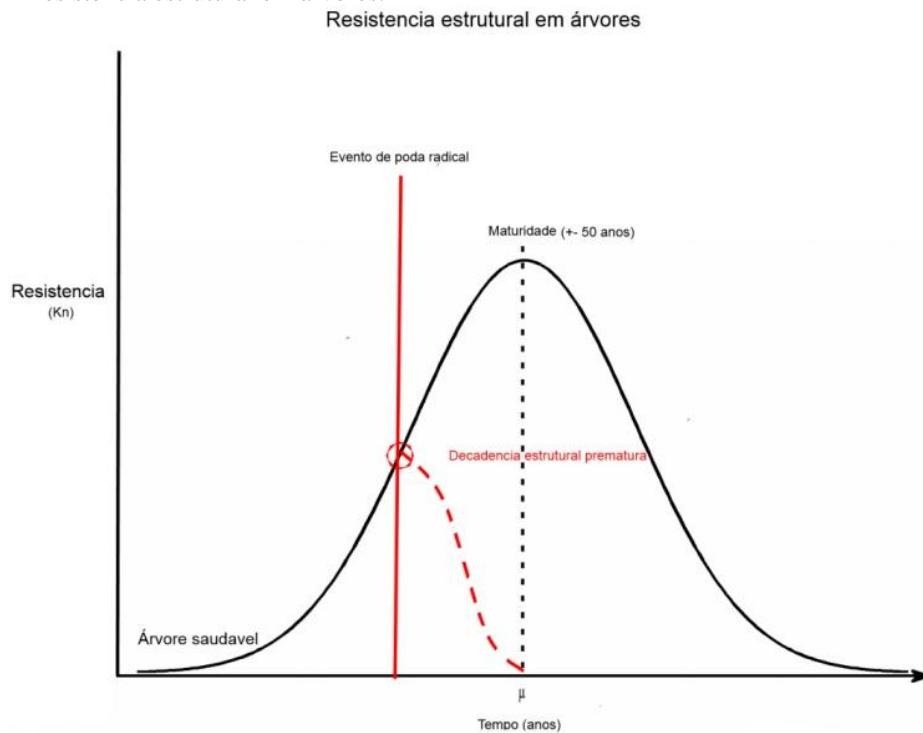
A fenologia da espécie é mais um fator que deve ser respeitado durante a poda. Brun et al. (2007) avaliaram o comportamento fenológico e o efeito da poda em algumas espécies da arborização urbana e visualizaram grande interação entre estas variáveis. O que demonstrou susceptibilidade da espécie a estresses fisiológicos oriundos da prática da poda, tornando as árvores extremamente vulneráveis ao ataque de fungos, como *Oidium* sp.

Para a espécie *Populus nigra*, Oliveira (2017) avaliou as árvores do *campus* da Universidade do Minho em Portugal, em que os exemplares apresentavam sinais claros de deterioração em virtude de uma poda drástica realizada em 2011. O autor enfatizou que a não cicatrização do tronco é referente as características morfológicas da madeira da espécie, pois é considerada uma madeira de baixa densidade, atrelada a uma tensão de ruptura considerada “fraca” e “leve”. Além disso, complementa que a espécie não tem aptidão física para utilização em silvicultura urbana. Os exemplares no *campus* apresentaram comportamento totalmente oposto de um estado saudável e cuidados com as técnicas adequadas, dessa forma, recomendou o corte imediato, por consequência da podridão avançada encontrada.

De acordo com Oliveira (2017), na figura 18, é demonstrada a resistência estrutural em árvores, que no caso de árvores saudáveis, tende a um comportamento normal, em que inicialmente com recursos em abundância cresce exponencialmente e desenvolve sua resistência. Posteriormente, atinge a sua máxima na maturidade (mais ou menos 50 anos) e

decaí até entrar na senescência. No entanto, quando a árvore sofre por evento de uma poda radical no início de seu período de pleno desenvolvimento, acontece uma decadência estrutural prematura, o que impacta totalmente no seu ciclo, alterando seu tempo de vida.

Figura 18 – Resistência estrutural em árvores.

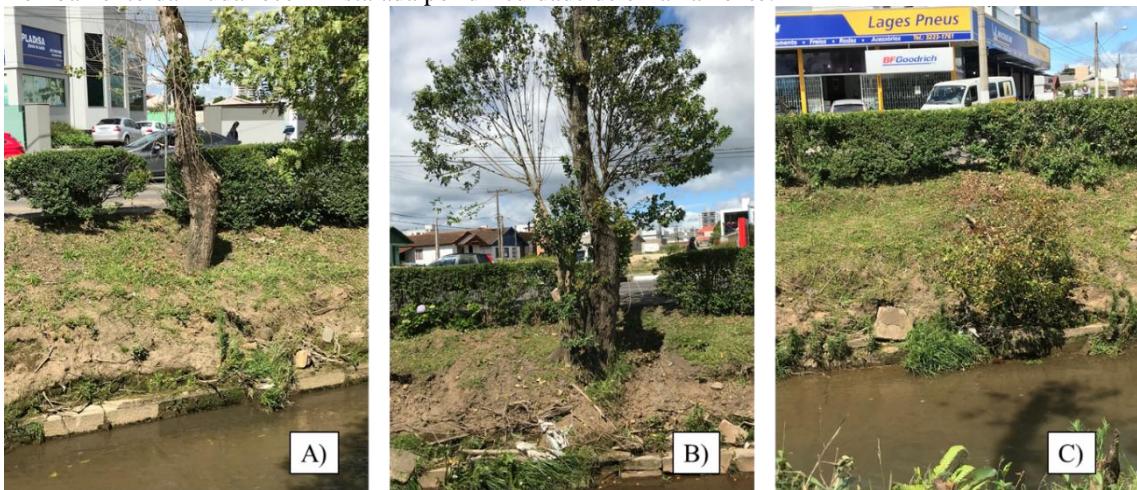


Fonte: Oliveira, 2017.

c) Afloramento das raízes (Figura 19): em árvores urbanas, é muito comum encontrar este agravante, sendo explicado pela falta de área permeável para as raízes, de modo que, se obtiver grande área permeável, a raiz investirá no crescimento em direção ao solo, onde buscará por água, nutrientes e espaço para seu desenvolvimento, caso contrário, pode prejudicar calçadas (Barbedo, et al., 2005).

No caso deste estudo, como as árvores se encontram numa maior área livre disponível, o afloramento de raízes está conectado também ao local declivoso e consequente a erosão do solo, de modo que há a retirada de solo, tornando a raiz exposta. Diante disso, a falta de área livre disponível em conjunto com a erosão do solo necessário, ambos fatores importantes para o bom desenvolvimento, acarretam na perda de equilíbrio e sustentação da árvore, tornando-se outro indício importante que contribui tanto para inclinação, como, de forma mais severa, para o risco de queda.

Figura 19 – Problemas decorrentes da compactação do solo e erosão. A) e B) Afloramento de raízes. C) Tombamento da muda recém instalada por dificuldade de enraizamento.



Fonte: a autora, 2018.

d) Sinuosidade (Figura 20): é também condicionado pelas características que influenciam a inclinação do tronco, principalmente pelo solo declivoso e a presença de ventos, causando assim, uma madeira de reação, que age desta forma para compensar o esforço.

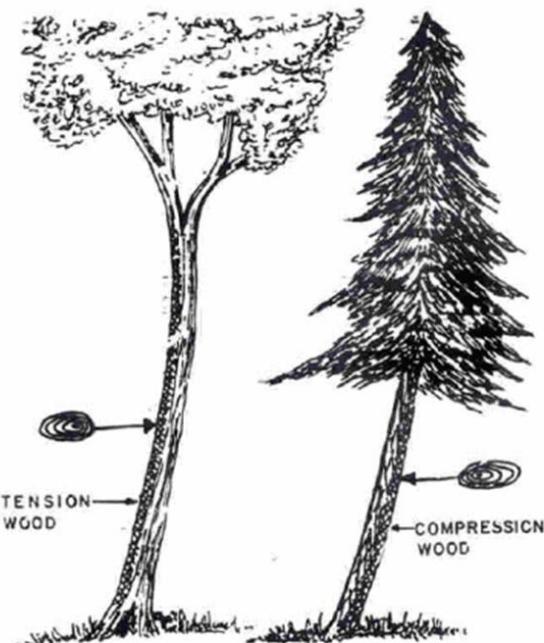
Figura 20 – Árvores da espécie *Populus nigra* às margens do rio Carahá com sinuosidade no tronco.



Fonte: a autora, 2018.

A madeira de reação é uma resposta da árvore à estímulos mecânicos, como exemplo do relevo, assim como da gravidade e em que são visualizadas alterações do estado fisiológico do câmbio, modificando as concentrações de substâncias de crescimento (Sousa, 2004). Para as espécies folhosas (*P. nigra*) verifica-se o lenho de tração (Figura 21), o qual é formado no lado superior dos ramos e troncos tortuosos que resulta numa contração que puxa a árvore inclinada para posição ereta (Mattheck; Kubler, 1995).

Figura 21 – Madeira de reação, para folhosas: madeira de tração e para coníferas: madeira de compressão.



Fonte: Bowyer et al., 2007.

e) Cavidade na base da árvore (Figura 22): indica deterioração da madeira, com possíveis danos nas funções fisiológicas e mecânicas da árvore. Todas as árvores que apresentaram esse agravante, foram de forma expressiva, ou seja, cavidades tomado de 30-40% do tronco, o que atribui um maior risco de queda futuro. As podas equivocadas, os fungos de podridão branca, cupins de madeira seca, quebra de galhos da copa, são alguns fatores que podem atuar na formação de cavidades, pela dificuldade de cicatrização do tecido. O principal reflexo disso, são as rachaduras, pela perda de estabilidade e risco de ruptura do lenho sadio remanescente.

Figura 22 – Cavidade na base da árvore da espécie *Populus nigra*.



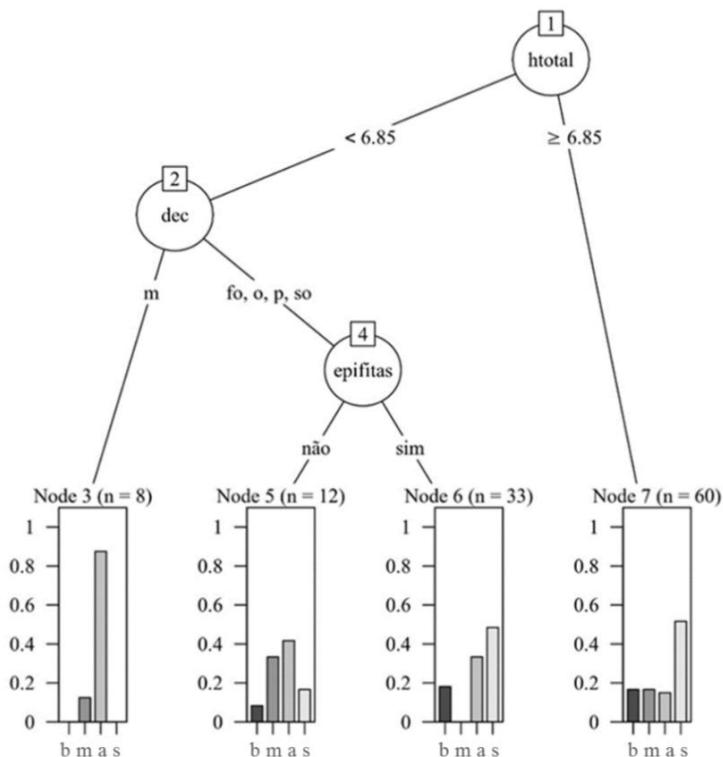
Fonte: a autora, 2018.

4.3 ÁRVORE DE CLASSIFICAÇÃO

A árvore de classificação, apresentada na figura 23, demonstra as correlações entre as variáveis obtidas na classificação visual e o risco de queda pela tomografia de impulso. Observa-se que, a variável altura total foi a que mais se associou com o resultado da classificação supervisionada, tendo em vista que dos 113 indivíduos arbóreos avaliados, 60 foram enquadrados nas classes em função de ter uma altura total maior que 6,85 m, sendo 30 (50%) em severo, 8 (14%) em alto, 11 (18%) em médio e 11 (18%) em baixo.

A variável altura apresentou correlação no resultado em função das constantes podas drásticas que são comuns nas árvores da cidade, as quais alteram a conformação dos indivíduos arbóreos e além disso, impactam sobre a incidência de pragas e doenças. A falta de cicatrização dos tecidos após a poda drástica, torna a árvore vulnerável ao ataque de patógenos, o que irá refletir na definição do risco de queda atribuído pela classificação supervisionada (imagem tomográfica), uma vez que se baseia nas regiões de menor velocidade de propagação de ondas, causadas pelo conjunto de agravantes citados.

Figura 23 – Árvore de classificação para as variáveis obtidas pela análise visual e tomografia de impulso.



Em que: htotal = altura total; dec = declividade, m = montanhoso, fo = forte ondulado, o = ondulado, p = plano, so = suave ondulado; b = risco de queda baixo, m = médio, a = alto, s = severo.

Fonte: elaborada pela autora, 2018.

De outro lado, árvores com altura total menor que 6,85 metros foram ramificadas para outra característica, a declividade, em que, árvores com declividade classificada como montanhosa (8), apresentaram maior quantidade de indivíduos com de risco alto de queda alto (7 indivíduos, 87,5%) e somente um indivíduo com risco de queda médio. Isso pode ser explicado pela existência de lenho de reação nas árvores, pois o relevo montanhoso contribui para o desenvolvimento diferenciado e dessa forma, interferindo também na imagem tomográfica, que se baseia na densidade da madeira, que é alterada em crescimento sob lenho de reação.

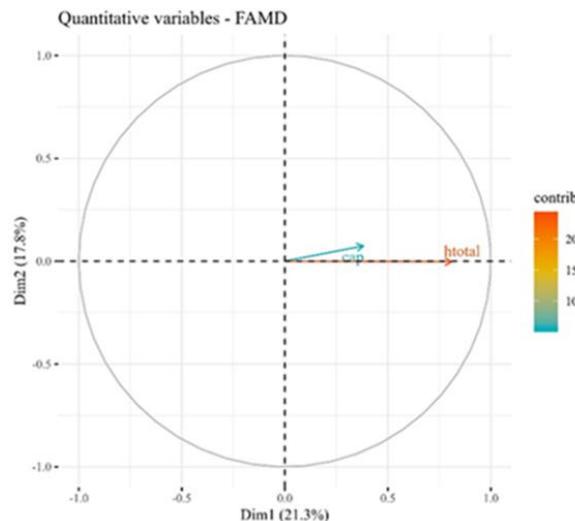
Em contrapartida, árvores classificadas nas demais classes de relevo (plano, suave ondulado, ondulado e forte ondulado), obtiveram outra ramificação, a presença ou não de epífitas em que a sua ausência, resultou num risco de queda mais distribuído entre médio e alto. Para a presença de epífitas, o risco ficou concentrado nas classes de maior perigo: alto e severo risco de queda. Na avaliação visual, foram classificadas como epífitas, os musgos, liquens, samambaias, figueiras, cactáceas e trepadeiras e a ocorrência desses exemplares não gera prejuízos à árvore. A presença de epífitas está associada a elevada umidade no tronco das árvores, e isto também pode influenciar na imagem tomográfica. De acordo com Latorraca et al. (2011), áreas de menor velocidade de propagação de onda, são também áreas de maior umidade na madeira, enquanto que áreas de maior velocidade de propagação de onda, apresentam menor umidade. Além disso, árvores menos vigorosas são mais suscetíveis à alocação de epífitas.

Juntamente com os dados referentes as epífitas, foram computados nessa classe, a presença da planta daninha popularmente conhecida como erva-de-passarinho, que é um hemiparasita. Nesse caso, o parasita emite raízes especiais, os haustórios, que são responsáveis pela retirada da seiva, o que causa prejuízo à árvore, como a degeneração, resultado da redução do vigor e da produção de frutos e sementes, mau funcionamento dos tecidos lenhosos, morte do ápice, predisposição ao ataque de insetos e doenças e morte prematura (Cazetta; Galletti, 2003). Com base na falta de vigor dessas árvores, qualquer praga ou doença que a ataque, pode facilmente causar sua morte. Além disso, tornando-as mais predispostas tanto ao ataque por insetos e susceptíveis a estresses ambientais, como a seca. Portanto, a presença de erva-de-passarinho interfere de maneira significativa na sanidade das árvores.

4.4 ANÁLISE FATORIAL PARA DADOS MISTOS

Na análise factorial para dados mistos, figura 24, é possível observar por meio das variáveis qualitativas coletadas pela análise visual, que a altura e o DAP refletem 39,1% das causas que levaram ao enquadramento nas classes de risco de queda gerado pela tomografia de impulso, entretanto, deste total, a altura reflete 43,95%.

Figura 24 – Variáveis quantitativas explicativas em função das variáveis qualitativas.



Em que: htotal = altura total; cap = circunferência altura do peito.

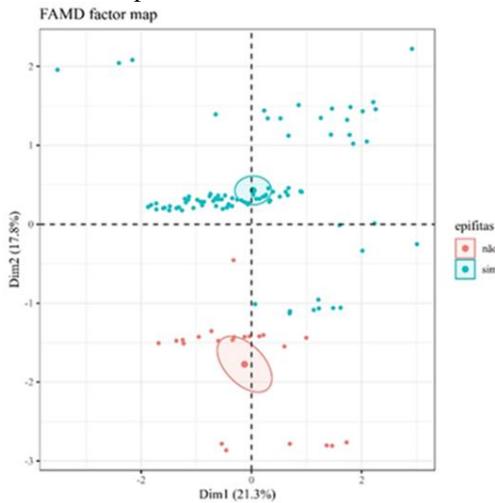
Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Pela união dos dois primeiros eixos (1 e 2), verifica-se a sintetização de 39,1% (21,3% eixo 1 e 17,8% eixo 2). Normalmente, trabalhando com essa modalidade de análise, não há a explicação de todos os dados e, o eixo 1, fundamentalmente, explica a maior quantidade de dados. Para o eixo 2, as variáveis discretas foram epífitas (48,77%), sistema radicular (25,07%) e poda recomendada (14,69%).

A figura 25, demonstra a relação da variável discreta (epífita) com a variável contínua (altura), em que à esquerda do eixo y estão alocados os indivíduos de menores alturas (menor porte) e à direita do eixo y, aqueles de maiores alturas (maior porte). Dessa forma, pressupõe-se que, tanto árvores de porte mais elevado quanto aquelas de menor porte, apresentam epífitas, não demonstrando uma relação, ou seja, são variáveis totalmente independentes. Como já mencionado, as árvores sofrem constantemente podas, que alteram a altura e conformação da árvore, o que mascara os resultados referentes a idade da árvore, pois espera-se que árvores de

maior porte e consequentemente maior idade, possuam maior quantidade de elementos como epífitas, quando comparadas com árvores menores.

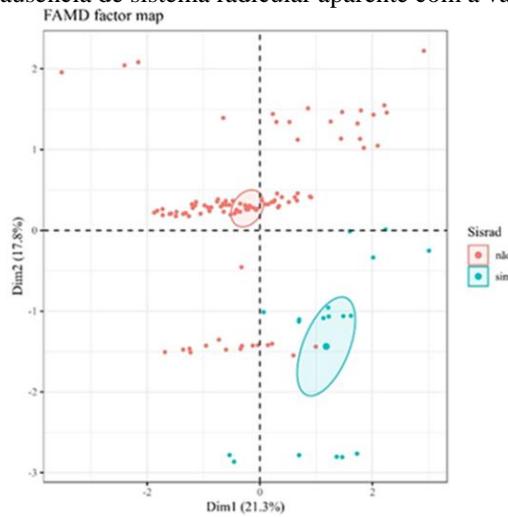
Figura 25 – Relação da presença ou ausência de epífitas com a variável altura.



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Para o sistema radicular, na figura 26, verifica-se que árvores com porte menor, não apresentaram problemas quanto ao sistema radicular aparente, isto ocasionará problemas em árvores com porte mais elevado. Esse resultado é reflexo do desenvolvimento da árvore, que necessita de maior quantidade de raízes para suporte da mesma e sobrevivência, com base na busca por água e nutrientes. Como há falta de solo disponível em função da erosão (resultado de chuvas severas e enchentes recorrentes), há o afloramento de raízes.

Figura 26 – Relação da presença ou ausência de sistema radicular aparente com a variável altura.



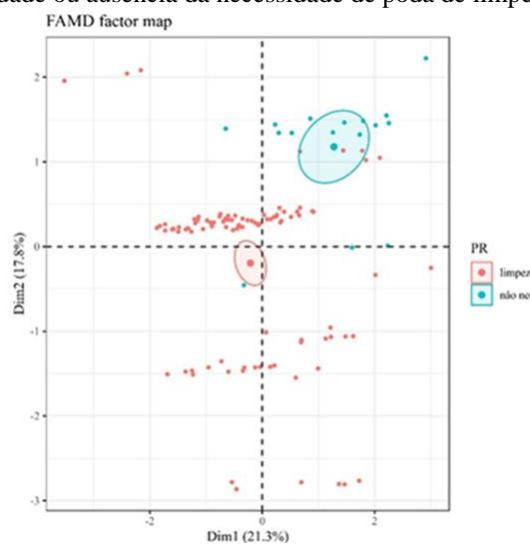
Em que: sisrad = sistema radicular aparente.

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Na figura 27, para a variável de poda recomendada, as árvores de maior porte apresentaram tanto a necessidade de poda de limpeza como dispensaram essa prática de manejo.

Em contrapartida, as árvores de menor porte, apresentaram de forma mais expressiva a necessidade de poda de limpeza. Essa inexistência de relação entre a altura total da árvore e a poda recomendada, também está atrelada às podas drásticas praticadas na cidade, pois algumas árvores mesmo após a realização dessa prática de manejo, principalmente a destopa, continuam com ramos senis, mortos ou doentes, que inviabilizam o crescimento adequado da árvore. De outro lado, as árvores que não foram podadas drasticamente, podem apresentar um porte maior, necessitando de uma poda de limpeza.

Figura 27 – Relação da necessidade ou ausência da necessidade de poda de limpeza com a variável altura.



Em que: PR = poda recomendada.

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

5 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos por meio do emprego de duas técnicas não destrutivas para avaliação da sanidade em árvores da espécie *Populus nigra*, plantadas às margens do rio Carahá em Lages/SC, é possível concluir que:

- Das 113 árvores avaliadas nesse estudo, pela análise visual, 107 apresentaram a condição ruim, consequência da poda drástica comumente praticada e da presença de fungos, necessidade de poda de limpeza, cavidade na base da árvore, entre outros agravantes e, as demais (6) se classificaram como condição geral boa;
- Pela análise tomográfica, com auxílio da classificação supervisionada, 15 árvores apresentaram o risco de queda baixo, 32 o risco médio, 17 o risco alto e as 49 restantes o risco de queda severo;
- Das informações coletadas pela análise visual, a que obteve maior influência sobre as demais foi a altura total e está estreitamente ligada a poda drástica (destopa), que foi um fator bastante recorrente nas árvores, este interfere nas demais características, comprometendo a sanidade das árvores, tornando-a vulnerável para ataque de fitopatógenos e maximizando o risco de queda futuro;
- De acordo com a sanidade avaliada nas árvores, devem ser retiradas primeiramente, aquelas que, pela análise visual apresentaram a condição geral ruim e que foram confirmadas pela tomografia de impulso, classificadas como risco de queda severo e alto, pois apresentam tanto danos internos assim como externos;
- As demais árvores classificadas como condição geral ruim, no entanto, pela tomografia de impulso, um risco de queda baixo ou médio, devem ser mantidas num primeiro momento, utilizando de tratos silviculturais que visem a melhora da sanidade das mesmas, priorizando o grupo mencionado anteriormente e futuramente, derrubadas de forma gradual, para evitar um local sem a presença de árvores e de seus benefícios fornecidos;
- As árvores que no futuro irão compor a margem desse importante rio urbano, caso optada pela retirada dos exemplares presentes, devem receber tratos silviculturais adequados, enfatizando a poda, que deve obedecer a época do ano, as condições de desenvolvimento da árvore, a retirada de ramos doentes que podem comprometer o vigor e a prática da destopa deve ser descartada, em virtude das consequências geradas, como verificado nesse trabalho;
- A avaliação pela tomografia de impulso em conjunto com a análise visual se caracterizou em uma avaliação mais segura e completa quanto ao risco de queda das árvores, de acordo com as

características referentes a qualidade externa e interna da mesma, com base nos problemas fitossanitários e mecânicos;

- Os dois métodos empregados não devem ser utilizados individualmente, uma vez que os resultados obtidos tendem a ser duvidosos no diagnóstico do risco de queda, em casos em que apenas um método é tomado como referência, pois desconsideram a totalidade de informações tanto do indivíduo arbóreo interna e externamente como do meio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERS, J. S.; POKORNY, D. D.; JOHNSON, G. R. How to detect and assess hazardous defects in trees. In: POKORNY, J. D (Org.). **Urban tree risk management: a community guide to program design and implementation.** St. Paul: USDA. p. 41-116, 2003.
- ALEGRIA, C. M. M. Espaços verdes urbanos e floresta urbana: um caso de estudo para a cidade de Castelo Branco. **Agroforum: Revista da Escola Superior Agrária de Castelo Branco**, v. 22, n. 33, p. 23-38, 2014.
- ALENCAR, L.S; SOUTO P.C.; MOREIRA, F.T.A.; SOUTO, J.S.; BORGES, C.H.A. Inventário quali-quantitativo da arborização urbana em São João do Rio do Peixe – PB. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v.10, n.2, p.117-124, 2014.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMODEI, J. B.; OLIVEIRA, B. R. U.; GURGEL, M. M.; CARVALHO, A. M.; MEDEIROS, R. A.; & LATORRACA, J. V. F. Avaliação preliminar da qualidade da madeira de *Tectona grandis* L. f. através da tomografia de impulso. **Floresta e Ambiente**, v. 17, n. 2, p. 124-128, 2010.
- ARAÚJO, M. N.; ARAÚJO, A. J. **Arborização Urbana: Série de cadernos técnicos**. Agenda Parlamentar do Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Paraná, Paraná, CREA-PR. p. 40, 2011.
- ARENS, P., COOPS, H., JANSEN, J., VOSMAN, B. Molecular genetic analysis of black poplar (*Populus nigra* L.) along Dutch rivers. **Molecular Ecology**, 7: p. 11–18, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16246-1** – Florestas urbanas – Manejo de árvores, arbustos e outras plantas lenhosas. Parte 1: Poda. 2013.
- BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores Cultivadas no sul do Brasil: Guia de Identificação e Interesse Paisagístico das Principais Espécies Exóticas**. Porto Alegre: Palotti.V. 1 p. 204, 2004.
- BALDANZI, G. A introdução do gênero *Populus* no Paraná. **Floresta**, v. 5, n. 1, p.6, 1974.
- BARBEDO, A. S. C.; BIANCHI, C. G.; KELLER, L. R.; ORTEGA, M. G.; ORTEGA, S. E. H. **Manual técnico de arborização urbana**. 2.ed. São Paulo-SP. 2005.

BOBROWSKI, R. Problemas e distinções entre métodos de avaliação da condição geral de árvores urbanas. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 11, n. 2, p. 1-11, 2016.

BONAMETTI, J. H. Arborização urbana. **Curitiba: Terra e Cultura**, n. 36, p. 62-73, 2001.

BOYCE, J. S. **Forest pathology**, NY: McGraw-Hill, p.572, 1961.

BOWYER, J. L. et al. [Sem título].[2007]. 1 fotografia. Disponível em:
<http://estruturasdemadeira.blogspot.com/2011/01/tensoes-de-crescimento-em-coniferas-e.html> Acesso em: 03 março 2019.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: **Senado Federal: Centro Gráfico**, 292 p., 1988.

BRASIL. Lei Federal Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Lei de Proteção da Vegetação Nativa. **Diário oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2012.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Lei dos Crimes Ambientais. **Diário oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 1998.

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**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. f.265, 2009.

BRAZOLIN, S.; AMARAL, R.D.A.; TOMAZELLO-FILHO, M. Ocorrência de organismos xilófagos em árvores de Tipuana tipu (Benth.) Kuntze da cidade de São Paulo, SP. In: **SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**, 4, Piracicaba, 2006. Anais... Piracicaba, 2006. CD-room. (resumo expandido).

BRUN, F. G. K **Avaliação do potencial de estoque de carbono por Sibipiruna (*Poincianella pluviosa* (Benth) L. P. Queiróz) na arborização viária de Maringá - PR**. 165 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2012.

BRUN, F. G. K.; LONGHI, S. J., BRUN, E. J., FREITAG, A. S., & SCHUMACHER, M. V. Comportamento fenológico e efeito da poda em algumas espécies empregadas na arborização do bairro Camobi–Santa Maria, RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 2, n. 1, p. 44-63, 2007.

BUCUR, V. **Acoustics of wood.** Springer Science & Business Media, 2006.

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, J. A. de; NUCCI, J. C.; VALASKI, S. Inventário das árvores presentes na arborização de calçadas da porção central do bairro santa felicidade– Curitiba/PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba-PR, v.5, n.1, p.126-143, 2010.

CASTRO, V. R. de; TOMAZELLO FILHO, M.; ARIZAPANA, M. A.; CASTRO SILVA, J. de; SILVA FILHO, D. F. da, POLIZEL, J. L., & BELINI, U. L. Avaliação do Perfil Radial do Lenho de Árvores de Teca (*Tectona grandis* L.f.) Através da Tomografia de Impulso, **Floresta e Ambiente** 2011 abr./jun.; 18(2):p. 144-152, 2011.

CAVALHEIRO, F.; DEL PICCHIA, P. C. D. Áreas verdes: conceitos, objetivos e diretrizes para o planejamento. **Encontro Nacional sobre Arborização Urbana**, v. 4, p. 29-38, 1992.

CAZETTA, E.; GALETTI, M. Ecologia das ervas-de-passarinho. Ciência Hoje, São Paulo,v.3, n. 94, p.72 - 74, 2003.

CEMIG - COMPANHIA ELÉTRICA DE MINAS GERAIS. Manual de Arborização. **Fundação Bioversitas**. Belo Horizonte, Minas Gerais, 112 p, 2011.

CSENCSICS, D., ANGELONEA, S., PANIGA, M., ROTACH, P., RUDOW, A., SABIOTEB, E., SCHWAB, P., WOHLHAUSER, P., HOLDERECKER, R. A large scale survey of *Populus nigra* presence and genetic introgression from non native poplars in Switzerland based on molecular identification. **Journal for Nature Conservation**, 17(3): p. 142–149, 2009.

DAMASCENO JUNIOR, G. A. SEMIR, J., SANTOS, F. A. M. D., & LEITÃO-FILHO, H. D. F. Tree mortality in a riparian forest at Rio Paraguai, Pantanal, Brazil, after an extreme flooding. **Acta Botanica Brasílica**, v.18, p.839-846, 2004.

DE BETIO, V. S. **Utilização da tomografia de impulso na determinação da sanidade de árvores às margens do rio Carahá.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, f. 32, 2017.

DE PAULA, M. H.; MESQUITA, R. R. S. de; GONÇALEZ, J. C.; RIBEIRO, E. S.; SOUZA, R. S. Utilização de métodos não destrutivos para caracterização simplificada da madeira de cumaru (*Dipteryx odorata* Willd). **Biodiversidade**, v. 15, n. 2, p. 136-149, 2016.

EATON, R.A.; HALE, M.D.C. **Wood: decay, pests and protection**. Chapman and Hall Ltd, p. 556, 1993.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAAGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea) 83p., 1979.

ESTADO DE SANTA CATARINA, SDS – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. Recursos Hídricos de Santa Catarina. 2014. Disponível em: <www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/...hidrograficas/bacias_hidrograficas_sc.docx> Acesso em: 20 março 2018.

FAKES, J. **Review of tree hazard appraisal reports**. Hyde Park - North and South. Sydney: City of Sydney. 2005.

FEIO, A. O.; LOURENÇO, P. B. Possibilidades e aplicações de ensaios não destrutivos. **Encontro sobre a madeira e suas aplicações nobres: Bem utilizar a madeira, Lisboa, Portugal**, p.24, 22 nov. 2005. Disponível em: <[https://repositorium.sduum.uminho.pt/bitstream/1822/4894/1/Feio_Lourenco_CN\(CE\)_2005.pdf](https://repositorium.sduum.uminho.pt/bitstream/1822/4894/1/Feio_Lourenco_CN(CE)_2005.pdf)> Acesso em: 20. Ago. 2018.

FERREIRA, D. A. C.; DIAS, H. C. T. Situação atual da mata ciliar do ribeirão São Bartolomeu em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p.617-623, 2004.

FILIZOLA, B. de C.; SAMPAIO, M. B. Boas Práticas de Manejo para o Extrativismo Sustentável de Cascas. Brasília: **Instituto**, 112 f. 2015.

FLORA DA ALEMANHA, AÚSTRIA E SUIÇA. **[Populus nigra]**. [2007]. 1 fotografia. Disponível em: <http://biolib.mpiipz.mpg.de/thome/band2/tafel_020.html> Acesso em: 12 set. 2018.

FNPF - **Federação Nacional das Associações de Proprietários Florestais**, Acesso em 10 maio 2018. Disponível em: https://jb.utad.pt/especie/Populus_nigra

FOELKEL, C. E. B.; BUSNARDO, C. A.; RECH, B. O fenômeno do apodrecimento central do cerne de árvores vivas de *Eucalyptus*: qualidade da madeira. **IPEF**, Piracicaba, SP, n. 33, p. 31-38, 1986.

FRANCO, C. C. D. de M. **Programa um Milhão de Árvores – SVMA**. In: Questão Ambiental Urbana: Cidade de São Paulo / Prefeitura Municipal de São Paulo, Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente. São Paulo: A Secretaria, 1993.

GARUTTI, M. C. **Simulação dos ventos e tomografia de impulso: sinergia na avaliação do risco de queda de árvores**. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. f.72, 2015.

GOMES, M. A. S.; SOARES, B. R. A vegetação nos centros urbanos: considerações sobre os espaços verdes em cidades médias brasileiras. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v. 1, n. 1, p. 19-29, 2003.

GONÇALVES, M. V. D.; MATHEUS, N. M. M.; AFFONSO, C. F.; MARINI, K. A.; DEVISSCHER, C. E. A.; & EVANGELISTA, A. N. **Proposta de gestão da zona especial de interesse ambiental chácara da Baronesa Santo André-SP**. Trabalho de Conclusão de Curso. MBA em Gestão Ambiental do Centro de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão do Centro Universitário Fundação Santo André. f.158, 2012.

GONÇALVES, S.; ROCHA, F. T. Caracterização da arborização urbana do bairro de Vila Maria Baixa. **Conscientia e Saúde**, v. 2, n. 2, p. 67-75, 2003.

GONÇALVES, W.; PAIVA, H. N. de. Implantação da arborização urbana: especificações técnicas. Viçosa, MG: **Editora UFV**. 53p., 2013.

GONÇALVES, W.; PAIVA, H.N. de. Árvores para o ambiente urbano. **Viçosa: Aprenda Fácil**. (Coleção Jardinagem e Paisagismo. Série Arborização Urbana: v3). 243p., 2004.

GREY, G. W.; DENEKE, F.J. **Urban forestry**. John Wiley and Sons, 1978.

GROSSER, D. Defeitos de Madeira. Curitiba: **Fupef**. (Série Técnica, n. 2). 62 p., 1980.

GUILLOY, FROGET, H., MULLER, E., BARSOUM, N., HUGHES, F.M.R. Dispersal, germination and survival of *Populus nigra* (L.) (Salicaceae) in changing hydrologic conditions. **Wetlands**, 22(3): p. 478–488, 2002.

GUIZZO, D. J.; JASPER, A. Levantamento das espécies arbóreas dos passeios das vias públicas do Bairro Americano de Lajeado – RS, com indicação de problemas já existentes. **Pesquisas botânica**, São Leopoldo, n 56, p.185- 208, 2005.

HAYES, E. **Evaluating Tree Defects**, 2nd ed. Safetrees, Rochester, MN. p.34, 2001.

HUBBARD, W.G. **Street Tree Inventory and Urban Forest Assessment**. Prepared for the City of Gainesville, Florida.1993.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico**, 2015. Acesso em julho 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010:** Características urbanísticas do entorno dos domicílios. Rio de Janeiro, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS – RBMC**. 2017. Disponível em:
https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc_est.php Acesso em: 20 março 2018.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, (Série: Manuais técnicos em geociências n. 1). 123p.1992.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Monitoramento Climático**, 2018.

ISIK, F.; TOPLU, F. Variation in juvenile traits of natural black poplar (*Populus nigra* L.) clones in Turkey. **New Forests**, v. 27, n. 2, p. 175-187, 2004.

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

JOHNSON, D. W. Tree hazards: Recognition and reduction in recreation sites (No. R2-1). Lakewood, CO: US Dept. **Agriculture Forest Service**. 1981.

KANIESKI, M.R. **Apostila Didática Arborização Urbana**. 1º ed. Lages, 103p., 2018.

KANNEBLEY JUNIOR, S.; PORTO, G. S.; PAZELLO, E. T. Inovação na indústria brasileira: uma análise exploratória a partir da PINTEC. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 3, n. 1, p. 87-128, 2004.

KENNARD, D. K.; PUTZ, F. E.; NIEDERHOFER, M. The predictability of tree decay based on visual assessments. **Journal of Arboriculture**, v. 22, p. 249-254, 1996.

KÖPPEN, W. Climatología. Com un estudio de los climas de la tierra. In: IAPAR. **CARTAS CLIMÁTICAS BÁSICAS DO ESTADO DO PARANÁ**, Londrina, 41p. 1978.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **International Biometric Society**, p. 159-174, 1977.

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**, v. 18, n. 4, p. 451-459, 2011.

LOBODA, C. R.; ANGELIS. B.L. D de. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. **Revista Ambiência**. Paraná, v.1 n.1 p. 125-139, jan./jun. 2009.

LOCASTRO, J. K.; MIOTTO, J. L.; DOMINGOS DE ANGELIS, B. L.; & GALEAZZI CAXAMBU, M. Avaliação do uso sustentável da Arborização urbana no município de Cafeara, Paraná. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 549-556, 2017.

LONSDALE, D. Hazards from trees. A general guide. **Edinburgh: Forestry Commission**. 2000.

LORENZI, H. Árvores Brasileiras. **Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 4.ed. Nova Odessa: Editora Plantarum, v.1. São Paulo: p.352, 2002.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de; TORRES, A. V. M.; BACHER, L. B. **Árvores Exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003.

LULEY, C.L. Wood Decay Fungi Common to Living Urban Trees in the Northeast and Central United States. **Urban Forestry LLC**, Naples, NY. p.61, 2005.

MARTINS, L. F. V.; ANDRADE, H. H. B. de; ANGELIS, B. L. D. Relação entre podas e aspectos fitossanitários em árvores urbanas na cidade de Luiziana, Paraná. **Revista da sociedade brasileira de arborização urbana**, p. 141-155, 2010.

MATHENY, N. P.; CLARK, J. R. A photographic guide to the evaluation of hazard trees in urban areas. **International Soc. Arboriculture**: Savoy, Illinois. 2nd edn. v. 634, p.85, 1994.

MATTHECK, C.; BETHGE, K. The structural optimization of trees. **Naturwissenschaften**, v. 85, n. 1, p. 1-10, 1998.

MATTHECK, C.; BRELOER, H. Field guide for visual tree assessment (VTA). **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 18, n. 6, p. 1-23, 1994.

MATTHECK, C.; BRELOER, R.C.; **The body language of trees: a handbook for failure analysis**. London: The Stationery Office, p.239, 1997.

MATTHECK, C.; KUBLER, H. Wood – the internal optimization of trees. Berlin: **Springer**, 129 p., 1995.

MAY-DE MIO, L. L.; AMORIM, L. Doenças do álamo. **Floresta**, v. 30, n. 1/2, 2000.

MENDONÇA, M. G. **Políticas e condições ambientais de Uberlândia - MG no contexto estadual e federal**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Uberlândia, f. 84, 2000.

MENEGHETTI, G. I. P. **Estudo de dois métodos de amostragem para inventário da arborização de ruas dos bairros da orla marítima do município de Santos, SP**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, f.114, 2003.

MESSENGER, S. [Sem título].[201?].1 fotografia. Disponível em: <<http://revistacasaejardim.globo.com/Revista/Common/0,,EMI334014-16939,00-A+RUA+MAIS+BONITA+DO+MUNDO.html>> Acesso em: 20 jun. 2018.

MILANO, M. S. **Avaliação e análise da arborização de ruas de Curitiba-PR**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, f.154,1984.

MILLER, R. W. Urban forestry: planning and managing urban greenspaces. New Jersey: **Prentice-Hall**, p.502, 1996.

MINISTÉRIO DO TURISMO. [Parque Lago das Rosas destaca-se pela beleza de plantas ornamentais].[2017?]. 1 fotografia. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/turismo/2016/10/goiania-completa-83-anos-nesta-segunda-feira-24>> Acesso em: 05 set. 2018.

MOMBACH, G.N.N.; WAHRLICH, J.; CLAUBERG, A.P.C; BENINCA, L.S.; SIMIONI, F.J. Valoração ambiental de um rio urbano: uma aplicação do método de valoração contingente em Lages, Santa Catarina. **RBCIAMB**, n.47, p. 116-129, mar 2018.

NUNES, L. F. Manutenção de árvores no espaço urbano. **Agroforum: Revista da Escola Superior Agrária de Castelo Branco**, v. 2, n. 4, p. 5-8, 1992.

OLIVEIRA, A. F.; PEREIRA, J. A. A.; PEREIRA, G. A.; COELHO, S. J.; NEVES, C. L. P.; REZENDE, S. W.; & GARCIA, F. H. S. Modalidades de poda avaliadas na arborização viária sob rede elétrica no Estado de Minas Gerais. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, 10(2), p.1-13, 2015.

OLIVEIRA, A.M.F.; LELIS, A.T.de; LEPAGE, E.S.; LOPEZ, G.A.C.; OLIVEIRA, L.C.S.; CAÑEDO, M.D.; MILANO, S. Agentes destruidores da madeira. In: LEPAGE, E.S. (Coord.) **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, Divisão de Madeiras. v.1, p. 99-278, 1989.

OLIVEIRA, M. de; PERETTI, C.; BUDKE, J. C.; SANTOS, S. C. dos; CORAZZA, T.; GOMES, S.; ... & ZANIN, E. M. Reflexos da evolução urbana sobre a arborização em Erechim, Sul do Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba – SP, v.8, n.2, p86-103, 2013.

OLIVEIRA. V. Relatório técnico. **Relatório de segurança estrutural de árvores da Universidade do Minho**. Braga. 8 p. 2017.

PAIVA, H. N.; GONÇALVES, W. Silvicultura Urbana: Implantação e manejo. 2 ed. Viçosa, MG: **Aprenda Fácil**, p.222, 2012.

PEREIRA, L. C. Aplicação de tomógrafo de impulso na avaliação de risco de queda em árvores dos maciços de eucalipto do Parque Ibirapuera. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Estágio Profissionalizante em Engenharia Agronômica. 70 p. 2006.

PEREIRA, L. C.; SILVA FILHO, D. F.; TOMAZELLO FILHO, M.; COUTO, H. T. Z.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; POLIZEL, J. L. Tomografia de impulso para avaliação do interior do lenho de árvores, **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Volume 2, Número 2, p.11, 2007.

PEREIRA, P. H., TOPANOTTI, L. R., DALLACORT, S., MOTA, C. J., BRUN, F. G. K., & SILVA, R. T. L. Estudo de caso do risco de queda de árvores urbanas em via pública na cidade de Dois Vizinhos-PR. **Synergismus scyentifica**, v. 6, n. 1, p. 1-10, 2011.

PICUS. Sonic Tomograph, **Manual**, Rostock, p.85, 2003.

PIVETTA, K. F. L.; SILVA FILHO, D. F. da. Arborização urbana. **Boletim Acadêmico-Série Arborização Urbana. Jaboticabal: UNESP/FCAV/FUNEP**, 2002.

POKORNY, J.; O'BRIEN, J.; HAUER, R.; JOHNSON, G.; ALBERS, J.; BEDKER, P.; & MIELKE, M. Urban tree risk management: a community guide to program design and implementation. **USDA Forest Service Northeastern Area State and Private Forestry 1992 Folwell Ave**. St. Paul, MN 55108, 2003.

POPIVSHCHY, I.I., PROKAZIN, A.E., ROUTKOVSKY, L.V. Black poplar in the Russian Federation. In: Turok, J., Lefevre, F., De Vries, S., Toth, B., (Eds), *Populus nigra Network: Report of the Third Meeting, 5–7 October 1997, Sarvar, Hungary, IPGRI*, Rome, p. 46–52, 1996.

PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. Manual técnico de arborização urbana. São Paulo, SP: **Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente**, 45p., 2005.

PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. **Manual Técnico de Poda de árvores**. 2015. Disponível em <<https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/MPODA.pdf>>. Acesso em 23 out. 2018.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **[Sem título]**. [2017?]. 1 fotografia. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/bh-em-pauta-arborizacao-contribui-para-qualidade-do-ar>> Acesso em: 20 jun. 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL CAMPINAS. **[Sem título]**. [2012?]. 1 fotografia. Disponível em: <<http://www.campinas.sp.gov.br/noticias-integra.php?id=13292>> Acesso em: 05 set. 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL LAGES. Lei Complementar N° 218, de 02 de junho de 2004. Código do Meio Ambiente de Lages. Disponível em: <https://cm.jusbrasil.com.br/legislacao/524062/lei-complementar218-04>. Acesso em: 17 de outubro de 2018.

PRICE, C. Quantifying the aesthetic benefits of urban forestry. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 1, n. 3, p. 123-133, 2003.

QUIGLEY, M. F. Street trees and rural conditions: will long-lived trees reach full size in urban conditions? **Urban Ecosystems**, New York, v. 7, p. 29-39, 2004.

RAYNER, A.D.M.; BODDY, L. **Fungal decomposition of wood: its biology and ecology**. New York: John Wiley Interscience, p. 587, 1988.

R CODE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/> Acesso em: 08 abr. 2019.

REIS, C. A. M. dos; SILVA, A. C. da; HIGUCHI, P.; & TRIERVEILER, S. Diagnóstico da vegetação arbórea e proposta de arborização do rio Carahá na cidade de Lages, SC. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v.4, p.130-142, 2009.

RHOADS, A.F.; MEYER, P.W. & SANFELIPPO, R. Performance of urban street trees evaluated. **Journal of Arboriculture**, 7(5): p. 127-132, 1981.

RIBEIRO, F.A.B.S. Arborização urbana em Uberlândia: percepção da população. **Revista da Católica**, Uberlândia-MG, v.1, p.224-237, 2009.

RINN, E, SCHWEINGRUBER, E.; SCHAR, E. Resistograph and X-ray density charts of wood: Comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species. **Holzforschung, International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood**, 50(4), p. 303-311, 1996.

RINNTECH. Rinntech Home page. **Arbotom®**. 2018 Disponível em: <<http://www.rinntech.de/content/view/7/35/lang.english/index.html>> Acesso em: 20 fev. 2018.

RINNTECH. **User Manual – Arbotom 3-D Tree Impulse Tomograph**, version 1.59 for Microsoft Windows 98, 2000, XP. Heidelberg: Microsoft Window, p. 42, 2005.

ROCHA, R. T.; TELES, P. S. S.; NETO, S. N. O. Arborização de vias públicas em Nova Iguaçu, RJ: O caso dos Bairros Rancho Novo e Centro. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 4, p. 599-607, 2004.

ROCKY MOUNTAIN BIOLOGICAL LABORATORY OF GOTHIC. Wildflowers, ferns, & trees of Colorado, New Mexico, Arizona, & Utah. **USDA Forest Service**, Gunnison National Forest. Disponível em: <<https://www.swcoloradowildflowers.com/Tree%20Enlarged%20Photo%20Pages/populus%20nigra.htm>> Acesso em: 19 mar 2018.

ROLLO, F. M. de A. **Identificação de padrões de resposta à tomografia de impulso em tipuanas (*Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze.** 124 p. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2009.

ROLLO, L. C. P. **Tomografia de impulso para estimativa da densidade da madeira.** 49 p. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2009.

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

SAMPAIO, A. C. F.; DE ANGELIS, B. L. D. Inventário e análise da arborização de vias públicas de Maringá-PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, Piracicaba**, v. 3, n. 1, p. 37-57, 2008.

SANTOS, A. F. dos; MACHADO, E. B.; STANOSZ, G. R. & SMITH, D. R. Primeiro relato da ocorrência de *Septoria musiva* em álamo no Brasil. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, n. 1, 2010.

SANTOS, M. [Sem título].[2015?]. 1 fotografia. Disponível em:
<<http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2015/06/chuva-provoca-deslizamentos-e-quedas-de-barreira-em-sc.html>> Acesso em: 03 março 2018.

SANTOS, N.R.Z dos; TEIXEIRA, I. F. Levantamento quantitativo e qualitativo da arborização do bairro centro da cidade de Santa Maria-RS. **Encontro Nacional sobre Arborização Urbana**, v. 3, p. 263-276, 1990.

SANTOS, N. R. Z.; TEIXEIRA, I. F. Arborização de vias públicas: ambiente x vegetação. Porto Alegre: **Instituto Souza Cruz**, 2001.

SCHAD, K.C.; SCHMOLDT, D. L.; ROSS, R. J. Nondestructive methods for detecting defects in softwood logs. US Forest Laboratory. Research Paper FPL n. 546, **Madison**, p.15, fev. 1996.

SCHAMS, J. C. A.; GIACOMELI, D. C.; SUCOMINE, N.M. Emprego da Arborização na melhoria do Conforto Térmico nos Espaços Livres Públicos. **Revista Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. Piracicaba – SP, v.4, n.4, p.1-16, 2009.

SEGAWA, H. **Ao amor do público: jardins no Brasil.** São Paulo: Studio Nobel, 1996.

SEITZ, R.A. Avaliação visual de árvores de risco (AVR). Mini-curso In: **X CBAU - CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA**, Maringá, 2006. Anais... Maringá, 2006.

SHIGO, A. L. A new tree biology: facts, photos, and philosophies on trees and their problems and proper care. Durham, New Hampshire: **Shigo & Trees**. Associates, p. 636, 1989.

SHIMOYAMA, V. R. de S. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado.** Tese (Doutorado). Curitiba. f.163, 2005.

SILVA FILHO, D.F. da. **Cadastramento informatizado, sistematização e análise da arborização das vias públicas da área urbana do município de Jaboticabal, SP.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, f.81, 2002.

SILVA, A. G.; GONÇALVES, W. Inventário e Diagnóstico da Arborização da Cidade de Cajuri, MG. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 1102-1113, 2012.

SILVA, A. G.; GONÇALVES, W.; LEITE, H. G.; & SANTOS, E. Comparação de três métodos de obtenção de dados para avaliação quali-quantitativa da arborização viária, em Belo Horizonte - MG. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba – SP, v.1, n.1, p.31-44, 2006.

SILVA, J. A. da. **Direito urbanístico brasileiro.** 2^a ed., São Paulo: Ed. Malheiros, Idem, p.302, 1997.

SOARES, M. P. Verdes urbanos e rurais: orientação para arborização de cidades e sítios campesinos. Porto Alegre: **Cinco continentes**, 1998. 242p.

SOUZA, L. C. **Caracterização da madeira de tração em *Eucalyptus grandis* e sua influência na produção de polpa celulósica [dissertação].** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 77 p., 2004.

SOUZA, S. M.; CARDOSO, A. L.; SILVA, A. G. Estudo da percepção da população sobre a arborização urbana, no município de Alegre - ES. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 8, n. 2, p. 68-85, 2013.

STATHERS, R. J.; ROLLERSON, T. P.; MITCHELL, S. J. Windthrow Handbook for British Columbia Forests. BC Min. For., Victoria. **BC Working Paper** 9401, 1994.

STERKEN, P. **A guide for tree-stability analysis.** 64p. 2005.

TATTAR, T. A. Diseases of Shade Trees. New York: Academic, 1978. 361 p.

TERRA, C.G. **O jardim no Brasil no século XIX: Glaziou revisitado.** 2. ed. Rio de Janeiro: EBA; UFRJ, p. 160, 2000.

TURISMO SANTA CATARINA, Disponível em:

<<http://revistasantacatarinaturismo.blogspot.com/2010/08/santa-catarina-turismo-o-ano-inteiro.html>> Acesso em: 06 ago. 2018.

ULIANA, L. R. **Aplicação da tomografia de impulso na avaliação da qualidade do lenho de árvores de maçaranduba, *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier.** 2010. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, f. 157, 2010.

USDA Forest Service, & Minnesota Department of Natural Resources. How to recognise hazardous defects in trees. **Forest Service.** p. 22, 1996.

VAN DER SCHOOT, J.; POSPÍSKOVÁ, M.; VOSMAN, B.; SMULDERS, M.J.M. Development and characterization of microsatellite markers in black poplar (*Populus nigra* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 101, n. 1-2, p. 317-322, 2000.

VELASCO, G. D. N. **Arborização viária x sistemas de distribuição de energia elétrica: avaliação dos custos, estudo das podas e levantamento de problemas fitotécnicos.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 94 f. Piracicaba, 2003.

VELÁZQUEZ, G. Á.; CELEMÍN, J. P. Aplicación de un índice de calidad ambiental a la región pampeana argentina. **Finisterra**, Lisboa, v. 6, n. 91, p. 47-64, 2010.

VIETTO, L., VANDEN BROECK, A., LOOY, K.V., TAUTHENHAHN, M., CHIARABAGLIO, P.M. Rehabilitation of the European black poplar (*Populus nigra* L.): Case studies from Italy, Belgium and Germany. 23rd **Session of the International Poplar Commission “Poplars, Willows and People’s Wellbeing”**, Beijing, China p. 26–30, 2008.

WAGENER, W. W. Judging hazards from native trees in California recreational areas. **USDA Forest Service.** p. 32, 1963.

WANG, X.; ALLISON, R. B. Decay detection in red oak trees using a combination of visual inspection, acoustic testing, and resistance microdrilling. **Arboriculture and Urban Forestry**, v. 34, n. 1, p. 4, 2008.

WILCOX, W. W. Degradation in relation to wood structure. Wood deterioration and its prevention by preservative treatments. **Degradation and protection of wood**, v. 1, p. 107-148, 1973.

YOUNG, C.W.T. The external signs of decay in trees. **Arboricultural Leaflet**, London, n.1, p.1-11, 1984.

ZIELONKA, Tomasz et al. A tree-ring reconstruction of wind disturbances in a forest of the Slovakian Tatra Mountains, Western Carpathians. **Journal of Vegetation Science**, v. 21, n. 1, p. 31-42, 2010.