

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Identificação de padrões de resposta à tomografia de impulso
em tipuanas (*Tipuana típu* (Benth.) O. Kuntze**

Francisco Martins de Almeida Rollo

**Dissertação apresentada para obtenção do
título de Mestre em Ciências. Área de
concentração: Recursos Florestais com
opção em Conservação de Ecossistemas
Florestais**

**Piracicaba
2009**

**Francisco Martins de Almeida Rollo
Gestor Ambiental**

**Identificação de padrões de resposta à tomografia de impulso em tipuanas
(*Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze**

Orientador:
Prof. Dr. **DEMÓSTENES FERREIRA DA SILVA FILHO**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Recursos
Florestais com opção em Conservação de
Ecossistemas Florestais**

**Piracicaba
2009**

Dedico

À minha amada esposa Luciana e ao meu amado filho João Gabriel, por trazerem sentido à minha vida.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não teria sido realizado sem a ajuda das seguintes pessoas:

Prof. Dr. Demóstenes Ferreira da Silva Filho, obrigado pela orientação, por ser um referencial teórico, por me ajudar em todos os momentos que precisei, especialmente nos momentos difíceis do final do mestrado.

Prof. Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto, por ter me ajudado com a modelagem estatística dos meus dados e pela paciência nas inúmeras vezes em que precisei de esclarecimentos.

Jefferson Pollizel, por todo auxílio prestado, pela paciência e por me ajudar com as minhas dúvidas, das mais simples às mais complexas.

Meus colegas pós-graduandos do Centro de Métodos Quantitativos, pelas muitas e excelentes risadas e momentos de descontração, por todo apoio teórico recebido. Um obrigado especial ao Edgar Vismara pelo apoio na interpretação estatística dos meus dados.

Meus estagiários, Bruno Boni Teixeira e Fernanda Giannini Veirano, por todo apoio prestado às atividades de campo (mesmo nas madrugadas!), tabulação dos dados e interpretação das imagens.

Pós-graduandos Ingo Isernhagen, Marina Carboni e Jeanne Le Bourlegat, pelo apoio às atividades de campo e contribuições às avaliações visuais.

Meus pais Adail e Teresa e meus irmãos Vitor e Pedro, por contribuírem para a construção do meu caráter e pelo amor indispensável e reconfortante.

Meu filho João Gabriel, por ser parte de mim, um Norte em minha vida e me motivar a ser sempre uma pessoa melhor e serena.

À Luciana, amada esposa, pela paciência, pelo amor e carinho, por compartilhar comigo seus descobrimentos sobre a tomografia de impulso, tornando esta dissertação muito mais rica. Obrigado por estar ao meu lado em todos os momentos.

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 OBJETIVOS.....	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1 Floresta e silvicultura urbana.....	19
3.2 Biodeterioração do lenho.....	20
3.2.1 Biodeterioração por fungos apodrecedores.....	20
3.2.1.1 Podridão parda.....	21
3.2.1.2 Podridão branca.....	21
3.2.2 Biodeterioração por cupins.....	21
3.3 Biomecânica de árvores.....	22
3.4 Avaliação de risco de queda.....	23
3.4.1 Avaliação visual externa.....	23
3.4.2 Critérios de avaliação de risco de queda.....	27
3.5 Inspeções não destrutivas de lesões no tronco.....	30
3.5.1 Inspeções por pancadas de martelo.....	31
3.5.2 Inspeções por medidor linear de estresse cronometrado (<i>Stress Wave Timer</i>).....	31
3.5.3 Inspeções por Sonda de <i>Pressler</i>	32
3.5.4 Inspeções por Penetrômetro.....	32
3.5.4.1 Furadeiras portáteis.....	33
3.5.4.2 Resistógrafo.....	33
3.5.4.3 <i>Sibert Decay Detecting Drill – DDD 200</i>	35
3.5.5 Inspeções por medidores de condutividade elétrica.....	35
3.5.6 Inspeções por Fractômetro.....	36
3.5.7 Tomografia de árvores.....	36
3.5.8 Interpretação da imagem tomográfica.....	39
3.6 Tipuanas.....	41
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	43

4.1 Área de estudo.....	43
4.1.1 Município de Piracicaba.....	43
4.1.2 Localização e características dos indivíduos avaliados.....	43
4.2 Descrição do método.....	44
4.2.1 Comparação de dados obtidos pela utilização de resistógrafo e tomografia de impulso.....	44
4.2.1.1 Posicionamento das leituras de resistógrafo nas imagens tomográficas.....	45
4.2.1.2 Processamento das imagens.....	46
4.2.1.3 Avaliação estatística.....	47
4.2.2 Avaliação visual.....	47
4.2.3 Tomografia de impulso e processamento das imagens.....	54
4.2.3.1 Modelagem estatística para identificação de velocidade de propagação de ondas mecânicas em tecidos lesionados e em suas áreas periféricas.....	55
4.2.3.2 Classificação automática supervisionada das imagens tomográficas e avaliação de risco de queda.....	55
4.2.4 Associação entre as lesões identificadas por tomografia de impulso com a avaliação visual de árvores e a determinação de risco de queda.....	58
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
5.1 Avaliação estatística da correlação entre as leituras de resistógrafo e velocidade de propagação de ondas mecânicas.....	59
5.2 Avaliação visual.....	60
5.2.1 Comportamento fenológico.....	61
5.2.2 Estado geral.....	62
5.2.3 Biodeterioração por organismos xilófagos.....	64
5.2.3.1 Fungos apodrecedores.....	64
5.2.3.2 Cupins.....	65
5.2.4 Avaliação visual de risco de queda.....	66
5.3 Tomografia de impulso.....	66
5.3.1 Modelagem estatística para identificação de velocidades de propagação de ondas mecânicas em tecidos lesionados e em suas áreas periféricas.....	66
5.3.2 Classificação automática supervisionada das imagens tomográficas.....	72

5.4 Associação entre as lesões identificadas por tomografia de impulso e avaliação visual de árvores para determinação do risco de queda.....	73
6 CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
REFERÊNCIAS.....	77
ANEXOS.....	83

RESUMO

Identificação de padrões de resposta à tomografia de impulso em tipuanas (*Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze)

As árvores desempenham papel fundamental na qualidade ambiental das áreas urbanas. Como a floresta urbana é alvo constante de ações inadequadas de manejo, tais como podas inapropriadas, técnicas que visam avaliar a qualidade dos indivíduos e o risco de queda de árvores são fundamentais para a diminuição de possíveis danos causados aos equipamentos urbanos além de risco aos habitantes das cidades. Os métodos de avaliação visual de árvores desenvolvidos para a identificação de problemas biomecânicos e fitossanitários possibilitaram que avaliações de risco de queda fossem conduzidas. Nesses métodos, inspeções detalhadas a respeito da extensão das lesões presentes no colo e tronco, que podem comprometer sua estabilidade, são recomendadas para os indivíduos. Entre as técnicas utilizadas para o reconhecimento de lesões internas, a tomografia destaca-se por fornecer informações a respeito de toda seção avaliada com apenas uma medição e por gerar uma imagem que permite identificar o posicionamento e a extensão das áreas lesionadas. Por ser um método relativamente novo, são necessários estudos que visem identificar a resposta à tomografia em diferentes espécies, possibilitando desta forma a identificação precisa das áreas lesionadas. O trabalho realizado teve por objetivo testar a confiabilidade das informações geradas pela tomografia de impulso e identificar padrões de resposta em árvores de tipuana (*Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze). Trinta e nove indivíduos que apresentaram sinais de injúria, apodrecimento, inclinação ou outros fatores que pudessem prejudicar sua estabilidade ou desenvolvimento foram avaliados por essa técnica. As velocidades de propagação de onda mecânica obtidas pela tomografia de impulso foram comparadas às leituras de resistência à penetração medidas por resistógrafo, objetivando identificar a correlação existente entre a tomografia de impulso e um método amplamente difundido para a quantificação de lesões internas (resistógrafo). As imagens que mostraram sinais nítidos de lesão foram avaliadas estatisticamente, o que possibilitou o reconhecimento de que velocidades de propagação de ondas mecânicas iguais ou inferiores a $729,65 \text{ m.s}^{-1}$ representam tecidos lesionados para a espécie. As áreas periféricas às lesões avaliadas não apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação às velocidades encontradas. Análises estatísticas indicam a existência de forte correlação entre as leituras tomográficas e do resistógrafo. Foi obtido coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9977 no modelo adotado. A tomografia de impulso é uma importante ferramenta para a complementação da avaliação visual de árvores, permitindo a identificação e quantificação precisa de lesões internas na seção avaliada.

Palavras-chave: Floresta urbana; Tipuana; Avaliação visual de árvores; Risco de queda; Métodos não invasivos; Tomografia de árvores

ABSTRACT

Identification of response patterns in the impulse tomography in tipuana (*Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze)

Trees perform a fundamental role in environmental quality of urban environments. As the urban forest is often exposed to inadequate management actions, such as improperly pruning, techniques to evaluate the quality of individuals and the risk of trees falling are essential to reduce the possible hazard to urban equipment and the risk to city dwellers. The visual tree assessment developed for the identification of biomechanical problems made it possible for hazard assessments to be conducted. In these methods, detailed inspections regarding the extent of the lesions found in the root collar and trunk are recommended for those who had clear signs of injuries that can affect their stability. Among the techniques used for the recognition of internal injuries, tree tomography is noted for providing information regarding an entire cross-section evaluated with only one measurement, generating an image that identifies the position and extent of injured areas. Being a relatively new method, studies aimed to identifying the tomography response in different species are needed, thus to enable an accurate identification of the injured areas. This work aimed to test the reliability of the information generated by the impulse tomography and to identify patterns of response on tipuana trees (*Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze). Thirty-nine individuals of tipuana that presented signs of injury, decay, leaning or other factors that could affect its stability or development were evaluated by this technique. The speed of mechanical wave propagation obtained by the impulse tomography was crossed to resistograph measurements readings of resistance to penetration in order to identify the correlation between impulse tomography and a method widely known for the quantification of internal injuries (resistograph). The imagery showing clear signs of injury was evaluated statistically, allowing to identify that mechanical waves propagation with speed equal or lower than $729,65 \text{ m.s}^{-1}$ represents injured tissues for the specie. The peripheral lesion areas evaluated did not show statistically significant differences in the speeds found. Statistical analysis indicates that there was a strong correlation between the readings of impulse tomography and resistograph. The coefficient of determination (R^2) equal to 0.9977 was obtained in the adopted model. Impulse tomography is an important tool to complement the visual assessment of trees, allowing the precise identification and quantification of internal injuries in the evaluated cross-section.

Keywords: Urban forest; Tipuana; Visual tree assessment; Risk of falling; Non-invasive methods; Tree tomography

1 INTRODUÇÃO

A urbanização cresce constantemente (VITOUSEK et al., 1997). As cidades estão em constante mudança, novas tendências urbanísticas surgem, o tecido urbano é redesenhado, acarretando grandes alterações aos ambientes naturais, uma vez que, em decorrência do processo de urbanização, as cidades mantêm poucas semelhanças à paisagem original, tornando tais ambientes de difícil recuperação aos estágios anteriores (MARZLUFF; EWING, 2001). Alguns aspectos no processo de urbanização como, por exemplo, a formulação de parques públicos, florestas urbanas e uma eficiente arborização pública podem minimizar os efeitos destas transformações drásticas no ambiente (GREY; DENEKE, 1978; JIM; CHEN, 2003; ROY et al., 2006; WILMERS, 1991). A presença das áreas verdes, também denominada de floresta urbana (MOLL, 1988), promove diversos benefícios sociais e ambientais às cidades. Entretanto, dentro deste cenário de expansão, ainda é comum a falta de planejamento adequado para fornecer um processo de urbanização menos impactante, problema observado em vários países em desenvolvimento (TIMÁR, 1992).

Com a crescente concentração populacional em núcleos urbanos e os impactos ambientais decorrentes, estudos que visam melhorar a qualidade ambiental urbana são de grande importância. Um dos efeitos mais severos sentidos nos ambientes urbanos envolve o processo de supressão da vegetação para a construção de infra-estrutura, bem como para a edificação de moradias. Com a alteração do ambiente original, as árvores poupadas no processo de urbanização e as plantadas nesse novo contexto passam a lidar com condições ambientais adversas. A impermeabilização e compactação do solo, aumento de temperatura decorrente de ilhas de calor, alterações na pluviosidade, concentração de poluentes, competição por espaço com os elementos urbanos (garagens e rede elétrica, por exemplo), bem como vandalismo diminuem a expectativa de vida das árvores (QUIGLEY, 2004). A baixa biodiversidade, ocasionada pelo plantio de poucas espécies também é fator preocupante, uma vez que torna a floresta urbana mais suscetível a doenças e pragas. Esses fatores aumentam o risco de queda.

Métodos que visam averiguar a confiabilidade e risco de queda dessas árvores auxiliam o manejo aprimorado e maior compreensão da dinâmica da floresta urbana,

além de prestarem-se para a prevenção de acidentes decorrentes de queda de árvores. Métodos de avaliação visual de indivíduos arbóreos auxiliam a identificação de problemas biomecânicos e fitossanitários, bem como a interpretação do risco de queda de tais indivíduos (ALBERS; POKORNY; JOHNSON, 2003; BOND; TUCKER, 2006; MATTHECK, 1991; MATTHECK; KUBLER, 1995; MATTHECK; BRELOER, 1997; NIKLAS, 2002). Tais avaliações devem aliar-se a análise estrutural e de estabilidade das árvores, uma vez que lesões no tronco, bem como ataques causados por organismos xilófagos propiciam menor resistência mecânica às árvores e aumentam o risco de ruptura das mesmas.

Entre os métodos existentes para a avaliação de lesões no tronco, a tomografia de árvores caracteriza-se por ser uma técnica não destrutiva. Capaz de fornecer informações a respeito de seções transversais inteiras dos indivíduos avaliados com uma única medição pode ser realizada por impulso, ondas de ultra-som, campo elétrico, ondas eletromagnéticas, raios γ e raios X (NICOLOTTI et al., 2003). A tomografia de impulso baseia-se no princípio da cronometragem de ondas mecânicas para reconstrução de seções das árvores, gerando um gráfico de velocidade das ondas mecânicas, também chamado de imagem tomográfica. A velocidade do impulso no interior da árvore está altamente correlacionada com a densidade, módulo de elasticidade e umidade do tecido (RINNTECH, 2005).

Por tratar-se de uma técnica nova, existem poucos trabalhos realizados com tomografia de impulso no Brasil e no mundo, acarretando problemas para a interpretação das imagens e para a avaliação da confiabilidade dos dados obtidos (LAWDAY; HODGES, 2000; LONSDALE, 1999). Faz-se necessário estudar como diferentes espécies respondem ao processo, possibilitando desta forma a identificação de padrões específicos de resposta.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a confiabilidade das informações geradas pela tomografia de impulso na detecção de lesões em indivíduos adultos de tipuana, bem como estabelecer padrões de resposta das árvores avaliadas à tomografia. Tal espécie foi escolhida por apresentar grande porte, copa frondosa e ser muito utilizada na arborização urbana dos estados das regiões Sul e Sudeste do Brasil e em outros países americanos (LORENZI, 2003; MAINIERI; CHIMELO, 1989).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade das informações fornecidas pela tomografia de impulso para a identificação de lesões no interior de árvores. Objetivou-se identificar padrões de resposta à tomografia de impulso e a caracterização de lesões internas de árvores de *Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze.

2.2 Objetivos específicos

- (i) Comparar as informações obtidas a respeito de lesões internas de árvores de tipuana por meio de tomografia de impulso e por análises realizadas com resistógrafo;
- (ii) Caracterizar os indivíduos quanto à sua sanidade biológica, dendrometria e estado geral;
- (iii) Identificar as velocidades mínimas, médias e máximas de propagação de onda mecânica em tecidos lesionados de árvores de tipuana;
- (iv) Caracterizar a velocidade de propagação de onda mecânica nas áreas periféricas às lesões internas do tronco em árvores de tipuana;
- (v) Avaliar a associação entre as lesões identificadas por tomografia de impulso com a avaliação visual de árvores e a determinação de risco de queda.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Floresta e silvicultura urbana

Segundo Miller (1996), floresta urbana é a soma dos indivíduos arbóreos e vegetações associadas presentes no interior e circundante a assentamentos humanos, abrangendo desde pequenas comunidades rurais até regiões metropolitanas. É composta pela soma da arborização viária, residencial, presente em áreas verdes e cinturões verdes, caracterizando-se como um mosaico complexo de vegetação urbana e desenvolvimento urbano. A zona urbana das cidades, composta pelas áreas comerciais, industriais e residenciais de alta e média densidade apresentam, geralmente, um menor número de árvores e um percentual menor de sua área dedicada para parques públicos. Nesta área é onde estarão também as árvores mais velhas e decadentes. O autor destaca também que existe na maioria das pessoas a necessidade de contato com a natureza de alguma forma. Um dos motivos para o aumento da procura por moradia nos subúrbios nos EUA é justamente o desejo de morar em regiões mais arborizadas.

Entre os benefícios provenientes da floresta urbana, destacam-se recreação, atração de fauna, aumento do conforto humano por meio da atenuação de ilhas de calor, aumento da umidade relativa do ar e precipitação, redução do consumo de energia elétrica com refrigeração, atenuação de poluição sonora e atmosférica, controle de erosão e diminuição do escoamento superficial, diminuição da velocidade dos ventos e aumento da qualidade de vida das populações urbanas. Somado a esses benefícios, a floresta urbana se caracteriza por integrar o ciclo hidrológico, oxigenar o ambiente e fixar carbono (GREY; DENEKE, 1978; GÓMEZ; GIL; JABALOYES, 2004; MASMOUDI; MAZOUZ, 2004; MILLER, 1996; NOWAK; DWYER, 2000; PAIVA; GONÇALVES, 2002; SHASHUA-BAR; HOFFMAN, 2003; WILMERS, 1991).

Devido a sua grande importância, o manejo adequado da floresta urbana torna-se imprescindível, pois por meio dele é possível otimizar os benefícios provenientes da mesma e diminuir a possibilidade de risco de danos à população e demais constituintes do tecido urbano causados pela queda de árvores e quebra de galhos. Tal manejo, realizado por silvicultores urbanos, tem por objetivo planejar e manejar florestas comunitárias para a melhoria da qualidade de vida. O processo integra os valores

econômicos, ambientais, políticos e sociais da comunidade para o desenvolvimento de um plano de manejo para a floresta urbana (MILLER, 1996).

3.2 Biodeterioração do lenho

Árvores e microorganismos evoluíram por mais de 200 milhões de anos em harmonia. Segundo Shigo (1989), tal harmonia se deve aos mecanismos de compartimentalização desenvolvidos pelas plantas.

Como reação a injúrias mecânicas ou a ataques de insetos e microorganismos, as árvores desenvolvem barreiras de compartimentalização, separando a área afetada do tecido saudável. Estas barreiras apresentam células de parênquima pronunciado e células do parênquima axial com conteúdo celular quimicamente modificado, formando substâncias antimicrobianas (SHIGO, 1989).

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo – IPT (2004 apud BRAZOLIN, 2009), os principais agentes causadores de biodeterioração do lenho de árvores urbanas são os fungos apodrecedores e os térmitas.

3.2.1 Biodeterioração por fungos apodrecedores

Quando em estágio avançado, a deterioração do lenho causada por fungos apodrecedores pode causar a queda de árvores (MATTHECK; BRELOER, 1997; SHIGO, 1989; WAGENER, 1963; YOUNG, 1984). Os processos de apodrecimento do lenho que podem causar risco de queda e ruptura das árvores pela ação de fungos podem ser divididos em duas categorias: podridão branca e podridão parda (RAYNER; BODDY, 1988). Os fungos conhecidos como causadores de podridão mole são também encontrados, porém sua ação está diretamente ligada a processos de sucessão de microorganismos, podendo ser sucedido por fungos de podridão branca ou parda. Não estão associados a drásticas alterações do lenho (BRAZOLIN, 2009).

Rayner e Boddy (1988) propõem duas classes distintas para o processo de colonização e apodrecimento de cerne. O apodrecimento no topo (*top rot*) possui origem na copa e propaga-se em direção ao interior da árvore, enquanto o apodrecimento na base (*butt rot*) se origina no sistema radicular ou no colo da árvore e propaga-se em direção às partes superiores.

Rayner (1986 apud RAYNER; BODDY, 1988) afirma que o apodrecimento do cerne (*heart rot*) e do alburno (*sap rot*) estão normalmente associados a injúrias e são os processos de biodeterioração que acarretam maiores problemas de estabilidade estrutural.

3.2.1.1 Podridão Parda

A podridão parda é encontrada especialmente em espécies de coníferas, sendo menos comum em árvores decíduas. Sua ocorrência é relatada por Shigo (1989) em eucaliptos. É causada por fungos da Subdivisão Basidiomycotina e tem como características principais tornar o lenho rígido, friável, quebradiço e mais escurecido em relação ao lenho sadio. É também conhecida como podridão seca, pois é capaz de agir sob condições de baixa umidade. Os agentes causadores consomem a celulose e a hemicelulose da parede celular (EATON; HALE, 1993; WILCOX, 1973).

3.2.1.2 Podridão Branca

Os fungos que causam podridão branca digerem celulose e lignina em proporções semelhantes (SHIGO, 1989), modificando as características do lenho e tornando-os macios, esponjosos e mais claros que o lenho sadio (EATON; HALE, 1993). Pertencem às Subdivisões Ascomycotina e Basidiomycotina. Pode-se observar linhas escuras na madeira que indicam o processo de compartimentalização, delimitando a região afetada.

3.2.2 Biodeterioração do lenho por cupins

Segundo Brazolin (2009), os cupins são freqüentemente agrupados pela identificação de seus hábitos de nidificação. São divididos em três grupos principais: cupins de madeira seca, nidificam em madeira seca ou úmida; de solo, colônias se desenvolvem no solo; e arborícolas, constituem colônias em suporte acima do solo, geralmente em árvores.

Segundo Oliveira et al. (1986 apud BRAZOLIN, 2009), os cupins se alimentam basicamente da celulose presente no lenho, sendo que a maioria das espécies não causa prejuízos por se alimentar de madeira parcial ou intensamente apodrecida e de

partes mortas de vegetais. No Brasil estão descritas 312 espécies pertencentes às famílias Kalotermitidae, Rhinotermitidae, Serritermitidae e Termitidae (CONSTANTINO, 2008 apud BRAZOLIN, 2009).

Fontes (1998) relata que no Brasil os cupins subterrâneos acarretam grandes prejuízos às árvores. O autor ressalta também que o manejo inadequado das árvores urbanas, como a realização de podas drásticas ou mal executadas, injúrias, exposição a ventos fortes e estresse aumentam a susceptibilidade destes indivíduos às ações de cupins xilófagos.

3.3 Biomecânica de árvores

Mattheck e Kubler (1995) sintetizaram a biomecânica de árvores em cinco teoremas responsáveis pela auto-otimização das mesmas frente a esforços solicitantes:

Princípio da mínima alavanca: as árvores reduzem forças causadas por estresses pela redução do comprimento da alavanca de galhos e troncos. O encurtamento pode ocorrer de forma ativa pelo encurvamento dos mesmos, ou de forma passiva pelo dobramento das partes flexíveis.

Axioma da tensão uniforme: esforços inevitáveis são igualmente distribuídos pela superfície da árvore, na busca da otimização estrutural.

Paralelismo de fibras e distribuição de forças: as tensões de cisalhamento são reduzidas pelo arranjo das fibras no sentido das forças longitudinais ou tangenciais solicitantes.

Anéis de crescimento e distribuição de forças: em contato com outras superfícies, os anéis de crescimento são alinhados perpendicularmente para minimizar o cisalhamento entre os mesmos. Este arranjo em função das forças solicitantes minimiza também a tensão transversal nas áreas limítrofes dos anéis.

Tensão de crescimento: regiões de menor resistência das árvores são contrabalanceadas pela ação e distribuição das tensões de crescimento, amenizando as tensões que podem acarretar à queda do indivíduo.

3.4 Avaliação de Risco de Queda

3.4.1 Avaliação Visual Externa

Diversos autores propõem o uso da avaliação visual externa para a correta avaliação do risco de queda, embora na maioria dos casos ainda faltem critérios para a tomada de decisão sobre o risco de ruptura da árvore e conseqüentemente a adoção do manejo mais apropriado (BRAZOLIN, 2009).

Neste sentido, Wagener (1963) representa um marco teórico importante, uma vez que avaliou o risco de queda de coníferas de áreas recreacionais da Califórnia – Estados Unidos de América (EUA), elaborando um diagnóstico criterioso que levava em consideração a presença de cancrios, fendas rachaduras e injúrias que afetavam o câmbio dos indivíduos avaliados.

Niklas (2002) e Young (1984) estudaram a ação dos ventos e sua importância no risco de ruptura de árvores. Segundo Young (1984), o risco de ruptura pela ação dos ventos aumenta quando o indivíduo avaliado apresenta apodrecimento, sendo este detectado pela presença de corpos de frutificação, cavidades ou apodrecimento visível do lenho. O autor ressalta que as ações de manejo devem considerar a proximidade de edificações e a acessibilidade dos seres humanos e animais. Representam também situações de risco sintomas de doença na copa das árvores; grandes injúrias; acúmulo de água e outros materiais nas forquilhas de galhos; poda ou quebra de pequenos galhos nos locais de inserção de galhos maiores ou do tronco, pois podem iniciar e estabelecer o apodrecimento do lenho; além de movimentação do tronco ou do solo sob a ação de ventos fortes, indicando instabilidade do indivíduo.

O *California Tree Failure Report Program* – CTFRP, protocolo fundado em 1987 (COSTELLO; BERRY, 1991), tinha por objetivo coletar informações confiáveis ao que diz respeito aos motivos de queda de árvores e a utilização destas informações para o desenvolvimento de perfil dos motivos de queda de árvores urbanas. As informações a respeito dos indivíduos avaliados foram subdivididas em seis grupos com a função de avaliar: condições do entorno; detalhes a respeito dos motivos para a queda da árvore; presença de apodrecimento e injúrias com identificação do tipo de colonização (apodrecimento de raízes, de cerne - *heart rot* ou apodrecimento do alburno – *sap rot*) e extensão da área apodrecida; histórico de manutenção do indivíduo; condições do solo

e desenvolvimento do sistema radicular; condições climáticas no momento da queda. Os resultados indicam que a velocidade do vento no momento da queda é um fator crucial e que interfere no local da mesma, uma vez que 67% das árvores que caíram por problemas no sistema radicular ocorreram na presença de ventos com grande velocidade (mais de 40 km/h). Nestas condições, problemas estruturais, tais como a presença de casca inclusa na junção dos galhos, presença de troncos múltiplos e galhos originados de um mesmo ponto estão também associados à queda ou ruptura dos indivíduos.

Albers, Pokorny e Johnson (2003) subdividem em sete categorias os defeitos que podem ser observados pela avaliação visual, sendo eles:

- 1) Apodrecimento: é proveniente da interação das árvores com fungos apodrecedores. A presença do mesmo resulta em menor força estrutural e estabilidade reduzida. Pode ser identificado pela presença de madeira apodrecida, presença de corpos de frutificação, cavidades, fissuras abertas e formação de calos.
- 2) Fissuras: formam-se quando a carga da árvore excede a capacidade de suportar carga do tronco. A grande maioria das fissuras ocorrem em função da má cicatrização de injúrias, pela cisão de uniões fracas de galhos e realização de podas inadequadas.
- 3) Problemas no sistema radicular: podem ocasionar a queda por completo do indivíduo. São causados por enovelamento, escavações ao redor da árvore, compactação do solo, mudanças no uso das áreas do entorno, apodrecimento ou condições ambientais estressantes, tais como secas e encharcamento. Os autores afirmam que, para a estabilidade e vitalidade da árvore, as raízes localizadas na região denominada de raio crítico (RC) precisam estar sadias. O raio crítico é estabelecido pela relação existente entre a área do sistema radicular e o diâmetro da árvore à altura do peito (DAP) e pode ser obtido pela form. (1):

$$RC = DAP \times 1,5 \quad (1)$$

Sendo que o DAP deve ser medido em polegadas (uma polegada equivale a 2,54 cm) e os valores de RC são obtidos em pés (um pé equivale a 0,3048 metro).

- 4) Junção fraca entre ramos: junções de ramos epicórnicos e junção de ramos em “v” resultam em uniões fracas e suscetíveis a quebras. A união em “v” entre troncos codominantes ou entre troncos e ramos acarretam a formação de casca inclusa. Como a casca não adere à madeira, o ramo não se caracteriza por uma adesão firme ao tronco. Ramos epicórnicos, pela sua natureza, constituem uniões fracas porque são superficialmente anexados. Eles crescem muito rapidamente, de modo que se tornam pesados com muita rapidez. Após certo período perdem a sua ligação ao ramo principal e podem cair, pois a madeira subjacente pode não suportar seu peso.
- 5) Cancros: são áreas da árvore onde é encontrada casca e/ou câmbio morto, caracterizando-se por pontos potenciais de ruptura. São decorrentes do apodrecimento causado por fungos, ataques de insetos, raios ou injúrias mecânicas causadas por veículos e vandalismo, por exemplo.
- 6) Arquitetura inadequada: é o resultado de alterações passadas no ambiente onde o indivíduo se encontra, em seu padrão de crescimento ou de injúrias. Nesta categoria, as árvores inclinadas, principalmente quando são encontrados outros defeitos tais como cancros e apodrecimento, são as que apresentam maior risco de queda.
- 7) Árvore ou ramos mortos: árvores e ramos mortos apresentam grande risco de queda devido a defeitos preexistentes e à rápida deterioração da madeira.

O método de avaliação visual de árvores desenvolvido por Mattheck e Breloer (1997), também conhecido como VTA (*visual tree assessment*), representou um grande avanço na detecção de problemas apresentados por indivíduos arbóreos, uma vez que permite a identificação de defeitos na madeira e problemas fitossanitários de maneira rápida e não-destrutiva. Segundo os autores, o procedimento de avaliação pelo VTA é composto por quatro etapas principais:

1. Avaliação visual: é o primeiro procedimento a ser adotado, e deve considerar uma série de fatores, sendo eles:

- **Biologia do indivíduo:** vitalidade da copa, casca e galhos; presença de fungos apodrecedores e outros organismos xilófagos; presença de galhos secos; presença de feridas cicatrizadas ou em processo de cicatrização.
- **Mecânica:** 1. Sintomas de quebra ou ruptura: sintomas de defeitos internos (protuberâncias, formação de costelas); injúrias; inclinação do tronco; anormalidades na casca indicando esforços de tensão e compressão. 2. Ação do vento: alterações no sistema radicular indicando falhas de sustentação; tamanho da copa; presença de rachaduras no solo.

Se os problemas biomecânicos identificados pela avaliação visual aparentemente comprometem a saúde do indivíduo, inspeções mais detalhadas devem ser realizadas, permitindo dessa forma melhor conhecimento da extensão dos problemas identificados.

2. Inspeções detalhadas: devem ser realizadas com o objetivo de quantificar a proporção de tecido lesionado e as características da lesão.

3. Critérios de avaliação de risco de queda:

Para os autores, as árvores são mecanicamente confiáveis enquanto a proporção entre a espessura da parede residual (t) e o raio do indivíduo avaliado (R) for igual ou maior a 0,3.

4. Decisão: Se a árvore apresenta alto risco de queda ou de quebra de galhos, os riscos devem ser reduzidos. Caso opte-se pela manutenção da árvore em pé, medidas preventivas devem ser tomadas, como por exemplo, a utilização de cabos de sustentação e redução drástica da área da copa (nos casos de podridões compartimentalizadas).

Sterken (2005) propõe um método de avaliação que considere o VTA desenvolvido por Mattheck e Breloer (1997) aliado a cálculos matemáticos para a medição da velocidade crítica do vento suportada pela árvore avaliada baseando-se no princípio de ressonância da mesma quando sob ação de rajadas de vento. A força exercida por rajadas de vento sobre a copa pode ser obtida pela utilização da form. (2):

$$F = \frac{1}{2} \times Cd \times p \times A \times u^{(z)^2} \quad (2)$$

Onde: F representa a força que a rajada de vento exerce sobre a copa; Cd = coeficiente aerodinâmico (descreve a flexibilidade empregada pela árvore para diminuir a força da rajada de vento); p = densidade do ar (dependente da pressão, e umidade do ar, temperatura e elevação em relação ao nível do mar); A = área da copa exposta ao vento; $u^{(z)}$ = velocidade do vento “u” a certa altura “z” acima do nível do solo.

3.4.2 Critérios de avaliação de risco de queda

A análise estrutural de árvores se apresenta como ferramenta complementar para a avaliação de risco de queda e tomada de decisão a respeito do indivíduo avaliado (HARRIS; CLARK; MATHENY, 2004). Os cálculos utilizados para prever a confiabilidade das árvores baseiam-se em cálculos desenvolvidos principalmente pela engenharia de materiais.

Wagener (1963) propôs, baseando-se na fórmula utilizada para avaliação de resistência de tubos de aço, um método para calcular o valor máximo de perda de resistência de coníferas afetadas por apodrecimento centrado de cerne, considerando para tal a espessura da parede sadia em relação à área apodrecida, conforme descrito na form. (3):

$$(d^3/D^3) \times 100 \quad (3)$$

Sendo d = diâmetro da área apodrecida; D = diâmetro do tronco.

Foi considerada limite a perda de resistência mecânica o valor de 33%, o equivalente a perda de 70% de cerne. Tal método possui restrições para utilização em árvores folhosas, uma vez que estas apresentam arquitetura complexa, maior índice de fechamento da copa e a possibilidade de desenvolvimento de apodrecimento a partir dos galhos.

Baseados na fórmula apresentada por Wagener (1963), Smiley e Fraedrich (1992) propuseram um método de avaliação (form. (4)) que considerava o apodrecimento interno do tronco de árvores contendo cavidades abertas:

$$[d^3 + r(D^3 - d^3)]/D^3 \times 100 \quad (4)$$

Onde: d = diâmetro do apodrecimento interno; D= diâmetro do tronco; r = tamanho da abertura da cavidade do tronco.

Tal método foi utilizado para medir a perda de resistência do tronco de carvalhos com apodrecimento de cerne, indicando o limite de 33% de perda de resistência como valor máximo e recomendando ainda que valores menores (20 a 25%) poderiam ser adotados para árvores em declínio, inclinadas, com copas densas ou expostas a ventos fortes e que apresentassem múltiplos defeitos.

Mattheck e Breloer (1997), baseando-se na resistência a flambagem de tubos, estabeleceram uma fórmula (form. (5)) para determinar o risco de ruptura de árvores folhosas de copa densa:

$$t/R \quad (5)$$

Onde: t = espessura da parede residual; R = raio do tronco.

Por meio de estudos com mais de 1200 árvores, os autores concluíram que árvores que apresentam razão t/R superior a 0,3 possuem baixa probabilidade de ruptura. Para árvores com cavidades excêntricas, tal critério pode ser aplicado desde que a área deteriorada ultrapasse 50% do diâmetro do tronco, caso contrário deve-se adotar para a variável t a menor espessura da parede residual encontrada e para R o raio da porção deteriorada somada à espessura da parede residual.

Como os modelos desenvolvidos baseiam-se em cálculos estruturais advindos de outras áreas de conhecimento, tal como a engenharia de materiais, novos estudos são necessários para a determinação de valores críticos de perda de resistência do tronco, uma vez que os mesmos apresentam características estruturais complexas e pela dificuldade de quantificação e identificação precisa das variáveis envolvidas durante a fase de inspeção (KANE; RYAN; BLONJARZ, 2001; KANE; RYAN, 2004).

A susceptibilidade do tronco à falhas mecânicas aumenta conforme a árvore cresce em massa e altura (NIKLAS, 2002). Uma vez que os danos foram identificados e

analisados, faz-se necessária a adoção de critérios de avaliação. Bond e Tucker (2006) recomendam a seguinte avaliação de risco de queda referente a defeitos no tronco:

Risco de queda Baixo – defeitos são pequenos (feridas pequenas recuperáveis pela árvore);

Risco de queda Médio – defeitos são presentes e óbvios (cavidade abrangendo 10 a 25% da circunferência do tronco);

Risco de queda Alto – defeitos presentes são numerosos e/ou significativos (cavidade abrangendo 30 a 50% da circunferência do tronco);

Severo – defeitos são muito severos (cavidade abrangendo mais de 50% do tronco).

A remoção é recomendada para árvores em que ocorrem: apodrecimento em mais de 2/3 do tronco; cavidade maior que metade da circunferência do tronco e 1/3 do diâmetro do tronco apodrecido; cavidade cobrindo 2/3 ou mais da circunferência do tronco.

Para Karlovich, Groninger e Close (2000), árvores são classificadas como boas quando possuem as seguintes condições:

- não mais que rachaduras ou fendas pequenas;
- cavidades não excedendo 30% do diâmetro do tronco;
- galhos quebrados com diâmetro menor que 20 cm;
- não mais que mínimas evidências de insetos, doenças ou plantas parasitas;
- menos que 1/3 do sistema radicular exposto;
- inclinação menor que 30°.

Não ocorrendo qualquer dos critérios acima, a árvore é considerada em má condição.

Albers, Pokorny e Johnson (2003) utilizam a subdivisão em sete categorias de defeitos para classificar os indivíduos avaliados nas classes risco de queda moderado e alto, conforme apresentado no Quadro 1.

Categoria do defeito	Risco de queda moderado	Risco de queda alto
Apodrecimento	<ul style="list-style-type: none"> - Sinais de podridão intensa abrangendo de 25% a 40% da circunferência do tronco ou do colo - Dimensão da parede residual entre 2,54 e 5,08 cm para cada 15,24 cm de diâmetro do tronco e cavidade inferior a 30% da circunferência do tronco 	<ul style="list-style-type: none"> - Sinais de podridão intensa abrangendo mais de 40% da circunferência do tronco ou do colo; - Tronco apresentando podridão intensa e: Parede residual menor do que 2,54 cm para cada 15,24 cm de diâmetro do tronco ou Cavidade superior a 30% da circunferência do tronco e parede residual inferior a 5,08 cm para cada 15,24 cm de diâmetro do tronco
Fissuras	Tronco apresenta fissura única associada a apodrecimento	<ul style="list-style-type: none"> - Tronco dividido em dois por fissura; - Tronco apresentando múltiplas fissuras associadas a apodrecimento - Árvore inclinada com sinais recentes de deslocamento de solo;
Problemas no sistema radicular	40% ou menos das raízes dentro da área definida como raio crítico apresentam danos, apodrecimento ou estão mortas	<ul style="list-style-type: none"> - Mais de 40% das raízes dentro da área definida como raio crítico apresentam danos, apodrecimento ou estão mortas; - Enovelamento de raízes abrangendo 40% ou mais da circunferência do colo - Junção fraca apresenta rachaduras, cancro ou apodrecimento
Junção fraca entre ramos	União dos ramos apresenta casca inclusa	<ul style="list-style-type: none"> - Ramos epicórnicos grandes presentes em tronco ou galhos com apodrecimento
Cancros	Cancros associados a apodrecimento afetam de 25% a 40% da circunferência do tronco	<ul style="list-style-type: none"> - Cancro afeta mais de 40% da circunferência da árvore (estando associado a apodrecimento ou não) - Inclinação superior a 40° - Inclinação associada a fissura - Inclinação associada a cancros ou apodrecimento na base do indivíduo
Arquitetura inadequada	Ramos torcidos ou com angulações fechadas	<ul style="list-style-type: none"> - Inclinação associada a fissuras horizontais na parte superior da área inclinada e/ou sinais de compressão de casca e do tronco na área inferior.
Árvore ou ramos mortos		Árvore morta

Quadro 1 – Categorias de defeitos e respectivas indicações para classificação das árvores em risco de queda médio ou alto segundo critérios adotados por Albers, Pokorny e Johnson (2003)

3.5 Inspeções não destrutivas de lesões no tronco

Segundo Pereira et al. (2007), a literatura especializada menciona diversas técnicas de análise não destrutivas do lenho das árvores, que de acordo com Nicolotti et al. (2003) seriam mais apropriadamente chamadas de “quase não destrutivas”, pois, em muitos casos, sondas, eletrodos e transdutores são inseridos dentro da árvore.

Essas técnicas fornecem informações de pequenas porções da madeira, tornando-se, muitas vezes, necessário realizar medições em diferentes pontos para conhecer a seção investigada.

3.5.1 Inspeções por pancadas de martelo

Segundo Albers, Pokorny e Johnson (2003) e Mattheck e Breloer (1997), pode-se estimar a presença e tamanho de lesões internas com a utilização de um martelo revestido por borracha. Pela diferença sonora entre regiões lesionadas e regiões sadias, um avaliador treinado consegue identificar áreas lesionadas. É um método extremamente subjetivo que depende da experiência do avaliador, caracterizando-se por ser não invasivo, de fácil obtenção e baixos custos de manutenção.

3.5.2 Inspeções por medidor linear de estresse cronometrado (*Stress-wave timer*)

Medidores lineares de estresse são compostos por dois sensores que devem ser inseridos em lados opostos do tronco, um martelo equipado com transdutor sônico e uma base contendo um osciloscópio. A pancada de martelo aplicada a um dos sensores gera uma onda mecânica que se propaga pelo interior do lenho até atingir o sensor localizado na outra extremidade do tronco. Tempos de propagação maiores do que os encontrados em lenho sadio indicam presença de defeitos.

Algumas formas de defeitos, como o apodrecimento gerado pela ação do fungo *Ustulina deusta*, não podem ser detectadas por meio do equipamento. Outra limitação encontrada é o fato de mesmo não fornecer informações a respeito da severidade e do estado do processo de apodrecimento (MATTHECK; BRELOER, 1997).

Liese (1975 apud BUCUR, 2006) estudou a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas e o módulo de elasticidade em árvores sadias e atacadas por bactérias, encontrado menores valores de propagação e módulo de elasticidade diferenciado nas árvores atacadas. Bauer et al. (1991 apud BUCUR, 2006) mediram a velocidade de propagação de onda mecânica em *Fagus* sp. e *Pinus* sp. sadios e atacados por podridão branca e parda, respectivamente. Por meio dos resultados das velocidades de propagação e análise do estágio de deterioração das árvores atacadas, os autores

concluem que o medidor linear de estresse foi capaz de identificar os tecidos lesionados mesmo nos estágios iniciais do processo de apodrecimento.

3.5.3 Inspeções por Sonda de *Pressler*

A sonda de *Pressler* é composta por um tubo oco afiado em uma das extremidades e uma haste que permite a penetração do tubo por meio de movimentos circulares no interior das árvores. Com a penetração, amostras radiais do tronco são depositadas no interior do tubo, sendo que as mesmas podem ser avaliadas para a identificação de descoloração de tecidos ou presença de apodrecimento. Por fornecer amostras lineares, diversas sondagens precisam ser realizadas para que se possa estimar a espessura da parede residual e a dimensão da área lesionada em uma seção transversal do tronco. Por apresentar grande diâmetro quando comparada a outros aparelhos para a inspeção de lesões, é considerado um método invasivo, podendo comprometer a estabilidade do indivíduo avaliado e quebrar a barreira de compartimentalização gerada por fungos apodrecedores (ALBERS; POKORNY; JOHNSON, 2003).

3.5.4 Inspeções por Penetrômetro

Os penetrômetros medem a resistência dos tecidos à penetração. A queda abrupta na energia necessária para a penetração a certa profundidade do tronco pode indicar a presença de tecido lesionado ou ocosidade naquele ponto. Segundo Albers, Pokorny e Johnson (2003), as análises por penetrômetro baseiam-se na premissa de que durante o processo de apodrecimento há diminuição da densidade dos tecidos afetados, diminuindo desta forma a dureza e a resistência a perfurações do material.

Por realizarem leituras lineares, diversas medições são necessárias para que estimativas de proporção de tecido lesionado sejam feitas. Três classes de penetrômetro tornaram-se mais populares e são utilizados nos EUA: furadeira portátil, resistógrafo e o *Sibert Decay Detecting Drill*, também conhecido por *DDD 200*.

3.5.4.1 Furadeiras Portáteis

Furadeiras portáteis vêm sendo utilizadas há muitos anos por profissionais como penetrômetros (ALBERS; POKORNY; JOHNSON, 2003). A haste perfuradora é puxada para fora do tronco em intervalos de aproximadamente 1,30 centímetros para que análises da serragem de madeira resultante do processo de perfuração sejam feitas, buscando observar descoloração e odor característico de indicação de apodrecimento. Como apresenta certa subjetividade, os conhecimentos teóricos e treinamento do avaliador são fundamentais para a obtenção de diagnósticos precisos.

3.5.4.2 Resistógrafo

O resistógrafo é uma ferramenta de fácil utilização. É composto por um motor ligado a uma bateria que impulsiona à velocidade constante uma agulha com extremidade cortante para o interior do tronco. As agulhas possuem espessura de aproximadamente 3,1 mm na extremidade cortante e metade desta espessura em sua haste, que pode ter entre 30,5 cm e 50,8 cm, dependendo do modelo escolhido. Mede a resistência dos tecidos à penetração. A queda abrupta na energia necessária para a penetração a certa profundidade do tronco pode indicar a presença de tecido lesionado naquele ponto. A dificuldade encontrada para a penetração da extremidade cortante é transferida e armazenada na memória do equipamento na forma de um gráfico de dificuldade à penetração, como demonstrado na Figura 1. O aparelho possui também uma impressora térmica que emite os resultados da perfuração instantaneamente, possibilitando avaliar os resultados em campo (ALBERS; POKORNY; JOHNSON, 2003; MATTHECK; BRELOER, 1997).

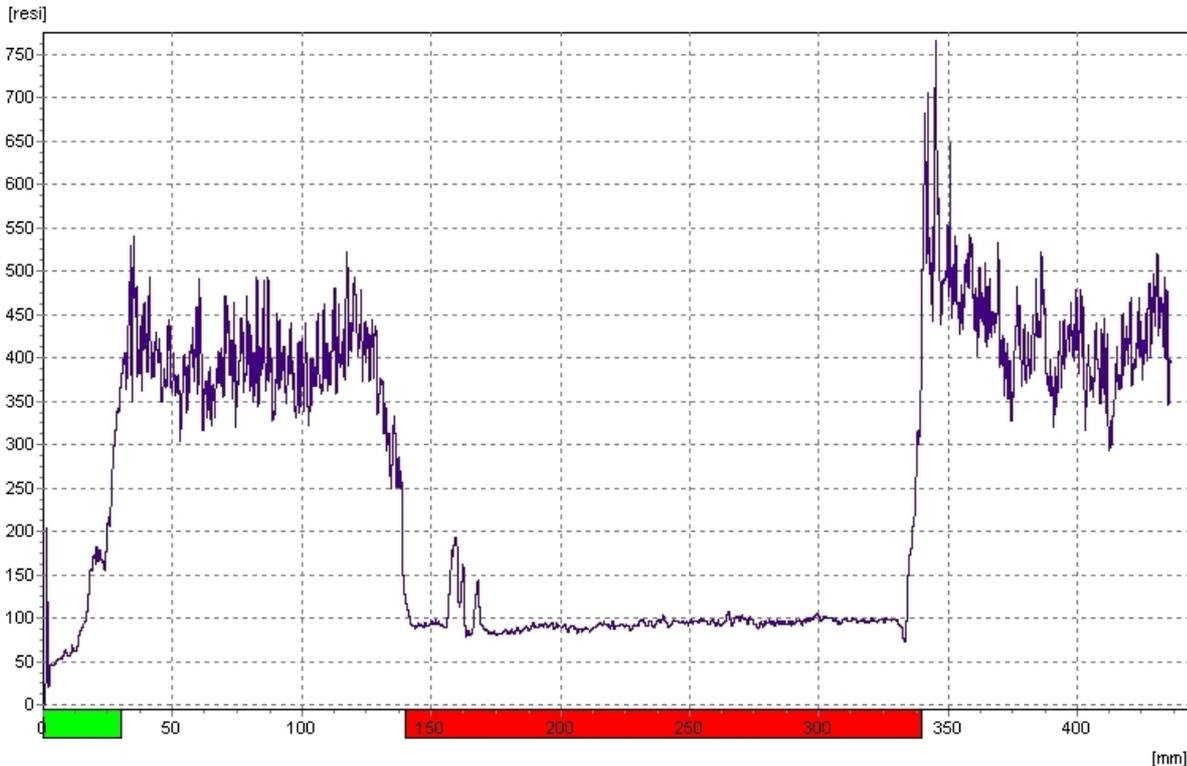


Figura 1 – leitura de resistômetro de uma árvore indicando a resistência à penetração (eixo y) encontrada pela haste do equipamento no processo de sondagem da madeira. O eixo x apresenta a distância percorrida pela mesma, expressa em milímetros. A região marcada pela barra verde representa a casca, enquanto a região marcada pela barra vermelha representa área afetada por podridão

Em relação à furadeira portátil, possui a vantagem de gerar um resultado quantitativo, medido em escala de resistência. Sua apresentação gráfica possibilita a localização mais precisa das lesões encontradas. Tem como desvantagens seu peso e tamanho consideravelmente maiores e a necessidade de trocas periódicas da haste, uma vez que a extremidade cortante vai se desgastando com o uso.

Costello e Quarles (1999) estudaram a capacidade de detecção de apodrecimento de cerne com a utilização de furadeira portátil e resistômetro em árvores de eucalipto-da-tasmânia (*Eucalyptus globulus*) e olmo-da-montanha (*Ulmus glabra*). Para a furadeira portátil, os autores afirmam que a técnica foi capaz de identificar apodrecimento em estágios intermediários e avançados quando foi utilizada por operadores experientes. Quando utilizada por inexperientes, a furadeira portátil mostrou-se menos eficiente na detecção de apodrecimento. Não foi possível a identificação de apodrecimento nos estágios iniciais, independentemente da experiência do operador.

As perfurações realizadas com o resistógrafo mostraram sua grande capacidade de localizar apodrecimento em estágios intermediários e avançados. Para regiões de apodrecimento em estágio inicial, o equipamento superestimou o tamanho da área afetada, mostrando-se menos confiável na identificação de tais áreas. Os autores ressaltam que o conhecimento a respeito do padrão de resposta esperada para tecidos saudáveis e lesionados da espécie avaliada são informações críticas para a correta interpretação das leituras do resistógrafo (COSTELLO; QUARLES, 1999).

3.5.4.3 Sibert Decay Detecting Drill – DDD 200

A ferramenta *DDD 200* apresenta funcionamento semelhante ao do resistógrafo. As medições são feitas por sonda de ponta romba, com 1,5 mm de espessura e 20 cm de comprimento. O equipamento mede as diferenças na velocidade de penetração da haste impulsionada a rotação constante de 7000 rotações por minuto. As leituras quantitativas são armazenadas e podem ser impressas. Possui como vantagem em relação ao resistógrafo a fato da haste de ponta romba demandar um menor número de manutenções (ALBERS; POKORNY; JOHNSON, 2003).

3.5.5 Inspeções por medidores de condutividade elétrica

Dois versões de medidores de condutividade elétrica tornaram-se populares: o shigômetro, desenvolvido por A. L. Shigo no início da década de 1980 e o vitalômetro, versão comercial e modificada do shigômetro (ALBERS; POKORNY; JOHNSON, 2003). Um eletrodo é inserido por meio de perfuração no tronco com 30 cm de comprimento e 3 mm de diâmetro para a medição da resistência elétrica dos tecidos em intervalos de 1 cm. A quantidade de íons livres varia entre diferentes tipos de madeira, sendo que quanto maior sua quantidade menor será a resistência elétrica do material. Tecidos sob apodrecimento apresentam quantidade maior de íons livres do que o lenho sadio, causando grandes reduções na resistência elétrica e permitindo sua identificação pela utilização do vitalômetro.

A utilização de medidores de condutividade elétrica em campo apresenta contra-indicações, tais como a fragilidade da haste perfuradora, a dificuldade de interpretação dos dados quando o teor de umidade da madeira está abaixo do ponto de saturação

das fibras e quando a madeira está impregnada por resina, que age como isolante. Tecidos que apresentam descoloração podem possuir valores baixos de resistência elétrica, superestimando a área apodrecida (ALBERS; POKORNY; JOHNSON, 2003).

3.5.6 Inspeções por Fractômetro

O Fractômetro é um instrumento alemão que determina a qualidade do material avaliado em termos de força e elasticidade da madeira (MATTHECK; BRELOER; BETHGE, 1994). Por meio de uma sonda de *Pressler*, amostras de tecido são retiradas para que a resistência dos mesmos seja avaliada. A amostra é fracionada em intervalos de um centímetro para análise no fractômetro, responsável por medir a energia necessária para que a amostra seja quebrada. A quantidade de energia aplicada para quebrar a amostra permite identificar tecidos saudáveis; tecidos lesionados, porém bem compartimentados pela árvore; e tecidos lesionados não compartimentados. O ângulo de ruptura da amostra permite calcular a energia necessária, pois quanto maior ele for, maior a energia necessária para a quebra (MATTHECK; BRELOER, 1997).

Matheny et al. (1999 apud ALBERS; POKORNY; JOHNSON, 2003) indicam que análises realizadas com a utilização do equipamento em árvores nos EUA apresentaram limitações. Amostras retiradas de diversas espécies nativas quebraram-se em função de suas características naturais, inviabilizando a utilização do fractômetro. Para a correta interpretação dos resultados o operador necessariamente precisa conhecer a força necessária para a quebra de amostras sadias da espécie avaliada para que comparações possam ser feitas.

3.5.7 Tomografia de árvores

Recentemente, as técnicas não destrutivas têm sido desenvolvidas por investigação tomográfica, podendo ser realizada por impulso, ondas de ultra-som, campo elétrico e ondas eletromagnéticas, raios γ e raios X (NICOLOTTI et al., 2003) Segundo Pereira et al. (2007), a tomografia permite a reconstrução de seções transversais inteiras da árvore, por meio de informações fornecidas pela passagem de energia através da madeira. Não havia instrumentos que possibilitassem conhecer seções inteiras de árvores com tamanha rapidez e praticidade. Além disso, sua

utilização deixa pouquíssimos sinais. Os primeiros trabalhos a respeito de passagem de ondas mecânicas pelo interior do lenho para a avaliação de árvores datam da primeira metade dos anos 1980 (BUCUR, 1983, 1985), quando ondas de ultra-som foram aplicadas a indivíduos arbóreos para estudos a respeito da constante elástica no incremento do lenho e comparações com densitometria de raios-x.

Nicolotti et al. (2003) compararam as informações obtidas para a caracterização de lesões caudadas pelo fungo *Ganoderma resinaceum* em árvores de *Platanus hybrida* fornecidas por aparelhos de tomografia elétrica, geo radar e tomografia por ultra-som. Os melhores resultados foram obtidos em amostras que apresentavam grande perda de massa, degradação homogênea, barreira de compartimentalização da área apodrecida e decaimento com geometria simples. Para as amostras que apresentavam podridão incipiente e estágios de degradação não homogêneos, além de área atingida com geometria complexa, a tomografia por ultra-som apresentou os melhores resultados, sendo capaz de detectar precisamente a área apodrecida.

Gilbert e Smiley (2004) testaram a capacidade e precisão na detecção de apodrecimento de tronco em indivíduos de *Quercus alba* e *Carya* spp. por meio da utilização de um tomógrafo de impulso. O método foi capaz de identificar espacialmente e quantitativamente as lesões observadas visualmente. Os autores ressaltam que a utilização da tomografia de impulso representa um avanço em relação a outros métodos, tais como a avaliação por penetrômetro, uma vez que possibilita a visualização de uma seção transversal completa, permitindo a correta interpretação de lesões irregulares.

Martinis et al. (2004) utilizaram tomografia por ultra-som e análises com resistógrafo para a detecção de podridão branca em indivíduo da espécie *Fagus sylvatica*. Além de confirmarem a capacidade de detecção interna das lesões pela tomografia, os autores afirmam que a quantidade e qualidade das informações fornecidas pela imagem tomográfica foram claramente superiores às informações obtidas pela utilização do resistógrafo.

Wang e Allison (2008) avaliaram a precisão da tomografia de impulso ao compará-la com avaliação visual e leituras lineares de medição de estresse (*stress-wave timer*)

em dois indivíduos centenários de *Quercus rubra*, indicando que o método identificou a localização e magnitude aproximada dos tecidos lesionados nos indivíduos avaliados.

A tomografia de impulso baseia-se no princípio da cronometragem de ondas mecânicas para reconstrução de seções das árvores (RINNTECH, 2005). O tomógrafo de impulso é composto por sensores que são fixados em seções transversais do indivíduo que será avaliado (Figura 2). Tais sensores recebem pancadas de martelo que produzem ondas mecânicas, cujos tempos de percurso entre os sensores são medidos, e suas velocidades calculadas pelo *software* do equipamento. É gerado, então, um gráfico de velocidade das ondas mecânicas, também chamado de imagem tomográfica (Figura 3). A velocidade do impulso dentro da árvore está altamente correlacionada com a densidade, módulo de elasticidade e umidade do tecido (RINNTECH, 2005), o que possibilita a comparação entre valores dessas variáveis.



Figura 2 - Tomógrafo de impulso montado para avaliação de árvore

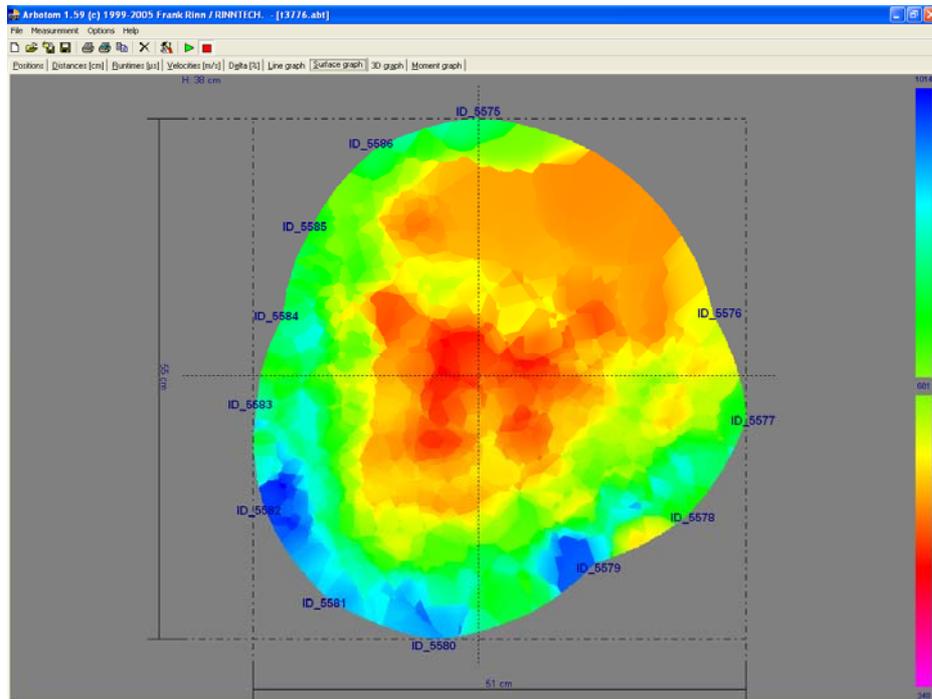


Figura 3 – Imagem tomográfica de seção transversal. Os tons de vermelho, laranja e amarelo indicam menor velocidade de propagação de onda mecânica, enquanto os tons de azul e verde indicam maior velocidade, representando tecidos de menor e maior densidade, respectivamente

3.5.8 Interpretação da imagem tomográfica

Pereira et al. (2007) analisaram a qualidade das informações fornecidas pela tomografia de impulso sobre o interior do lenho, por meio da comparação dos dados de velocidade de onda mecânica obtidos pela aplicação do tomógrafo de impulso com os dados de densidade aparente advindos da densitometria de raio X.

Foram correlacionados dados de velocidade de onda e de densidade aparente, obtidos a partir de amostras de tronco de 3 espécies: *Eucalyptus saligna* Sm. (eucalipto), *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (guapuruvu), *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil). Os resultados mostraram haver grande semelhança entre os dados da tomografia de impulso e os dados da densitometria.

As informações obtidas por meio da avaliação visual, aliadas às informações tomográficas permitem a identificação precisa de problemas fitossanitários e biomecânicos, possibilitando uma avaliação completa a respeito da qualidade e risco de

queda dos indivíduos constituintes da floresta urbana. Para a adoção de critérios de avaliação de risco de queda, Pereira et al. (2007) realizaram o processamento das imagens tomográficas por meio da classificação automática supervisionada, processo que permite quantificar a proporção de tecidos lesionados e saudáveis dos indivíduos.

O método de classificação supervisionada utiliza algoritmos cujo reconhecimento dos padrões espectrais na imagem se faz com base numa amostra de área de treinamento (treinador), que é fornecida ao sistema de classificação pelo analista (SILVA FILHO, 2004).

Por meio das classes identificadas no treinador, são determinados valores centrais e a variabilidade em cada banda (R, G, B) para cada classe do treinador. Esta informação permite ao *software* de processamento de imagens determinar a probabilidade de uma dada célula de um pacote de bandas pertencer a uma determinada classe do treinador. A probabilidade depende da distância do valor da célula para o valor central da classe, e o tamanho e forma das classes no espaço espectral.

Para avaliar estatisticamente a exatidão do mapeamento temático utiliza-se a estatística Kappa extraída de matriz de erro obtida nos *softwares* de processamento de imagens, conforme descrito em Landis e Koch (1977) e Moreira (2003 apud SILVA FILHO, 2004). A estatística Kappa pode ser obtida por meio das eq. (1, 2 e 3):

$$K = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} \quad (1)$$

$$K = \frac{\sum_{i=1}^M n_{ij}}{N} \quad (2)$$

$$P_c = \frac{\sum_{i=1}^M n_{i+} n_{+i}}{N^2} \quad (3)$$

Sendo P_o a exatidão geral; P_c , a proporção de unidades que concordam por casualidade; M , o número de classes presentes na matriz de erro; n_{ij} , o número de observações na linha i e coluna j ; n_{i+} e n_{+i} , os totais marginais da linha i e da coluna

j, respectivamente; e N, o número total de unidades amostrais contempladas pela matriz.

O valor da estatística Kappa, determinado por meio da eq. (1), é comparado em classes de acurácia, sendo que de 80% a 100%, a classificação é reconhecida como excelente (LANDIS; KOCH, 1977).

3.6 Tipuanas

A espécie *Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze é um representante da família Fabaceae (Leguminosae), subfamília Faboideae (Papilionoideae), caracterizando-se por ser a espécie monotípica do gênero (SOUZA, 2005 apud BRAZOLIN, 2009). É popularmente conhecida como tipuana, acácia-argentina, mocó, pau-de-mocó, petirica-guaçu, tipa-branca, tipu ou tipa (BRAZOLIN, 2009).

Sua ocorrência natural limita-se ao Sul da Bolívia e norte da Argentina, desenvolvendo-se no estrato superior e caracterizando-se como uma das espécies principais na altitude 350-800m e secundária em altitudes superiores a 850 metros (LORENZI, 2003, MAINIERI; CHIMELO, 1989). É encontrada na arborização urbana nos estados das regiões sul e sudeste brasileiras e nos países Argentina, Bolívia, Chile, França, Estados Unidos e Argélia (LORENZI, 2003; MACAYA, 1999 apud Brazolin, 2009; MAINIERI; CHIMELO, 1986; TORTORELLI, 1956). Segundo Lima (1993), está entre as dez espécies mais freqüentes na arborização urbana de Piracicaba – SP, sendo relatada a ocorrência do fungo apodrecedor *Ganoderma* sp. nas árvores. Tipuanas foram encontradas em levantamentos de arborização urbana nos municípios de Santa Maria – RS (TEIXEIRA, 1999), Belo Horizonte – MG (VELASCO, 2003), Maringá - PR (ANGELIS; CASTRO; ANGELIS NETO, 2007; SAMPAIO, 2006), Pato Branco - PR (SILVA, 2007), Jacareí - SP (FARIA; MONTEIRO; FISCH, 2008) e Mariópolis - PR (SILVA et al., 2008). Brazolin (2009) relata que a espécie foi extensivamente utilizada na arborização urbana do município de São Paulo, sendo encontrada em bairros tombados pelo Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico – CONDEPHAAT.

Segundo Lorenzi (2003), a espécie apresenta as seguintes características:

“árvore caducifólia, de 12-15 m de altura, originária da Bolívia e norte da Argentina, de tronco com casca parda-clara, saliente, sulcada

longitudinalmente e gretada transversalmente. Ramagem vigorosa ascendente, a superior densa, recurvada, formando copa arredondada frondosa. Folhas compostas pinadas, com 8-10 pares de folíolos opostos e um terminal, elítico-alongados, cartáceos, de 2-3 cm de comprimento. Inflorescências axilares, pequenas, em ramacenos, com flores amarelas constituídas por um estandarte, duas asas e uma quilha, formadas de setembro a dezembro. Frutos do tipo sâmara, geralmente com uma ou duas sementes.” (LORENZI, 2003, p. 211)

A espécie caracteriza-se por ser semidecídua (SILVA et al., 2008), com desfolheamento ocorrendo durante as estações de outono e inverno, com duração de seis meses, floração entre os meses de novembro e dezembro e frutificação entre dezembro e junho, com pico de frutificação no mês de fevereiro e queda dos frutos entre abril e junho (BRUN et al., 2007). Longhi (1984), ao estudar a fenologia de espécies florestais e ornamentais no campus da universidade de Santa Maria-RS observou floração em árvores de tipuana entre os meses de outubro e fevereiro, com frutificação entre os meses de janeiro e julho.

Brun et al. (2007) afirmam que a realização de podas nos indivíduos avaliados no município de Santa Maria-RS induziu floração, formação de novas folhas e maturação dos frutos. Os autores ressaltam que a prática de podas em épocas inapropriadas interfere em seu comportamento fenológico, expondo os indivíduos a condições permanentes de estresse.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

4.1.1 Município de Piracicaba

O município de Piracicaba localiza-se entre os paralelos 22° 30' e 23° S e entre os meridianos 47° 30' e 48° 10' W. A sede do município fica a 22° 42' 30,9" S e 47° 38' 01" W. A área do município é de 1416,5Km². A altitude varia de 450m a 750m em relação ao nível do mar, sendo que 61% do município estão entre 500m e 600m (RANZANI, 1976 apud ALVAREZ, 2004).

O clima é subtropical úmido com estiagem de inverno, em julho e agosto, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2002), Piracicaba possui 92% da população, cerca de 308 mil habitantes, vivendo na área urbana.

4.1.2 Localização e características dos indivíduos avaliados

As avaliações visuais e imagens tomográficas foram realizadas em indivíduos de tipuana localizados no bairro Nova Piracicaba e no campus da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" /Universidade de São Paulo – ESALQ/USP, localizada no bairro Agronomia (Figura 4). Foram escolhidos 39 indivíduos adultos, com diâmetro à altura do peito – DAP igual ou superior a 30 cm e que apresentassem sinais de injúrias, apodrecimento, inclinação ou outros fatores passíveis de identificação visual que pudessem prejudicar a estabilidade ou desenvolvimento das árvores.

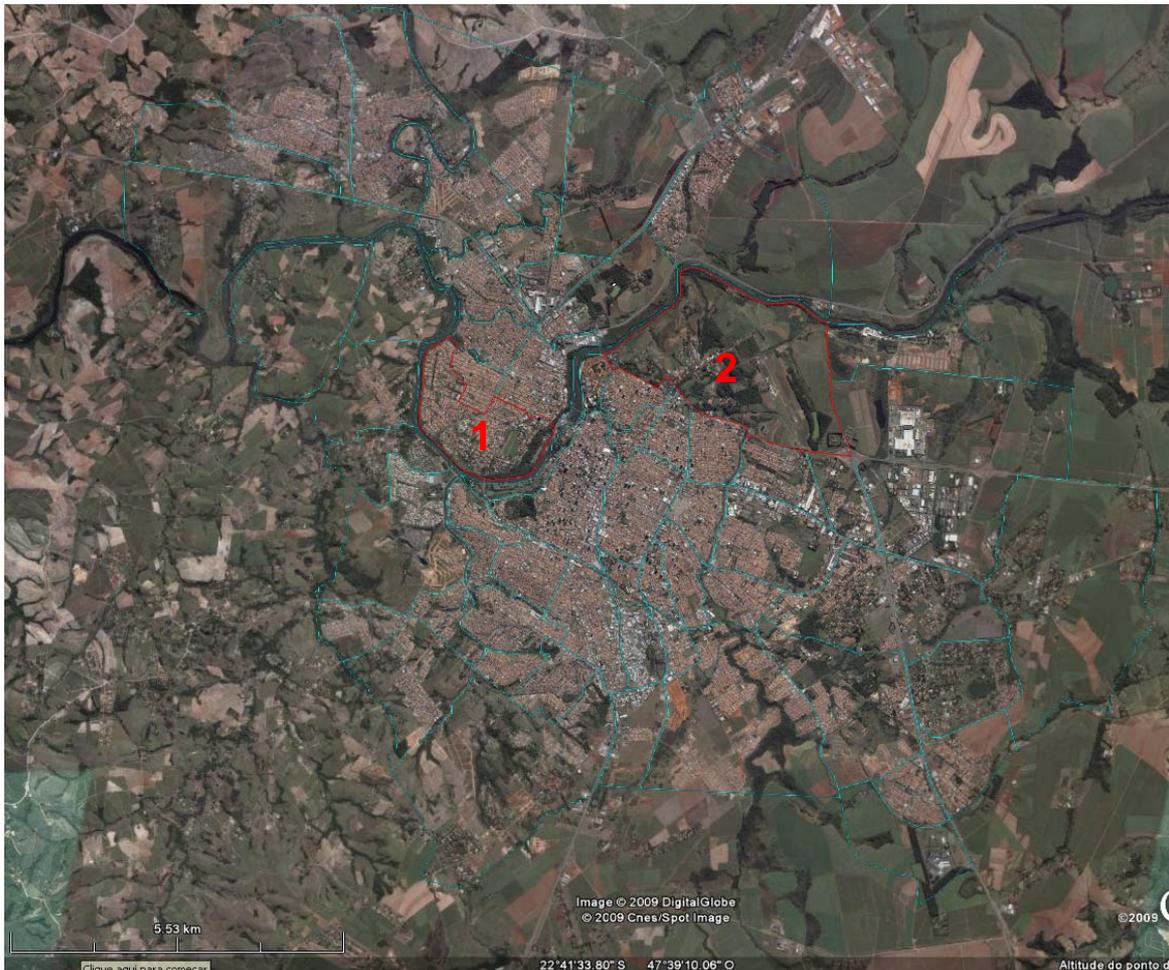


Figura 4 – Área urbana do município de Piracicaba – São Paulo

Legenda: - Delimitação dos bairros do município 1 - Bairro Nova Piracicaba
2 - Bairro Agronomia

4.2 Descrição do Método

4.2.1 Comparação de dados obtidos pela utilização de resistógrafo e tomografia de impulso

Para avaliar as similaridades nas informações obtidas pela tomografia de impulso e pela utilização de resistógrafo foram utilizados dois toretes de *Eucalyptus Saligna* Sm. provenientes da Estação Experimental de Itatinga, pertencente à ESALQ/USP. No primeiro torete, com um metro de altura e 31 cm de diâmetro, obteve-se dados em três alturas, sendo uma na região central, uma a 20 cm da face superior e outra a 20 cm da face inferior. Para a obtenção da imagem tomográfica utilizou-se o tomógrafo de

impulso Arbotom com onze sensores posicionados equidistantemente (8,8 cm entre os mesmos). Cada sensor recebeu pancadas de martelo até que os erros apresentados na tabela Delta% do *software* do aparelho fossem inferiores a 10%, como recomendado pelo manual do equipamento (RINNTECH, 2005).

Em cada uma das seções utilizadas para a obtenção das imagens tomográficas, foram realizadas quatro medições com resistógrafo modelo Resistograph 3450 – S. As medições radiais foram realizadas em intervalos de 90°, sendo que a posição da primeira medição foi coincidente com a posição do primeiro sensor utilizado para a obtenção das imagens tomográficas. Tal método foi adotado para que a correta localização da passagem da sonda do resistógrafo pudesse ser identificada na imagem tomográfica, permitindo correlacionar a variáveis.

Como os equipamentos utilizados apresentam suas leituras em escalas diferentes, fez-se necessária a padronização das escalas para que os dados pudessem ser comparados. Para o resistógrafo, foram calculados valores médios de resistência a penetração em intervalos de 3 cm, sendo que cada valor representava a média de 3000 leituras, uma vez o equipamento registra uma nova leitura para cada 0,01 mm perfurado. Para o tomógrafo de impulso, calculou-se a velocidade de propagação de onda mecânica em intervalos de 3 cm, sendo que cada valor representava a média de 30 leituras, pois o equipamento fornece informações a cada 1 mm.

O mesmo processo para a obtenção de imagem tomográfica e leituras do resistógrafo foi realizado no segundo torete. Foi gerada uma única imagem tomográfica e quatro leituras de resistógrafo em seção transversal localizada a 20 cm da face superior da amostra de 1 metro de altura e 44,5 cm de diâmetro. Os sensores foram fixados em intervalos de 12,6 cm.

4.2.1.1 Posicionamento das leituras de resistógrafo nas imagens tomográficas:

Utilizando o *software* de geoprocessamento TNT Mips versão 7.2, as linhas de passagens da sonda do resistógrafo nas amostras foram identificadas nas imagens tomográficas utilizando para tal medições de angulação e o posicionamento do primeiro sensor na imagem tomográfica, permitindo identificar a localização das perfurações nas imagens. As áreas perfuradas foram então recortadas das imagens para que a

correlação existente entre as variáveis fosse realizada apenas nos locais das perfurações.

4.2.1.2 Processamento das imagens

Os Níveis de Cinza – NC em cada uma das bandas ou canais (vermelho, verde e azul, representadas pelas letras R G e B, respectivamente) que compõem as faixas tomográficas foram demarcados no *software* TNT Mips em cada elemento da matriz da imagem (raster). Uma vez que a velocidade de propagação de onda mecânica está identificada pela composição de níveis de cinza em cada uma das bandas, por meio da identificação de tais valores foi construída uma palheta de cores e velocidades para cada uma das imagens, possibilitando a identificação da velocidade de propagação em cada elemento da matriz e a construção de um gráfico de velocidade para cada faixa avaliada.

Adotou-se 155 classes de velocidade de propagação de onda mecânica por meio da form. (6), que possibilitou definir o intervalo de velocidade de cada uma das classes e os valores de níveis de cinza de cada uma das bandas enquadrados em cada classe:

$$(V_{\max} - V_{\min})/155 \quad (6)$$

Onde V_{\max} = velocidade máxima de propagação observada na imagem tomográfica; V_{\min} = velocidade mínima observada na imagem tomográfica.

O comportamento das velocidades em relação às cores apresentadas na imagem composta pode ser sintetizado da seguinte forma:

O valor de velocidade máxima é representado pelo azul puro (NC R= 0, G = 0 E B = 255), cor associada pelo sistema computacional do tomógrafo. Com a diminuição da velocidade de propagação aumentam os valores de NC na Banda G, cor associada a valores médios pelo sistema computacional. Quando a banda G atinge o valor máximo (NC R= 0, G = 255, B = 255), os NC da Banda B começam a diminuir até atingir o valor zero (NC R= 0, G = 255 E B = 0). A partir deste ponto, a diminuição da velocidade de propagação é representada pelo aumento dos NC da banda R, cor vermelha associada

com valores baixos. Após atingir seu valor máximo (NC R = 255, G = 255 e B = 0), a diminuição da velocidade de propagação é representada pela diminuição dos NC da banda G, até que a mesma atinja o valor zero (NC R = 255, G = 0 e B = 0). As menores velocidades de propagação são identificadas pelo valor máximo de NC na Banda R e aumento dos valores de NC na banda B, até a representação da velocidade mínima com valores máximos de NC nas bandas R e B e valor zero na Banda G (NC R = 255, G = 0 e B = 255).

4.2.1.3 Avaliação estatística

Com base nas leituras do resistógrafo e das velocidades obtidas pela tomografia de impulso, foram testados modelos lineares, com seleção de variáveis feita pelo método de regressão passo a passo (*Step Wise*) utilizando o programa SAS, considerando os dados de resistência a penetração e velocidade de propagação conforme apresentado na Tabela 1. Os valores dos coeficientes de determinação da regressão linear (R^2) obtidos e a simplicidade dos modelos foram considerados para a escolha do modelo adotado.

Tabela 1 – Modelos utilizados na regressão passo a passo

Número do Modelo	Fórmula correspondente
1	$RESIS = \hat{\beta}_1 * (LTOMOG)$
2	$RESIS = \hat{\beta}_1 * (ITOMOG) + \hat{\beta}_2 * (LTOMOG)$
3	$RESIS = e^{\hat{\beta}_1 * (LTOMOG)}$
4	$RESIS = e^{(\hat{\beta}_1 * (TOMOG^2))} + e^{(\hat{\beta}_2 * (LTOMOG))}$

Nota: RESIS = leitura do resistógrafo; LTOMOG = leitura do tomógrafo em escala logarítmica; ITOMOG = inverso da leitura do tomógrafo; TOMOG2 = leitura do tomógrafo elevada ao quadrado; $\hat{\beta}$ = parâmetro estimado; e = exponencial.

4.2.2 Avaliação visual

O diagnóstico visual foi efetuado com o uso de uma planilha de levantamento de dados construída no *software* Microsoft Access 7.0. A mesma possui dez grupos de informações, sendo eles: especificação, dimensões, interferências, canteiro, raízes,

colo, tronco, copa, avaliação geral e ações. Os detalhes de cada grupo de informação estão dispostos no Quadro 2.

Grupo	Dados Coletados
Especificação	Data, Número, e Localização
Dimensões	Dimensões da árvore e da via pública
Interferências	Local, Tipo de fiação, Contatos e interferências, Levantamento de pavimento e Proximidade de equipamentos
Canteiro	Tipo e Dimensões
Raízes	Interferências, Diagnóstico, Pragas e Fungos
Colo	Relações e diagnóstico, Pragas e Fungos
Tronco	Relações, Diagnóstico, Pragas e Fungos
Copa	Relações, Diagnóstico, Pragas, Fungos e Tipo de Ramificação
Avaliação geral	Estado geral, Equilíbrio geral, Fenologia, Ecologia, Vandalismo e Risco de queda
Ações	Ação executada e Ação recomendada

Quadro 2 – Grupos de informações e dados coletados

I) Especificação:

- *Data*: data de cadastramento e avaliação visual do exemplar em questão;
- *Número*: corresponde ao número da árvore cadastrada, número este presente em placa metálica fixada em cada um dos indivíduos avaliados;
- *Localização*: corresponde à localização do exemplar a algum ponto de referência que auxilie sua localização. Utilizou-se o nome da rua e o número da edificação mais próxima à árvore avaliada;

II) Dimensões:

Foram mensurados a largura da via pública, perímetro à altura do peito (PAP), perímetro do colo, altura total, altura da primeira bifurcação e diâmetro de copa. Os três primeiros foram medidos com auxílio de trena, enquanto os outros foram obtidos sem a utilização de equipamentos. Para tanto, calibrações na percepção do avaliador, a partir de objetos com alturas conhecidas foram realizadas para que erros fossem minimizados. Optou-se pela adoção deste método pela agilidade que o mesmo propiciava nas avaliações em campo.

III) Interferências:

- *Local*: características do local onde o indivíduo se encontra (área aberta, calçada, canteiro central, entre outros) bem como o tipo de pavimento (sem pavimento, mosaico português, cimento, bloco autotravante, piso cerâmico ou de pedra);
- *Tipo de fiação*: quando o indivíduo encontrava-se sob fiação, foi identificada o tipo da mesma (derivação, rede primária, secundária, cabo de telefonia ou outro cabo aéreo);
- *Contatos e interferências*: interferência no desenvolvimento do indivíduo ocasionada por fiação, poste de eletrificação, sistema de iluminação, sinalização de trânsito ou construções. Assinalada como ausente, atual ou potencial;
- *Levantamento do pavimento*: no caso do sistema radicular ter ocasionado levantamento de pavimento, foi identificado o local do mesmo (canteiro, leito carroçável, calçada, construções e passagens de pedestres);
- *Proximidade de equipamentos*: campo utilizado para assinalar a proximidade do indivíduo avaliado a outros equipamentos urbanos (bueiro, galeria de água ou esgoto, faixa de pedestre, hidrante, semáforo e poço de visita).

IV) Canteiro:

- *Tipo e dimensões*: foi assinalada a forma (retangular, circular ou outro) e suas dimensões (medidas com auxílio de trena).

V) Raízes:

- *Interferências*: indicadas no caso do sistema radicular sofrer interferências no seu desenvolvimento. Tipo de interferências assinaladas:
 - Barreira física do canteiro;
 - Caixa de inspeção;
 - Edificações;
 - Muro;
 - Poste de eletrificação;
 - Rede de água;
 - Rede de esgoto;
 - Rede de gás.

- *Diagnóstico*: para o sistema radicular foram observados os seguintes diagnósticos:
 - Broto ladrão;
 - Injúria mecânica;
 - Oco (5%; 15%; 25%; 35%; 45%; 50%; 60%; 70%; 80%; 90%);
 - Raiz cortada;
 - Raiz dobrada/enovelada;
 - Sistema radicular exposto não característico da espécie.

O método empregado para a identificação e os tipos de pragas e fungos observados foram os mesmos para as raízes, colo, tronco e copa.

- *Pragas*: identificada a presença de cupim de madeira seca, cupim de solo, formigas cortadeiras e carpinteiras. Foi assinalada a intensidade do ataque (leve ou intenso), a forma de visualização (resíduos, dispersão no solo, presença de túneis, vestígios de túneis ou estrutura do ninho), e a atividade da praga no momento da avaliação visual (leve, moderada ou intensa).
- *Fungos*: para a avaliação visual, os fungos observados foram divididos em duas categorias: podridão branca e podridão parda, sendo assinalada a intensidade do ataque e a presença ou não de corpo de frutificação.

VI) Colo:

- *Relações e diagnóstico*: foi observado:
 - Broto ladrão;
 - Casca inclusa;
 - Exsudação de seiva;
 - Injúria mecânica originada por anelamento;
 - Injúria mecânica originada por outros fatores;
 - Protuberância;
 - Colo soterrado;
 - Fenda;
 - Oco (5%; 15%; 20%; 35%; 45%; 55%; 60%; 70%; 80%; 90%);
 - Madeira Seca (5%; 10%; 20%; 30%; 40%; 50%; 60%; 70%; 80%; 90%; 100%).

VII) Tronco:

- *Relações:* identificadas as relações do tronco do indivíduo com os seguintes equipamentos urbanos:
 - Abrigo/ponto de ônibus;
 - Edificação;
 - Iluminação pública;
 - Muro;
 - Poste;
 - Rede de energia elétrica (primária, secundária e ligação domiciliar);
 - Semáforos;
 - Sinalização de trânsito;
 - Transformadores.
- *Diagnóstico:*
 - Broto ladrão;
 - Casca inclusa;
 - Exsudação de seiva;
 - Injúria mecânica;
 - Protuberância;
 - Fenda;
 - Oco (5%; 15%; 20%; 35%; 45%; 55%; 60%; 70%; 80%; 90%);
 - Madeira Seca (5%; 10%; 20%; 30%; 40%; 50%; 60%; 70%; 80%; 90%; 100%).

VIII) Copa:

- *Relações:* foram assinaladas as relações da copa do indivíduo com os seguintes equipamentos urbanos:
 - Abrigo/ponto de ônibus;
 - Edificação;
 - Iluminação pública;
 - Muro;
 - Poste;
 - Rede de energia elétrica (primária, secundária e ligação domiciliar);
 - Semáforos;
 - Sinalização de trânsito;

- Transformadores.

- *Diagnóstico:*

- Copa desequilibrada (em direção ao imóvel, leito carroçável ou passeio);

- Epífitas;

- Erva de passarinho;

- Presença de plantas parasitas;

- Injúria mecânica;

- Má formação;

- Realização de poda drástica;

- Realização de poda inadequada;

- Realização de poda inadequada lateral;

- Realização de poda inadequada em “V”;

- Presença de ramos cruzados;

- Presença de ramos secos ou podres;

- Presença de tocos.

- *Tipo de ramificação:* foi feita distinção entre forma da primeira ramificação em “U” e em “V”, uma vez que os indivíduos com ramificações em “V” possuem maior risco de quebra de galhos em função dos esforços de tensão (MATTHECK; BRELOER, 1997).

IX) Avaliação geral:

- *Estado geral:* foi considerado sempre o conjunto de fatores analisados em cada espécime, nunca um deles isolado, a não ser que este fosse muito significativo, influenciando na saúde da árvore como um todo.

- Ótimo: árvore vigorosa e sadia; sem sinais aparentes de ataque de insetos, doenças ou injúrias mecânicas; pequena ou nenhuma necessidade de manutenção; forma ou arquitetura característica da espécie. Sem ou com leves reações físico-mecânicas e afloramento de raiz.

- Bom: médias condições de vigor e saúde; necessita de pequenos reparos ou poda; apresenta descaracterização da forma natural da copa e sinais de ataque de insetos, doença ou problemas fisiológicos. As reações físico-mecânicas podem variar

de ausente a grave sem, no entanto, comprometer significativamente a saúde da árvore ou influenciar de modo incisivo o seu risco de queda potencial.

- Regular: apresenta vigor e saúde visivelmente inferiores ao estado “bom”; ataque insetos e/ou doença e/ou injúria e/ou vandalismo graves comprometendo de maneira significativa a sua saúde e o risco potencial de queda e danos, mas apresenta potencial de se recuperar. Necessita interferência humana para reparo de danos.

- Péssimo: avançado e irreversível declínio; ataque de insetos e/ou doença e/ou injúria e/ou vandalismo graves comprometendo de maneira significativa a sua saúde e o risco potencial de queda e/ou danos e não apresenta potencial de se recuperar; presença de problemas fisiológicos cujos reparos não resultarão em benefício para o indivíduo.

- Morta: árvore seca ou com morte iminente, necessitando ser substituída.

- *Equilíbrio Geral:*

- Equilíbrio de copa: as árvores foram consideradas equilibradas quando distribuídas igualmente em todas as direções, não gerando esforços físico-mecânicos extras para alguma parte da árvore;

- Equilíbrio de tronco: considerado equilibrado quando formato não implica na geração de esforço físico-mecânicos extra para alguma direção;

- Inclinação: corresponde à variação de quanto o tronco está desalinhado em relação à reta imaginária perpendicular ao solo, originária em sua base. Apesar de sofrer maiores esforços mecânicos (como os gerados pela força do vento, por exemplo), não corresponde necessariamente à maior risco de queda, já que a árvore pode compensar sua inclinação a partir da formação de madeira de reação em locais que sofrem maiores esforços e/ou fixar-se adequadamente ao solo por meio de um sistema radicular adaptado;

- *Fenologia:* no momento da avaliação visual, foi identificada a presença ou não de folhas, flores e frutos no indivíduo;
- *Ecologia:* interações que podem ser benéficas (insetos polinizadores), neutras (epífitas, líquens, ninhos) ou negativas (parasitas);
- *Vandalismo:* ação humana maléfica sobre a árvore. Foram assinaladas as intensidades ausente, leve, médio e pesado;

- *Risco de queda*: risco de queda apontado pelo conjunto de fatores observados durante a avaliação visual. Foram adotadas três categorias (risco de queda baixo, médio e alto).

X) Ações:

- *Ação executada*: apontam ações de manejo executadas até o momento da avaliação e a qualidade de execução (ótima, boa, regular ou péssima);
- *Ação recomendada*: recomendações de manejo visando amenizar os problemas biomecânicos e fitossanitários observados.

4.2.3 Tomografia de impulso e processamento das imagens

Em cada árvore avaliada, foram fixados 12 pregos atravessando a região da casca/alburno a 2 cm de profundidade, utilizados para sustentação dos sensores do tomógrafo de impulso Arbotom. Em indivíduos sem ocos abertos os pregos foram fixados de forma equidistante, enquanto em árvores com oco aberto a distribuição dos pregos foi realizada de forma que pregos fossem fixados nas regiões próximas às bordas da cavidade aberta, enquanto os dez pregos remanescentes foram distribuídos de forma equidistante. Cada sensor recebeu 5 pancadas de martelo ou mais para obtenção de imagens tomográficas de boa qualidade. Foram dadas pancadas até que a porcentagem de erro da tabela delta% do *software* Arbotom possuía erros inferiores a 10%.

As imagens tomográficas foram obtidas de todos os indivíduos avaliados, excetuando-se um que foi suprimido pelo serviço municipal de remoção de árvores antes que a imagem fosse obtida. Foram feitas imagens do colo dos indivíduos e também imagens em regiões onde a avaliação visual possibilitou a identificação de lesões (ocos, protuberâncias, fendas e formação de costelas, por exemplo) previamente identificadas na avaliação visual.

Utilizou-se para a interpretação das imagens o modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm (opções gráficas fornecidas pelo *software* do equipamento). As imagens foram então exportadas do *software* original para o formato de imagem .tiff, permitindo desta forma a fotointerpretação e classificação automática

supervisionada para identificação de áreas lesionadas no *software* TNT Mips, versão 7.2.

4.2.3.1 Modelagem estatística para identificação de velocidades de propagação de ondas mecânicas em tecidos lesionados e em suas áreas periféricas

As imagens que apresentaram lesões internas em função da queda de velocidade de propagação de onda mecânica, tiveram suas velocidades mínimas, médias e máximas medidas para a área lesionada, áreas periféricas identificadas como áreas 1, 2, e 3 e também para a imagem tomográfica como um todo. Utilizando o programa SAS, procedimentos estatísticos básicos, como o cálculo de média mediana, moda, desvio padrão e variância, foram aplicados visando um melhor entendimento das variáveis estudadas. Testes de normalidade de Shapiro-Wilk foram também aplicados para cada uma das classes de velocidade de propagação, visando à verificação do pressuposto básico de normalidade dos resíduos no modelo linear.

Análises de covariância foram realizadas buscando compreender a influência do DAP na velocidade de propagação de ondas mecânicas no interior do lenho. Foi aplicado teste de comparação de médias de Tukey para cada classe de velocidade, visando observar as diferenças estatisticamente significativas para as velocidades em cada uma das áreas delimitadas.

4.2.3.2 Classificação automática supervisionada das imagens tomográficas e avaliação de risco de queda

Por meio da utilização do *software* TNT Mips versão 7.2, as imagens foram decompostas, originando três imagens. Cada imagem apresentava os valores de uma das bandas (R, G e B) em níveis de cinza. Tal processo é necessário para a realização das classificações automáticas supervisionadas. O enquadramento das velocidades observadas como tecido saudável ou lesionado foi realizado considerando os resultados obtidos no processo de modelagem estatística para identificação de velocidades de propagação de ondas mecânicas em tecidos lesionados e em suas áreas periféricas, descritos no item 4.2.3.1 desta dissertação

Utilizou-se o método *Step Wise Linear* para a classificação automática supervisionada. Um treinador foi confeccionado para cada uma das imagens, contendo amostras de tecido saudável e tecido lesionado. Os tecidos lesionados foram identificados por meio da interpretação da palheta de cores e velocidades construída para cada uma das imagens. Os valores de NC de R, G e B que representavam tecidos lesionados foram identificados para que amostras fossem fornecidas ao treinador. Após a classificação, avaliou-se a qualidade da mesma pela estatística Kappa. Imagens que apresentavam valores de Kappa inferiores a 90% foram reclassificadas até que o valor de 90% ou mais fosse atingido. Por meio do processo de classificação (Figura 5, A-B) é possível quantificar a área lesionada, permitindo interpretações mais precisas a respeito do risco de queda do indivíduo avaliado (Figura 6, A-B).

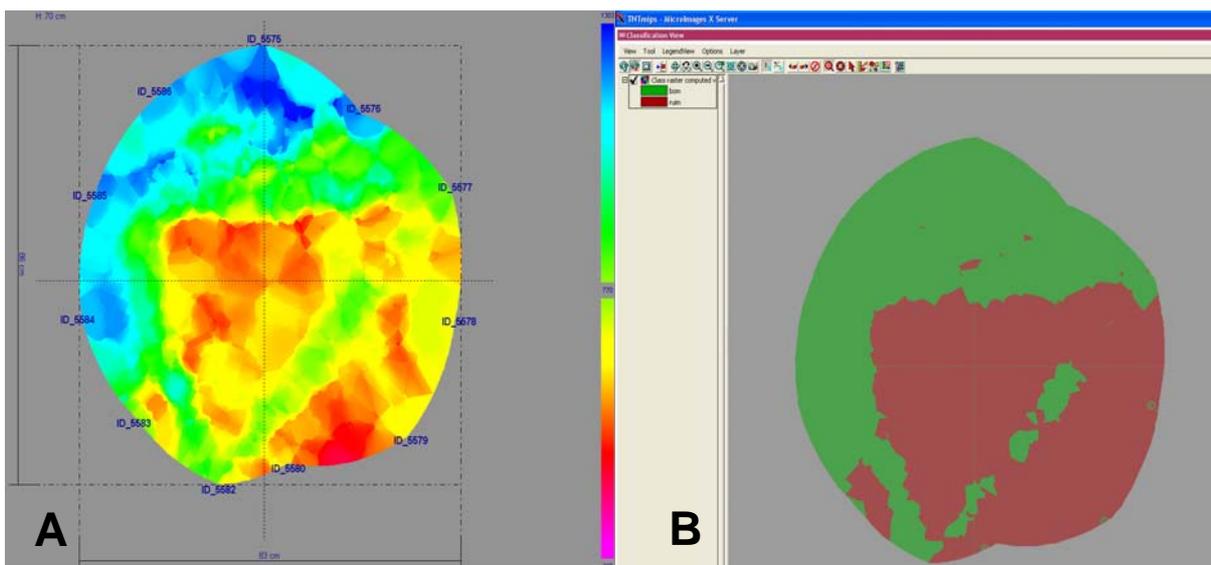


Figura 5 – Processo de classificação automática supervisionada. A: imagem tomográfica no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm. B: a mesma imagem após o processo de classificação automática supervisionada, com a cor verde identificando os tecidos não lesionados e a cor vermelha os tecidos lesionados

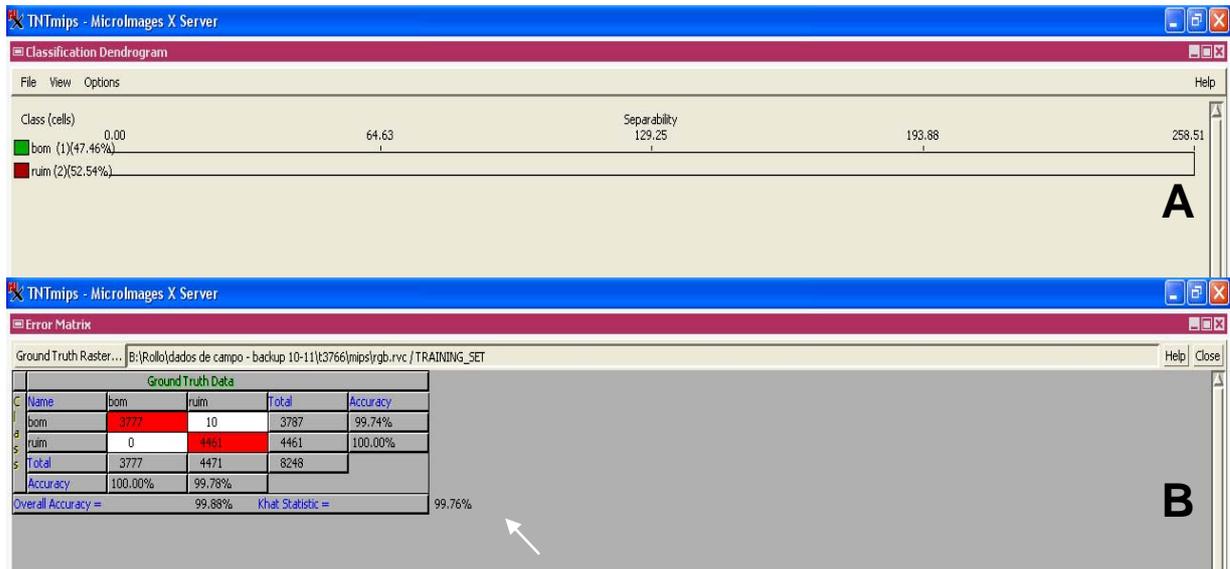


Figura 6 – Estatística do *software* TNT Mips a respeito da classificação automática supervisionada. A: Percentagem encontrada de tecidos saudáveis (indicados pela cor verde e lesionados (indicados pela cor vermelha. B: Precisão para cada uma das classes componentes do treinador e valor de estatística Kappa (seta)

Para a classificação de risco de queda pela imagem tomográfica foi utilizada adaptação do método desenvolvido por Bond e Tucker (2006). As árvores foram classificadas nas classes de risco de queda conforme apresentado no Quadro 3.

	Porcentagem de área lesionada identificada pela classificação automática supervisionada
Risco de queda	
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

Quadro 3 – Classes de risco de queda e critérios para enquadramento das imagens nas respectivas classes

A remoção da árvore foi recomendada para as árvores enquadradas na classe risco de queda severo. Para as outras classes, a indicação de remoção foi avaliada pelo conjunto de informações fornecidas pela avaliação visual e a interpretação da imagem tomográfica.

4.2.4 Associação entre as lesões identificadas por tomografia de impulso com a avaliação visual de árvores e a determinação de risco de queda

As informações provenientes da avaliação visual e da tomografia de impulso foram avaliadas individualmente para cada uma das árvores para a determinação específica a respeito do risco de queda. As árvores que apresentaram risco de queda pela tomografia de impulso superior ao indicado pela avaliação visual tiveram seu risco aumentado para o indicado pela tomografia, uma vez que as lesões internas da base das árvores desempenham papel fundamental no risco de ruptura da mesma.

Os indivíduos que apresentaram maior classificação de risco de queda pela avaliação visual tiveram suas classes de risco mantidas, pois a avaliação visual provém informações a respeito de problemas biomecânicos e fitossanitários importantes para a identificação de risco. As árvores enquadradas como risco de queda severo pela tomografia de impulso foram classificadas como risco de queda alto na classificação que englobava tanto a tomografia quanto a avaliação visual.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação estatística entre as leituras de resistógrafo e velocidade de propagação de onda mecânicas

A subdivisão das leituras do resistógrafo e das velocidades obtidas pela tomografia de impulso em médias a cada três centímetros totalizaram 84 leituras. Os parâmetros estimados e os coeficientes de determinação (R^2) para cada modelo testado estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – parâmetros estimados e índice de qualidade de ajuste dos modelos testados

Nº do modelo	$\hat{\beta}1$ (erro padrão)	$\hat{\beta}2$ (erro padrão)	Coefficiente de determinação (R^2)
1	101,95464 _(3,42883)	-----	0,9142
2	-158129 ₍₇₈₈₀₆₎	129,42516 _(14,09858)	0,9182
3	0,95855 _(0,005)	-----	0,9977
4	-2,32793E-7 _(1,346701E-7)	0,98627 _(0,01678)	0,9978

Nota: $\hat{\beta}1$ = primeiro parâmetro; $\hat{\beta}2$ = segundo parâmetro

Com base nas características dos modelos testados, optou-se pelo modelo 3 em função do alto valor de coeficiente de determinação encontrado e de sua simplicidade. O modelo 4 apresentou o maior coeficiente de determinação entre os modelos testados, porém pouco superior ao R^2 do modelo 3. Como apresenta maior complexidade, uma vez que utiliza duas variáveis independentes enquanto o modelo adotado utiliza apenas uma, o mesmo foi descartado. A representação gráfica do modelo adotado é apresentada no gráfico da Figura 7.

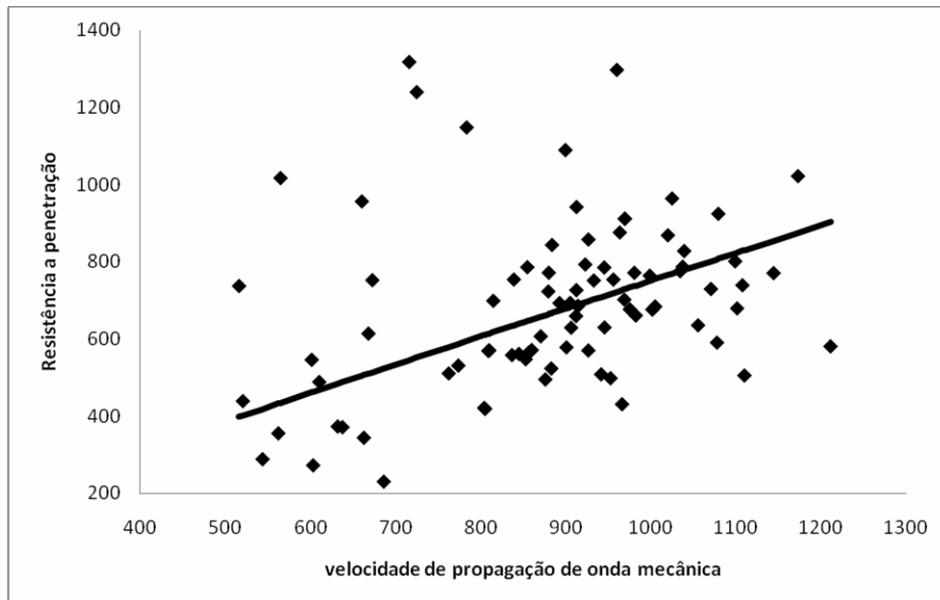


Figura 7 – Representação gráfica do modelo de resistência a penetração e velocidade de propagação de onda mecânica em 84 amostras de toretes de *Eucalyptus saligna* Sm. (pontos). A linha representa o modelo

Com base no modelo adotado e seu respectivo coeficiente de determinação, podemos afirmar que as informações geradas pela aplicação do resistógrafo e as obtidas por meio da tomografia de impulso apresentam forte correlação. Como o resistógrafo é considerado uma ferramenta consagrada, capaz de identificar áreas lesionadas no lenho de árvores por meio da leitura da resistência a penetração, podemos afirmar que a tomografia de impulso é capaz de identificar tais áreas lesionadas. A vantagem da tomografia em relação ao resistógrafo se deve ao fato da primeira prover informações a respeito de toda uma seção transversal avaliada, enquanto o segundo permite leituras lineares, sendo necessárias diversas leituras para que a avaliação de uma seção transversal possa ser realizada acertadamente. Outra vantagem da tomografia de impulso é a geração de uma imagem tomográfica que permite a localização exata das áreas lesionadas na seção avaliada e a aplicação de métodos de interpretação de imagem para a quantificação da área lesionada.

5.2 Avaliação Visual

As árvores foram avaliadas visualmente entre os dias 26 de outubro de 2008 e 4 de maio de 2009. Compreendendo desta forma parte do inverno, primavera, verão e parte do outono. Vinte e cinco indivíduos (64,1% do total) foram avaliados durante o

inverno, sete indivíduos (17,9% do total) durante a primavera, três durante o verão (7,7%) e quatro durante o outono (10,3%).

Características dendrométricas da amostra: a amostra foi composta de árvores adultas, com altura média de 12,04 metros e DAP médio de 58,99 cm. A inclinação média observada foi igual a 22°. As características dendrométricas principais estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Características dendrométricas das tipuanas componentes da amostra

Característica	D.				1°	3°
	Média	padrão	Mínimo	Máximo	quartil	quartil
Altura geral (m)	12,04	3,19	7,00	20,00	9,50	14,00
Altura da 1ª ramificação (m)	2,64	0,84	1,60	6,30	2,20	3,00
Diâmetro da copa (m)	15,81	4,48	8,00	26,00	12,40	18,50
DAP (cm)	58,99	14,79	33,40	95,50	49,58	67,48
Ângulo de inclinação (°)	22,03	10,49	0,00	42,00	12,50	30,00

5.2.1 Comportamento fenológico

O comportamento fenológico encontrado para os indivíduos avaliados diferiu do descrito para a espécie por Brun et al. (2007) e Longhi (1984). Todas as árvores avaliadas apresentaram sinais de semideciduidade durante outono e inverno, entretanto, os períodos de floração e frutificação apresentaram alterações em comparação ao citado pelos autores. Em relação à floração, 64,1% apresentaram comportamento semelhante ao descrito, enquanto 35,9% apresentaram floração em épocas diferentes, principalmente no tangente à floração durante o inverno (observada em 28,2% do total de indivíduos avaliados e 44% dos avaliados durante o inverno). Outros três indivíduos (7,7% do total) apresentaram floração no mês de setembro, corroborando o comportamento descrito por Lorenzi (2003).

Foi observada frutificação em 88,9% dos indivíduos avaliados durante os meses de agosto e setembro, indicando que no ano de 2008 o comportamento da frutificação dos indivíduos avaliados diferiu do encontrado pelos autores supracitados. Do total avaliado, 79,50% apresentaram comportamento fenológico diferente do citado pelos autores.

Estudos são necessários para confirmar diferenças no comportamento fenológico da espécie na área de estudo. As diferenças encontradas devem-se provavelmente às diferenças climáticas dos locais deste trabalho (Piracicaba – SP) e dos trabalhos realizados por Brun et al. (2007) e Longhi (1984) em Santa Maria – RS.

5.2.2 Estado geral

Injúrias: do total de árvores avaliadas, 76,92% (30 árvores) apresentaram sinais de injúria no sistema radicular, colo, tronco ou copa. As injúrias estão geralmente associadas a ações antrópicas sobre as árvores, a lesões causadas por vandalismo e danos causados pela colisão de automóveis. Processos de apodrecimento causados por fungos xilófagos, assim como a formação de cancrios podem ser iniciados a partir delas. As raízes avaliadas foram limitadas às expostas. Na copa foram consideradas injúrias lesões não cicatrizadas ocasionadas pela quebra de galhos, excluindo a realização de podas que serão analisadas posteriormente. A Tabela 4 apresenta o número de indivíduos encontrados com injúrias e o respectivo local da árvore afetada.

Tabela 4 – Local da árvore apresentando injúria, número e porcentagem de observações

Local da árvore	Número (%) de árvores com injúria
Sistema radicular	6 (15,38)
Colo	2 (5,13)
Tronco	18 (46,15)
Copa	16 (41,03)

Podas: a realização de podas inadequadas pode desequilibrar a copa e expor o lenho sadio a ação de organismos xilófagos. Foram observadas na análise de campo podas inadequadas subdivididas em três categorias: podas drásticas, inadequadas e inadequadas laterais. Foram consideradas podas drásticas aquelas que acarretaram mudanças no centro de gravidade da árvore, afetando seu equilíbrio. Desta forma, as podas em “V” enquadram-se dentro desta categoria. As podas foram classificadas como inadequadas quando a remoção de galhos foi realizada sem observar o posicionamento da crista e colar do galho removido, dificultando sua cicatrização. A poda inadequada lateral, observada em um indivíduo avaliado, segue os mesmos princípios da poda

inadequada, sendo considerada lateral quando realizada em broto ladrão. Foram encontradas 20 árvores podadas, representando 51,30% da amostra. A distribuição da amostra nas três classes de poda consideradas está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Distribuição das árvores podadas em categorias, número e porcentagem de árvores encontradas

Categoria de Poda	Número (%) de árvores podadas
Drástica	9 (23,08)
Inadequada	11 (28,21)
Inadequada lateral	1 (2,56)

As árvores localizadas sob a rede de energia elétrica apresentaram mais casos de podas inadequadas do que aquelas em locais onde não havia fiação. Das vinte árvores identificadas como podadas inadequadamente ou de forma drástica, quinze estavam sob a rede de energia elétrica (75% das árvores podadas), indicando que a realização de podas prejudiciais ao desenvolvimento dos indivíduos da amostra tinha como objetivo a manutenção da rede de energia elétrica. A realização de podas de árvores sob fiação deve ser realizada de modo a garantir a estabilidade e sanidade do indivíduo podado, diminuindo desta forma o risco de queda e possíveis danos causados pela queda das árvores.

Sistema radicular: pela avaliação visual dos indivíduos constituintes da amostra foram observados três problemas principais em relação ao sistema radicular: afloramento de raízes, enovelamento causando estrangulamento do colo da árvore e corte do sistema radicular. Foram encontrados 11 indivíduos (28,20% da amostra) com parte de seu sistema radicular cortado. O corte da raiz pode comprometer a estabilidade do indivíduo, além de propiciar a entrada de organismos xilófagos. Doze indivíduos (30,77% da amostra) possuíam enovelamento do sistema radicular causando estrangulamento do colo e diminuindo a estabilidade e ancoragem das árvores atingidas.

Afloramento do sistema radicular foi observado em 82,05% da amostra (32 árvores). O mesmo foi subdividido em quatro categorias: afloramento no canteiro, calçada, leito carroçável e construção. A distribuição das árvores com afloramento está apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 – Local de afloramento do sistema radicular, número e porcentagem de árvores encontradas

Local do afloramento	Número (%) de árvores
Canteiro	14 (35,90)
Calçada	19 (48,72)
Leito Carroçável	11 (28,20)
Construção	1 (2,56%)

5.2.3 Biodeterioração por organismos xilófagos

5.2.3.1 Fungos apodrecedores

A observação de fungos apodrecedores nos indivíduos da amostra indica processo de biodeterioração do indivíduo avaliado, mas não necessariamente propensão maior a queda, conforme mencionado por Shigo (1989) e Sterken (2005). A observação de fungos apodrecedores foi realizada no sistema radicular, colo e tronco das árvores. Para o sistema radicular, a visualização foi restrita às raízes expostas. Foram encontrados 5 indivíduos sob ação de fungos apodrecedores no sistema radicular, 13 no colo e 14 no tronco, representando 12,82%, 33,30% e 35,90% do total de indivíduos avaliados, respectivamente. Para o colo e tronco, a maior parte das observações apresentava intensidade moderada e intensa, enquanto que para o sistema radicular a maior parte dos ataques observações foi classificada como intensidade leve, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Locais de observação de fungos apodrecedores, número de observações e intensidade dos ataques nas árvores avaliadas

Local	N°(%) de observações	Intensidade - n°(%) de árvores		
		Leve	Moderada	Intensa
Sistema radicular	5 (12,82)	3 (60)	1 (20)	1 (20)
Colo	13 (33,30%)	6 (45,15)	4 (30,77)	3 (23,08)
Tronco	14 (35,90%)	4 (28,58)	5 (35,71)	5 (35,71)

Dos processos de biodeterioração causados por fungos apodrecedores, 30 (93,75%) foram identificados como podridão branca e dois não foram identificados (6,25%), indicando que, para a amostra, a podridão branca foi o maior agente causador

de biodeterioração. Brazolin (2009), ao avaliar os processos de biodeterioração por fungos apodrecedores em tipuanas na cidade de São Paulo-SP, afirma que a podridão branca foi o processo mais freqüente observado. A realização de avaliações periódicas permitiria acompanhar a evolução dos processos de biodeterioração dos indivíduos e também o aparecimento em novas árvores, tornando a avaliação visual periódica criteriosa uma ação indispensável para o acompanhamento e identificação de risco de queda das árvores urbanas.

5.2.3.2 Cupins

A avaliação visual permitiu a identificação de processo de biodeterioração por cupins subterrâneos no colo (13 observações, representando 33,33% do total de indivíduos) e tronco (20 observações, representando 51,30% do total) dos indivíduos avaliados. Pela dificuldade de identificação taxonômica dos cupins em campo, os mesmos foram divididos em cupins subterrâneos quando estavam relacionados a processos de biodeterioração das partes vivas do indivíduo, cupins de madeira seca quando foram encontrados agindo sobre tecidos mortos e em galhos apresentando estágio avançado de deterioração.

A intensidade de ataque causada por cupins subterrâneos foi classificada nas categorias ataque leve e intenso (Tabela 8). Foram identificados baixos níveis de infestação e atividade dos insetos, fator provavelmente decorrente da realização da maioria das avaliações visuais em períodos de temperatura baixa (BRAZOLIN, 2009).

Tabela 8 – Local, número de observações e intensidade de ataques de cupins subterrâneos nas árvores avaliadas

Local	Nº (%) de observações	Intensidade – nº (%) de árvores	
		Leve	Intenso
Colo	13 (33,33)	7 (58,85)	6 (46,15)
Tronco	20 (51,30)	11 (55,00)	9 (45,00)

O tamanho da amostra não é suficiente para permitir a caracterização de infestação para as tipuanas da área de estudo. Estudos conduzidos com a finalidade de caracterização dos processos de biodeterioração da espécie no Município de Piracicaba-SP permitiriam uma melhor compreensão da mesma.

5.2.4 Avaliação visual de risco de queda

A classificação dos indivíduos avaliados como risco de queda baixo, médio ou alto pela avaliação visual foi baseada na interpretação de todas as características observadas no processo. Portanto, tal classificação é realizada com base no conhecimento do avaliador a respeito das características observadas, apresentando certo grau de subjetividade.

Não foram encontradas árvores que apresentassem estado geral ótimo, sendo que 7,69% apresentaram bom estado geral, 58,97% estado geral regular, 28,21% péssimo e 5,13% estavam mortas (3, 23, 11 e 2 árvores, respectivamente). Os dados relativos à avaliação de risco de queda estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Classes de risco de queda para indivíduos da amostra e número de indivíduos identificados em cada classe

Risco de queda	Número (%) de indivíduos
Baixo	11 (28,21)
Médio	20 (51,28)
Alto	8 (20,51)

O grande número de indivíduos classificados como médio e alto risco de queda, bem como a distribuição da amostra nas classes de estado geral, ocorre em função das características da amostra. Como foi composta por árvores com presença de injúrias, apodrecimento, inclinação ou outros fatores passíveis de identificação visual que pudessem prejudicar sua estabilidade ou desenvolvimento, a indicação de que 20,51% das árvores apresentam alto risco e 51,28% médio risco de queda é um resultado esperado. Estes valores não refletem o risco de queda da espécie na área estudada, sendo necessária a condução de estudos mais amplos e com esta finalidade específica para que tal caracterização possa ser realizada.

5.3 Tomografia de impulso

5.3.1 Modelagem estatística para identificação de velocidades de propagação de ondas mecânicas em tecidos lesionados e em suas áreas periféricas

Quinze imagens tomográficas apresentaram sinais claros de lesões internas devido à queda na velocidade de propagação de onda mecânica. Tais imagens tiveram

as respectivas áreas lesionadas demarcadas para a identificação das velocidades de propagação mínima, média e máxima de onda mecânica. As áreas periféricas às lesões foram também demarcadas e divididas em três categorias: área 1, com início na borda do tecido lesionado e 2 cm de largura; área dois, com início a 2 cm de distância e término a 4 cm da borda da área lesionada; e área três, localizada entre 4 cm e 6 cm da borda da área lesionada, originando 75 leituras para cada uma das classes de velocidades analisadas. Tal demarcação das áreas periféricas foi realizada para que o comportamento da velocidade de propagação de onda mecânica pudesse ser avaliado.

As velocidades de propagação nas áreas demarcadas foram obtidas por meio de construção de palheta de cores e velocidades de propagação, método descrito no item 4.2.1.2 desta dissertação.

As análises estatísticas e testes de normalidade para as velocidades mínimas, médias e máximas observadas para a imagem total, periferias 1, 2 e 3 e áreas lesionadas estão apresentadas nas Tabelas 10-11.

Tabela 10 – Classes de velocidade, procedimentos estatísticos básicos e valores respectivos obtidos

Classes de velocidade	Análises estatísticas básicas	Valores
Velocidades mínimas	N	75
	Média (m.s ⁻¹)	550,671333
	Moda	524,17
	Variância	34618
	Desvio padrão	186,05858
	Coeficiente de variação	33,7875918
Velocidades médias	N	75
	Média (m.s ⁻¹)	821,7889
	Moda	681,00
	Variância	37401
	Desvio padrão	193,39453
	Coeficiente de variação	23,5333592
Velocidades máximas	N	75
	Média (m.s ⁻¹)	1092,906
	Moda	762,900
	Variância	100952
	Desvio padrão	317,72993
	Coeficiente de variação	29,0720162

Tabela 11 – Classes de velocidade, testes de normalidade aplicados, estatística e valor p observado

Classes de velocidade	Testes de normalidade	Estatística		Valor p	
Velocidades Mínimas	Shapiro-Wilk	W	0,975511	Pr < W	0,1542
Velocidades médias	Shapiro-Wilk	W	0,980645	Pr < W	0,3068
Velocidades máximas	Shapiro-Wilk	W	0,972745	Pr < W	0,1053

Os testes de normalidade aplicados às categorias de velocidade apontam que os dados não apresentam distribuição normal. Foi utilizado o método de transformação BoxCox visando estudar possíveis transformações para a obtenção de dados normais. Foram encontrados valores de Lambda conveniente igual a 1, 0 e 0, para as velocidade mínimas, médias e máximas, respectivamente, indicado que as transformações possíveis não trariam normalidade aos dados, que, em função desta característica não podem ser utilizados em Modelos Lineares Gaussianos.

Optou-se pela adoção de Modelo Linear Generalizado (GLM). O GLM é uma extensão dos modelos normais lineares que tem como característica propiciar maior flexibilidade para a relação funcional entre a média da variável resposta e o preditor linear. Utilizando o modelo GLM, análises de covariância foram realizadas no *software* SAS para as três classes de velocidade adotadas, considerando como variáveis independentes os locais de observação (a imagem total, periferias 1, 2 e 3 e áreas lesionadas, denominadas no modelo como LOCAL) e o DAP.

A análise de covariância aponta que a velocidade de propagação de onda mecânica sofre influência de seu local de propagação, hipótese confirmada pela aplicação de teste F, significativo a 99% de confiança para as três classes de velocidade (Tabela 12). Em relação ao DAP, apenas a velocidade mínima de propagação de onda mecânica é influenciada por tal variável dependente, hipótese também confirmada pela aplicação de teste F, significativo a 99% de confiança (Tabela 14). Com base nas análises estatísticas realizadas, pode-se concluir que as velocidades médias e máximas não sofrem influência do diâmetro da árvore.

Pelo modelo estabelecido para as velocidades mínimas, quanto maior for o diâmetro do indivíduo avaliado, menores serão as velocidades mínimas encontradas. Essa característica ocorre em função das características da amostra. As árvores de maior diâmetro analisadas apresentavam cavidades abertas e áreas sobre ataque de organismos xilófagos. Tanto as cavidades quanto as alterações das propriedades físico-

mecânicas de lenho pela ação de tais organismos alteram a densidade, módulo de elasticidade e umidade do lenho e, conseqüentemente, diminuem a velocidade de propagação de onda mecânica no meio. O diâmetro não influi nas velocidades médias e máximas pelo fato das mesmas não estarem correlacionadas com a presença de lesões internas e cavidades, indicando que tecidos sadios foram encontrados em todas as árvores avaliadas. Os modelos e análises de covariância estão apresentados nas Tabelas 12-20.

Tabela 12 – Modelo para a classe de velocidade mínima, soma dos quadrados, quadrado médio e teste F

Fonte	G.L.	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Valor de F	Pr > F
Modelo	5	1615667,098	323133,420	23,57	< 0,0001
Erro	69	946049,803	13710,867		
Total Corrigido	74	2561716,901			

Tabela 13 – Momentos e valores respectivos para o modelo da classe de velocidade mínima

Momentos	Valores
R ²	0,630697
Coefficiente de variação	21,2676
Vel. mínima média (m.s ⁻¹)	550,6713

Tabela 14 - Análise de covariância entre local de propagação e DAP para o modelo de velocidades mínimas

Fonte	G.L.	SQ tipo III	Quadrado médio	Valor de F	Pr > F
LOCAL	4	1262456,582	315614,146	23,02	< 0,001
DAP	1	353210,515	353210,515	25,76	< 0,001

Tabela 15 – Modelo para a classe de velocidade média, soma dos quadrados, quadrado médio e teste F

Fonte	G.L.	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Valor de F	Pr > F
Modelo	5	1010247,459	202049,492	7,93	< 0,0001
Erro	69	1757459,306	25470,425		
Total Corrigido	74	2767706,765			

Tabela 16 – Momentos e valores respectivos para o modelo da classe de velocidade média

Momentos	Valores
R ²	0,365012
Coefficiente de variação	19,42039
Vel. média média (m.s ⁻¹)	821,7889

Tabela 17 – Análise de covariância entre local de propagação e DAP para o modelo de velocidades médias

Fonte	G.L.	SQ tipo III	Quadrado médio	Valor de F	Pr > F
LOCAL	4	962649,7541	240662,4385	9,45	< 0,001
DAP	1	47597,7049	47597,7049	1,87	0,1761

Tabela 18 – Modelo para a classe de velocidade máxima, soma dos quadrados, quadrado médio e teste F

Fonte	G.L.	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Valor de F	Pr > F
Modelo	5	3843601,661	768720,332	14,62	< 0,0001
Erro	69	3626868,948	52563,318		
Total Corrigido	74	7470470,609			

Tabela 19 – Momentos e valores respectivos para o modelo da classe de velocidade máxima

Momentos	Valores
R ²	0,514506
Coefficiente de variação	20,97773
Vel. máxima média (m.s ⁻¹)	1092,906

Tabela 20 – Análise de covariância entre local de propagação e DAP para o modelo de velocidades máximas

Fonte	G.L.	SQ tipo III	Quadrado médio	Valor de F	Pr > F
LOCAL	4	3818644,866	954661,216	18,16	< 0,001
DAP	1	24956,796	24956,796	0,47	0,4931

Foram realizados testes de comparação de médias de Tukey para cada classe de velocidade de propagação em cada um dos locais estipulados. Os testes foram feitos nas escalas normal e logarítmica, sendo que os grupamentos de Tukey encontrados foram os mesmos nas duas escalas.

Para as três classes de velocidade, o valor médio de velocidade de propagação de onda mecânica nas áreas lesionadas apresentou diferenças significativas quando comparado ao valor médio das velocidades nos demais locais, indicando a existência de um padrão específico para a velocidade de propagação de onda mecânica nas áreas lesionadas das árvores de tipuana. Os valores médios observados para as periferias 1, 2 e 3 não apresentaram diferenças significativas entre elas, indicando que a velocidade de propagação não difere na área abrangendo a borda da lesão até 6 cm de distância da mesma. Para as velocidades mínimas, as três classes de periferia apresentaram valores médios significativamente distintos das classes área lesionada e imagem total, indicando padrão de velocidade de propagação mínima para tais regiões. Para valores máximos e médios não foram encontradas diferenças significativas entre tais classes, impossibilitando desta forma a identificação de padrão completo de velocidade de propagação de onda mecânica nas áreas periféricas. Os grupamentos de Tukey para os dados em escala normal são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 – Classes de velocidade, locais e respectivas velocidades médias e grupamentos de Tukey

Classe de Velocidade	Local (N)	Velocidade Média (m.s ⁻¹)	Grupamento de Tukey
Mínima	Periferia 2 (15)	653,20	A
	Periferia 1 (15)	653,03	A
	Periferia 3 (15)	643,05	A
	Lesão (15)	474,34	B
	Total (15)	329,73	C
Média	Periferia 3 (15)	914,97	A
	Periferia 2 (15)	888,30	A
	Total (15)	873,70	A
	Periferia 1 (15)	829,99	A
	Lesão (15)	602,00	B
Máxima	Total (15)	1417,67	A
	Periferia 3 (15)	1186,89	B A
	Periferia 2 (15)	1123,39	B
	Periferia 1 (15)	1006,94	B
	Lesão (15)	729,65	C

Pela avaliação das análises estatísticas apresentadas na Tabela 21 é possível visualizar que, além de apresentar diferenças significativas em relação aos outros locais, o valor médio encontrado para velocidade de propagação máxima de onda mecânica para áreas com lesão foi 729,65 m.s⁻¹. Este valor, conseqüentemente, representa os valores máximos de propagação de onda mecânica em tecidos lesionados nas árvores de tipuana, permitindo-nos afirmar que valores iguais ou inferiores a 729,65 m.s⁻¹ representam tecido lesionado nesta espécie.

Com a aplicação do modelo desenvolvido no presente trabalho, podemos calcular, com base na determinação da velocidade de propagação de ondas mecânicas que representam tecidos lesionados em tipuanas, a resistência à penetração medida pelo resistógrafo que irá indicar a passagem da sonda por áreas lesionadas do lenho, como apresentado na eq. (4).

$$\text{RESIS} = e^{(0,95855 * \ln(729,65))}$$

$$\text{RESIS} = 555$$

(4)

Portanto, para a avaliação de tipuanas utilizando o resistógrafo modelo Resistograph 3450 - S, valores de resistência à penetração inferiores a 555 devem ser considerados indicadores de lesão.

Estudos que aliassem a mensuração da tensão necessária para propiciar a queda de indivíduos de tipuanas por simulação de ventos, as características das imagens tomográficas de tais árvores, bem como suas características biomecânicas, permitiram a elaboração de modelos mais precisos para a avaliação de risco de queda.

5.3.2 Classificação automática supervisionada das imagens tomográficas

Baseado nos resultados obtidos pelas análises estatísticas, foram realizadas classificações automáticas supervisionadas em todas as imagens tomográficas obtidas, utilizando como referência o valor supracitado para o reconhecimento de áreas lesionadas. Os valores de R, G e B correspondentes à tecido lesionado foram identificados para cada uma das imagens por meio da construção de palheta de cores.

Metade da amostra foi classificada como risco de queda baixo (19 imagens, representando 50%), 23,68% (9 imagens) como risco de queda médio, 13,16% como risco de queda alto e 13,16% como risco de queda severo (5 imagens para cada classe de risco de queda). Como a escolha dos indivíduos componentes da amostra considerou que os mesmos apresentavam sinais visuais de injúrias apodrecimento, inclinação ou outros fatores identificados visualmente que pudessem prejudicar a estabilidade ou desenvolvimento das árvores, a classificação de metade da amostra na classe risco de queda baixo mostra-se como fator positivo, pois indica boa estabilidade da base dos indivíduos independentemente das lesões identificadas visualmente.

A tomografia de impulso, quando aplicada com o conhecimento da velocidade de propagação de ondas mecânicas que representa lesões internas para a espécie avaliada, apresenta-se como uma importante variável na avaliação de risco de queda. A interpretação das lesões internas é uma informação de extrema relevância para a correta avaliação de risco e vitalidade do indivíduo avaliado, podendo evitar que árvores sejam cortadas desnecessariamente ou que venham a cair antes que apresentem visualmente características explícitas de tal possibilidade.

5.4 Associação entre as lesões identificadas por tomografia de impulso e a avaliação visual de árvores para determinação de risco de queda

A avaliação de risco de queda dos indivíduos foi composta pelas características observadas na avaliação visual e pela interpretação da imagem tomográfica do indivíduo. A tomografia de impulso deve ser utilizada como um complemento a avaliação visual. A classificação baseada somente na interpretação da imagem tomográfica deixa de considerar variáveis importantes. A inclinação do indivíduo, exposição aos ventos, estabilidade do sistema radicular, má formação e desequilíbrio da copa, entre outros fatores, são informações importantes e que só são passíveis de identificação por meio da avaliação visual.

As árvores que apresentaram na avaliação visual classificações de risco de queda maiores do que as observadas na avaliação por tomografia de impulso tiveram suas classificações iniciais de risco mantidas. Para os indivíduos que apresentaram classe de risco de queda mais alto pela interpretação da imagem tomográfica, o mesmo foi alterado para o risco de queda apontado pela tomografia. Foram aumentadas as classificações de risco de queda de cinco árvores em função da interpretação da imagem tomográfica (12,82% do total da amostra), enquanto 14 (35,90% do total da amostra) indivíduos tiveram classificação de risco de queda pela avaliação visual superior à classificação realizada pela tomografia de impulso. A classificação final dos indivíduos avaliados está apresentada na Tabela 22.

Tabela 22 – Classes de risco de queda final para indivíduos da amostra e número de indivíduos identificados em cada classe

Risco de queda	Número (%) de indivíduos
Baixo	8 (20,52)
Médio	18 (46,15)
Alto	13 (33,33)

A maior modificação ocorreu na classe risco de queda alto. Composta por oito (20,52% do total da amostra) indivíduos pela classificação baseada na avaliação visual, passou para 13 (33,33%) indivíduos na classificação que considerou a interpretação da imagem tomográfica na composição da análise, indicando que árvores classificadas visualmente em classes mais baixas de risco tiveram sua classificação alterada em

função das áreas lesionadas identificadas pela classificação automática supervisionada de suas imagens tomográficas. Pela avaliação visual, foram encontradas três árvores apresentando áreas do tronco secas, característica indicativa de declínio acentuado. A tomografia de impulso não identificou lesões nas regiões de madeira seca, indo de encontro às informações presentes no manual do fabricante (RINNTECH, 2005) no que diz respeito à baixa confiabilidade dos dados em árvores mortas com baixa umidade.

6 CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

- As informações geradas pelas leituras de resistógrafo e pelas imagens tomográficas mostraram grande semelhança, possibilitando comprovar a confiabilidade das informações geradas pela tomografia de impulso;

- Por gerar uma imagem tomográfica da seção transversal avaliada, permitindo a aplicação de métodos de interpretação de imagens e quantificação precisa da área lesionada, a tomografia de impulso apresenta dados de melhor qualidade e mais completos do que os gerados pelo resistógrafo;

- As informações a respeito de lesões internas no interior do lenho geradas pela tomografia de impulso representam de forma precisa e confiável as lesões presentes na seção avaliada;

- A identificação do padrão de resposta a tomografia de impulso em tipuanas permite a correta interpretação das imagens tomográficas, possibilitando a identificação de áreas lesionadas;

- A tomografia de impulso deve ser utilizada como um importante complemento à avaliação visual de árvores;

- A avaliação visual de risco de queda, aliada às informações geradas pela tomografia de impulso, permite identificar de forma precisa as características biomecânicas e fitossanitárias do indivíduo avaliado, possibilitando a identificação de seu risco de queda.

- Estudos para a identificação de padrões de resposta à tomografia de impulso em outras espécies comumente utilizadas na arborização urbana, possibilitando avaliações de risco de queda mais precisas.

- Modelos que considerem a avaliação visual, a inspeção por tomografia de impulso e a resistência aos ventos permitiriam a análise detalhada do risco de queda das árvores.

REFERÊNCIAS

- ALBERS, J.S.; POKORNY, J.D.; JOHNSON, G.R. How to detect and assess hazardous defects in trees. In: POKORNY, J.D. (Coord.). **Urban tree risk management: a community guide to program design and implementation**. St. Paul: USDA, Forest Service, Northeastern Area, State and Private Forestry, 2003. chap. 3, p. 41-116. (Technical Paper, NA-TP-03-03).
- ALVAREZ, I.A. **Qualidade do espaço verde urbano: uma proposta de índice de avaliação**. 2004. 187 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- ANGELIS, B.L.D. de; CASTRO, R.M. de; ANGELIS NETO, G de. Ocorrência de cancro de tronco em árvores de acompanhamento viário na cidade de Maringá, Paraná. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 2, n. 2, p. 31-44, 2007.
- BOND, J.; TUCKER, F. **Field guide**. Disponível em: <<http://www.umass.edu/urbantree/accessguide1.doc>>. Acesso em: 03 dez. 2006.
- BRAZOLIN, S. **Biodeterioração, anatomia do lenho e análise de risco de queda de árvores de tipuana, *Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze, nos passeios públicos da cidade de São Paulo, SP**. 2009. 265 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- BRUN, F.G.K.; LONGHI, S.J.; BRUN, E.J.; FREITAG, A.S.; SCHUMACHER, M.V. Comportamento fenológico e efeito de poda em algumas espécies empregadas na arborização do bairro Canobi - Santa Maria, RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 2, n. 1, p. 44-63, mar. 2007.
- BUCUR, V. An ultrasonic method for measuring the elastic constants of wood increment cores bored from living trees. **Ultrasonics**, New York, v. 21, n. 1, p. 116-126, 1983.
- _____. Ultrasonic, hardness and x-ray densitometric analysis of Wood. **Ultrasonics**, New York, v. 23, n. 6, p. 269-275, Nov. 1985.
- _____. **Acoustics of wood**. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag, 2006. 400 p. (Springer Series in Wood Science, 18).
- COSTELLO, L.R.; BERRY, A.M. The California Tree Failure Report program: an overview. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 17, n. 9, p. 250-256, Sept. 1991.
- COSTELLO, L.R.; QUARLES, S.L. Detection of wood decay in blue gum and elm: an evaluation of the Resistograph and the portable drill. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 25, n. 6, p. 311-317, Nov. 1999.

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

FARIA, J.L.G.; MONTEIRO, E.A.; FISCH, S.T.V. Arborização de vias públicas do município de Jacareí, SP. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 2, n. 4, p. 20-33, dez. 2007.

FONTES, L.R. Considerações sobre a complexidade da interação entre o cupim subterrâneo, *Coptotermes havilandi*, e a arborização no ambiente urbano. In: FONTES, L.R.; BERTI FILHO, E. **Cupins: o desafio do conhecimento**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 109-124.

GILBERT, E. A.; SMILEY, T. Picus Sonic tomography for the quantification of decay in white oak (*Quercus alba*) and hickory (*Carya* spp.). **Journal of Arboriculture**. Champaign, v. 30, n. 5, p. 277-281, Sept. 2004.

GÓMEZ, F.; GIL, L.; JABALOYES, J. Experimental investigation on the thermal comfort in the city: relationship with the green areas, interaction with the urban microclimate. **Building and Environment**, v. 39, p. 1077-1086, 2004.

GREY, G.W.; DENEKE, F.J. **Urban forestry**. New York, John Wiley, 1978. 279 p.

HARRIS, R.W.; CLARK, J.R.; MATHENY, N.P. **Arboriculture: integrated management of landscape trees, shrubs and vines**. 4th ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 2004. 578 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **STATCART: Base de Informações por Setor Censitário**, Piracicaba, SP – censo demográfico 2000. Rio de Janeiro, 2002. 1 – CD ROM.

JIM, C.Y.; CHEN, S.S. Comprehensive greenspace planning based on landscape ecology principles in compact Nanjing city, China. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 65, n. 3, p. 95-116, 2003.

KANE, B.; RYAN, D. The accuracy of formulae used to assess strength loss due to decay in trees. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 30, n. 6, p. 347-356. Nov. 2004.

KANE, B.; RYAN, D.; BLONJARZ, D.V. Comparing formulae that assess strength loss due to decay in trees. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 27, n. 2, p. 78-87. Mar. 2001.

KARLOVICH, D.A.; GRONINGER, J.W.; CLOSE, D.D. Tree condition associated with topping in southern Illinois communities. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 26, n. 2, p. 87-91, Mar. 2002.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, Washington, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977

LAWDAY, G.; HODGES, P.A. The analytical use of stress waves for the detection of decay in standing trees. **Forestry**, Oxford, v. 73, n. 5, p. 447-456, 2000.

LIMA, A.M.L.P. **Piracicaba/SP: análise da arborização viária na área central e em seu entorno**. 1993. 238 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

LONGHI, S.J. Fenologia de algumas espécies vegetais e ornamentais. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 14, n. 3/4, p. 231-240, 1984.

LONSDALE, D. **Principles of tree hazard assessment and management**. Norwich: Her Majesty's Stationary Office, 1999. 388 p. (Forestry Commission Research for Amenity Trees, 7).

LORENZI, H. **Árvores exóticas no Brasil: madeira, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos de Flora, 2003. 382 p.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: IPT, 1989. 432 p.

MARTINIS, R.; SOCCO, L.V.; SAMBUELLI, L.; NICOLOTTI, G.; SCHIMITT, O.; BUCUR, V. Tomographie ultrasonore pour les arbres sur pied. **Annals of Forest Science**, Champenoux, v. 61, n. 2, p. 157–162, 2004.

MARZLUFF, J.M.; EWING, K. Restoration of fragmented landscapes for the conservation of birds: a general framework and specific recommendations for urbanizing landscapes. **Restoration Ecology**, Cambridge, v. 9, n.3, p. 280-292, 2001.

MASMOUDI, S.; MAZOUZ, S. Relation of geometry, vegetation and thermal comfort around buildings in urban settings, the case of hot arid regions. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 36, p. 710-719, 2004.

MATHENY, N.P.; CLARK, J.R.; ATTEWELL, D.; HILLERY, K.; GRAHAM, A.W.; POSNER, G. Assessment of fracture moment and fracture angle in 25 tree species in the United States using the Fractometer. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 25, n. 1, p.18-23, Jan. 1999.

MATTHECK, C. **Trees: the mechanical design**. New York: Springer-Verlag, 1991. 121 p. (Springer Series in Wood Science).

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

MATTHECK, C.; KUBLER, H. **Wood: the internal optimization of trees**. New York: Springer-Verlag, 1995. 129 p. (Springer Series in Wood).

MATTHECK, C.; BRELOER, R.C.; BETHGE, K. A guide to Fractometer tree assessment. **Arborist News**, Champaign, v. 4, p. 9-12, 1994.

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

MOLL, G. Anatomy of urban forest. **American Forests**, Washington, v. 94, n. 7/8, p. 22-24, 74-75, 1988

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: UFV, 2003. 307 p.

NICOLOTTI, G.; SOCCO, L.V.; MARTINIS, R.; GODIO, A.; SAMBUELLI, L. Application and comparison of three tomographic techniques for detection of decay in trees. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 29, n. 2, p. 66-78, 2003.

NIKLAS, K.J. Wind, size and tree safety. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 28, n. 2, p. 84-93, Mar. 2002.

NOWAK, D J.; DWYER, J.F. Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. In: KUSER, J. (Ed.). **Handbook of urban and community forestry in the Northeast**. New York: Kluwer Academic; Plenum Publ., 2000. p. 11-22.

PAIVA, H.N. de; GONÇALVES, W. **Florestas urbanas: planejamento para melhoria da qualidade de vida**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2002. 177 p. (Série Arborização Urbana, 2).

PEREIRA, L.C.; SILVA FILHO, D.F.; TOMOZELO FILHO, M.; COUTO, H. T. Z.; MOREIRA, J.M.M.Á.P.; POLIZEL, J.L. Tomografia de impulso para avaliação do interior do lenho de árvores. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 2, n. 2, p. 65-75, 2007.

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. (Ed.). **Fungal decomposition of wood: its biology and ecology**. Chichester; John Willey, 1988. 587 p.

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

ROY, A.H.; FREEMAN, M.C.; FREEMAN, B.J.; WENGER, S.J.; ENSIGN, W.E.; MEYER, J.L. Importance of riparian forests in urban catchments contingent on sediment and hydrologic regimes. **Environmental Management**, New York, v. 37, n. 4, p. 523-539, 2006.

SAMPAIO, A.C.F. **Análise da arborização de vias públicas das principais zonas do plano piloto de Maringá, PR.** 2006. 117 p. Dissertação (Mestrado em Análise Regional e Ambiental) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E. Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 35, p. 61-68, 2003.

SHIGO, A.L. **A new tree biology: facts, photos, and philosophies on tree and their problems and proper care.** Durham: New Hampshire, 1989. 618 p.

SILVA, L.F.; LIMA, A.M.L.P.; SILVA FILHO, D.F.; COUTO, H.T.Z. Interceptação da chuva pelas copas das espécies de *Caesalpinia pluviosa* DC. (Sibipiruna) e *Tipuana tipu* O. Kuntze (Tipuana) em arborização urbana. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 307-315, dez. 2008.

SILVA, L.M. Arborização de vias públicas e a utilização de espécies exóticas: o caso do bairro centro de Pato Branco, PR. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 47-53, 2007.

SILVA, L.M.; HASSE, I.; CADORIN, D.A.; OLIVEIRA, K.A. de; OLIVEIRA, F.A.C. de; BETT, C.F. Inventário de arborização em duas vias de Mariópolis, PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização urbana**, Piracicaba, v. 3, n. 1, p. 36-53, mar. 2008.

SILVA FILHO, D. F. **Aplicação de videografia aérea multiespectral na avaliação de floresta urbana.** 2004. 88 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2004.

SMILEY, T.; FRAEDRICH, B.R. Determining strength loss from decay. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v.18, n. 4, p. 201-204, July/Dec. 1992.

SOUZA, V.C. **Botânica sistemática.** Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos de Flora, 2005. 640 p.

STERKEN, P. **A guide for tree-stability analysis: second and expanded edition.** Wageningen: University and Research Centre, 2005. 64 p.

TEIXEIRA, I.F. Análise quantitativa da arborização de ruas do conjunto habitacional Tancredo Neves, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 9-21, 1999.

TIMÁR, J. The main features of suburbanization in the Great Hungarian Plain. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 22, p. 177-187, 1992.

TORTORELLI, L.A. **Maderas y bosques argentinos.** Buenos Aires: Ed. Acme, 1956. 580 p.

VELASCO, J.D.N. **Arborização viária x sistemas de distribuição de energia elétrica: avaliação dos custos, estudos das podas e levantamento de problemas fitotécnicos.** 2003. 94 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

VITOUSEK, P.M.; MOONEY, H.A.; LUBCHENCO, J.; MELILLO, J.M. Human domination of Earth's ecosystems. **Science**, Washington, v. 277, n. 5325, p. 494-499, 1997.

WAGENER, W.W. **Judging hazard from native trees in California recreational areas: a guide for professional foresters.** Berkley: USDA, Agriculture Forest Service, Southwest Forest Range Experiment Station, 1963. 29 p. (Research Paper, PSW-P1).

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

WILCOX, W.W. Degradation in relation too wood structure. In: NICHOLAS, D.D (Ed.). **Wood deterioration and its prevention by preservative treatments: degradation and protection of wood.** Syracuse; New York: Syracuse University Press, 1973. v. 1, p. 107-148.

WILMERS, F. Effects of vegetation on urban climate and buildings. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 15/16, p. 507-514, 1990/1991.

YOUNG, C.W.T. **The external signs of decay in trees.** London: Department of the Environmental, 1984. 11 p. (Arboricultural Leaflet, 1).

ANEXOS

ANEXO A – Avaliação visual e tomográfica das árvores analisadas

N° da árvore/N° de placa de identificação: 1/3800

Data da avaliação: 26/08/2008

Localização: Av. Cruzeiro do Sul, 690

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 12,00 metros / 19,00 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 3,50 metros / 53,5 cm

Largura da calçada: árvore em área aberta

Tipo e dimensões do canteiro: árvore em área aberta

Risco de queda: Baixo

Informações relevantes: árvore em bom estado geral, apesar de apresentar sinais de apodrecimento por podridão branca em estágio inicial na base. Apresenta desequilíbrio de caule e copa de 10° em direção ao leito carroçável. Recomenda-se poda de limpeza e avaliações periódicas para o acompanhamento do apodrecimento.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 1) aponta o bom estado da base do indivíduo. Não foram identificadas áreas representando lesões internas.

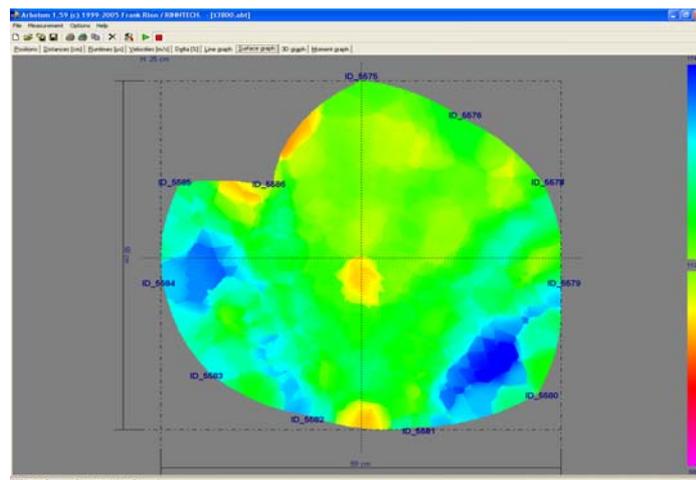


Figura 1 – Imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 1

N° da árvore/N° de placa de identificação: 3/3798

Data da Avaliação: 29/08/2008

Localização: Av. Cruzeiro do Sul, 754

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 14,00 metros / 17,00 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,00 metros / 65,25 cm

Largura da calçada: 2,20 metros

Tipo e dimensões do canteiro: retangular, 1,60 X 1,08 m.

Risco de queda: Baixo

Informações relevantes: árvore em estado geral regular, não apresenta sinais de injúrias ou ação de organismos xilófagos que comprometam sua estabilidade. Foi submetida a poda drástica que acarretou em desequilíbrio da copa e apodrecimento em função de lesões de poda não cicatrizadas. Foi observada a presença de túneis de cupins no colo, tronco e copa.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 3, A) comprova o bom estado da base do indivíduo. A classificação automática supervisionada (Figura 3, B) aponta a presença de 3,41% de tecido lesionado, associado a ação de cupins na base do indivíduo.

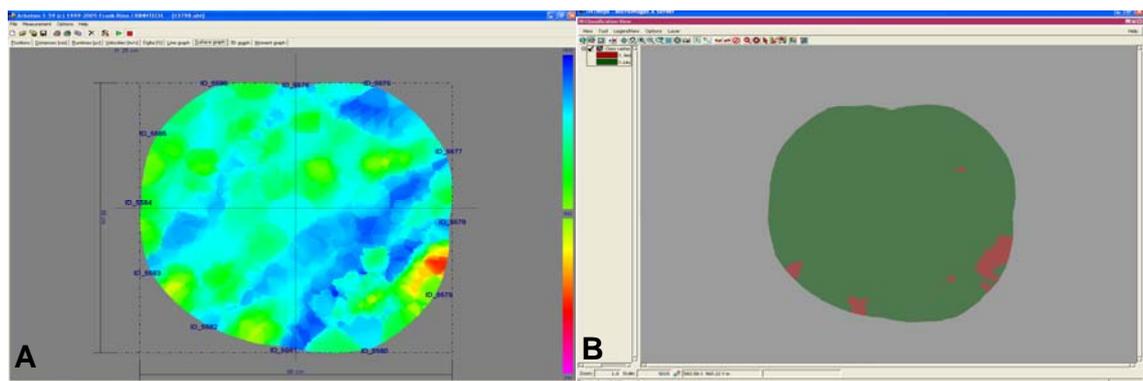


Figura 3 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 3; B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 3: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 4/3797

Data da Avaliação: 29/08/2008

Localização: Rua dos Maçons, 344

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 13,00 metros / 17,30 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,30 metros / 65,25 cm

Largura da calçada: 2,88 metros

Tipo e dimensões do canteiro: retangular, 1,15 X 2,22 m.

Risco de queda: Médio

Informações relevantes: árvore em estado geral péssimo. Apresenta cavidade no tronco abrangendo menos de 30% da circunferência do mesmo, associada a podridão branca e cupins de madeira seca. Apresenta leve inclinação de caule e copa e afloramento de raízes. A copa apresenta sinais de vigor reduzido e presença de ramos secos. Recomenda-se realização de poda visando corrigir o desequilíbrio encontrado e a realização de inspeções periódicas para acompanhamento da evolução do processo de biodeterioração do lenho.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 4, A) permite visualizar a área atingida pelo processo de apodrecimento, bem como identificar a área exposta pela cavidade aberta. A classificação automática supervisionada (Figura 4, B) aponta a presença de 14,62% de tecido lesionado.

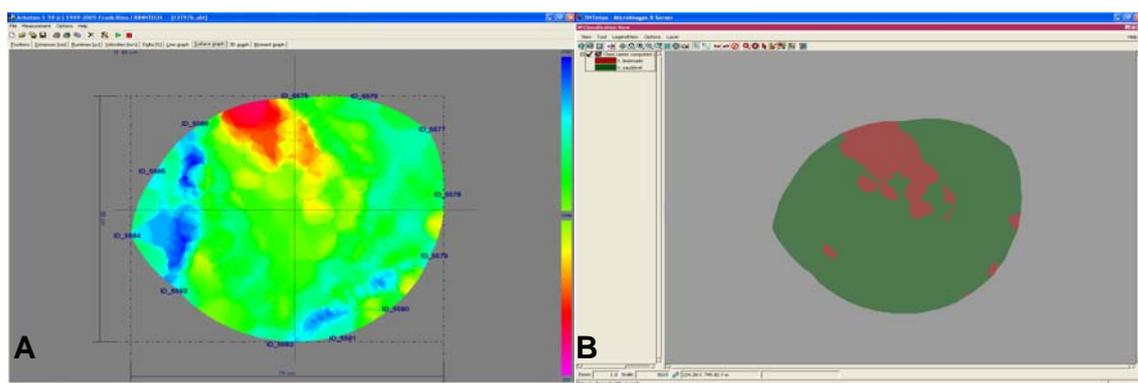


Figura 4 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 4; B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 4: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 6/3793

Data da Avaliação: 4/09/2008

Localização: Rua Manoel Chaddad, 27

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 10,00 metros / 13,70 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,20 metros / 40,10 cm

Largura da calçada: 1,95 metros

Tipo e dimensões do canteiro: retangular, 0,73 X 1,45 m.

Risco de queda: Alto

Informações relevantes: árvore em estado geral regular; apresenta apodrecimento causado por oportunismo não especializado (apodrecimento de alburno). Possui sinais de ataque causados por cupim de madeira seca no colo associado à área afetada pelo apodrecimento. Pela avaliação visual, foi classificada como baixo risco de queda.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 6, A) permitiu a visualização do processo de apodrecimento identificado no colo do indivíduo. Nota-se que a área da secção lesionada representa 35,70% (Figura 6, B) da área total, elevando seu risco de queda para alto.

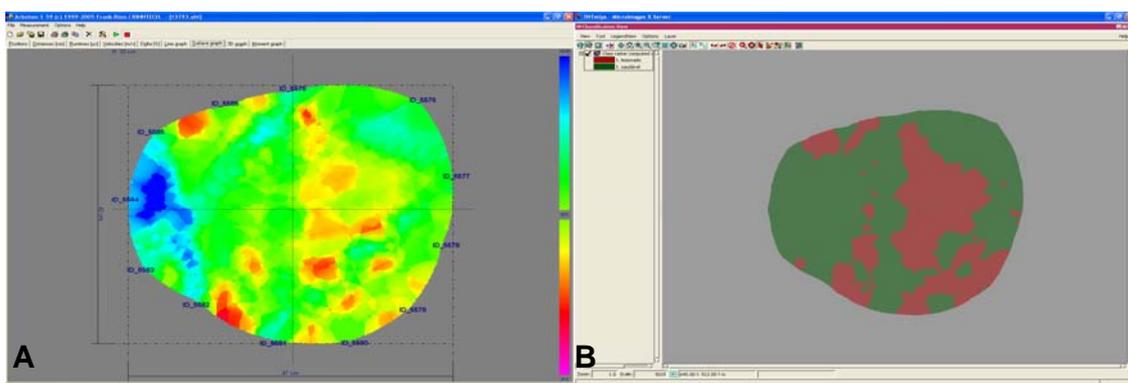


Figura 6 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 6; B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 6: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 7/3792

Data da Avaliação: 4/09/2008

Localização: Rua Cardeal Arco Verde, 600

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 8,00 metros / 11,00 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,40 metros / 49,50 cm

Largura da calçada: 2,40 metros

Tipo e dimensões do canteiro: árvore em faixa gramada, 0,72 X 7,15 m.

Risco de queda: Médio

Informações relevantes: árvore em estado geral regular. Apresenta sinais de declínio com presença numerosa de ramos secos. O indivíduo foi submetido à podas drásticas sucessivas, gerando desequilíbrio. Parte do sistema radicular foi cortado, aumentando seu risco de queda. Apresenta cancro no colo, indicando a presença de podridão branca, porém com ataque em estágio inicial. Ramos secos da copa apresentam intensa infestação por cupim de madeira seca. Faz-se necessária realização de poda para remoção dos mesmos e avaliações periódicas visando acompanhar a estabilidade da árvore.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 7, A) do colo do indivíduo avaliado apresenta tecidos lesionados em baixas proporções (9,45%, como apresentado na Figura 7, B), justificando sua manutenção.

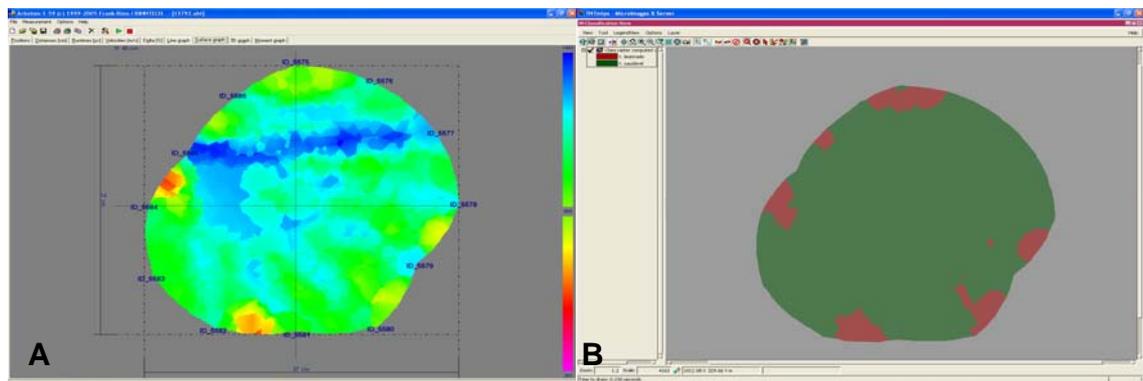


Figura 7 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 7; B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 7: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 8/3791

Data da Avaliação: 4/09/2008

Localização: Rua Cardeal Arco Verde, sem numeração- SN. Casa situada na calçada oposta com numeração 522.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 11,00 metros / 11,30 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,40 metros / 62,10 cm

Largura da calçada: 2,60 metros

Tipo e dimensões do canteiro: árvore em faixa gramada, 1,30 X 7,00 m.

Risco de queda: Médio

Informações relevantes: a avaliação visual permitiu a identificação de corte de raízes, oportunismo não especializado associado à ação de cupins de madeira seca no colo, protuberância no tronco, indicando apodrecimento interno e realização de podas drásticas na copa. O indivíduo apresenta inclinação de 30° em direção ao leito carroçável. Devem ser realizadas avaliações periódicas visando observar o processo de compartimentalização do agente causador do apodrecimento.

Tomografia de impulso: na imagem tomográfica (Figura 8, A) do colo do indivíduo avaliado é possível observar a presença de tecidos de menor densidade em função do processo de deterioração causado pela podridão branca representando 12,95% da seção (Figura 8, B).

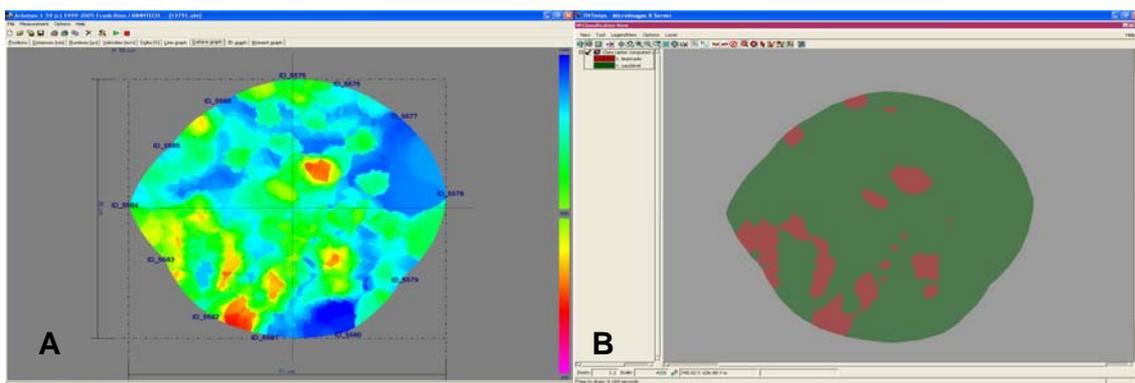


Figura 8 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 8; B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 8: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 9/3790

Data da Avaliação: 4/09/2008

Localização: Rua Cardeal Arco Verde, SN. Casa situada na calçada oposta com numeração 388.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 12,00 metros / 16,60 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 1,90 metros / 61,12 cm

Largura da calçada: 2,40 metros

Tipo e dimensões do canteiro: árvore em faixa gramada, 0,90 X 2,60 m.

Risco de queda: Baixo

Informações relevantes: o indivíduo avaliado apresenta estado geral regular. O tronco apresenta descascamento e sinais de ataque por insetos xilófagos. Entretanto, não foi possível visualização dos mesmos.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 9, A) permite afirmar que a árvore apresenta sinais de boa estabilidade, com 1,71% da área as seção apresentando lesões (Figura 9, B).

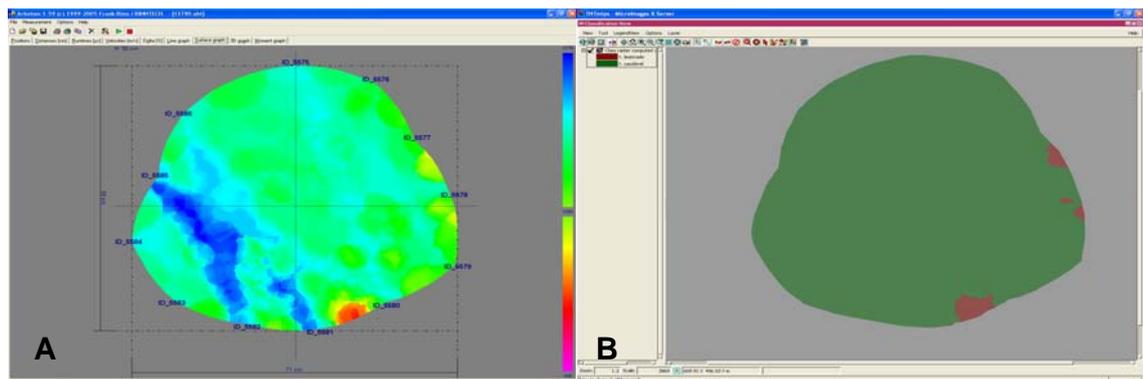


Figura 9 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 9; B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 9: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 10/3789

Data da Avaliação: 10/09/2008

Localização: Av. Paulista, 1400.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 8,00 metros / 8,00 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,30 metros / 37,50 cm

Largura da calçada: 2,00 metros

Tipo e dimensões do canteiro: retangular, 1,37 X 1,37 m.

Risco de queda: Médio

Informações relevantes: Com estado geral regular, o risco de queda do indivíduo deve-se a inclinação de 35° (em direção ao leito carroçável) associada a afloramento do sistema radicular. Apodrecimento de alburno em estágio inicial foi encontrado no colo. Foi observada a existência de protuberância no tronco, indicado processo de compartimentalização de lesões. Acompanhamento periódico é necessário para verificar a estabilidade do indivíduo.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 10) permite afirmar que a árvore apresenta sinais de boa estabilidade reiterando a classificação de risco de queda como médio em função da grande inclinação encontrada.

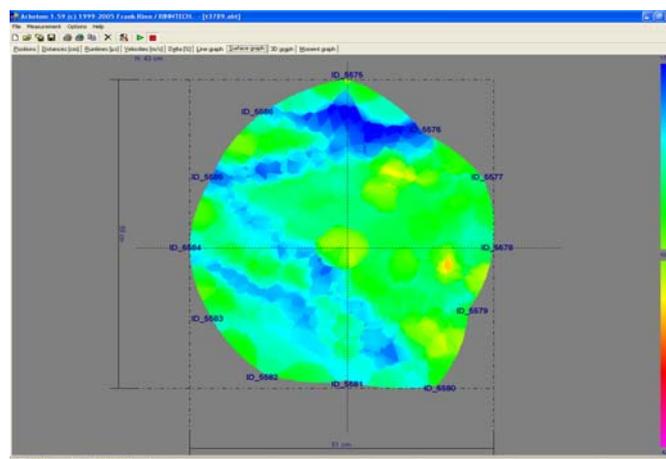


Figura 10 – Imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 10

N° da árvore/N° de placa de identificação: 11/3788

Data da Avaliação: 10/09/2008

Localização: Rua José Carlos Piffer, 181.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 15,00 metros / 19,04 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 1,95 metros / 73,21 cm

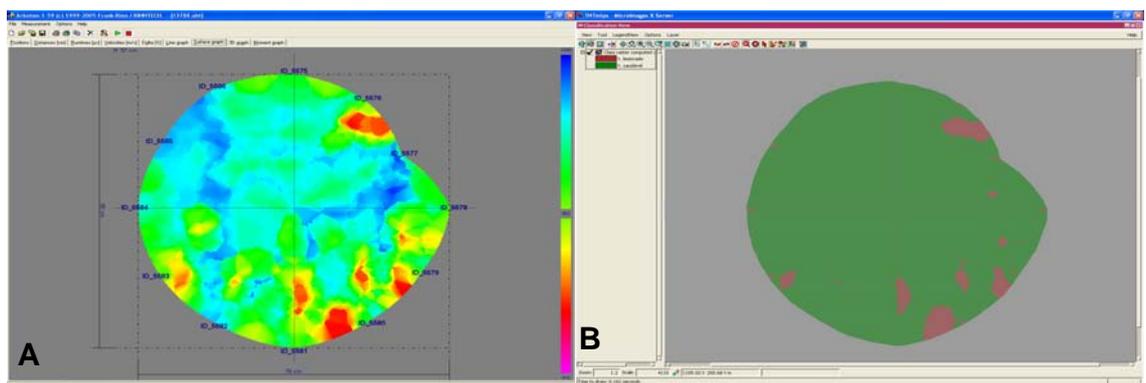
Largura da calçada: 4,30 metros

Tipo e dimensões do canteiro: árvore em faixa gramada, 4,30 X 8,00 m.

Risco de queda: Baixo

Informações relevantes: Foi identificada a presença de cupins subterrâneos provocando lesões leves no tronco do indivíduo. Protuberância foi também encontrada no tronco, indicando processo de compartimentalização de injúrias mecânicas. A árvore apresenta afloramento do sistema radicular no canteiro e leito carroçável. Recomenda-se a realização de avaliações periódicas visando verificar a estabilidade e o processo das lesões encontradas pelos organismos xilófagos.

Tomografia de impulso: na imagem tomográfica (Figura 11, A) do colo do indivíduo avaliado é possível observar a presença de tecidos lesionados pela ação de organismos xilófagos, representando 5,27% da área total da secção (Figura 11, B).



N° da árvore/N° de placa de identificação: 12/3787

Data da Avaliação: 10/09/2008

Localização: Av. Paulista, SN. Casa situada na calçada oposta n° 1165.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 9,00 metros / 14,95 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 1,80 metros / 67,50 cm

Largura da calçada: 2,80 metros

Tipo e dimensões do canteiro: retangular, 1,75 X 4,15 m.

Risco de queda: Alto

Informações relevantes: o indivíduo avaliado teve grande parte do seu sistema radicular cortado em função de reformas recentes na calçada onde está localizado. O colo apresenta protuberância e cancro. O tronco apresenta fenda horizontal abrangendo aproximadamente 5% do seu diâmetro, descascamento, indicando perda de vigor e sinais de ataques por brocas de madeira. Ramos secos e sob ação de apodrecimento foram encontrados em grandes quantidades.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 12, A) permite a identificação de tecidos lesionados abrangendo 25,72% da área da seção (Figura 12, B). Embora tal porcentagem por si só não justifique a remoção do indivíduo, a manutenção do mesmo acarreta grande risco à população.

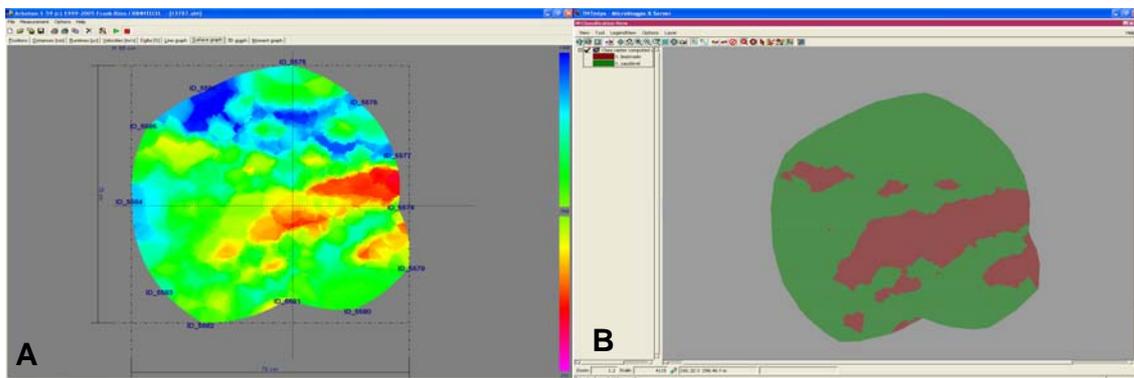


Figura 12 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 12; B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 12: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 13/3786

Data da Avaliação: 10/09/2008

Localização: Rua das Margaridas, SN. Casa situada na calçada oposta com numeração 240.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 8,50 metros / 13,54 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 1,60 metros / 51,90 cm

Largura da calçada: 2,83 metros

Tipo e dimensões do canteiro: retangular, 1,37 X 2,06 cm.

Risco de queda: Médio

Informações relevantes: O risco de queda médio atribuído ao indivíduo deve-se a presença de lesões causadas pela ação de brocas de madeira na parte superior do tronco e em galhos da copa. A ação de cupins de madeira seca foi identificada em ramos da copa, assim como início de apodrecimento de topo (*top rot*) na junção de galhos espessos a galhos cortados. Podas drásticas foram realizadas, comprometendo o equilíbrio da árvore. O tronco apresenta protuberância, exsudação de seiva e rachadura pequena em sentido vertical.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 13) mostra base do indivíduo com lenho sadio, não tendo sido atingido por fungos apodrecedores ou outros organismos xilófagos.

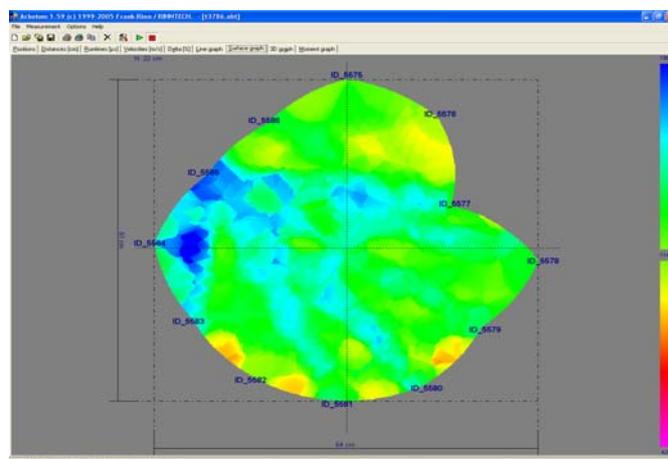


Figura 13 – Imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 13

N° da árvore/N° de placa de identificação: 14/3785

Data da Avaliação: 10/09/2008

Localização: Rua das Margaridas, SN. Casa situada na calçada oposta com numeração 240.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 10,00 metros / 16,00 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,50 metros / 55,70 cm

Largura da calçada: 2,83 metros

Tipo e dimensões do canteiro: retangular, 2,68 X 1,75 cm.

Risco de queda: Médio

Informações relevantes: o individuo possui risco de queda médio devido a sua grande inclinação (35°) e pela ação de brocas de madeira em ramos de grade espessura que apresentavam sinais de apodrecimento. Apresenta estado geral regular.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 14) mostra base do indivíduo com lenho sadio, não tendo sido atingido por fungos apodrecedores ou outros organismos xilófagos.

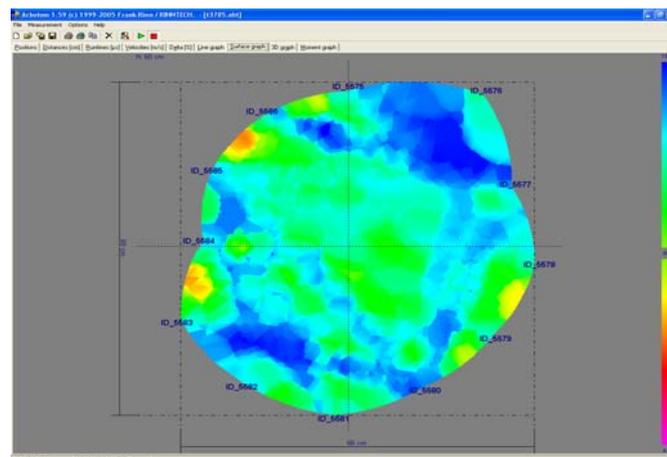


Figura 14 – Imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 14

N° da árvore/N° de placa de identificação: 16/3783

Data da Avaliação: 12/09/2008

Localização: Rua Armando Césare Dedini, 1612

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 10,50 metros / 11,82 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,50 metros / 33,42 cm

Largura da calçada: 3,44 metros.

Tipo e dimensões do canteiro: retangular, 1,14 X 3,44 m

Risco de queda: Baixo

Informações relevantes: Com estado geral regular, o indivíduo apresentou apodrecimento de alburno por podridão branca em estágio inicial no colo, além de grande injúria causada pela queda de galho. Como a injúria é recente, faz-se necessário acompanhar o desenvolvimento do indivíduo e do processo de compartimentalização da lesão.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 16, A) mostra a área do colo afetada pelo apodrecimento de alburno, representando 5,37% da área total da seção (Figura 16, B).

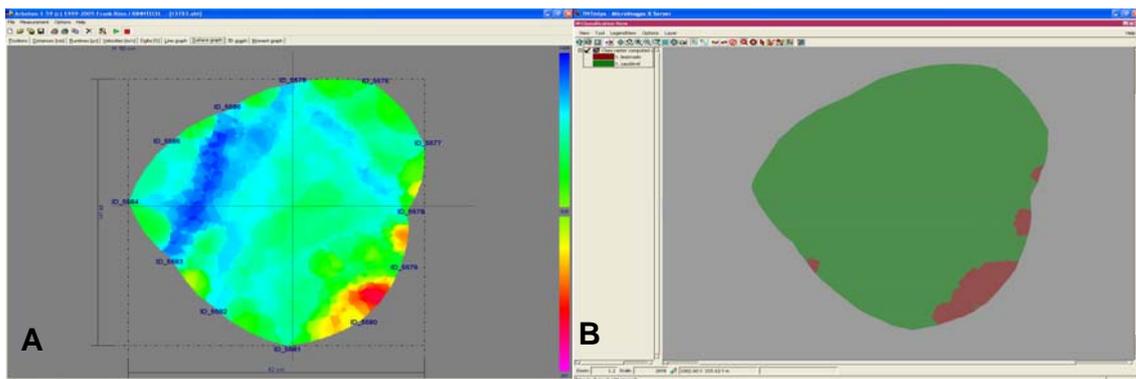


Figura 16 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 16. B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 16: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 17/3782

Data da Avaliação: 12/09/2008

Localização: Rua Armando Césare Dedini SN, casa situada na calçada oposta com numeração 1612.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 11,50 metros / 23,80 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,50 metros / 57,30 cm

Largura da calçada: 4,10 metros.

Tipo e dimensões do canteiro: circular com 1,85 m de diâmetro

Risco de queda: Médio

Informações relevantes: Com estado geral regular, o indivíduo apresenta risco de queda médio em função de sua inclinação de 30° em direção ao leito carroçável. Parte do sistema radicular encontra-se exposto, causando levantamento do pavimento e danos ao muro da construção adjunta, indicando que a árvore pode estar perdendo estabilidade. Avaliações periódicas são necessárias para avaliar aumento da inclinação ou perda de resistência do solo. Apodrecimento causado por podas inadequadas foi observado e deve também ser acompanhando.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 17) mostra a presença de lenho sadio em seção do colo, não indicando problemas internos.

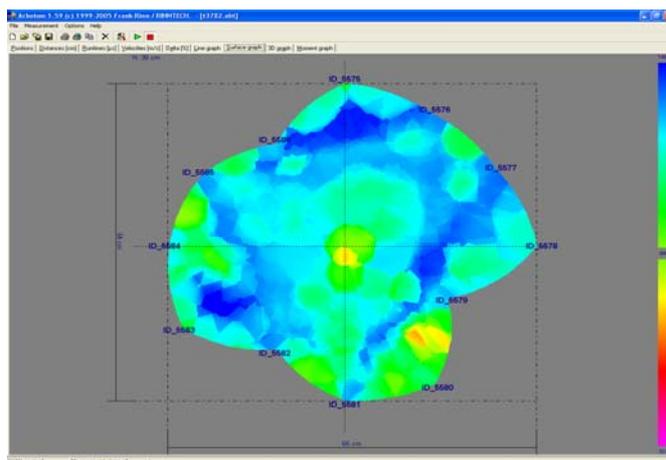


Figura 17 – Imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 17

N° da árvore/N° de placa de identificação: 18/3781

Data da Avaliação: 12/09/2008

Localização: Rua Armando Césare Dedini, 1326.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 9,00 metros / 13,00 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 1,60 metros / 41,38 cm

Largura da calçada: 4,00 metros.

Tipo e dimensões do canteiro: retangular, 1,00 X 1,00 m

Risco de queda: Baixo

Informações relevantes: Com estado geral bom, o indivíduo possui pequena área do colo com sinais de apodrecimento de alburno causado por podridão branca. Apresentou sinais de ataque por insetos xilófagos, porém os mesmos não foram visualizados. A copa encontra-se desequilibrada em função de poda mal executada e de quebra de galho.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 18) mostra a presença de lenho sadio em seção do colo, não indicando problemas internos.

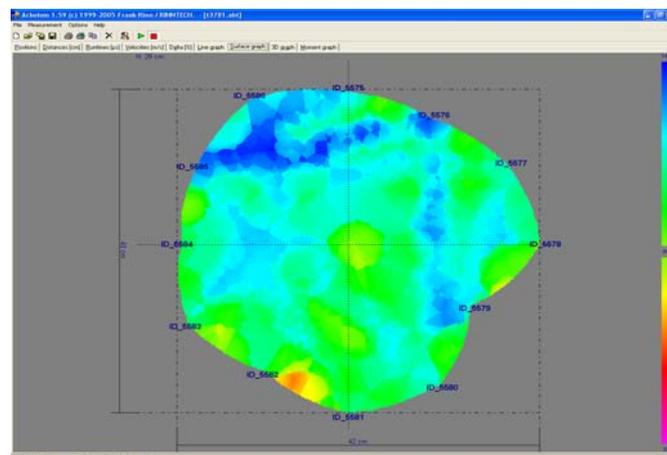


Figura 18 – Imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 18

N° da árvore/N° de placa de identificação: 19/3780

Data da Avaliação: 12/09/2008

Localização: Rua das Margaridas, SN, casa situada na calçada oposta com numeração 647.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 10,00 metros / 16,30 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,10 metros / 57,30 cm

Largura da calçada: árvore em área verde.

Tipo e dimensões do canteiro: árvore em área verde.

Risco de queda: Médio

Informações relevantes: A árvore, que encontra-se em área verde em construção, teve parte de seu sistema radicular cortado para a construção de passeio de concreto. Injúrias mecânicas foram encontradas no colo e tronco do indivíduo. Apresenta sinais de declínio, apresentando grande quantidade de ramos apodrecidos e sinais de ataques intensos por brocas de madeira.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 19) mostra a presença de lenho sadio em seção do colo, não indicando problemas internos.

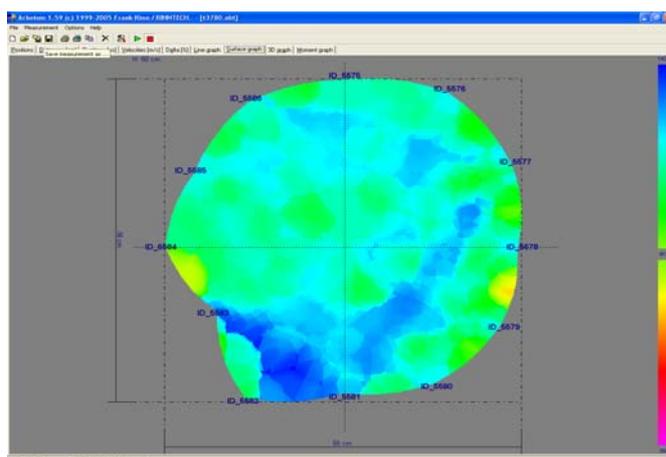


Figura 19 – Imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 19

N° da árvore/N° de placa de identificação: 20/3779

Data da Avaliação: 12/09/2008

Localização: Rua das Margaridas, 360

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 10,00 metros / 16,30 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,10 metros / 57,60 cm

Largura da calçada: 2,10 metros

Tipo e dimensões do canteiro: retangular 2,00 X 1,00 m

Risco de queda: Médio

Informações relevantes: com estado geral regular, a árvore sofreu corte de raízes em processo recente de reforma do passeio. Apresenta grande desequilíbrio de copa em função de podas drásticas, podridão branca em estágio inicial estabelecida no colo por apodrecimento do alburno e no tronco em lesões não cicatrizadas de podas. Recomenda-se seu acompanhamento para avaliação das áreas com apodrecimento.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 20) mostra a presença de lenho sadio em seção do colo, indicando que o processo de apodrecimento identificado visualmente encontra-se em estágio inicial.

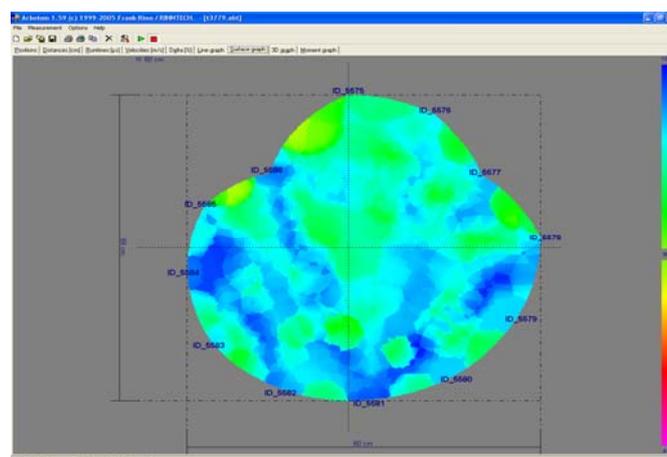


Figura 20 – Imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 20

N° da árvore/N° de placa de identificação: 21/3778

Data da Avaliação: 19/09/2008

Localização: Av. Paulista, SN. Árvore situada em frente a convento.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 8,00 metros / 11,37 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,30 metros / 49,66 cm

Largura da calçada: 2,75 metros

Tipo e dimensões do canteiro: retangular 1,18 X 1,42 m

Risco de queda: Alto

Informações relevantes: árvore com alto risco de queda em função de deslocamento de solo, indicando risco de ceder às forças solicitantes, podridão branca em estágio avançado no colo, tronco e área de ramificação do indivíduo, presença de ramos secos e sob ação de insetos xilófagos e inclinação de aproximadamente 30° em direção ao leito carroçável ocasionada por sucessivas podas drásticas. Recomenda-se remoção do indivíduo.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 21, A) permite visualizar tecidos lesionados pelo processo de apodrecimento representando 23,92% da área da seção (Figura 21, B). Velocidades de propagação de ondas mecânicas mais baixas nas áreas periféricas à lesão podem indicar que a mesma não foi devidamente compartimentalizada.

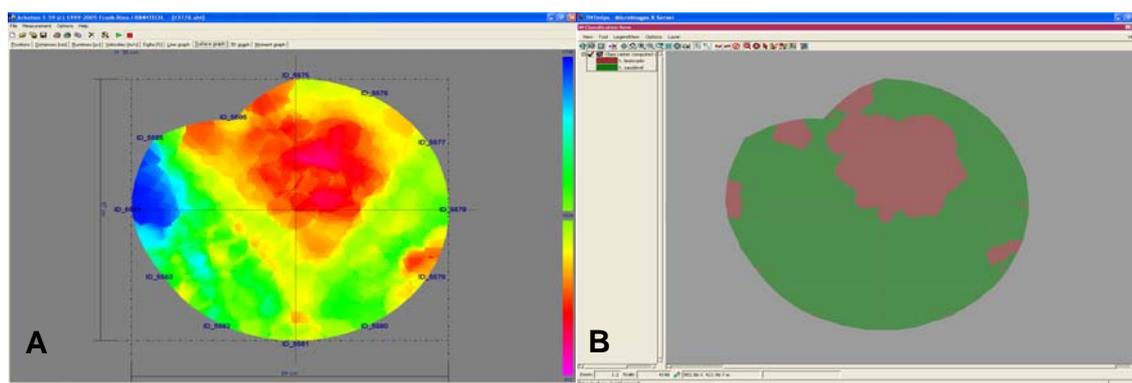


Figura 21 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 21. B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 21: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 22/3777

Data da Avaliação: 19/09/2008

Localização: Rua Armando Césare Dedini,SN, casa situada na calçada oposta com numeração 355.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 13,00 metros / 20,10 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 3,00 metros / 67,50 cm

Largura da calçada: 1,90 metros

Tipo e dimensões do canteiro: árvore em faixa gramada, 1,07 X 5,00 m.

Risco de queda: Alto

Informações relevantes: árvore com estado geral regular e baixo risco de queda pela avaliação visual. Apresenta apodrecimento de cerne causado por podridão branca e protuberância na base, indicando processo de compartimentalização da lesão. Copa apresentando poucos ramos secos sob ação de cupins de madeira seca.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 22, A) possibilitou o reconhecimento preciso da área lesionada (Figura 22, B) pela ação do fungo apodrecedor (51,96% da área da seção), elevando o risco de queda do indivíduo de baixo para alto.

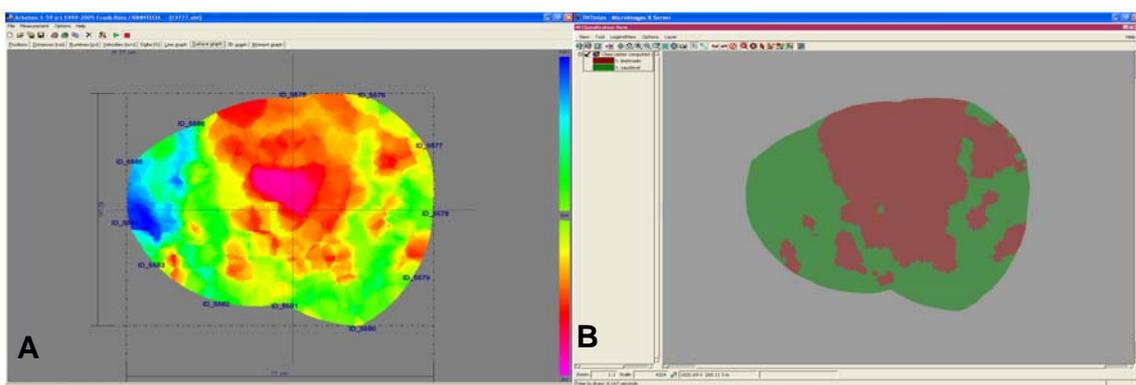


Figura 22 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 22. B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 22: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 23/3776

Data da Avaliação: 19/09/2008

Localização: Av. Paulista, 699.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 9,00 metros / 11,50 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,70 metros / 45,20 cm

Largura da calçada: 2,50 metros

Tipo e dimensões do canteiro: retangular, 1,27 X 1,50 m.

Risco de queda: Alto

Informações relevantes: árvore em péssimo estado geral. Em função de reforma do passeio teve grande parte de seu sistema radicular cortado, comprometendo sua ancoragem ao solo. Apresenta oco abrangendo aproximadamente 25% da circunferência do colo causado por podridão branca. Foi visualizada ação de cupim de madeira seca em porções do tronco. Possui inclinação de 25° em direção ao leito carroçável. Recomenda-se substituição do indivíduo.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 23, A) possibilitou o reconhecimento preciso da área lesionada (75,30%, conforme apresentado na Figura 23, B), confirmando o alto risco de queda apontado pela avaliação visual.

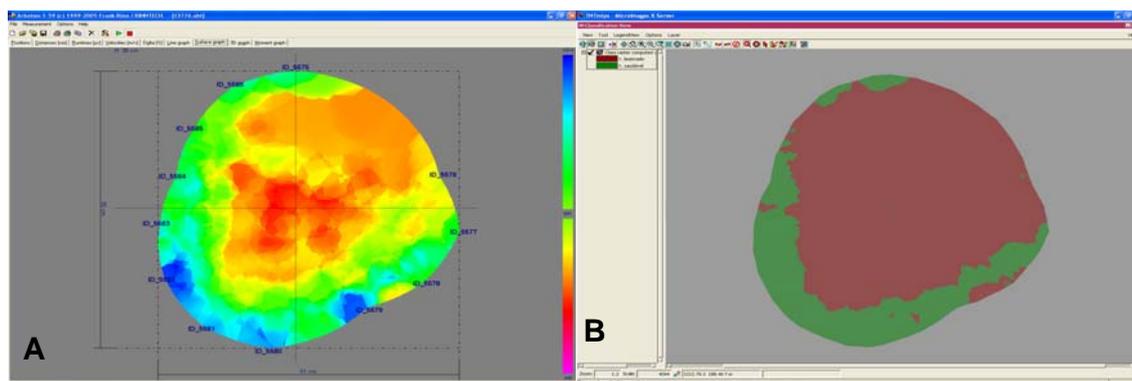


Figura 23 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 23. B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 23: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 25/3774

Data da Avaliação: 23/09/2008

Localização: Rua Dona Lídia, 786

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 16,00 metros / 23,30 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,40 metros / 87,22 cm

Largura da calçada: 3,45 metros

Tipo e dimensões do canteiro: retangular, 1,34 X 2,10 m.

Risco de queda: alto

Informações relevantes: O indivíduo apresenta cavidade aberta abrangendo aproximadamente 20% da circunferência do tronco originada no processo de apodrecimento de cerne em injúria de poda não cicatrizada. Cupins de madeira seca estão associados à cavidade, porém a níveis baixos de infestação. Foram observadas pequenas rachaduras horizontais no interior da cavidade, indicando perda de estabilidade e risco de ruptura do lenho sadio remanescente. Em função dos problemas encontrados recomenda-se substituição do indivíduo.

Tomografia de impulso: a porcentagem de tecido lesionado (39,62% da área da seção) encontrada na imagem tomográfica (Figura 25, A-B) confirma o alto risco de queda do indivíduo.

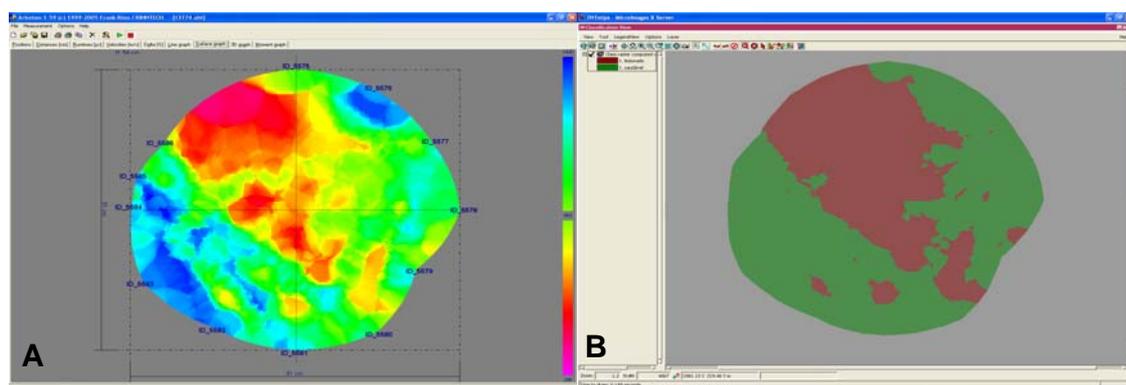


Figura 25 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 25. B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 25: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 26/3773

Data da Avaliação: 23/09/2008

Localização: Av. Pres. Kennedy, 285

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 17,00 metros / 18,10 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 3,00 metros / 86,00 cm

Largura da calçada: 2,58 metros

Tipo e dimensões do canteiro: retangular, 1,41 X 3,33 m.

Risco de queda: alto

Informações relevantes: Árvore em péssimo estado geral devido a cavidade abrangendo aproximadamente 40% da circunferência do tronco associada a cupins de madeira seca. Apresenta ramos secos e colonização por erva-de-passarinho. Devido às características observadas na avaliação visual e as informações obtidas pela tomografia, recomenda-se substituição do indivíduo.

Tomografia de impulso: a interpretação da imagem tomográfica (Figura 26, A) permite a localização da cavidade e de tecidos lesionados que somados correspondem a 68,96% da área da seção avaliada (Figura 26, B), confirmando o alto risco de queda do indivíduo.

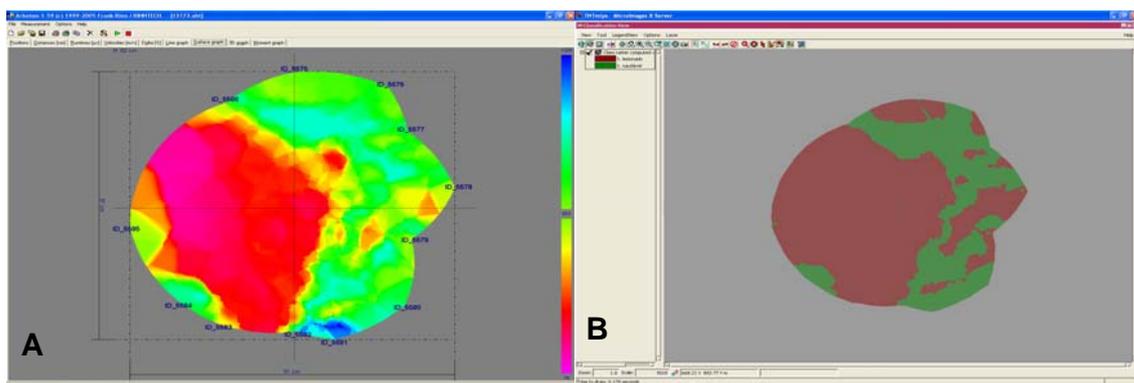


Figura 26 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 26. B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 26: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 27/3772

Data da Avaliação: 23/10/2008

Localização: Rua dos Maçons, SN, próxima a intersecção com a Av. Paulista

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 10,00 metros / 13,00 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,70 metros / 69,70 cm

Largura da calçada: 2,50 metros

Tipo e dimensões do canteiro: retangular, 1,40 X 2,30 m.

Risco de queda: Médio

Informações relevantes: a árvore apresenta grande desequilíbrio de copa em função de podas drásticas, prejudicando sua arquitetura que já apresentava problemas em função de tortuosidades no tronco. O tronco apresentou também área apodrecida de causa não identificada, diminuindo a estabilidade do indivíduo. O risco de queda deve-se principalmente à área sob apodrecimento e à inclinação.

Tomografia de impulso: a imagem tomográfica (Figura 27) não revelou sinais de lesões internas, indicando que o apodrecimento identificado na avaliação visual está em estágio inicial, o que ressalta a importância de avaliações periódicas do indivíduo.

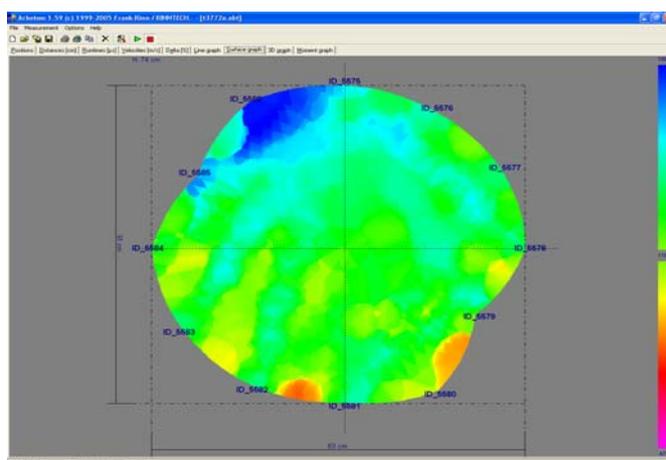


Figura 27 – Imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 27

N° da árvore/N° de placa de identificação: 28/3771

Data da Avaliação: 24/10/2008

Localização: Av. Cruzeiro do Sul, SN. Localizada junto a pista de caminhada

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 15,00 metros / 23,70 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,40 metros / 77,30 cm

Largura da calçada: árvore em área verde.

Tipo e dimensões do canteiro: árvore em área verde.

Risco de queda: Médio

Informações relevantes: o indivíduo avaliado apresentou grande área do tronco e colo (30 e 15%, respectivamente) com cavidade aberta por apodrecimento de cerne causado por podridão branca. Pelo fato de apresentar grande área lesionada e a imagem tomográfica indicar a presença de tecidos lesionados em outras áreas além da cavidade, recomenda-se avaliações periódicas.

Tomografia de impulso: é possível notar na imagem tomográfica e em sua respectiva classificação (Figura 28, A-B) área lesionada abrangendo 25,33% da área da seção. Observa-se também que a área lesionada não é restrita à cavidade encontrada, indicando lesão não compartimentalizada.

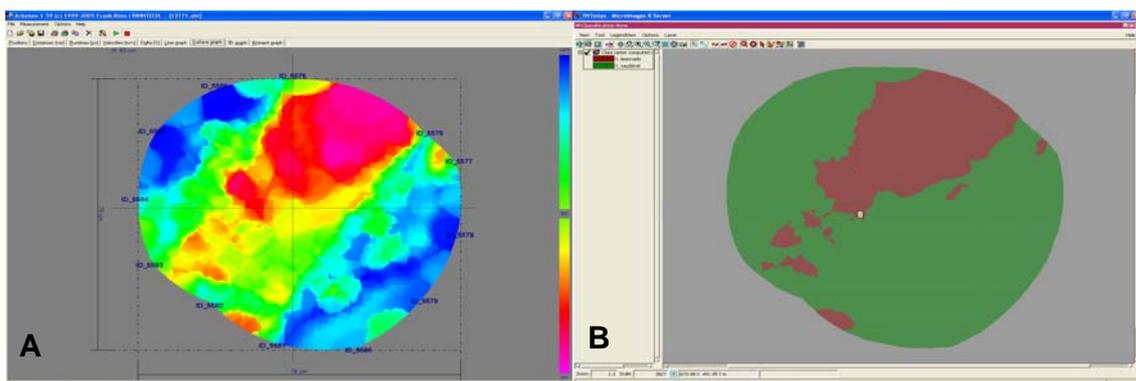


Figura 28 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 28. B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 28: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 29/3770

Data da Avaliação: 24/10/2008

Localização: Av. Cruzeiro do Sul, SN, casa situada na calçada oposta com numeração 888.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 13,00 metros / 16,10 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,10 metros / 58,25 cm

Largura da calçada: árvore em área verde.

Tipo e dimensões do canteiro: árvore em área verde.

Risco de queda: Médio

Informações relevantes: o indivíduo avaliado apresentou cavidade aberta abrangendo 10% da área do colo e 15% do tronco em função de podridão branca originada pela quebra de galhos da copa. Apresenta leve inclinação (10° em direção à pista de caminhada da Av. Cruzeiro do Sul. Deve ser avaliado periodicamente para acompanhamento de sua estabilidade.

Tomografia de impulso: é possível identificar na imagem tomográfica e em sua respectiva classificação (Figura 29, A-B) área lesionada abrangendo 21,92% da área da seção.

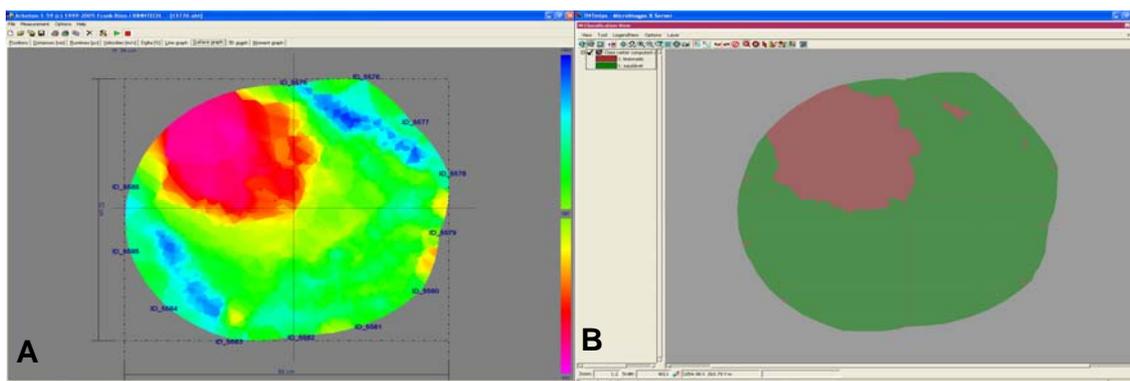


Figura 29 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 29. B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 29: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 30/3769

Data da Avaliação: 24/10/2008

Localização: Av. Cruzeiro do Sul, SN, casa situada na calçada oposta com numeração 888.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 13,00 metros / 12,00 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,40 metros / 60,50 cm

Largura da calçada: árvore em área verde.

Tipo e dimensões do canteiro: árvore em área verde.

Risco de queda: Médio

Informações relevantes: assim como o indivíduo anterior (3770), apresentou cavidade em função de podridão branca originada pela quebra de galhos da copa abrangendo 30% da circunferência do colo e tronco, porém apresenta maior inclinação (30°). Deve ser avaliado periodicamente para acompanhamento de sua estabilidade.

Tomografia de impulso: é possível notar na imagem tomográfica e em sua respectiva classificação (Figura 30, A-B) área lesionada abrangendo 14,22% da área da seção.

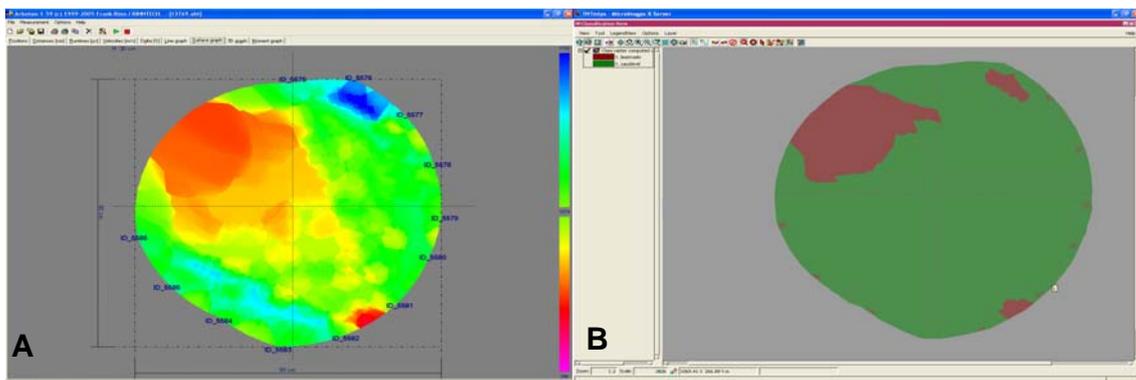


Figura 30 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 30. B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 30: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 31/3768

Data da Avaliação: 20/03/2009

Localização: ESALQ, rotatória em frente à Casa do Estudante Universitário.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 9,00 metros / 15,20 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 3,00 metros / 50,00 cm

Largura da calçada: árvore em área verde.

Tipo e dimensões do canteiro: árvore em área verde.

Risco de queda: Alto

Informações relevantes: com risco de queda médio pela avaliação visual, o indivíduo avaliado apresentava cavidade aberta abrangendo 35% do colo devido à ação de podridão branca na base (*butt rot*). A copa apresentou sinais de perda de vigor, identificado pelo processo de apodrecimento de ramos fisiologicamente ativos.

Tomografia de impulso: a tomografia permitiu a visualização da extensão da lesão na base do indivíduo, abrangendo 46,53% da área da seção e elevando o risco de queda do mesmo para alto (Figura 31, A-B).

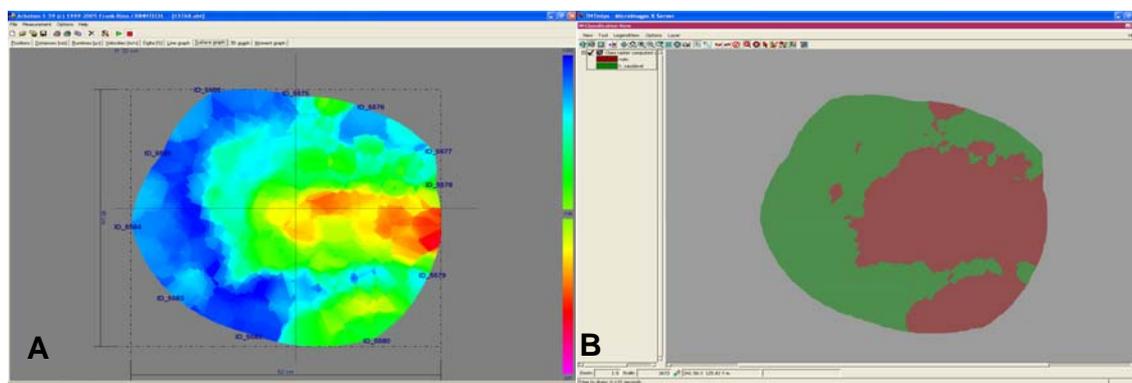


Figura 31 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 31. B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 31: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 33/3766

Data da Avaliação: 20/03/2009

Localização: ESALQ, árvore localizada junto à entrada pela via Cdor. Pedro Morganti.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 16,80 metros / 25,94 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 6,30 metros / 95,50 cm

Largura da calçada: árvore em área verde.

Tipo e dimensões do canteiro: árvore em área verde

Risco de queda: Alto

Informações relevantes: a árvore apresentou risco de queda alto em função de podridão branca originada da quebra de galho, provocando uma cavidade aberta que permite o acúmulo de água em seu interior.

Tomografia de impulso: pela imagem tomográfica do colo do indivíduo (Figura 33, A) nota-se apodrecimento do cerne em estágio avançado, abrangendo 52,54% da área da seção (Figura 33, B), confirmando seu alto risco de queda.

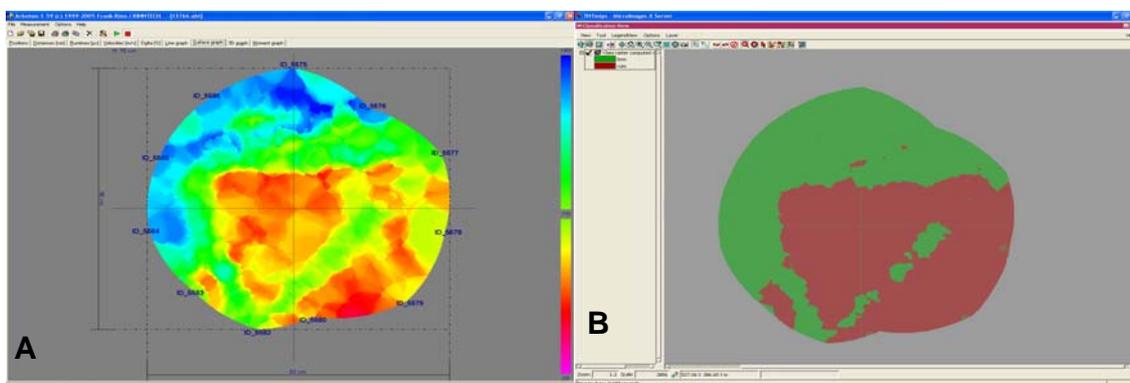


Figura 33 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 33. B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 33: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 34/3765

Data da Avaliação: 20/03/2009

Localização: ESALQ, árvore localizada junto à lateral do prédio da Pesquisa, Cultura e Extensão Universitária.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 7,00 metros / 9,52 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 3,50 metros / 39,80 cm

Largura da calçada: árvore em área verde.

Tipo e dimensões do canteiro: árvore em área verde

Risco de queda: Alto

Informações relevantes: a árvore apresentou risco de queda alto em função de sua grande inclinação (42°) associada ao surgimento de rachaduras horizontais na base do colo, que apresentava processo de apodrecimento de cerne por podridão branca. Apesar de estar localizada em área de pouca circulação de pedestres, deve ser substituída para evitar possíveis danos causados em decorrência de sua queda.

Tomografia de impulso: pela imagem tomográfica do colo do indivíduo nota-se apodrecimento do cerne abrangendo 16,50% da área da seção (Figura 34, A-B).

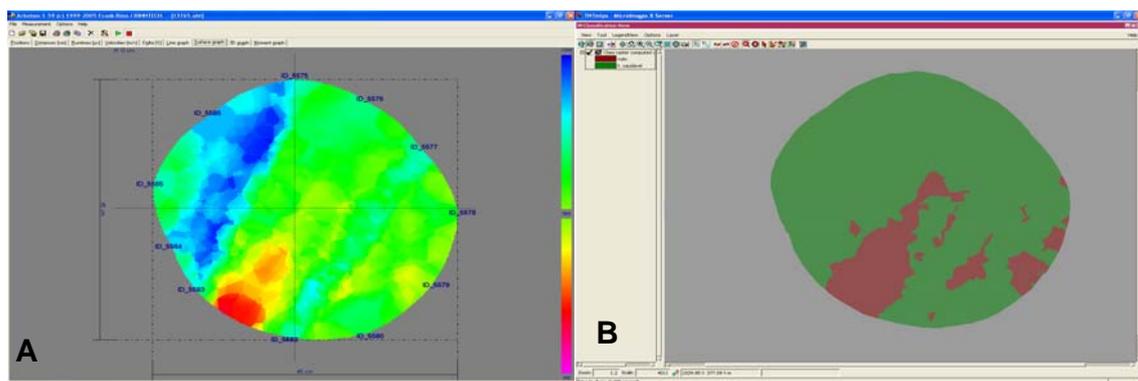


Figura 34 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 34. B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 34: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 35/3764

Data da Avaliação: 06/04/2009

Localização: ESALQ, árvore localizada em frente ao Departamento de Zootecnia.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 20,00 metros / 22,20 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 3,50 metros / 75,10 cm

Largura da calçada: árvore em área verde.

Tipo e dimensões do canteiro: árvore em área verde

Risco de queda: Alto

Informações relevantes: o indivíduo avaliado apresentava exsudação de seiva no colo e tronco. Foram observados cupins de solo no indivíduo, porém a níveis baixos de infestação e demonstrando poucos danos pela avaliação visual. Parte do sistema radicular aflorado apresentou injúrias mecânicas pela ação de cortadores de grama.

Tomografia de impulso: pela imagem tomográfica do colo do indivíduo nota-se grande área lesionada, abrangendo 48,31% da área da seção (Figura 35, A-B) e elevando para alto o risco de queda do indivíduo.

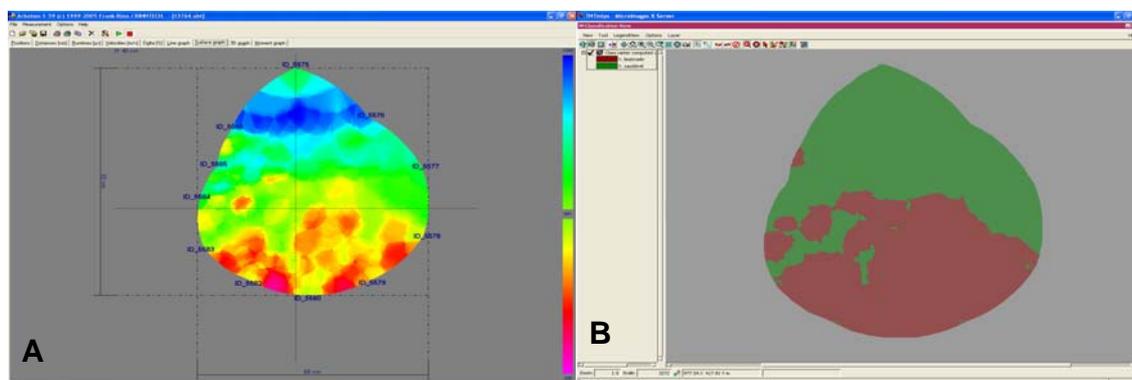


Figura 35 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 35. B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 35: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 36/3763

Data da Avaliação: 07/04/2009

Localização: ESALQ, árvore localizada em frente ao Departamento de Zootecnia, prédio da Zootecnia de Não Ruminantes.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 18,60 metros / 21,23 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 4,00 metros / 65,30 cm

Largura da calçada: árvore em área verde.

Tipo e dimensões do canteiro: árvore em área verde

Risco de queda: Médio

Informações relevantes: o indivíduo, em estado geral regular, apresenta 30° de inclinação. Parte do sistema radicular encontra-se exposto, tendo sido alvo de injúrias mecânicas ocasionadas por cortadores de grama. Foi observada protuberância abrangendo o colo e porção inferior do tronco, indicando a presença de problemas biomecânicos. Não foram encontradas evidências de apodrecimento pela avaliação visual.

Tomografia de impulso: pela imagem tomográfica (Figura 36, A) do colo do indivíduo nota-se área lesionada abrangendo 31,07% da área da seção (Figura 36, B), indicando provável ação de fungo apodrecedor.

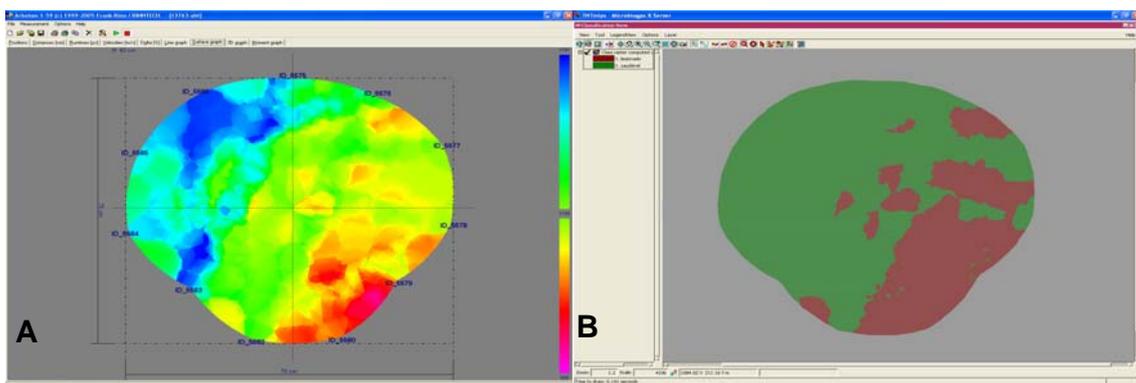


Figura 36 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 36. B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 36: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 37/3762

Data da Avaliação: 07/04/2009

Localização: Rua José Carlos Piffer, 181.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 14,20 metros / 22,00 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 3,30 metros / 70,00 cm

Largura da calçada: 2,80 metros

Tipo e dimensões do canteiro: árvore em faixa gramada, 2,80 X 8,00 m.

Risco de queda: Alto

Informações relevantes: o indivíduo, em estado geral regular e risco de queda médio pela avaliação visual, apresentou sinais de ataque intenso por cupim de solo em sua base. Parte do sistema radicular foi cortado, diminuindo a estabilidade da árvore. A região de ramificação apresentava lesões de poda não cicatrizadas sob ação de apodrecimento. Optou-se pela realização da tomografia no colo e em região próxima a bifurcação visando identificar possíveis danos causados.

Tomografia de impulso do colo: pela imagem tomográfica do colo do indivíduo nota-se área lesionada abrangendo 58,84% da área da seção (figura 37, A-B), indicando grande extensão de danos causados e alto risco de queda.

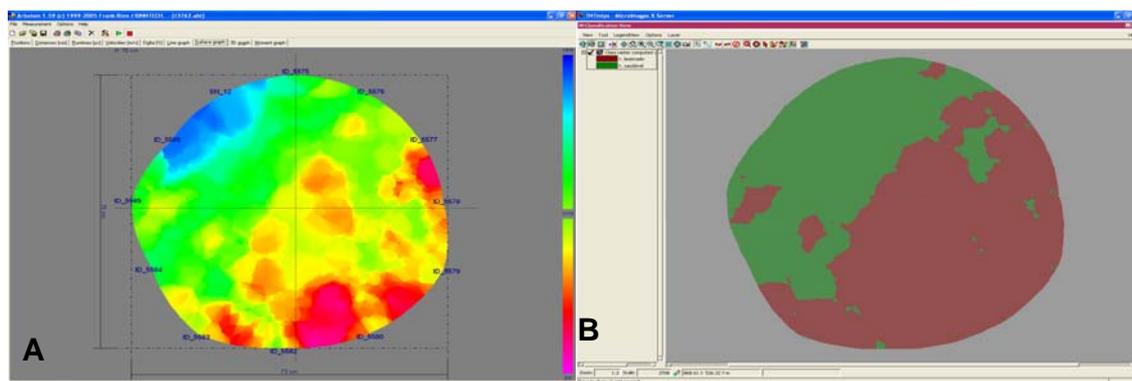


Figura 37 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 37. B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da base do indivíduo n° 37: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

Tomografia de impulso da bifurcação: a bifurcação do indivíduo avaliado apresentou sinais de apodrecimento em estágio inicial, abrangendo 8,19% da área da seção (Figura 38, A-B).

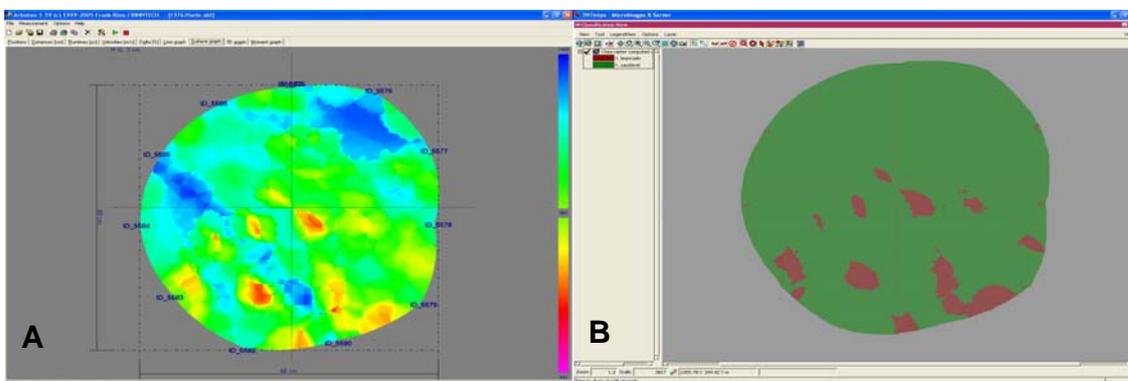


Figura 38 – A: imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da bifurcação do indivíduo n° 37. B: classificação automática supervisionada da imagem tomográfica da bifurcação do indivíduo n° 37: a cor verde representa tecidos saudáveis, enquanto a cor vermelha representa tecidos lesionados

N° da árvore/N° de placa de identificação: 38/3794

Data da Avaliação: 29/08/2008

Localização: Rua Virgolino de Oliveira, 370.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 14,00 metros / 11,00 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,30 metros / 62,10 cm

Largura da calçada: 2,85 metros

Tipo e dimensões do canteiro: retangular, 0,98 X 0,68 m.

Risco de queda: Alto

Informações relevantes: indivíduo com sinais de morte eminente pela presença numerosa de ramos secos e com risco de ruptura, tronco seco, apresentando rachaduras verticais com sinais de injúrias causados por brocas de madeira. Não foi obtida imagem tomográfica do indivíduo, pois o mesmo foi suprimido pelo serviço municipal de supressão de árvores antes da realização da tomografia.

N° da árvore/N° de placa de identificação: 39/3795

Data da Avaliação: 29/08/2008

Localização: Rua Virgolino de Oliveira, 411.

Dimensões:

Altura geral / Diâmetro da copa: 15,30 metros / 13,40 metros

Altura da primeira ramificação / DAP: 2,90 metros / 62,40 cm

Largura da calçada: 2,93 metros

Tipo e dimensões do canteiro: retangular, 0,95 X 0,67 m.

Risco de queda: Alto

Informações relevantes: indivíduo com sinais de morte eminente, com colo pavimentado e sistema radicular cortado, presença numerosa de ramos secos e risco de ruptura, tronco seco, apresentando rachaduras verticais.

Tomografia de impulso: pela imagem tomográfica (Figura 39) não foi possível identificar áreas lesionadas no interior do tronco, apesar dos sinais claros de declínio observados pela avaliação visual, indicando a incapacidade de reconhecimento de lesões em árvores mortas, provavelmente em função da baixa umidade do material.

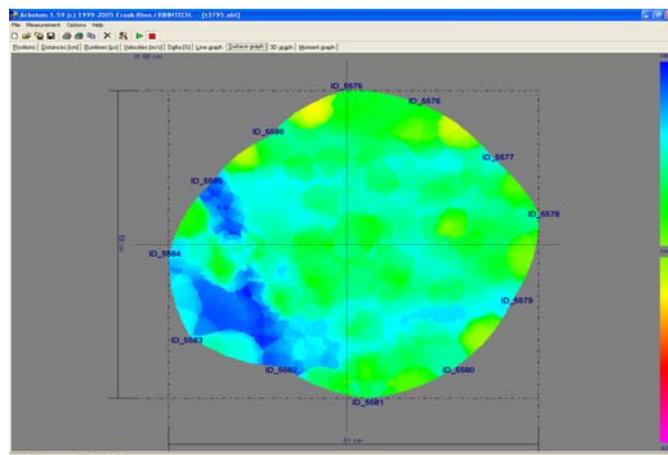


Figura 39 – Imagem tomográfica obtida por tomógrafo de impulso no modelo de cor “rainbow” e resolução de superfície igual a 1 mm da base do indivíduo n° 39