



Danielly Ferreira

# ANÁLISE DE RISCO DE QUEDA DE ÁRVORES: A ESPÉCIE *TILIA TOMENTOSA* MOENCH NO PARQUE DR. MANUEL BRAGA, COIMBRA/PORTUGAL

Dissertação de Mestrado em Biodiversidade e Biotecnologia Vegetal realizada sob a orientação científica da professora Dr.<sup>a</sup> Cristina Nabais, no Departamento de Ciências da Vida na Universidade de Coimbra, na Faculdade de Ciência e Tecnologia

Janeiro/2017



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

## **AGRADECIMENTOS**

A Denize Silva Batista e Luciano Lamper Martinez, por me ensinarem o caminho do bem e da perseverança.

A Professora Doutora Cristina Nabais, que desde sempre me inspirou como referência de pessoa íntegra e profissional na Universidade de Coimbra.

A Câmara Municipal de Coimbra, na pessoa de Maria João Martins, que promoveu o desenvolvimento científico aplicado, ao viabilizar autorização para que este trabalho fosse realizado.

A Ana Luísa Carvalho, pelo acompanhamento em todas as amostragens efetuadas, pelo apoio, pela amizade e por seu pensamento positivo inabalável.

A Luís Miguel Silva, pelo apoio gráfico e logístico, por ter sido o meu porto seguro, nos bons e maus momentos.

## RESUMO

Alcançar o status de cidade sustentável é uma meta de desenvolvimento que requer a união de Governos e sociedade no objetivo comum de promover uma melhor qualidade de vida. Uma das medidas comuns é promover a arborização, cujos benefícios compreendem o desenvolvimento de um ambiente mais agradável para os transeuntes, a despoluição ou melhoria da qualidade do ar, o conforto térmico e acústico. Lidar com os potenciais riscos inerentes ao processo de arborização nas cidades tem sido objeto de estudo em diversas áreas do conhecimento. De forma a perceber como se aplicam estudos de análise de risco de queda de árvores, dados os possíveis impactos negativos desses elementos no meio urbano, implementou-se a recolha de dados relativos a exemplares da espécie *Tilia tomentosa* Moench no Parque Dr. Manuel Braga, em Coimbra/Portugal, com os objetivos de a) em termos de avaliação visual: propor parâmetros para avaliação do estado de conservação da espécie *Tilia tomentosa* Moench; desenvolver Formulário adaptado de formulários já existentes; aplicar o formulário desenvolvido para avaliar a sanidade das tilias do Parque Dr. Manuel Braga; discutir possíveis causas que estão a afetar a sanidade das tilias do Parque Manuel Braga; b) com o uso do equipamento Arbotom®: aplicar a técnica de tomografia; avaliar a estabilidade mecânica das árvores; comparar os resultados da análise visual com os resultados das tomografias realizadas. A condição mecânica da estrutura do tronco foi analisada utilizando o Arbotom®, equipamento que permite fazer uma tomografia acústica, método de diagnóstico não-destrutivo capaz de fornecer informações acerca da sanidade da árvore por meio de dados de velocidade da onda de tensão propagada na madeira. Os resultados da análise visual após inspeção de 103 exemplares indicam que a maioria das árvores precisa de monitorização contínua quanto à condição dos ramos. O Arbotom®, como ferramenta de diagnóstico pode auxiliar na tomada de decisão, tanto nos casos em que por evidências externas uma árvore está em mau estado, como nos casos em que aparentemente está saudável. Na área de estudo, as estruturas dos 16 exemplares em que foi aplicada a técnica de

tomografia apresentaram-se mecanicamente estáveis. O valor mínimo de velocidade encontrado foi de 195 m/s e o valor máximo foi de 1549 m/s. Assim, em termos de ecologia da espécie, uma das possibilidades é que o intervalo de confiança dos valores de velocidade que apontem para a sanidade da árvore, seja mais alargado para *Tilia tomentosa* Moench, que os valores tabelados para o género, que variam entre 940 - 1183 m/s. A inexistência de um banco de dados acerca das árvores urbanas e as dificuldades inerentes ao diagnóstico de sanidade levanta questões relevantes no campo do discernimento quanto às funções da árvore no ambiente, acentuando a necessidade de efetuar o debate entre Instituições de pesquisa, Sociedade e Governo, por serem estes interessados na melhoria da qualidade ambiental e no conforto de suas cidades. O apoio técnico-científico aos agentes responsáveis pelo cuidado das árvores pode refletir de forma positiva na prevenção de danos e no adequado equacionamento das questões que envolvem a proteção da biodiversidade no planeamento urbano.

Palavras-chave: Análise de risco, Parque urbano, Arbotom®, Biodiversidade, *Tilia tomentosa* Moench

## ABSTRACT

Achieving sustainable city status is a development goal that requires the union of Governments and society in the common goal of promoting a better quality of life. One of the common measures is to promote afforestation, whose benefits include the development of a more pleasant environment for passers-by, the decontamination or improvement of air quality, thermal and acoustic comfort (). In order to understand how tree risk analysis studies are applied, considering the possible negative impacts of these elements in the urban environment, data collection was carried out on specimens of the species *Tilia tomentosa* Moench in the Dr. Manuel Braga Park, In Coimbra/Portugal, with the objectives of a) in terms of visual evaluation: to set parameters for the evaluation of the conservation status of the species *Tilia tomentosa* Moench; to develop a proper Form adapted to local conditions; to apply the developed form to evaluate the sanity of the trees at Dr. Manuel Braga Park; to discuss possible causes that are affecting sanitation in the Manuel Braga Park; b) using the Arbotom® equipment: apply the tomography technique; evaluate the mechanical stability of trees; compare the results of the visual analysis with the results of the CT scans performed. The mechanical condition of the trunk structure was analyzed using Arbotom®, an equipment of acoustic tomography, that can be described as a non-destructive diagnostic method capable of providing information about tree health through data of propagated wave in wood. Dealing with the potential risks inherent to the afforestation process in cities has been the object of study in several areas of knowledge. In order to understand how to apply Tree Risk Management Analysis, given the possibility of damages caused by these elements in urban areas, it was performed a risk analysis of the species *Tilia tomentosa* Moench at Dr. Manuel Braga Park in Coimbra/Portugal. Our aim was to assess the health of the trees by visual inspection and mechanical condition of the main stem using the Arbotom® equipment that performs tomographies. Tools like Arbotom® can assist in decision process, both when a tree already shows signs of degradation, but essentially when its outside structure does not show visible

signs of damage but the tomography can show internal rotten areas. The results obtained after the visual analysis led us to conclude that for most of the 103 trees a branch monitoring plan is required and after the tomographies were realized our conclusion is that the main stem of the 16 specimens analysed was mechanically stable. The minimum velocity value found was 195 m/s and the maximum value was 1549 m/s. Thus, in terms of the ecology of the species, one of the possibilities is that the confidence interval of the velocity values that point to the tree's health, is wider for *Tilia tomentosa* Moench, than the values tabulated for the genus, ranging from 940 - 1183 m/s. The lack of a database of urban trees and the difficulties inherent in the diagnosis of sanity raises issues in the discernment of investigation, such as the tree functions in the urban environment, the absence of the debate between Research Institutions, Society and Government. Since the aim of these stakeholders is to improve the environmental quality and the comfort of their cities, it should be given as much as possible of support to the agents responsible for the care of trees, because it reflects positively in preventing damage and in adequately addressing the issues surrounding the protection of Biodiversity in urban planning.

Key words: Risk analysis, Urban Park, Arbotom®, Biodiversity, *Tilia tomentosa* Moench

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I   A árvore no ambiente urbano .....</b>	<b>12</b>
1.1 <i>A árvore como elemento da paisagem urbana sob Gestão Pública .....</i>	12
1.2 <i>Aspetos importantes da segurança das árvores: estrutura e estabilidade .....</i>	13
1.3 <i>Árvore e Ambiente .....</i>	23
<b>CAPÍTULO II   Análise de risco de queda de árvores – método de avaliação visual .....</b>	<b>29</b>
2. <i>Instituições de referência em análise de risco de queda de árvores .....</i>	29
2.1 <i>China .....</i>	29
2.2 <i>Estados Unidos da América .....</i>	32
2.3 <i>Portugal .....</i>	34
2.4 <i>Brasil .....</i>	36
2.5 <i>Objetivos .....</i>	38
2.6 <i>Materiais e métodos .....</i>	38
2.6.1 <i>Local de estudo .....</i>	38
2.6.2 <i>A espécie .....</i>	40
2.6.3 <i>Avaliação da área e da espécie .....</i>	44
2.7 <i>Resultados e Discussão .....</i>	49
2.8 <i>Possíveis variáveis comprometedoras da sanidade das árvores .....</i>	53
<b>CAPÍTULO III   Uso da tomografia para avaliação da estabilidade mecânica dos troncos das árvores .....</b>	<b>55</b>
3. <i>O uso de equipamentos em diagnóstico exaustivo .....</i>	55
3.1 <i>Arbotom® - tomógrafo para árvores .....</i>	56
3.2 <i>Objetivos .....</i>	57
3.3 <i>Materiais e Métodos .....</i>	57
3.3.1 <i>Seleção dos exemplares para aplicação da tomografia .....</i>	57
3.3.2 <i>Aplicação da técnica de tomografia com Arbotom® .....</i>	59
3.4 <i>Resultados e Discussão .....</i>	62
3.4.1 <i>Resultados-tipo .....</i>	62
3.5 <i>Resultados por indivíduo .....</i>	67
3.5.1 <i>Exemplar 01 .....</i>	67
3.5.2 <i>Exemplar 02 .....</i>	68
3.5.3 <i>Exemplar 03 .....</i>	69
3.5.4 <i>Exemplar 04 .....</i>	70
3.5.5 <i>Exemplar 12 .....</i>	72
3.5.6 <i>Exemplar 13 .....</i>	73
3.5.7 <i>Exemplar 19 .....</i>	74
3.5.8 <i>Exemplar 22 .....</i>	75
3.5.9 <i>Exemplar 71 .....</i>	77
3.5.10 <i>Exemplar 72 .....</i>	78
3.5.11 <i>Exemplar 75 .....</i>	79
3.5.12 <i>Exemplar 81 .....</i>	80
3.5.13 <i>Exemplar 82 .....</i>	81
3.5.14 <i>Exemplar 92 .....</i>	82
3.5.15 <i>Exemplar 94 .....</i>	84
3.5.16 <i>Exemplar 97 .....</i>	85
3.6 <i>Resultados relativos aos dados de velocidade da onda na madeira .....</i>	87
3.7 <i>Resultados gerais Arbotom® - base vs. topo .....</i>	93
3.8 <i>Resultados Arbotom® vs. Análise visual .....</i>	93

<b>CAPÍTULO IV   Conclusões .....</b>	<b>95</b>
<b>CAPÍTULO V   Referências bibliográficas .....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXOS   Formulários de avaliação e análise de risco de queda de árvores .....</b>	<b>101</b>
<i>Anexo 1 - Sistema utilizado pelo Governo de Hong-Kong/China. ....</i>	<i>102</i>
<i>Anexo 2 - Método da Sociedade Internacional de Arboricultura dos EUA.....</i>	<i>105</i>
<i>Anexo 3 - Modelo adaptado do Departamento de Agricultura-USDA pelo Serviço Florestal do Alasca/EUA.....</i>	<i>107</i>
<i>Anexo 4 - Modelo adaptado do Departamento de Agricultura-USDA pelo Serviço Florestal de Minnesota/EUA. ....</i>	<i>108</i>
<i>Anexo 5 - Guia para avaliação visual de Tílias no Parque Dr. Manuel Braga. ....</i>	<i>110</i>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do efeito do peso da própria árvore com simetria bilateral. Fonte: adaptado de Alméras & Fournier (2009).....	19
Figura 2 - Representação dos modelos que integram a variável <maturação das células> para uma secção excêntrica de diâmetro D, submetida a um incremento em diâmetro dD. A haste de inclinação pende na direção XS positiva, com reação consequente negativa no momento de flexão dBY <0 e mudança na curvatura para cima, na tentativa de compensar o movimento. A. Variação de cinza representa heterogeneidade do novo anel de crescimento. B. Modelo alternativo em que o novo anel de crescimento é formado por dois materiais distintos. Fonte: adaptado de (Alméras & Fournier, 2009). .....	20
Figura 3 - Fluxograma de Análise de risco de Hong Kong. Fonte: Adaptado de (Tree Management Bureau, 2012). .....	31
Figura 4 - Registo da espécie <i>Tilia tomentosa</i> Moench. Fonte: Herbário de Coimbra/2016 (COI).....	41
Figura 5 - Tílias. A. Alameda. B. Bases danificadas exemplificativas. C. Arquitetura diferenciada de Ramos. Data de obtenção das imagens: Dez/2015.....	45
Figura 6 - Tílias. A. Epifitismo. B. Conexão de ramos entre duas árvores. Data de obtenção das imagens: Dez/2015. ....	45
Figura 7 - Localização dos exemplares de <i>Tilia tomentosa</i> no Parque Dr. Manuel Braga, coordenadas geográficas 40°12'14.86"/8°25'40.31". Fonte da Imagem: Google Earth jun./2012.....	47
Figura 8 - Esquema da Alameda de Tílias: 103 espécimes. Fonte: Câmara Municipal de Coimbra/2015.....	48
Figura 9 - Resultados espacializados da Análise Visual. Fonte da Imagem: Google Earth jun./2012.....	51
Figura 10 - Evidências de decaimento observáveis nos exemplares pelo método visual. Data das imagens: 03/11/2016.....	52
Figura 11 - Estratificação proposta depois de realizada a Análise Visual.....	58
Figura 12 - Representação do equipamento Arbotom®. A. Caixa. B. Sensores instalados. C. Resultados esquematizados. Fonte: (Rinn, 2003).....	59
Figura 13 - Técnica de tomografia em árvores. A. Estimativa de altura. B. Instalação do equipamento. C. Realização de teste dos sensores. D. Execução da tomografia. E. Registo dos dados no software. Fotografias: Ana Luísa Carvalho. Data de obtenção das imagens: Dez/2015. ....	60
Figura 14 - Default parcial dos arquivos texto referentes ao Exemplar  01-A . Statistical_data.txt. e Mechanical_data.txt.....	63

Figura 15 - Default de arquivo texto Exemplar 01-A.txt.....	64
Figura 16 - Gráfico de velocidades médias entre os sensores 1 a 8 - Exemplar  01A. ....	65
Figura 17 - Classificação manual de interações por cores em face das velocidade de onda...	66
Figura 18 - Gráfico de linhas do Exemplar 01. ....	66
Figura 19 - A. Gráfico 2D do Exemplar  01-A . Gráfico mecânico do Exemplar  01-A . ....	67
Figura 20 - Tomografia do Exemplar 01. Gráficos mecânicos da base e do topo.....	68
Figura 21 - Tomografia do Exemplar 02. Gráficos mecânicos da base e do topo.....	69
Figura 22 - Tomografia do Exemplar 03. Gráficos mecânicos da base e do topo.....	70
Figura 23 - Tomografia do Exemplar 04. Gráficos mecânicos da base e do topo.....	71
Figura 24 - Tomografia do Exemplar 12. Gráficos mecânicos da base e do topo.....	73
Figura 25 - Tomografia do Exemplar 13. Gráficos mecânicos da base e do topo.....	74
Figura 26 - Tomografia do Exemplar 19. Gráficos mecânicos da base e do topo.....	75
Figura 27 - Tomografia do Exemplar 22. Gráficos mecânicos da base e do topo.....	76
Figura 28 - Tomografia do Exemplar 71. Gráficos mecânicos da base e do topo.....	77
Figura 29 - Tomografia do Exemplar 72. Gráficos mecânicos da base e do topo.....	79
Figura 30 - Tomografia do Exemplar 75. Gráficos mecânicos da base e do topo.....	80
Figura 31 - Tomografia do Exemplar 81. Gráficos mecânicos da base e do topo.....	81
Figura 32 - Tomografia do Exemplar 82. Gráficos mecânicos da base e do topo.....	82
Figura 33 - Tomografia do Exemplar 92. Gráficos mecânicos da base e do topo.....	83
Figura 34 - Tomografia do Exemplar 94. Gráficos mecânicos da base e do topo.....	85
Figura 35 - Tomografia do Exemplar 97. Gráficos mecânicos da base e do topo. ....	86
Figura 36 - Gráficos de normalidade para dados de velocidade da onda de tensão propagada na árvore E. Gráfico de dispersão com todas as 36 tomografias em um eixo X de velocidade em m/s por área plotada em vermelho onde deveria estar localizados dados de normalidade. D. Grafico de dispersão após a remoção dos dados de velocidade da onda propagada na árvore relativos a 2 tomografias realizadas em que pode ser vista a aproximação dos dados ao comportamento de normalidade. ....	91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise Visual do estado de conservação das telhas do Parque Manuel Braga, Coimbra. ....	50
Tabela 2 - Amostra selecionada a partir dos estratos pré-definidos. ....	55
Tabela 3 - Dados de velocidade média e estatística básica da Amostra. ....	85
Tabela 4 - Dados de velocidade por grupo. ....	86
Tabela 5 - Dados de velocidade da onda (m/s) para <i>Tilia tomentosa</i> Moench. Com todos os exemplares (esquerda) e após exclusão de outliers* (direita). ....	92
Tabela 6 - Resultados por cor baseados nos dados gerados pelo Arbotom®. ....	90
Tabela 7 - Resultados totais: Arbotom® e Análise visual. ....	91

## CAPÍTULO I | A árvore no ambiente urbano

Com este capítulo, objetiva-se ressaltar a importância da árvore no ambiente urbano, não só como elemento ornamental da paisagem, mas também por sua capacidade de albergar uma grande diversidade de organismos.

### 1.1 *A árvore como elemento da paisagem urbana sob Gestão Pública*

Alcançar o *status* de cidade sustentável é uma meta de desenvolvimento que requer a união de Governos e sociedade no objetivo comum de promover uma melhor qualidade de vida. Quando se percebe que a oferta de serviços de qualidade expectáveis em áreas urbanas depende em grande parte da utilização de indicadores ambientais que permitam efetuar uma análise fidedigna dos parâmetros que condicionam o acesso à água, energia e demais recursos naturais que tem impacto direto na economia, há um maior interesse em se concretizar medidas políticas no sentido de alcançar a sustentabilidade (Pinto & Gaspar, 2009). Uma das medidas comuns é promover a arborização, cujos benefícios compreendem o desenvolvimento de um ambiente mais agradável para os transeuntes, a despoluição ou melhoria da qualidade do ar, o conforto térmico e acústico (Almeida, 1996).

A gestão de uma área urbana em expansão é um desafio e geralmente a componente da vegetação, ao nível da escala de paisagem, assim como a vocação natural do local acabam por ser negligenciados no momento de decisões relativas ao crescimento dos centros urbanos. A existência de árvores nas áreas urbanas pode representar uma mais-valia no controlo de condições naturais adversas, mas, além disso, a presença de áreas verdes nas zonas urbanas é capaz de albergar elevados níveis de biodiversidade, o que por vezes tem um papel fundamental como repositório de biodiversidade. Certamente a fragmentação de áreas verdes dentro das zonas urbanas e a crescente perda de habitats compromete tal condição (Kühn *et al.*, 2013).

Não há consenso no meio científico quanto ao conceito exato de árvore, podendo esta ser basicamente definida como sendo uma planta alta e constituída de lenho. Sabe-se, contudo, que à medida que uma árvore cresce, as relações quantitativas de biomassa das suas várias partes constitutivas variam, tendo sido, por exemplo, verificado que em árvores que crescem até 20 m de altura, em geral, pode haver um aumento do tronco de 5% para 75% da massa seca total, uma diminuição da quantidade de folhas de 60% para 5% e dos ramos de 20% para 5%, enquanto que a proporção de raízes permanece a cerca de 20%. A proporção de biomassa das raízes contrasta, no entanto, com a sua importância em termos de acondicionamento de recursos produzidos durante a fotossíntese, já que 80% ou mais destes recursos são constantemente destinados às raízes das árvores (Shortle & Dudzik, 2012).

O comportamento da árvore, como ser vivo, é de adaptar-se ao ambiente em que se encontra, muitas vezes levando centenas de anos para atingir níveis de adaptação que assegurem a permanência de sua espécie. A madeira, usualmente no meio urbano é vista apenas pelo seu carácter paisagístico, não sendo objeto de atenção às funções de transporte de água e de reserva de nutrientes. Tais funções são primordialmente exercidas pelo albúrnio, que passa a ser convertido em cerne na medida em que o gasto energético para sua manutenção aumenta até limites próximos de 13% da energia obtida através da fotossíntese. A indicação fisiológica de conversão de albúrnio em cerne é favorável à consolidação da árvore como estrutura na paisagem (Ruxton, 2014).

### *1.2 Aspectos importantes da segurança das árvores: estrutura e estabilidade*

Avaliar a constituição da árvore possibilita a realização de uma melhor análise de sua estrutura e, conseqüentemente, de sua estabilidade, o que é essencial em se tratando da gestão desse tipo de recurso natural, esteja ele a integrar um grande povoamento florestal, uma floresta natural ou uma área urbanizada, uma vez que o seu manejo terá impacto sobre a produtividade, sobre a paisagem e sobre o uso adequado do solo, respetivamente. A análise da estrutura da árvore perpassa o

estudo das propriedades mecânicas, desde o sistema radicular e sua interação com o solo até ao tronco, a copa e as condições de crescimento, tanto as intrínsecas de cada espécie, como as relativas às forças naturais do ambiente (Stoffel, 2009).

Tendo em conta as dificuldades inerentes a esses tipos de análise, há instituições de proteção das florestas que fomentam a criação de Guias de orientação para identificação e avaliação de árvores perigosas em termos de potencial para causar danos a pessoas e ao património público ou privado. O desenvolvimento destes guias não visa extinguir a probabilidade de ocorrência de danos provocados por árvores de risco, mas, sim, prover o julgamento profissional de uma abordagem sistemática que possibilite aos profissionais minimizar o erro de suas avaliações (Angwin *et al.*, 2012). Dentre os fatores que podem comprometer a estabilidade da estrutura mecânica das árvores, destacam-se: direção dos ventos; estrutura e sanidade do tronco; e arquitetura dos ramos (Skatter & Kucera, 2000).

O conhecimento destes elementos, de como estes se comportam e dos efeitos que produzem quando combinados são a chave para prever quão estável está a árvore. No entanto, não são usuais as análises detalhadas da estabilidade da estrutura da árvore em que se consideram todas as variáveis em conjunto. Estudos que apresentassem uma base mais completa para a compreensão dos processos que conduzem às deformações de copa, caule, ramos e raízes, bem como da reação de toda a árvore às intempéries e eventuais desastres naturais, poderiam contribuir para melhorar as bases do manejo das árvores (Stoffel, 2009).

No que respeita aos movimentos mecânicos potencialmente comprometedores do sistema estrutural e da estabilidade da árvore citam-se os principais como sendo: a) o momento de rotação, devido a uma força lateral sobre o sistema raiz-tronco, capaz de produzir o efeito de uma alavanca, em face do tamanho da árvore e da sua capacidade de absorção de energia oriunda de uma carga, seja ela de origem antrópica ou natural; e, b) a resistência à flexão do tronco, devido à possibilidade de prever as reações da madeira após a absorção da energia exercida sobre uma

árvore por meio de uma carga que provoque a deformação do tronco (Ruxton, 2014).

O estudo dos efeitos das cargas exercidas pelos elementos da natureza, como, por exemplo, ventos e chuvas, sobre as árvores pode fornecer uma base melhor para gerar modelos simplificados de cálculo de previsão dos perigos e riscos associados a determinado evento. Há algum progresso na descrição da interação do vento com as árvores, mas devido à natureza complexa da interação carga-árvore, pouco se pode inferir, mesmo com o auxílio de modelação, o que se justifica pela alteração do comportamento mecânico da árvore conforme se dá o seu crescimento (Ruxton, 2014).

Outra situação frequente é o comprometimento da estrutura da árvore devido ao apodrecimento, ou também chamado decaimento da madeira, que é um processo natural por meio do qual a celulose e a lenhina são convertidas em dióxido de carbono e água (Ruxton, 2014). O processo de decaimento pode chegar ao extremo de transformar a árvore em uma estrutura oca. A importância de se estudar as vantagens e desvantagens biofísicas de que as plantas tenham partes ocas, em seu ambiente natural, está na compreensão da ecologia das plantas e suas interações com o meio, enquanto que no ambiente urbano esta necessidade está em geral vinculada a eventual dano ao interesse do homem dentro da sociedade (Spatz & Niklas, 2013).

O decaimento da madeira ocorre com árvores e materiais lenhosos e tem como resultado a produção de nicho para outros organismos que utilizam a madeira ou que têm na madeira seu meio de obtenção de energia. Assim, pesquisadores têm associado abundância e diversidade de organismos que dependem dos resíduos lenhosos - *Coarse woody debris (CWD)* (Lonsdale *et al.*, 2008).

Esse tipo de associação tem potencial para criar um indicador de conservação, já que o efeito da ação dos fungos em um ambiente, por exemplo, pode comprometer a cadeia trófica até ao nível da escala de paisagem. Nesse sentido,

operações de salvamento da queda de árvores provocadas pelo vento são mesmo questionáveis, já que comprometem a disponibilização de recursos fundamentais para a manutenção da biota decompositora de uma floresta (Lonsdale *et al.*, 2008).

Para além do ambiente aéreo, a complexa diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) existente no ambiente subterrâneo também é variável condicionante para a manutenção da biodiversidade das plantas e para o funcionamento do ecossistema, que é autoregulado em conformidade com o aumento da riqueza de fungos. Portanto, é cada vez mais premente a necessidade de proteger os FMA e considerar esses fungos nas práticas de manejo de áreas verdes (Streitwolf-engel *et al.*, 1998).

Em áreas urbanas, há pouca disponibilidade de dados sobre os fungos e fauna dependente dos resíduos lenhosos, pelo que persiste uma série de questões sem resposta no âmbito da investigação, que vão desde a variabilidade existente ao nível do gradiente florestal, em latitude e longitude, e interações entre micro-organismos na competição por recursos limitantes, já que a disponibilidade de áreas verdes dentro da cidade, mesmo de uma única árvore, viva ou morta, que é por si só um ambiente rico com potencial capaz de abrigar diversas espécies, mas cada vez mais escasso (Lonsdale *et al.*, 2008).

De destacar que a madeira morta, em suas diversas formas - troncos caídos, ramos morrendo ou com podridão, tem sido reconhecida, pelo papel provedor como recurso para uma variedade de organismos vivos, pela disponibilização de nichos ecológicos, que devem ser garantidos para o bem da biodiversidade, tanto em termos quantitativos como qualitativos. A manutenção da madeira morta nos ambientes constitui uma das ferramentas do Manejo de resíduos lenhosos, que em termos de ciência já provou ser positiva a correlação entre material em decomposição e elevados níveis de biodiversidade e em termos de gestão tem contribuído para facilitar o trabalho de responsáveis por áreas florestadas (Lonsdale *et al.*, 2008).



A necessidade de remoção de ramos podres e árvores mortas é essencialmente antropocêntrica, já que por vezes os custos de gerir a incidência e severidade de uma invasão fúngica em uma árvore ultrapassam os limites considerados desejáveis. É preciso ter em conta, no entanto, que a manutenção de madeira morta nas florestas fornece uma grande oportunidade para aumentar a abundância de espécies de uma forma por vezes mais rápida e eficaz que diversas práticas silviculturais orientadas para a manutenção da biodiversidade. É recorrente o emprego de elevadas quantias com intervenção em clareiras abertas pela ação do vento, que poderiam ser minimizados de maneira sensata pela simples opção de não intervenção. A adaptação de métodos utilizados em florestas ao ambiente urbano pode ser de grande interessante (Lonsdale *et al.*, 2008).

Em muitas espécies é comum ocorrer o decaimento do cerne, que pode acontecer como um processo estritamente natural, ou seja, justificadamente por uma hipótese evolutiva. Os custos energéticos para defender quimicamente a madeira formada são muito elevados, em relação à suposta estabilidade estrutural conferida por uma estrutura sólida. De destacar, no entanto, ser mais comum haver núcleos ocos em árvores que se encontram em zonas pobres em nutrientes. A formação de partes ocas pode ocorrer de duas maneiras, a nível geral ou localmente, no entanto, o ponto crítico em termos estruturais é alcançado quando o espaço oco atinge 70% do interior (Spatz & Niklas, 2013).

Existem hoje modelos e simulações de computador que preveem com sucesso quando uma estrutura oca poderá de facto cair, em função do comprimento e da espessura da parte oca, bem como das propriedades do material. As plantas tubulares, quando estáveis, são passíveis de sofrer flambagem/encurvadura de onda longa e de onda curta (ou de Brazier) devido às forças gravitacionais ou induzidas pelo vento. Em teoria, para tubos muito finos constituídos de tecidos isotrópicos, a flambagem/encurvadura de Brazier depende do raio e espessura da parede exterior, no entanto, particularmente para órgãos em tecidos anisotrópicos, a flambagem/encurvadura se torna um fenómeno complexo que

depende de um número de parâmetros geométricos (incluindo o comprimento da secção oca), bem como as propriedades específicas da madeira. Essa complexidade é um obstáculo para a definição de um limite canónico de segurança quanto à flambagem/encurvadura máxima esperada para que uma árvore permaneça estável (Ruxton, 2014).

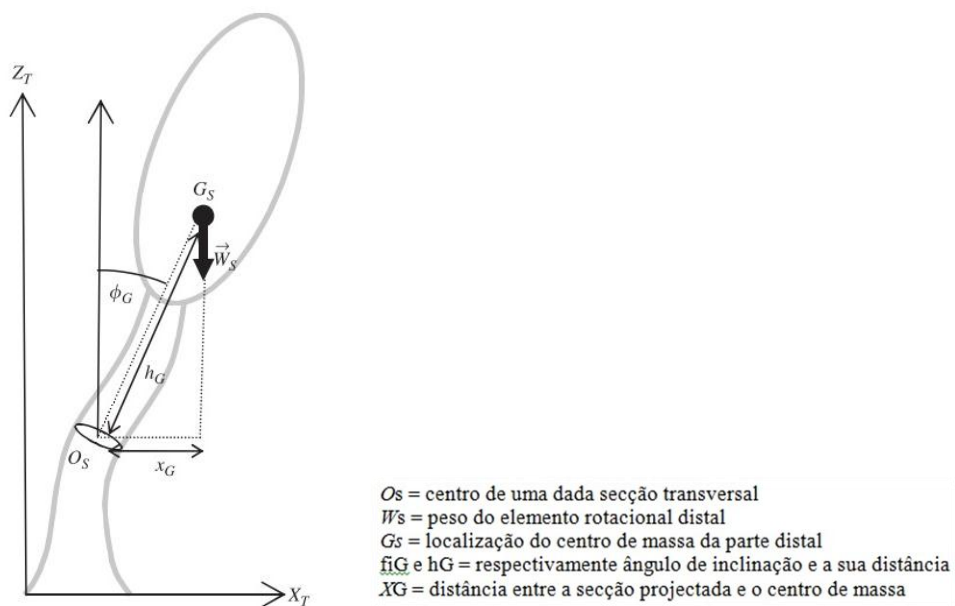
Em se tratando do apodrecimento da madeira causado por ataque de patogénicos, uma abordagem prática para compreender a resposta das árvores a feridas consiste em monitorizar a sintomatologia das árvores utilizando-se fotografias e ilustrações (Shortle & Dudzik, 2012). Em contraposição a este método não invasivo, pode-se proceder a recolha de amostras com vista à medição da resistência elétrica, do pH, da solubilidade em hidróxido de sódio (NaOH) e do teor total de fenol, como formas de se verificar a resistência da árvore à deterioração. Essas técnicas permitem verificar as propriedades da madeira, o que é essencial quando se considera que estas são afetadas muito antes dos sintomas visíveis de deterioração serem perceptíveis. Cita-se que antes que seja atingido 3% de perda de peso, nos casos de madeira afetada por fungos da podridão branca e da podridão parda, a diminuição da resistência à flexão pode alcançar 50%. (Shortle, Dudzik, & Smith, 2010).

Por fim, há a possibilidade de comprometimento da estrutura e estabilidade das árvores em decorrência da intervenção humana. Justifica-se o mínimo de intervenções nas copas das árvores como forma de criar uma relação mais harmónica com a natureza e ao mesmo tempo reduzir custos, pela diminuição da necessidade de rega e potenciais danos, o que implica necessidade de mão-de-obra para manutenção das plantas. É sabido que após as intervenções antrópicas do tipo poda desenvolve-se um processo de compensação face ao aumento de peso assimétrico, por meio de reações gravitrópicas, que acabam por influenciar no crescimento apical da árvore e na estabilidade dos ramos (Almeida, 1996).

O fenómeno de interação gravitrópica no tronco da árvore pode ser modelado a partir da adaptação da teoria das vigas, já que em princípio o caule das árvores,

como estrutura delgada, está sujeito aos efeitos de flambagem/encurvadura. No entanto, para aproximar este tipo de modelo à biomecânica natural da árvore é preciso ter em conta que a mecânica do material neste caso é influenciada, tanto pelo peso da estrutura, que se modifica continuamente, quanto pelas consequências diferenciadas e imprevisíveis da maturação das células na madeira, decorrente da atividade cambial (Alméras & Fournier, 2009).

O estado mecânico resultante da ação simultânea de crescimento e de carga não pode ser previsto da mesma maneira que em uma estrutura isotrópica, motivo pelo qual as fórmulas padrão de engenharia devem ser adaptadas para a construção de modelos de previsão de queda de árvores. Nas equações de gravitropismo, devem ser integrados os efeitos relativos à flambagem/encurvadura sobre si própria da árvore, também chamado efeito de auto peso (Figura 1) (Alméras & Fournier, 2009).



**Figura 1 - Representação do efeito do peso da própria árvore com simetria bilateral. Fonte: adaptado de Alméras & Fournier (2009).**

Também devem ser considerados os efeitos devidos à maturação das células da madeira localizadas em torno do anel da secção de tronco observada (Figura 2), quando da composição do modelo de gravitropismo (Alméras & Fournier, 2009).

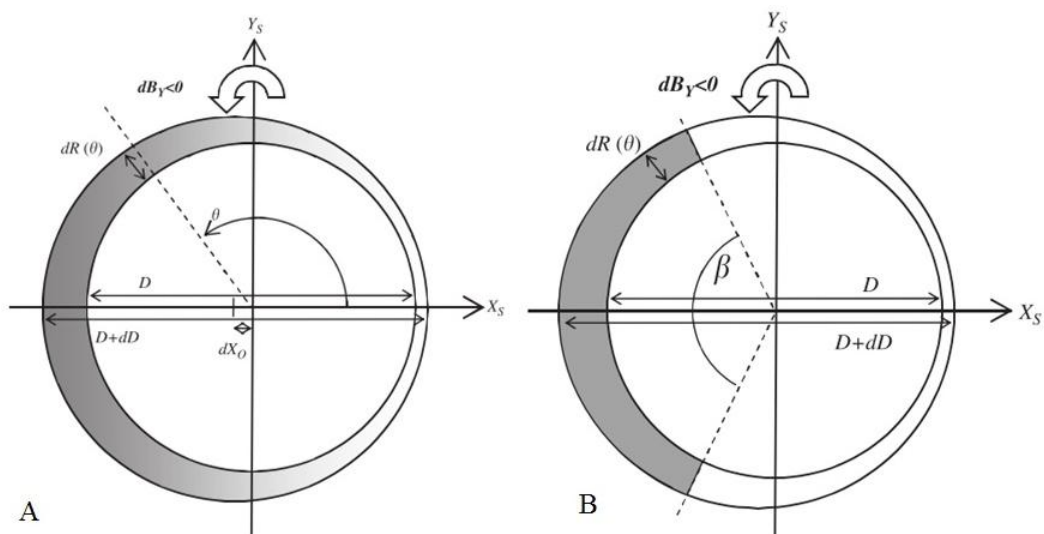


Figura 2 - Representação dos modelos que integram a variável <maturação das células> para uma secção excêntrica de diâmetro  $D$ , submetida a um incremento em diâmetro  $dD$ . A haste de inclinação pende na direção  $X_S$  positiva, com reação conseqüente negativa no momento de flexão  $dB_Y < 0$  e mudança na curvatura para cima, na tentativa de compensar o movimento. A. Variação de cinza representa heterogeneidade do novo anel de crescimento. B. Modelo alternativo em que o novo anel de crescimento é formado por dois materiais distintos. Fonte: adaptado de (Alméras & Fournier, 2009).

O efeito das cargas exercidas sobre um caule e a reação gravitrópica da árvore são, conjuntamente, os responsáveis diretos pelo equilíbrio da árvore como estrutura, em um ciclo de compensação de forças caracterizado por perturbação e compensação que depende essencialmente da eficiência da resposta gravitrópica. Portanto, o gravitropismo é o parâmetro crítico determinante do equilíbrio biomecânico. É certo que a sensibilidade das características biomecânicas envolvidas neste equilíbrio tem influencia sobre os modelos paramétricos desenvolvidos. Estudar os dados principais que afetam tal sensibilidade contribui para a calibração de um bom modelo em biomecânica (Alméras & Fournier, 2009).

Usualmente o efeito das variações de densidade na madeira, ao longo do sentido radial, é considerado no módulo de elasticidade homogeneizado da seção observada, e assume valor constante. No entanto, sabe-se que o mais comum é que a rigidez da madeira mude, conforme varia a idade do câmbio, sendo a madeira quanto mais jovem, menos rígida. Depreende-se que em alguns casos é necessário a adaptação do modelo: situações de troncos jovens e galhos finos,

quando o cerne é muito menos rígido, casos em que o cerne ocupa mais de 30% do raio da madeira; ou nos casos de troncos ocos, por exemplo, em que a eficiência da estrutura pode chegar a três vezes mais estável que a estrutura de um tronco comum (Alméras & Fournier, 2009).

A modelagem nem sempre é um processo facilmente replicável, uma vez que há dificuldade de aplicação dos mesmos pressupostos quando se trata de condições atípicas. Contudo, o ponto comum dos diversos modelos consiste em que os mecanismos de produção de madeira de reação nas diversas espécies são análogos, ou seja, existe um objetivo similar de aumentar a eficiência da estrutura a partir da indução do crescimento excêntrico mais espesso no lado da madeira de reação (Alméras & Fournier, 2009).

Como exemplos de dados a considerar durante a elaboração de um modelo biomecânico, em que foi calculada a taxa de perturbação e a taxa de correção natural da árvore após a perturbação, para a espécie *Populus sp.* tem-se, respectivamente: a) diâmetro do tronco à altura do peito, esbelteza da estrutura, excentricidade da copa ou distância horizontal entre a árvore e o centro da copa, massa total acima da altura do peito e momento de flexão; b) módulo de elasticidade médio e variabilidade na maturação de células e camadas; e c) se a árvore estudada é uma Angiospérmica ou uma Gimnospérmica (Alméras & Fournier, 2009).

Em Angiospérmicas a indução leva a formação de madeira de tensão localizada no lado superior do tronco ou do galho, enquanto que em Gimnospérmicas trata-se de formação de madeira de compressão localizada no lado inferior do tronco ou do galho. Em ambos os casos, o efeito é equivalente, mas resultante de processos distintos: o efeito de puxar o lado superior que ocorre nas Angiospérmicas, em contraposição ao de empurrar sobre o lado inferior, nas Gimnospérmicas, parece conferir uma vantagem na eficiência de resposta gravitrópica, que é maior em Angiospérmicas que em Gimnospérmicas. No entanto, em longo prazo, estas apresentam maior eficiência que aquelas, já que

com o crescimento da árvore, há um natural aumento da tensão na porção inferior que contrabalança o efeito inicialmente negativo do lenho de reação em Gimnospérmicas (Alméras & Fournier, 2009).

A assimetria no crescimento é comumente a variável, o motor principal, que valida os modelos mais simples utilizados em estudos de biomecânica de árvores. Isto porque os aspectos inerentes à assimetria de crescimento, ou seja, as diferenças de maturação dos tecidos em espessura e em rigidez do anel de crescimento, contribuem de forma significativa para explicar o processo de encurvamento. Estas interações são mais evidentes em Angiospérmicas que em Gimnospérmicas, principalmente por causa da menor rigidez da madeira de compressão (Alméras & Fournier, 2009).

Assim, a definição de desempenho gravitrópico [ $Pg$ ] tem sido proposta como a propensão às curvaturas gravitacionais. Quanto maior o valor do indicador [ $Pg$ ], que é dado explicitamente por uma função de parâmetros morfobiomecânicos, mais eficazmente a árvore pode controlar o ângulo de flambagem/encurvadura ou poder de resiliência para aproximar-se da vertical (Alméras & Fournier, 2009).

As árvores são organismos altamente reativos ao stresse ambiental e estão constantemente sob algum tipo de esforço mecânico, desde segurar seu próprio peso, até as respostas diárias de inclinações, ramificações horizontais e sobrecargas dinâmicas geradas por vento ou gelo. Sabe-se que uma força horizontal contra uma árvore produzirá uma força resultante igual e oposta tendendo a arrancar a árvore do solo, a menos que haja uma força recíproca capaz de manter a estabilidade (Allison & Wang, 2015).

Da mesma maneira, uma força vertical, ou seja, uma carga de vento na copa é redirecionada para baixo, no sentido tronco-sistema radicular. Para que as tensões mecânicas possam ser ancoradas pelas raízes, que são totalmente dependentes do peso e atrito do solo, é preciso resistir à força de cisalhamento e

para sustentar-se de pé, a árvore precisa desse equilíbrio de contrapesos contínuo (Allison & Wang, 2015).

### 1.3 *Árvore e Ambiente*

Atualmente a temática sobre a análise de risco está bem estabelecida na gestão dos bens e espaços dentro da comunidade urbana e é subdividida basicamente em infraestrutura cinza e infraestrutura verde. No espaço urbano, o que são considerados níveis aceitáveis de risco foram estabelecidos para a maioria dos elementos de infraestrutura cinza, como calçadas, lancis, ruas, parques infantis, e utilitários, até porque é indiscutível que um programa de gestão de riscos bem aplicado permite inclusivamente a aplicação de ações corretivas, promovendo o bem-estar e a proteção da população. Embora existam para a infraestrutura cinza níveis aceitáveis de riscos, para a infraestrutura verde as avaliações são ainda muito subjetivas e em se tratando de árvores, estas usualmente são meramente rotuladas como perigosas (USDA Forest, 1992).

O conceito de análise de risco de queda de árvore evoluiu desde o início da década de 1960, quando ocorreram as primeiras publicações científicas sobre os casos de danos, nomeadamente em áreas de campismo. A evolução do conceito está relacionada com a percepção de segurança ou ainda com as ferramentas disponíveis para definir níveis aceitáveis de risco, sendo que, na ausência destas, a política local, as emoções, a influência de líderes comunitários, o trabalho individual de funcionários e a atitude de moradores acabam por se sobrepor a critérios técnicos mais objetivos. O Governo muitas vezes para evitar a responsabilidade pública relativa a danos causados pelas árvores e o impacto de eventuais processos judiciais, opta por remover as árvores dos passeios públicos para minimizar a exposição pública e o risco às pessoas, o que em gestão de risco é chamado de prevenção pura de riscos (USDA Forest, 1992).

Nos dias atuais, a análise de risco de queda de árvores pode ser definida como o processo sistemático de avaliação do potencial de uma árvore, ou de que uma de suas partes, venha a provocar danos a bens ou pessoas. O potencial de provocar

danos é inerente a todas as árvores, mas o grau de risco varia conforme o tamanho, a espécie, localização, monitorização e natureza do alvo. A junção dos componentes árvore, ambiente e alvo, bem como de suas respectivas especificidades, é determinante para a análise de risco associada às árvores. Por isso, no desenvolvimento da classificação de risco devem ser avaliadas as características estruturais de cada árvore, a inclinação do terreno, a exposição a intempéries, a probabilidade de cair e atingir um alvo (Somps, 2010). No entanto, deve-se atentar para o facto de que a análise de risco e o manejo de árvores não devem constituir exercícios isolados, já que a sustentabilidade das árvores depende de monitorização contínua (Tree Management Bureau, 2012).

Supunha-se que a avaliação formal de risco de queda de árvores, por integrar a biomecânica, ciência que estuda o comportamento físico-químico da árvore para suportar a sua estrutura e funções biológicas, fosse matéria bastante objetiva. No entanto, poucos modelos de queda foram validados até ao momento, devido à necessidade de associar corretamente um delineamento experimental adequado, execução e análise estatística, bem como conclusões que sejam suportadas pelos dados (Matheny, Clark, & Kingdom, 1990).

Ainda como parte integrante da análise da árvore em seu ambiente está o diagnóstico de árvores. As ocorrências mais comuns neste campo de estudo são o declínio por doença, decorrente da má condição da cobertura foliar e/ou radicular, bem como o declínio por decaimento da madeira, em face do mau estado do tronco, como condição preditiva de morte ou de queda. Os sintomas de insanidade nem sempre podem ser adequadamente observáveis por meio de uma inspeção visual, o que significa constatar que árvores aparentemente sem defeitos significativos podem vir a provocar danos, especialmente durante eventos climáticos atípicos. A força do vento, por exemplo, pode fazer com que galhos e troncos partam, ainda que estejam livres de defeitos; ou ainda, chuvas torrenciais podem saturar os solos, reduzindo a sua capacidade de manter as raízes, ainda que estas estejam saudáveis (Somps, 2010).



Para além da condição da copa e das raízes, algumas técnicas têm sido desenvolvidas com o objetivo de facilitar a avaliação da condição do tronco: tempo de percurso das ondas de tensão, resistência à micro-perfuração, tomografia de ondas de stresse e resistividade elétrica. Os equipamentos de análise do tronco devem ser capazes de indicar condições de fragilidade da árvore, como sinais de madeira morta e rachaduras, que sugerem a adoção de medidas. Pode ser necessário realizar podas ou mesmo abater a árvore, destacando, no entanto, que os riscos são para ser geridos e controlados, não eliminados (Matheny *et al.*, 1990).

Além do diagnóstico das estruturas físicas, há o diagnóstico bioquímico. Por vezes, surgem características externas na árvore que revelam a ação interna de fungos, que podem ter entrado através de feridas, podas ou cortes na raiz. Nem sempre as espécies de fungos que afetam as plantas lenhosas são necessariamente parasitas, mas podem facilitar, ao longo do tempo, por sucessão, o aparecimento de fungos de decaimento, que em árvores vivas, são considerados fungos parasitas, uma vez que digerem os hidratos de carbono da estrutura da árvore para poderem sobreviver (Allison & Wang, 2015).

As árvores tendem, por reação, a compartimentar as áreas feridas e a produzir limites químicos e anatómicos, para resistir à propagação da deterioração. Nas células da madeira, as porções superior e inferior são mais frágeis, assim como a parede interior em relação à exterior, motivo pelo qual a deterioração por fungos tende a expandir-se em colunas e de fora para o interior (Allison & Wang, 2015).

A inspeção visual pode, portanto, permitir ao observador que compreenda como o decaimento, seja natural ou provocado, avança dentro de uma árvore estimar seu ponto de origem e prever a direção da queda em caso de falência da estrutura. Alguns indicadores de decaimento interno são: marcas de danos na casca, cavidades abertas, corpos frutíferos fúngicos e base do tronco invulgarmente expandida - chamada de protuberância tipo fundo de garrafa, tecnicamente explicada pelo processo denominado *thigmomorphogenesis*. Esse

processo ocorre em troncos com decaimento interno e consiste na reação de crescimento auto-otimizante ao stresse ambiental a que árvore está submetida, podendo ser observado em menor grau em seções transversais de ramos horizontais e em maior grau em troncos inclinados que produziram anéis anuais mais largos em um lado por compensação da carga gravitacional extra (Allison & Wang, 2015).

A técnica não destrutiva de medição acústica é utilizada por equipamentos considerados simples e funciona por medição de tempo de onda de tensão de via única - *single-path stress wave timing devices*. Com essa técnica, regista-se o tempo necessário para que uma onda de stresse induzida por impacto percorra a madeira. Na prática, um acelerómetro é montado no ponto em que uma pancada será dada na árvore e deteta o impacto, enviando um sinal de partida para um temporizador. Um segundo acelerómetro é acoplado do lado oposto da árvore para detetar a onda de tensão e enviar o sinal de parada para o temporizador, que regista em microssegundos o tempo de voo - *time of flight (TOF)*, entre o sinal de partida e de chegada. Com esse dado é possível calcular a velocidade, usando a distância conhecida entre os acelerómetros e o tempo estimado pelo temporizador (Allison & Wang, 2015).

A propagação de ondas de tensão em uma secção transversal da madeira está relacionada com as propriedades físicas e mecânicas do material. Dessa maneira, a velocidade de propagação das ondas de stresse é dependente do tipo de espécie arbórea, sendo que, em geral, as ondas de stresse viajam mais rápido em árvores de folhosas do que em árvores de resinosas e da condição de sanidade, uma vez que ondas de tensão viajam mais rapidamente em madeira livre de defeitos. Comprovou-se que um aumento de 30% no *TOF* de ondas de tensão implica uma perda de força de 50% associada ao decaimento severo da madeira (Allison & Wang, 2015).

A técnica não destrutiva de tomografia acústica foi trazida para as investigações de árvores urbanas a partir de conhecimentos de engenharia geofísica e de

equipamentos médicos. Basicamente, as diferenças entre a medição acústica e a tomografia acústica são: a) a diferença na quantidade de sensores, já que em tomografia são necessários vários sensores para medir o tempo de transmissão da onda de tensão em múltiplas direções; e b) aplicação de sistemas de software, já que em tomografia, um computador regista o tempo de velocidade da onda de stresse para cada um dos sensores e o *software* de projeção desenvolve uma imagem bi ou tridimensional da distribuição de velocidades acústicas medidas na seção transversal. A tomografia acústica gera uma imagem da estrutura interna, estimada a partir de algoritmos baseados na interpolação das velocidades de transmissão da onda de stresse pelos vários sensores (Allison & Wang, 2015).

Outra técnica considerada não destrutiva é a técnica de Resistografia, baseada no conceito de resistência por perfuração, inicialmente desenvolvido por um mecanismo de mola e posteriormente alterado para medição do registo eletrónico do consumo de energia do motor responsável pela perfuração. Na prática, o Resistógrafo apresenta uma microbroca de metal, que penetra a madeira, medindo e registando o esforço de resistência desta. Quanto mais densa ou quanto menor for a quantidade de cavidades e rachaduras na madeira, maior será a resistência encontrada pela broca à medida que avança. O padrão de variação nas medições de densidade pode ser registado em papel gráfico de escala ou em um mostrador digital, cuja unidade de medida é o *Electrical Power Consumption* (EPC). As limitações desta técnica vão desde a dificuldade de localização do decaimento, até a adequação da orientação do furo, sendo, portanto recomendável como técnica auxiliar as demais técnicas não destrutivas (Allison & Wang, 2015).

Portanto, independentemente do método ou da técnica aplicada, o diagnóstico não destrutivo de árvores em áreas urbanas é de grande auxílio para gestores e arboristas que visem promover níveis satisfatórios de segurança pública. Este tipo de diagnóstico pode ser resumido em três técnicas distintas complementares, capazes de permitir a avaliação do decaimento da árvore: análise visual, testes acústicos e resistência a microbroca (Allison & Wang, 2015).

A seguir serão abordadas as técnicas de avaliação visual e de tomografia acústica com o uso do equipamento Arbotom®, respectivamente, para a consecussão dos objetivos estabelecidos nos capítulos II e III, complementares entre si. As conclusões teóricas, quanto à revisão de literatura realizada no capítulo I e as conclusões práticas, quanto aos métodos descritos capítulos II e III, são apresentadas de forma reunida no capítulo IV. No capítulo V são apresentas as Referências bibliográficas e no Anexo constam os formulários que serviram de referência ao longo do trabalho.

## CAPÍTULO II | Análise de risco de queda de árvores – método de avaliação visual

### 2. *Instituições de referência em análise de risco de queda de árvores*

A análise de risco de queda de árvores é uma ciência que se está a concretizar na realidade de diversos países, no contexto da gestão urbana e da prevenção de acidentes e danos a bens e pessoas. Nesse capítulo são apresentados a título de exemplificação não exaustiva: o Governo de Hong Kong/China, Organizações e Sociedade de arboricultura/EUA, o Regimento de Bombeiros Sapadores de Portugal e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo/Brasil.

Na cidade de Hong Kong tem se buscado implementar políticas públicas no sentido de convocar a população a participar da formação de um banco de dados sobre as árvores urbanas, uma forma de poupar recursos financeiros do governo, mas principalmente uma alternativa eficiente de fazer participar quem de interesse na população no que toca ao manejo das árvores no ambiente urbano. De louvar essa instituição de referência, portanto, em que todas as pessoas estão convidadas a incluir informações acerca das árvores, independentemente do nível técnico ou de escolaridade. Iniciativas como essa sugerem que a simplificação de formulários de avaliação visual podem servir para inicialmente subsidiar a alimentação de um banco de dados, no sentido de facilitar a monitorização por parte do Governo ou do responsável direto pela área verde.

#### 2.1 *China*

Em Hong Kong, há cerca de um milhão de árvores em áreas urbanizadas. Como consequência de incidentes de quedas de árvores, foi implantado um conjunto de medidas de avaliação de risco, por parte do Departamento de Desenvolvimento em Manejo de Árvores, com o intuito de promover a segurança pública. Tais medidas constam de um Manual de abordagem dupla, elaborado com as melhores práticas internacionais, adaptadas às especificidades de Hong Kong. A

abordagem dupla consiste em avaliar duas componentes: (a) condição da área e (b) condição da árvore (Tree Management Bureau, 2012).

A condição da área é o primeiro fator a ser avaliado, uma vez que se deve observar o alvo que poderá ser afetado no caso de queda da árvore, e, de seguida, no caso das árvores que podem vir a causar danos, a condição física da árvore, preferencialmente de forma padronizada, com particular ênfase para o ângulo de risco. Dentro da cidade, áreas em que o fluxo de tráfego e de pedestres, tais como áreas verdes públicas, áreas de recreio, ruas e vias movimentadas, escolas e similares são consideradas como prioritárias, em termos de risco e classificadas como categoria nº 1, dentre as três existentes. As árvores inseridas em zona categorizadas como nº 1, deveriam, quando os recursos financeiros assim o permitem, ser avaliadas anualmente (Tree Management Bureau, 2012).

A condição da árvore implica avaliar a presença e gravidade de aspetos como: pestes, doenças, cabeamento impróprio de fios, sistema de suporte defeituoso, flambagem ou encurvadura da madeira no lado inferior, cobertura sobre a copa ou qualquer tipo de restrição física ao crescimento, presença de galhos secos ou mortos, presença de cavidades, fissuras, decaimento, podas, galhos entrecruzados ou pendentes, inchaços no tronco, hastes codominantes, raízes invisíveis ou aneladas. Se for o caso classifica-se o exemplar como "*Old and Valuable Trees (OVTs)*", devendo ser monitorizados ainda com mais frequência (Tree Management Bureau, 2012).

Na avaliação do risco de queda de árvore, criar um tipo de classificação permite fazer inferências sobre o nível geral de risco e, por conseguinte, auxilia na tomada de decisão. Árvores com alta pontuação implicam a ocorrência simultânea de três componentes: i) probabilidade de falha da árvore ou ramo com defeito; ii) tamanho da árvore considerável; iii) superfície alvo de interesse (Tree Management Bureau, 2012).

De um modo geral, às árvores com uma pontuação total alta deve ser dada atenção especial de monitorização, motivo pelo qual, considera-se importante que, a longo prazo, o Governo fomente a construção e alimentação sistemática de um banco de dados abrangente das condições das árvores, com vista a subsidiar ações corretivas e medidas de mitigação de riscos. Ressalta-se ainda que, quando houver conflito de interesse entre a preservação do ambiente e a segurança pública, esta deve ser priorizada (Tree Management Bureau, 2012).

Para auxílio do corpo técnico governamental e padronização das medidas, foi desenvolvido um fluxograma institucional (Figura 3) e um formulário próprio (ANEXO 1)

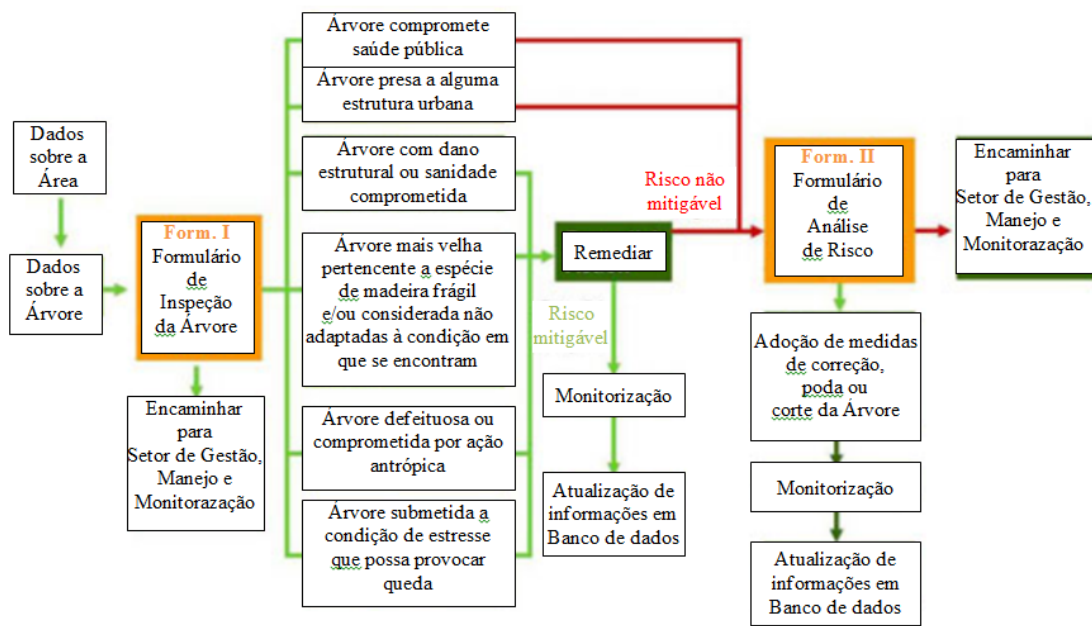


Figura 3 - Fluxograma de Análise de risco de Hong Kong. Fonte: Adaptado de (Tree Management Bureau, 2012).

## 2.2 *Estados Unidos da América*

Nos Estados Unidos da América existem diversos métodos de avaliação de risco de queda de árvores para orientar os profissionais a inspecionar os elementos necessários a apoiar a tomada de decisão por parte do Governo. A maioria dos estados americanos tem a sua própria adaptação dos manuais elaborados ao nível federal, relacionado com diferenças de solo, clima e espécies encontradas em cada região.

Alguns métodos de avaliação de risco são mais bem aceites e integrados nos programas florestais urbanos municipais e agências governamentais (Koeser, *et al.*, 2013). Estes métodos foram desenvolvidos e têm sido atualizados constantemente por duas organizações de alto reconhecimento naquele país: a Sociedade Internacional de Arboricultura (*International Society of Arboriculture*, ISA) e o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (*United States Department of Agriculture*, USDA). É possível constatar que as adaptações dos formulários às realidades diversas são necessárias e refletem quão diferente pode ser o contexto urbano em que está inserida uma árvore (ANEXO 2-4).

Independentemente das adaptações, todos os formulários acabam por basear-se nos mesmos pilares de análise de risco, como a avaliação de alvos potenciais, a probabilidade de queda e as consequências dessa queda (Koeser *et al.*, 2013).

Perante tantos métodos, a existência dos mesmos pilares na realização da análise indica que qualquer método pode servir os arboristas e silvicultores no ambiente urbano, tendo também como ponto comum a necessidade de recolha de dados de forma eficiente. Além disso, a celeridade no levantamento de dados deve ser conciliada com o uso adequado dos recursos, no sentido de aplicar verbas em medidas que possibilitem uma avaliação mais profunda nos casos em que a avaliação visual por si só não seja conclusiva. Uma avaliação mais aprofundada e objetiva pode ser importante para diminuir a pressão sobre os recursos humanos. Uma mitigação não justificada devidamente, por exemplo com a remoção de uma



árvore, pode ocorrer devido à ausência de equipamentos que confirmam objetividade às avaliações realizadas (Koeser *et al.*, 2013).

Dentre as diversas publicações realizadas pela Sociedade Internacional de Arboricultura figuram os padrões ANSI (*American National Standards Institute*), que representam os critérios da indústria para a realização de operações em se tratando do manejo de árvores. No padrão ANSI A300 a questão da análise de risco de queda de árvores é abordada por meio da categorização em níveis da avaliação realizada. Em cenários urbanos, onde as árvores são abundantes e os recursos financeiros são relativamente escassos, a avaliação é chamada de nível 1, por estar limitada à análise de risco pura e simplesmente visual. Quando no mesmo cenário, há a utilização de instrumentação mínima, como avaliações de altura e diâmetro esperados para a espécie analisada, binóculos para inspeções da copa, sondas para análise de cavidades e outras ferramentas, a avaliação é chamada de nível 2. O nível 3 é a categoria em que se enquadram as avaliações avançadas, por incluir o uso de métodos de detecção quantitativa de decaimento do material, associados à avaliação de saúde, de direção dos ventos e de capacidade de carga estática (Koeser *et al.*, 2013).

No que respeita à classificação de alvos, para avaliar o que pode ser danificado no caso da queda de uma parte ou da árvore como um todo, é recomendável definir uma zona de impacto potencial, utilizando a altura da árvore como o raio da zona circular à volta da árvore. Em seguida, deve-se ter em conta os fatores dentro desta zona de impacto favoráveis a queda, como é o caso, quando a árvore apresenta alguma inclinação ou assimetria, quando o solo é irregular ou na presença de áreas com água, pois as árvores tendem a cair na direção do solo mais saturado de água (Somps, 2010).

### 2.3 *Portugal*

Em Portugal, os casos de risco potencial de queda de árvores são usualmente avaliados pelas Câmaras Municipais, em ação conjunta com os Regimentos Sapadores de Bombeiros. Em Lisboa, existe uma base de dados com as ocorrências de quedas de árvores registadas entre 1990 e 2006, pelo Regimento Sapadores Bombeiros de Lisboa (RSBL). Naquela cidade, a exposição das árvores a condições urbanas adversas mostrou relação com o aumento de registos de quedas. No entanto, a monitorização das árvores e a implantação de políticas públicas são dependentes da compatibilização de um banco de dados único e da uniformização dos procedimentos entre as diversas instituições, inclusivamente por parte dos investigadores (Oliveira & Lopes, 2007).

Em relação à organização do banco de dados, não há padronização e é necessário criar um glossário em que constem os termos utilizados na descrição das árvores e do tipo de ocorrências, a localização por GPS das ocorrências, já que são informações necessárias para compreender muitos dos fatores que influenciam a queda de árvores no meio urbano. Quanto aos procedimentos, a criação de um formulário simples que possa ser preenchido pelos diversos agentes na sociedade, além de permitir completar a base de dados sobre as árvores, poderia fortalecer a relação de trabalho entre investigadores, governo e sociedade civil (Oliveira & Lopes, 2007).

O Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa realiza a avaliação do risco de rutura em arvoredo. A exposição a fatores desfavoráveis para o normal desenvolvimento das árvores no meio urbano condiciona a classificação de “árvores de risco”, definida como sendo aquela de estrutura debilitada localizada em área onde a sua queda, ainda que parcial, é capaz de afetar a segurança de pessoas e bens. A avaliação do risco é feita por meio de análise visual, com monitorização que varia de um a dois anos e é considerado um procedimento que deveria ser obrigatório para todas as árvores em áreas

urbanas, sendo recomendada quando possível a complementação da avaliação com instrumentos específicos para inspeção do lenho (ISA, 2016).

A Associação Árvores de Portugal é frequentemente a Instituição não governamental que contesta as decisões de abate de árvores no meio urbano. Como exemplo, na cidade do Porto, a Empresa Estradas de Portugal, atual Infraestruturas de Portugal Sociedade Anónima, foi convidada a prestar esclarecimentos após o abate de plátanos em vias públicas. Foi verificada a regressão de copas em plátanos em mais de 60% e que poderia chegar até aos 100%, implicando na queda já registada sobre vias de mais de 10% a 20% dos ramos, pondo em causa pessoas e bens. A regressão foi associada a problemas radiculares gravíssimos que ocorreram após a construção de um parque de estacionamento pavimentado no separador central, com a sucessiva passagem de condutas, construção de caixas e abertura de valas (IP S.A., 2016).

Ponderando os riscos para a segurança de pessoas e bens, foi preferível promover o rejuvenescimento da paisagem da cidade do Porto, através da plantação de novos exemplares da mesma espécie, melhor enquadrados e adaptados ao espaço. A empresa defende poupar o abate de árvores, reforçar a dotação orçamental para a gestão da arborização rodoviária e promover programas de reflorestação e compensação dos espécimes abatidos (IP S.A., 2016).

## 2.4 Brasil

No Brasil, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas é referência nacional por ter sido o pioneiro na avaliação não destrutiva do estado das árvores e risco de queda associado, nomeadamente o Laboratório de Madeira e Produtos Derivados - LPB, Centro de Tecnologia da Informação, Automação e Mobilidade-CIAM e Laboratório de Árvores, Madeiras e Móveis - LAMM. Nesses Laboratórios são vinculados a Secretaria de Desenvolvimento Económico, Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado de São Paulo, são desenvolvidos e patenteados métodos de diagnóstico de cupins em árvores, prospeção interna do tronco, modelo de cálculo estrutural, *software* de cadastro e gestão da arborização (IPT, 2016).

O método de diagnóstico padrão utilizado pelo IPT é composto por análise visual externa baseada em dados dendrométricos e prospeção não destrutiva, seguida de categorização quanto ao risco de queda orientado por um modelo matemático baseado nos princípios da biomecânica. De destacar o projeto “Operação Árvore Saudável”, em que foram analisadas 7.050 árvores na cidade de São Paulo e o Projeto de mapeamento dos casos de risco de queda e programa de poda de árvores com galhos próximos da rede elétrica, em que foram diagnosticadas 2.200 árvores centenárias em uma parceria entre Companhias de distribuição de energia e o Estado de São Paulo, com o objetivo de preservar espécies autóctones como tipuana, sibipiruna, jacarandás e falsas seringueiras (IPT, 2016).

Atualmente são utilizados três tipos de métodos na componente prospeção não destrutiva: a) o tomógrafo por impulso, b) o tomógrafo por impedância elétrica e c) o *pulling test* ou “puxômetro”. Os resultados combinados dos dois tipos de tomografia oferecem informações mais precisas sobre os tipos e as localizações dos problemas nas árvores. Adicionalmente à tomografia, pode-se utilizar o equipamento denominado penetrómetro, ou “verruma”, que não pode ser considerado um equipamento destrutivo, mas invasivo, uma vez que se trata de uma broca inserida na árvore para obtenção de uma amostra de madeira capaz de fornecer respostas na linha de passagem da ferramenta (IPT, 2016).

A grande vantagem de se combinar tomografias com esse equipamento extra é a possibilidade de avaliar não só a perda de resistência mecânica do lenho, mas também a presença de organismos no interior da árvore em áreas de interesse, uma vez que o rompimento na maioria das árvores ocorre na região do colo, na transição entre raiz e tronco (IPT, 2016).

Nos casos de dúvidas, a recomendação é aumentar a rastreabilidade para conferir maior segurança à análise, quando então podem ser combinados os três métodos. O terceiro método consiste em aplicar o *pulling test*, que é utilizado para cálculo estrutural e tem em conta o tronco e as raízes. Trata-se de um ensaio, em que uma carga é exercida sobre a árvore com a utilização de uma manivela e um cabo de aço; a reação da árvore é então medida por um inclinômetro e por um elastômetro, que avaliarão a carga de rutura e as propriedades mecânicas do lenho, podendo ser obtidos resultados de compressão, inclinação, tração e rotação da árvore (IPT, 2016).

Ainda assim, há limitações para inferências no risco de queda, nomeadamente, as associadas ao sistema de raízes da árvore, já que as raízes estão em constante interação com as condições bióticas e abióticas do solo. As limitações associadas ao cálculo da carga de vento residem na complexidade da variável vibração, por vezes mais responsável pela queda das árvores, que a própria força estática; enquanto que os erros associados aos equipamentos são relativos às necessidades de adaptação de parâmetros às condições de biodiversidade brasileira, já que em sua maioria são fabricados na Alemanha (IPT, 2016).

O IPT tem estruturado um banco de dados gerado com a utilização dos métodos não destrutivos de prospeção. Para a gestão desse banco, foi desenvolvida a solução tecnológica denominada "ARBIO", que consiste em um *software* de transferência do conhecimento e de tecnologia de gestão da arborização, diagnóstico e análise de risco de queda de árvores, com foco no atendimento das demandas de prefeituras, parques, condomínios e áreas verdes. Esta solução tem como objetivos específicos: treinamento de corpo técnico de prefeituras e demais

responsáveis pela gestão da arborização urbana, com base na Metodologia IPT para o Diagnóstico de Árvores Urbanas, que conta com pedido de patente nº PI0300643-3. Também são oferecidos serviços de prestação de consultoria presencial e à distância para auxiliar na tomada de decisão e no manejo das árvores; disponibilização da licença de uso e implantação do sistema de Gestão da Arborização Urbana – *software* ARBIO (IPT, 2016).

## 2.5 *Objetivos*

No sentido de desenvolver um método de avaliação visual de análise de risco associado a árvores urbanas, selecionamos como caso de estudo o conjunto de tilias do Parque Manuel Braga, localizado na cidade de Coimbra. Os objetivos centrais foram:

- a) Propor parâmetros para avaliação visual do estado de conservação da espécie *Tilia tomentosa* Moench;
- b) Desenvolver Formulário de avaliação visual adaptado de formulários já existentes;
- c) Aplicar o formulário desenvolvido para avaliar a sanidade das tilias do Parque Dr. Manuel Braga;
- d) Discutir possíveis causas que estão a afetar a sanidade das tilias do Parque Manuel Braga.

## 2.6 *Materiais e métodos*

### 2.6.1 *Local de estudo*

O município de Coimbra está situado na falha Porto – Tomar, que apresenta uma estrutura de *horst* em escadaria. Esta falha compreende a zona de contacto entre as unidades morfo-estruturais denominadas Orla Meso-Cenozoica Ocidental e Maciço Hespérico e justifica do ponto de vista morfológico a intensa fracturação e a ação modeladora do rio Mondego, que também é o responsável por impactes no comportamento do meso-clima. Apesar de, em termos macroclimáticos, o município de Coimbra estar compreendido no domínio mediterrâneo, no Centro

Litoral de Portugal, quando se tem em conta as regiões climáticas de Portugal continental, o território acaba por ser modificado localmente pelo Maciço Marginal de Coimbra e pelo plano aluvial do rio Mondego (Marques, 2009).

Além disso, na cidade de Coimbra, conjugam-se uma morfologia acidentada com proximidade a massas de água, a áreas com coberto vegetal, de adensamentos da construção urbana e conseqüentemente das movimentações das massas de ar no interior da malha urbana, na formação do clima local. Tantas variáveis sugerem que o fator clima deva ser estudado a uma escala de pormenor mais acentuado (Pinto & Gaspar, 2009).

O Parque Dr. Manuel Braga, ou Parque da Cidade, situa-se na margem direita do rio Mondego, na cidade de Coimbra e é considerado um espaço verde que figura entre os atrativos ambientais da cidade, pela promoção de lazer, contemplação e desporto. Além disso, a área verde está qualificada como fundamental para a boa organização do espaço urbano e para a qualidade de vida dos cidadãos, na medida em que, é uma das principais áreas de acesso público urbano ao rio (Santos, 2013).

Em termos legais, trata-se de uma área de património público registado sob o nº IPA 00010879, oficialmente inaugurada em 1927, com planta triangular desenvolvida em uma composição de canteiros, passeios, alamedas centrais de Tílias e alamedas laterais de plátanos, cujos contornos são demarcados a norte pela Av. Emídio Navarro e a sul pelo rio Mondego, do qual se separa por um muro de suporte ornado com bancos revestidos de azulejos com motivos vegetalistas. O projeto paisagístico foi concebido por Jacinto de Matos, um dos mais importantes paisagistas de Portugal. De destacar o Coreto, por integrar a arquitetura do ferro, característica do século XIX e início do século XX, de decoração Arte Nova, desenhado pelo arquiteto Silva Pinto, com a colaboração do artesão António Eliseu (Lopes, 2011).

A área conta com obras de arte, que homenageiam figuras da literatura portuguesa, a citar, Manuel Alegre, Antero de Quental e Florbela Espanca. Por fim e não menos importante, há o busto do Dr. Manuel Braga, brasileiro falecido em Coimbra, que desempenhou durante a década de 50 o mais alto cargo público na área do turismo, tendo sido responsável por ações que influenciam a estrutura da cidade até os dias de hoje, como é o caso da decisão de adquirir a antiga área denominada Ínsua dos Bentos, onde se encontra atualmente o parque em que se desenvolveu este estudo (Lopes, 2011).

Estudado o campo térmico da atmosfera urbana da cidade de Coimbra, foi definido um conjunto de unidades de características homogêneas, em função da topografia e da densidade urbana, em que o Parque Dr. Manuel Braga enquadra-se como um espaço verde com coberto arbóreo, classificado, no que respeita ao comportamento térmico, como área de “ilha de frescura”, com humidade relativa elevada e quanto ao comportamento aerodinâmico, média rugosidade e diminuição da velocidade do vento (Marques, 2009).

### 2.6.2 A espécie

A espécie selecionada para realizar este trabalho é *Tilia tomentosa* Moench. De acordo com o processo de património público registado sob o nº IPA 00010879, esta foi a espécie plantada no local de estudo na década de 20 do século passado. Ainda assim, a identificação da espécie foi conferida com as características do exemplar registado sob o nº FFUC00000565 (Figura 4), no Herbário da Universidade de Coimbra.



**Família:** Malvaceae  
**Género:** *Tilia*  
**Taxon:** *Tilia tomentosa* Moench  
**Nome vulgar:** tilia  
**Local colheita:** Jardim Botânico, Coimbra  
**Data colheita:** 19.iv.2007  
**Nome do colector:** L. Salgueiro  
**Nº de colector:** 39  
**Nº de registo:** FFUC00000565



**Figura 4 - Registo da espécie *Tilia tomentosa* Moench. Fonte: Herbário de Coimbra/2016 (COI).**

Dentre os diversos nomes comuns pelos quais é conhecida esta espécie figuram tilia-prateada, tilia-tomentosa, tilia-da-Hungria. Originariamente encontrada na Europa Oriental, nomeadamente na Península Balcânica, Hungria e Ucrânia, atualmente pode ser encontrada em quase toda a Península Ibérica, sendo, portanto, em Portugal uma árvore de origem alóctone capaz de atingir os 30 m de altura em condições ideais (Fundação Serralves, 2016).

Os ramos ascendentes compõem uma copa nitidamente arredondada, cujas folhas são cobertas por uma pubescência branca, que posteriormente acaba por desaparecer com a maturidade. As folhas são alternas, com 8 a 10 cm de comprimento, dentadas, cordiformes na base, apresentam-se em coloração verde escura na página superior e com uma densa penugem branco-prateada na página inferior. As flores são pequenas com cinco pétalas, amarelas ou esbranquiçadas, aromáticas, de 6 a 12 mm de comprimento, enquanto o fruto é ovoide e seco. Quanto à fenologia da espécie, espera-se como período de floração Maio-Julho e de frutificação Setembro, para esta árvore que quanto à perenidade é caducifólia e quanto ao habitat natural pode ser encontrada em condições diversas desde encostas e sopés de áreas montanhosas, até altitudes mais elevadas com terrenos mais planos (Fundação Serralves, 2016)

Conhecida em inglês pelos nomes comuns *Silver Linden*, *Basswood* e *Silver Lime*, durante muito tempo, conforme o Sistema *Cronquist - An Integrated System of*

*Classification of Flowering Plants*, a espécie foi incluída na família das Tiliaceae, assim como outras espécies de plantas que integram as famílias Malvaceae, Bombacaceae, Tiliaceae e Sterculiaceae. Pode haver alguma dificuldade em identificar as espécies dentro do género *Tilia*, devido à existência de muitas variedades e híbridos, e nestas situações é recomendada a utilização de marcadores moleculares. Entretanto, com o avanço dos estudos de ADN, desde o final do século 20, a espécie estudada foi incluída pelo *Angiosperm Phylogeny Group (APG III)* na família das Malvaceae. De acordo com esse sistema de classificação, quatro grupos antigos de famílias, comprovadamente com as mesmas linhagens evolutivas foram reunidas na família Malvaceae, ao invés de manter as chamadas linhagens artificiais, ou seja, que não compartilham um ancestral comum (Encyclopaedia Britannica, 2016).

As estimativas de quantidade de espécies dentro do género *Tilia* são bastante variáveis, e tendo em conta que todas as tílias podem ser propagadas por estaquia, enxerto e semente, a contabilização de híbridos também fica dificultada. A propagação por semente é notoriamente difícil, pois quando estas secam entram em dormência profunda e podem levar meses para germinar. Especula-se que na Europa, há tílias que atingiram idades consideráveis, até 2.000 anos, em Nuremberg, Alemanha (Encyclopaedia Britannica, 2016).

Em termos paisagísticos, as tílias são árvores muito utilizadas em áreas urbanas. Dentro do género, notadamente por seu carácter ornamental e suas capacidades como bioindicador e bio acumulador, três espécies são dignas de destaque, por serem encontradas em diversos parques europeus: *Tilia cordata* Mill., *Tilia tomentosa* Moench e *Tilia platyphyllos* Scop. As três espécies são altamente resistentes ao stresse abiótico ou biótico, não sendo comum encontrar relatos de pragas ou doenças específicas de tílias. São apontadas como vantagens diferenciais na seleção de tílias, dentro da componente valor paisagístico, o facto de terem uma conformação da coroa e estrutura de folhas própria, apresentarem um forte impacto sobre o fluxo de ar, sobre a deposição de partículas

transportadas por via aérea e na capacidade de promover a redução da velocidade do vento (Țenche-constantinescu *et al.*, 2015).

Apesar de serem consideradas espécies extremamente resistentes, como possíveis desvantagens para a sua utilização, citam-se: o ataque fortemente relacionado à espécie por parte de pulgões e ácaros; a podridão, devido ao ataque de protistas do género *Phytophthora spp.*; o perecimento de raízes e morte de plantas em áreas inundadas, como consequências da ação do fungo *Armillaria spp.*; e, a colonização na casca da árvore por parte de *Schizophyllum commune* e de fungos xilófagos da família Polyporaceae, como *Stereum spp.*, *Trametes spp.* e *Laetyporus sulphureus* (Țenche-constantinescu *et al.*, 2015).

Com aplicações e usos que vão desde a fitoterapia e uso medicinal pelo alto teor de flavonoides (antioxidante) e taninos (adstringente), até infusões, carpintaria com uso da madeira para instrumentos, artesanato, reservatórios, persianas de madeira, assim como aproveitamento das fibras da casca para roupas e das folhas para óleos aromáticos. Contudo a propriedade mais conhecida ainda é o poder calmante da infusão das suas flores e brácteas. Quanto à madeira, é macia, leve e de fácil de trabalhar (Fundação Serralves, 2016).

Como bioindicadora em áreas urbanas e industriais foram reportados como sinais de alerta para níveis elevados de poluição do ar sintomas como clorose das folhas durante a primavera e necrose durante o verão. O estudo desta espécie pode ser mais uma ferramenta de controlo ambiental, com baixo custo e bastante prática para avaliar a qualidade do habitat urbano. Quanto à função bio acumuladora das folhas, relata-se que o teor de Chumbo (Pb) aumenta significativamente durante o período de crescimento da árvore, sendo que em áreas onde o tráfego de veículos é mais pesado também são registados valores mais elevados. Supõe-se existir um mecanismo de auto desintoxicação da espécie evolutivamente condizente com o processo de perda das folhas, ainda que apenas para o metal chumbo, já que para outros metais pesados, como Cr, Cu, Fe, Mn e

Ni diferentes aspetos metabólicos levam a uma acumulação não regular (Țenche-constantinescu *et al.*, 2015).

### 2.6.3 Avaliação da área e da espécie

Após o reconhecimento da área, com o objetivo de melhor conhecer a condição das árvores a serem estudadas, procedeu-se à avaliação visual em dezembro de 2015. Em condições ideais, dada a fenologia da espécie, seria importante a realização de uma nova avaliação no verão. No entanto, considerou-se o esforço suficiente, devido a facilidade de visualizar a arquitetura dos ramos durante o período de caducifolia. Assim, sendo, observou-se que:

- i. Todas as árvores apresentam um fuste direito, com níveis leves de inclinação.
- ii. Há danos, protuberâncias e fissuras em algumas das bases das árvores que podem facilitar a entrada de patogénicos, humidade e propiciar condições de comprometimento do cerne e, conseqüentemente, da estrutura da árvore
- iii. Há muitos ramos com condição aparente de poda e/ou com sinais de podridão, como buracos e fissuras longitudinais, em especial, quando foram observados os ramos centrais de algumas árvores, estes apresentam condição de altura e peso bastante propício para possibilitarem o efeito alavanca, que não raro, acaba por ser o responsável pela queda de árvores (Figura 5).



**Figura 5 - Tílias. A. Alameda. B. Bases danificadas exemplificativas. C. Arquitetura diferenciada de Ramos. Data de obtenção das imagens: Dez/2015.**

Observou-se, ainda, que algumas árvores apresentam epífitas, essencialmente fetos. Outra característica observada em alguns exemplares é a fusão de ramos entre indivíduos diferentes (Figura 6). Não se sabe até que ponto tais condições influenciam a estabilidade mecânica da árvore.



**Figura 6 - Tílias. A. Epifitismo. B. Conexão de ramos entre duas árvores. Data de obtenção das imagens: Dez/2015.**

Definiram-se, então, como parâmetros capazes de refletir, em algum grau, essa possível dinâmica de interferência na sanidade dos exemplares de estudo, de modo a comprometer sua estabilidade mecânica: a) Inclinação do tronco; b) Condição da base da árvore; c) Grau de conservação dos ramos das árvores. Apenas a título de observação, registou-se para cada indivíduo a presença de epífitas e a ocorrência de ramos conectados com árvores vizinhas.

Elaborou-se um mapa de localização das árvores (Figura 7), para posterior composição do Formulário-guia de Análise de risco das árvores.



Figura 7 - Localização dos exemplares de *Tilia tomentosa* no Parque Dr. Manuel Braga, coordenadas geográficas 40°12'14.86"/8°25'40.31". Fonte da Imagem: Google Earth jun./2012.

A Figura 7 foi comparada com o mapa esquemático disponibilizado pela Câmara Municipal de Coimbra (Figura 8), para verificação do quantitativo de árvores da espécie estudada.

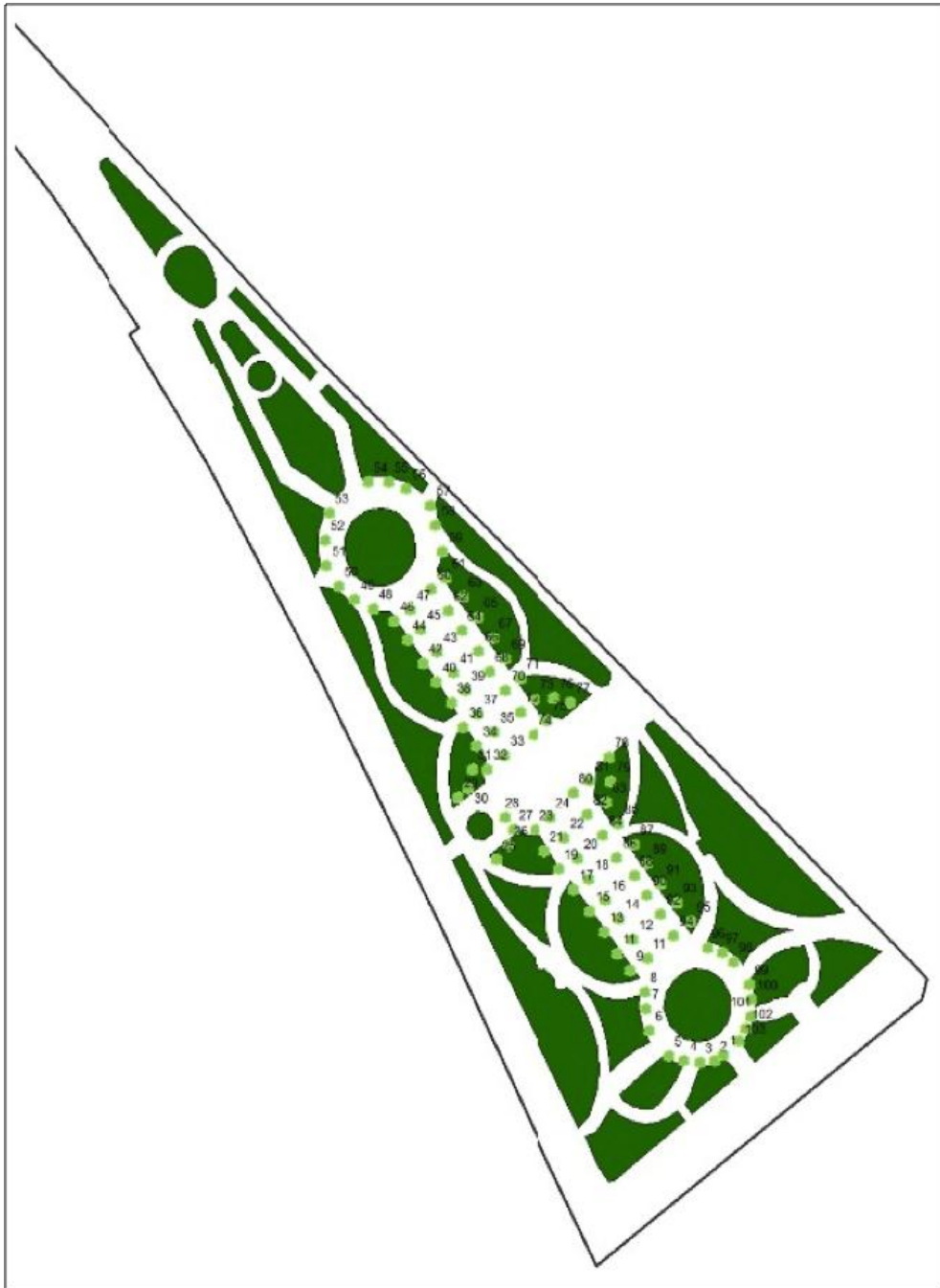


Figura 8 - Esquema da Alameda de Tílias: 103 espécimes. Fonte: Câmara Municipal de Coimbra/2015.

O levantamento quantitativo realizado neste trabalho para análise das tílias que compõem a Alameda do Parque foi coincidente com o quantitativo disponibilizado pela Câmara de Coimbra e igual a 103 exemplares na alameda de tílias. Procedeu-se à caracterização visual de cada exemplar identificado, por meio do preenchimento do Formulário de Análise Visual (ANEXO 5).



## 2.7 Resultados e Discussão

A revisão dos formulários de Análise de Risco de queda de árvores oficialmente utilizados em Hong Kong e Estados Unidos da América (ANEXOS 1-4) permitiu constatar que, em algumas cidades, a questão da análise de risco de queda de árvores é matéria abordada de forma padronizada, o que reduz o risco de danos no ambiente urbano para pessoas e para o património público, além de facilitar a tarefa de agentes públicos e privados quando expostos à necessidade de realizar avaliações e tomar decisões quanto a intervenções a serem realizadas nas árvores de parques, jardins e passeios.

Os manuais de utilização dos formulários citados serviram de base para orientar o desenvolvimento do Formulário-guia de Análise Visual de Risco para a espécie *Tilia tomentosa* no Parque Dr. Manuel Braga, contudo os parâmetros foram adaptados às condições específicas do local e da espécie.

De acordo com os resultados obtidos pela análise visual, é possível constatar que poucos exemplares, 19/103, apresentam leve Inclinação do Tronco - pontuação 2 ou 3, que não pode, em princípio, ser considerada fator definitivo para classificação de risco, já que não há diferenças de inclinação realmente destacáveis. A Condição Irregular da Base pode ser considerado um carácter de diferenciação entre os exemplares, 18/103 com pontuação 2 ou 3. De facto, a variável comum para a condição da árvore quanto à sanidade, é a existência de muitos Ramos com Problema, ou de comprometimento do ramo principal, é o parâmetro mais frequente, 84/103 com pontuação 2 ou 3.

Quanto às observações adicionais do Formulário-guia, o parâmetro Ramos Conectados, 34/103 exemplares, indica o efeito aumentado do risco e deve ser considerado no desenvolvimento de planos de monitorização das árvores. O parâmetro Epifitismo foi observado em 100/103 exemplares. Essa interação poderá ser objeto interessante para o estudo da ecologia do género *Tilia* (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise Visual do estado de conservação das tilias do Parque Manuel Braga, Coimbra.

Exemplar		Parâmetros			Classificação		Observações		Exemplar		Parâmetros			Classificação		Observações	
Árvore	TR	CIB	RP	Σ	EA	RC	IB	Árvore	TR	CIB	RP	Σ	EA	RC	IB		
1	2	1	3	6		0	0	52	0	1	0	1		0	1		
2	2	0	2	4		0	0	53	2	1	0	3		0	1		
3	1	2	2	5		0	0	54	0	0	2	2		0	1		
4	3	0	2	5		0	1	55	1	0	2	3		0	1		
5	1	1	1	3		0	1	56	1	0	1	2		0	1		
6	1	0	2	3		0	1	57	0	1	2	3		0	1		
7	0	2	3	5		0	1	58	0	1	2	3		0	1		
8	0	0	2	2		0	1	59	0	0	1	1		0	1		
9	0	2	3	5		1	1	60	1	1	2	4		0	1		
10	2	0	2	4		1	1	61	0	1	3	4		0	1		
11	1	1	2	4		1	1	62	2	0	1	3		1	1		
12	1	0	3	4		1	1	63	0	0	3	3		1	1		
13	2	1	2	5		1	1	64	1	1	3	5		1	1		
14	2	1	2	5		1	1	65	0	0	3	3		1	1		
15	2	0	2	4		1	1	66	1	1	1	3		0	1		
16	1	1	3	5		1	1	67	1	1	1	3		0	1		
17	1	0	3	4		0	1	68	2	0	1	3		0	1		
18	1	0	3	4		0	1	69	1	1	1	3		0	1		
19	1	0	2	3		0	1	70	0	0	3	3		1	1		
20	2	0	2	4		0	1	71	1	2	3	6		1	1		
21	1	1	3	5		0	1	72	1	1	3	5		1	1		
22	2	0	2	4		0	1	73	2	0	1	3		1	1		
23	2	0	2	4		1	1	74	2	1	2	5		1	1		
24	1	1	2	4		1	1	75	1	2	3	6		1	1		
25	1	1	2	4		0	1	76	0	1	3	4		0	1		
26	1	0	3	4		0	1	77	2	0	3	5		0	1		
27	1	0	3	4		0	1	78	2	1	2	5		0	1		
28	1	1	3	5		0	1	79	2	2	3	7		0	1		
29	1	1	3	5		0	1	80	1	1	2	4		0	1		
30	2	0	2	4		0	1	81	1	1	2	4		0	1		
31	1	1	2	4		0	1	82	1	2	3	6		1	1		
32	1	2	2	5		1	1	83	2	0	2	4		1	1		
33	0	1	3	4		1	1	84	1	1	3	5		1	1		
34	1	1	2	4		1	1	85	0	2	3	5		1	1		
35	0	2	3	5		1	1	86	0	2	2	4		0	1		
36	1	2	1	4		1	1	87	1	0	3	4		0	1		
37	1	2	1	4		1	1	88	0	2	3	5		0	1		
38	0	1	2	3		0	1	89	1	0	3	4		0	1		
39	0	1	3	4		1	1	90	0	2	3	5		0	1		
40	1	0	2	3		0	1	91	1	1	3	5		0	1		
41	1	0	2	3		0	1	92	1	3	3	7		0	1		
42	0	1	2	3		0	1	93	2	0	2	4		0	1		
43	1	0	2	3		0	1	94	0	1	2	3		1	1		
44	0	0	2	2		0	1	95	0	1	3	4		1	1		
45	1	1	3	5		1	1	96	1	1	3	5		0	1		
46	0	0	1	1		0	1	97	1	0	2	3		0	1		
47	1	1	1	3		0	1	98	0	1	3	4		0	1		
48	1	0	2	3		0	1	99	0	2	2	4		0	1		
49	1	3	2	6		0	1	100	1	1	2	4		0	1		
50	1	1	1	3		0	1	101	1	0	2	3		0	1		
51	0	1	0	1		0	1	102	1	0	2	3		0	1		
								103	0	1	2	3		0	1		

**Legenda:**

TR (Inclinação do tronco): 0, ao menos uma face reta; 1, levemente inclinado; 2, direção de queda aparente; 3, direção de queda nítida. CIB (Condição Irregular da base): 0, ausência de deformações; 1, alguma deformação; 2, mais de uma deformação; 3, muitas deformações. RP (Ramos com Problemas): 0, nenhum; 1, um ou poucos; 2, vários; 3, muitos e/ou ramo principal danificado. EA (Estado da Árvore): 0 a 3, verde (bom estado); 4, amarelo (potencial de risco); 5, laranja (potencial de risco elevado); 6 a 9, vermelho (risco imediato). IB (Interações): 0, ausência; 1, presença. RC (Ramos conectados): 0, não; 1, sim. Σ: Somatório de TR, CIB, RP.

Como resultado da classificação proposta há trinta e sete exemplares classificados com a cor verde, trinta e cinco classificados com a cor amarela, vinte e cinco classificados com a cor laranja e seis com a cor vermelha (Figura 9).

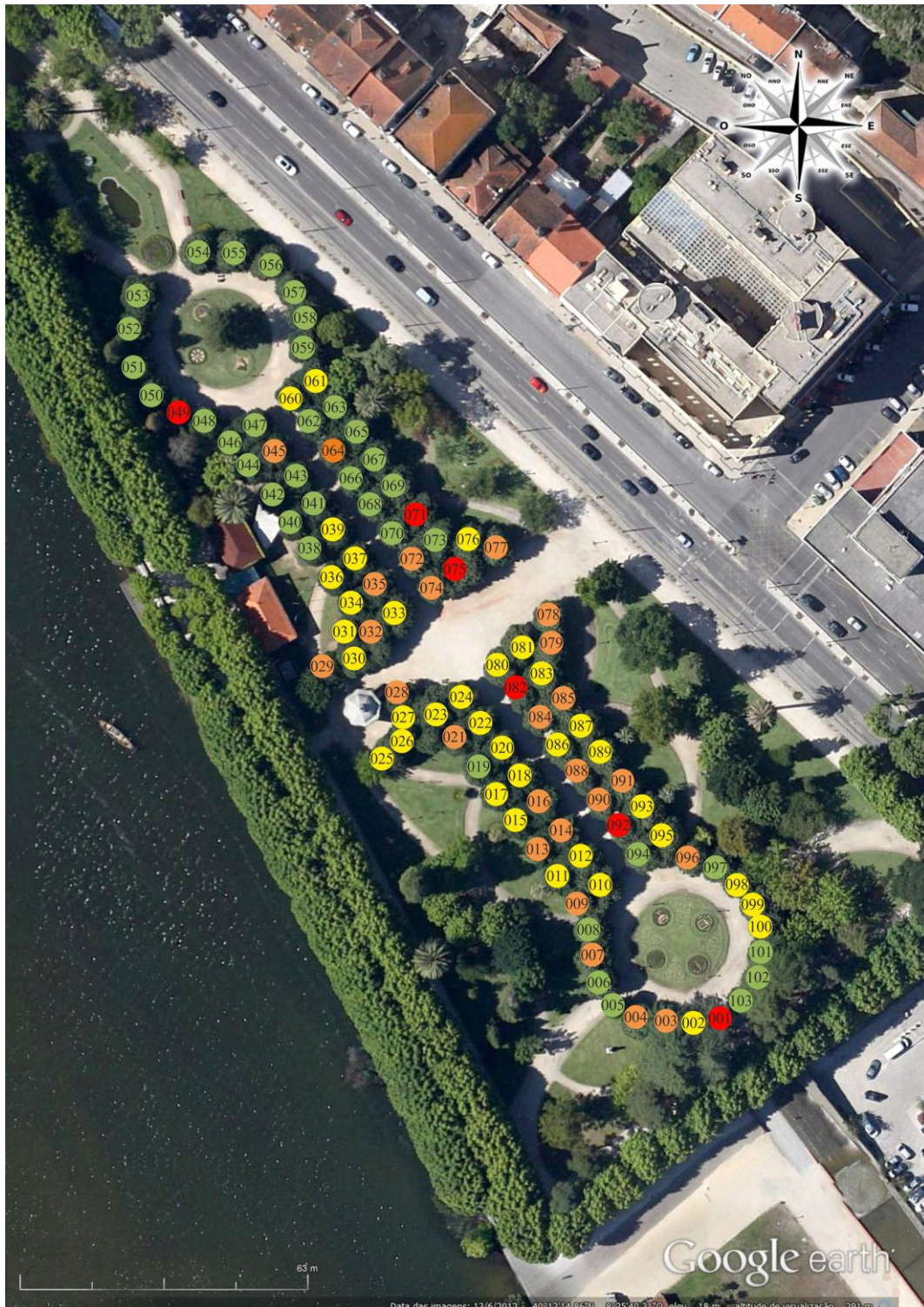


Figura 9 - Resultados especializados da Análise Visual. Fonte da Imagem: Google Earth jun./2012.

No entanto, cabe ressaltar que a diferenciação entre as cores amarela e laranja pode ser bastante variada conforme a capacidade perceptiva do observador na aplicação do Formulário-guia, de modo que se pode, para fins de conclusão da análise, agrupar os exemplares classificados com essas cores. Os potenciais riscos associados aos ramos e à estrutura foram inferidos a partir da observação visual de estruturas com decaimento evidente (Figura 10).



Figura 10 – Evidências de decaimento observáveis nos exemplares pelo método visual. Data das imagens: 03/11/2016.

## 2.8 Possíveis variáveis comprometedoras da sanidade das árvores

Argumenta-se que as condições adversas inerentes à modernização, como o aumento crescente dos níveis de poluição e a existência de correntes de ventos fortes nas cidades causam a queda de árvores, pernadas e ramos. Para além disso, é preciso observar a influência dos ventos ao longo do ano, sua direção e intensidade, já que mais da metade dos registos de quedas ocorrem no outono, havendo, portanto, uma associação entre queda de árvore, estação do ano e vento, que explica 70% das ocorrências (Oliveira & Lopes, 2007).

A direção do vento muda conforme a estação do ano, no verão é predominantemente de rumo norte, nas demais estações do ano corresponde a ventos de sul e sudoeste. A velocidade do vento é normalmente influenciada pelo rumo do vento, sendo os rumos de oeste e sudoeste os que atingem, em média, maiores velocidades e maiores potenciais de provocar quedas, nomeadamente quando é ultrapassado o limite de 7 m/s (Oliveira & Lopes, 2007).

Inicialmente, colocou-se a possibilidade de haver diferenças entre o lado sul e o lado norte da área de estudo, como causa do aterro realizado na altura da criação do Parque Dr. Manuel Braga, para proteger a baixa da cidade das frequentes inundações decorrentes das cheias do rio Mondego. Apesar de esta hipótese não ter sido confirmada, é possível que o comportamento do lençol freático se tenha alterado, sendo mais rebaixado em algumas áreas do parque. Isto porque, as águas subterrâneas alcançam o leito do rio, que se encontra alterado abaixo do nível das raízes das árvores cerca de 5m. Neste caso, as raízes de algumas árvores têm menos acesso à água em períodos de seca, sendo, portanto, mais afetadas relativamente aos demais exemplares.

Outra situação que pode estar a causar diferenças na sanidade de exemplares das árvores estudadas são as condições climáticas. O facto de algumas árvores estarem protegidas por outras árvores ou em contacto direto com a Avenida Emídio Navarro e com os edifícios pode condicionar o efeito dos ventos sobre a

estrutura de cada exemplar de maneira diferenciada. Na mesma linha de hipóteses, há a variável humidade: a proximidade com o rio poderia estar a influenciar a espécie. Para, além disso, as podas frequentes podem afetar a estrutura dos ramos; sem contar que o efeito combinado de todas as variáveis apontadas como possíveis causas associadas à má condição de algumas árvores também podem estar a condicionar em conjunto os resultados obtidos.

### **CAPÍTULO III | Uso da tomografia acústica para avaliação da estabilidade mecânica dos troncos das árvores**

#### *3. O uso de equipamentos em diagnóstico exhaustivo*

O estudo do estado de conservação dos troncos de árvores vivas baseia-se em medir a velocidade de propagação de ondas de choque. A técnica de tomografia consiste em utilizar um equipamento capaz de estimar a velocidade de uma onda, originada a partir de um impacto físico. Quando esta técnica é aplicada em uma árvore, os dados obtidos permitem fazer inferências quanto à densidade do material, e, conseqüentemente, avaliar sua estrutura e estabilidade. A observação de alterações na densidade regular da madeira de uma determinada espécie arbórea, em geral, aponta para a existência de algum tipo de avaria ou dano, seja ele físico ou químico, que acaba por comprometer a segurança das pessoas ou a propriedade alheia (Gallet *et al.*, 2011).

As tomografias podem ser de dois tipos: a) por impulso, que possibilita medir o tempo que o sinal gerado pelo martelo eletrônico leva para ser transmitido e recebido pelos sensores instalados ao redor de uma árvore e varia de acordo com o módulo de elasticidade (MOE) e com a densidade da madeira. Os dados coletados são inseridos em um *software* para o cálculo das velocidades sônicas aparentes, podendo ser obtido como resultado um mapa da árvore, com imagens em 3D para o diagnóstico da condição interna. b) por impedância elétrica, que permite a obtenção de informações sobre as propriedades químicas da madeira, como teor de humidade, estrutura das células e concentração iônica. Aqui um modelo deve ser utilizado para avaliação da variação sofrida pela corrente elétrica, obtendo-se como resultado a dimensão, também na forma de um mapa, da deterioração nas características químicas da madeira (IPT, 2016).

Em situações específicas nas quais se justifique um programa exhaustivo de diagnóstico, podem ser conjugados esforços e recursos financeiros, no sentido de serem utilizados tantos equipamentos quanto possíveis, como no caso de estudo de estabilidade de árvores realizado no parque urbano que circunda o Capitólio

de Madison, Wisconsin/EUA. Neste parque, os gestores em parceria com o Laboratório de Produtos Florestais desenvolveram um protocolo de avaliação e detecção de decaimento interno em 153 árvores que consistiu em: inspeção visual, ensaios acústicos, tomografias, resistógrafos e comparação de resultados com padrões de referência. O esforço foi justificado para recomendar a remoção de dez exemplares históricos, pela alta probabilidade de falha sob carga com consequências potencialmente graves para as pessoas frequentadoras do parque público (Allison & Wang, 2015).

### 3.1 *Arbotom*® - tomógrafo para árvores

O *Arbotom*® é um equipamento desenvolvido com a finalidade de detetar problemas e aperfeiçoar a avaliação do estado interior do tronco das árvores, conferindo mais objetividade às análises. Esse instrumento tem sido utilizado tanto para a simples avaliação da qualidade da madeira, como para dar suporte a uma avaliação de risco de queda de árvores, devido à sua capacidade de apresentar eficientemente uma imagem bastante aproximada da condição interna de uma árvore. São detetáveis pelo tomógrafo buracos com áreas superiores a 2,8% da área triangulada pelo aparelho (Lin *et al.*, 2008).

Complementar o uso do *Arbotom*® com o novo *Arboradix*™ possibilitaria detetar a condição das raízes abaixo do pavimento, o que também pode ser de interesse nos casos de avaliação de árvores existentes nos passeios públicos. Em resumo, o método *Arbotom*® baseia-se na premissa de que a onda se propaga com a velocidade esperada para a espécie arbórea estudada quando a madeira está sã, enquanto que quando a madeira está danificada a velocidade da onda diminui e, assim, envia os dados de velocidades das ondas de tensão a um computador que irá transformar os dados em uma imagem colorida de secção transversal da árvore, passível de análise e de subsidiar a tomada de decisão em processos de gestão de recursos naturais (Rinn, 2003).



### 3.2 *Objetivos*

Aplicar o método de diagnóstico por tomografia acústica Arbotom®, de modo a proceder à avaliação das condições físicas e estruturais dos espécimes arbóreos selecionados na amostragem e localizados na área pública Parque Dr. Manuel Braga, em Coimbra/Portugal, com os seguintes objetivos:

- 1) Com o uso do equipamento Arbotom®:
  - a) Aplicar a técnica de tomografia.
  - b) Avaliar a estabilidade mecânica das árvores.
- 2) Comparar os resultados da análise visual com os resultados das tomografias realizadas;

### 3.3 *Materiais e Métodos*

#### 3.3.1 *Seleção dos exemplares para aplicação da tomografia*

O adequado estudo de populações implica conhecer o comportamento e a estrutura de seus indivíduos. Nos casos em que dentro da população podem ser encontrados grupos similares ou estratos, o comportamento dos indivíduos pode ser razoavelmente homogêneo dentro de cada estrato, mas bastante heterogêneo em relação à média esperada para o total de indivíduos. Nestes casos é preciso assegurar que todos os estratos tenham representantes dentro da amostra, sob pena de ser ressaltada determinada característica do grupo, comprometendo a análise da variável de interesse que se encontra na população como um todo (Bittencourt, 2012).

Considerando que a tendência à ocorrência de tal fato é tanto maior quanto menor o tamanho da amostra, adotou-se uma amostragem estratificada da população de 103 indivíduos, já que a variável de interesse - sanidade das

árvores - poderia ser influenciada por um sorteio aleatório que favorecesse a seleção apenas de indivíduos saudáveis ou de indivíduos comprometidos, por exemplo.

Sendo assim, foram utilizados os resultados da análise visual para estratificar a população (Figura 11).



Figura 11 - Estratificação proposta depois de realizada a Análise Visual.

Com o intuito de minimizar os erros quanto a conclusões sobre a população de árvores objeto de estudo, selecionaram-se, então, de forma aleatória dentro de cada estrato, em um total de 16 exemplares (Tabela 2).

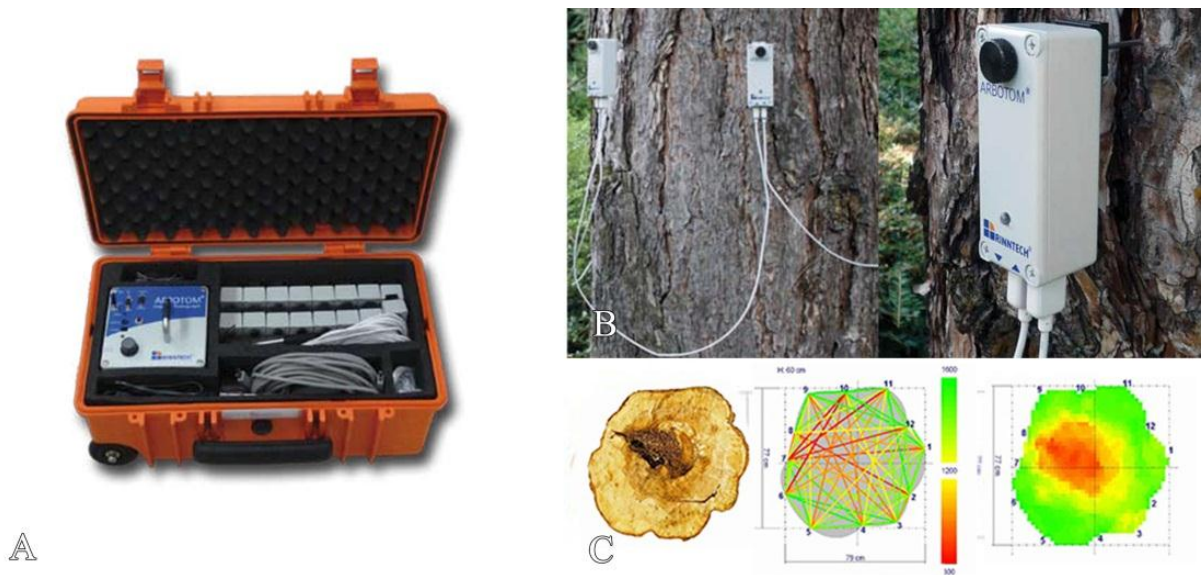
Tabela 2 - Amostra selecionada a partir dos estratos pré-definidos.

Exemplares selecionados			
19	2	3	1
94	12	4	71
97	22	13	75
	81	72	82
			92

Quanto às árvores visualmente classificadas com a cor vermelha, por serem de maior interesse para o estudo, definiu-se que a aplicação da técnica teria um esforço maior, não tendo sido objeto de inspeção apenas o indivíduo 49.

### 3.3.2 Aplicação da técnica de tomografia com Arbotom®

Os componentes principais do equipamento Arbotom® (RINNTECH®, <http://www.rinntech.de/>), são uma bateria e os sensores que são colocados à volta das árvores. Estes sensores constituem o “coração” do equipamento porque transmitem as ondas de choque, provocadas pela pancada de um martelo no sensor, entre os vários sensores. A velocidade de propagação das ondas de choque reflete o estado de conservação da madeira, que é posteriormente refletida numa imagem de computador (Figura 12).



**Figura 12 - Representação do equipamento Arbotom®. A. Caixa. B. Sensores instalados. C. Resultados esquematizados. Fonte: (Rinn, 2003).**

A execução deste trabalho ocorreu em várias etapas (Figura 13), a seguir descritas.



**Figura 13 - Técnica de tomografia em árvores. A. Estimativa de altura. B. Instalação do equipamento. C. Realização de teste dos sensores. D. Execução da tomografia. E. Registo dos dados no software. Fotografias: Ana Luísa Carvalho. Data de obtenção das imagens: Dez/2015.**

Primeiramente, a altura da árvore foi medida com o auxílio de um clinómetro e a informação inserida no *software* Arbotom®. Utilizou-se uma bússola para determinar a direção norte onde foi sempre colocado o primeiro sensor.

De seguida, foi dimensionada, com o auxílio de uma fita métrica, a circunferência da árvore à altura aproximada de 20 cm do solo, e posteriormente no topo à altura aproximada de 210 cm do solo, onde foram colocados os pregos a uma distância regular entre si, tanto quanto permitiam as reentrâncias da árvore e com uma força apenas suficiente capaz de suportar o peso dos sensores.

A distância entre cada sensor também foi medida a partir da referência do sensor localizado no sentido norte, considerado o sensor 1 e inserida no *software* Arbotom®, na coluna “Distances”. Na posição do sensor 1, foi definida a circunferência da árvore, tendo sido o valor em centímetros a referência para

calcular os outros pontos onde foram colocados os restantes sensores, de tal forma que houvesse uma cobertura de toda a circunferência da árvore.

Após a inserção dos dados, quando necessário, foram feitas correções das posições dos sensores, por meio da funcionalidade "*Radius-Difference*", que transforma os valores de determinado sensor na circunferência da árvore, inicialmente considerada um círculo perfeito para fins de cálculos, em valores positivos, para indicar uma reentrância no sentido cerne-alburno ou negativos, nos casos de haver reentrâncias no sentido contrário.

Os sensores foram então encaixados sobre os pregos, que servem para transmitir a onda de tensão para a madeira, mas também para suportar os sensores, que devem ser conectados entre si e depois ao tomógrafo por meio de cabos *Universal Serial Bus-USB*. Cada sensor foi devidamente testado com sucessivas batidas e verificações do indicativo luminoso verde/amarelo/roxo, com o cuidado de manter a mesma força para cada batida, até que todos os sensores estivessem aptos para a realização das medidas, situação encontrada quando o sensor golpeado exibe uma luz azul ou roxa, enquanto que os sensores que recebem o sinal exibem uma luz verde. Para obtenção dos dados, carregou-se no botão "play", sendo realizadas entre cinco e oito batidas em cada sensor.

Em termos de resultados, foram produzidos três gráficos como resultado de cada tomografia realizada: o gráfico de linhas, o gráfico 2D e o gráfico mecânico. O gráfico 2D representa uma boa aproximação da qualidade da madeira, ao longo do gradiente verde-vermelho, pois reflete as diferentes velocidades que o impulso decorrente da pancada física no sensor assume em face das condições da madeira. No entanto, trata-se de uma aproximação porque o gráfico de cores é formulado a partir do gráfico de linhas, por meio de um algoritmo matemático, que interpola as informações absolutas de velocidade, de modo a criar um valor na forma de área (Sacramento, 2013).

Já para elaboração do gráfico mecânico, o software considera três tipos de informação acerca da árvore com o objetivo de produzir uma imagem de áreas danificadas e uma direção provável de queda: o momento geométrico ( $W_g$ ), baseado na forma da secção; o momento pesado ( $W_w$ ), relativo ao decaimento interno; e o momento relativo de resistência ( $W_w/W_g$ ), também chamado momento residual de resistência. Resultados potencialmente preocupantes quanto ao risco de queda são encontrados quando o valor de  $W_g$ , que representa a resistência da árvore às rajadas de ventos, apresenta-se abaixo de 50% (Sacramento, 2013).

### 3.4 *Resultados e Discussão*

#### 3.4.1 *Resultados-tipo*

A versão do software constante no equipamento utilizado neste trabalho gerou um total de sete arquivos para cada tomografia realizada. São apresentados todos os arquivos gerados no caso do *Exemplar 01* – base da árvore, para exemplificação do conhecimento inerente à técnica de tomografia aplicada.

Três dos arquivos gerados são do tipo texto, enquanto que os quatro outros arquivos gerados são a expressão visual desses dados. Os dados constantes nos arquivos de texto denominados *Statistical\_data.txt* e *Mechanical\_data.txt* (Figura 14) servem de base para a confecção de matrizes e do gráfico visual principal da tomografia-gráfico mecânico, respetivamente.

statistical_data_SLC01A.txt				Level:0	mechanical	
File: SLC01.abt	Project: Parque Manuel Braga	Tree: Tilia	Date: 2/2/2016	Pos	Geometric %	Weighted %
				0	100	86
				1	100	86
				2	100	86
				3	100	86
				4	100	86
				5	100	86
				6	100	86
				7	100	86
				8	100	86
				9	100	86
				10	100	85
				11	100	85
				12	100	85
				13	100	85
				14	100	85
				15	100	85
				16	100	85
				17	100	85
				18	100	84
				19	100	84
				20	100	84
				21	100	84
				22	100	84
				23	100	84
				24	100	84
				25	100	84
				26	99	83
				27	99	83
				28	99	83
				29	99	83
				30	99	83
				31	99	83
				32	99	83
				33	99	82
				34	99	82
				35	99	82
				36	99	82
				37	99	82
				38	99	82
				39	99	82
				40	99	81
				41	99	81
				42	99	81
				43	99	81
				44	99	81
				45	99	81
				46	99	81
				47	99	81
				48	99	80
				49	99	80
				50	99	80
				51	99	80
				52	99	80
				53	99	80
				54	99	80
				55	99	80
				56	99	79
				57	99	79
				58	99	79
				59	99	79
				60	99	79
				61	99	79
				62	99	79
				63	99	79
				64	99	79

Velocities [m/s]:			
1	2	195	194
1	3	274	271
1	4	351	352
1	5	384	384
1	6	394	394
1	7	424	418
1	8	450	448
2	1	367	372
2	3	611	604
2	4	657	654
2	5	605	601
2	6	515	512
2	7	335	335
2	8	295	295
3	1	267	265
3	2	547	561
3	4	662	681
3	5	646	657
3	6	540	545
3	7	355	359
3	8	358	359
4	1	351	351
4	2	650	650
4	3	746	746
4	5	841	836
4	6	717	715
4	7	362	358
4	8	435	434
5	1	379	379
5	2	573	567
5	3	661	660
5	4	652	663
5	6	717	710
5	7	515	509
5	8	416	416
6	1	405	408
6	2	504	505
6	3	589	585
6	4	710	703
6	5	717	724
6	7	574	579
6	8	394	397
7	1	368	370
7	2	309	308
7	3	333	333
7	4	467	465
7	5	478	480
7	6	408	424
7	8	353	351
8	1	529	538
8	2	289	289
8	3	366	362
8	4	430	425
8	5	419	422
8	6	389	387

Figura 14 - Default parcial dos arquivos texto referentes ao Exemplar |01-A|. Statistical\_data.txt. e Mechanical\_data.txt.

A partir das distâncias medidas entre os sensores, foi gerada uma matriz denominada “Distances”; os tempos de execução, dados pelas diversas pancadas dadas em cada sensor, permitiu gerar a matriz “Runtimes”; a partir das velocidades medidas pelo equipamento foram obtidas médias para cada sensor e estruturadas na matriz denominada “Distances”; o registo da estabilidade das médias de velocidades de propagação da onda de impacto é apresentado pelo software, na forma da matriz “Delta”, que indica os desvios-padrão em percentagem.

As quatro matrizes obtidas para o Exemplar 01 compilam as informações básicas acerca dos dados obtidos (Figura 15).

```

File: SLC01.abt                               SLC01A.txt
Project: Parque Manuel Braga
Tree: Tilia
Date: 2/2/2016
Location: Coimbra
Tree species: Tilia
North: 0°
Latitude:
Longitude:
Elevation:

Distances [cm]:
  1      1      2      3      4      5      6      7      8
  1      1      38     47     50     48     41     33     20
  2      38     17     17     30     41     47     50     48
  3      47     30     15     29     40     46     49
  4      50     41     29     16     29     15     27     38
  5      48     47     40     29     15     13     13     27
  6      41     50     46     38     27     13     27     15
  7      33     48     49     46     38     27     15
  8      20     48     49     46     38     27     15

Runtimes [us]:
  1      1      2      3      4      5      6      7      8
  1      1      1974   1715  1411  1242  1051  781  454
  2     1041     274   455   680   926  1480  1625
  3     1757     303   221   445   731  1290  1381
  4     1413     459   198   187   405  1069  1061
  5     1258     716   439   239   207   518   909
  6     1019     939   676   411   205   223   671
  7      892    1607  1383   825   554   310   419
  8      382    1657  1359  1078   899   683   375

Velocities [m/s]:
  1      1      2      3      4      5      6      7      8
  1      1      195     273   352   384   394   422   449
  2     369     608   656   601   512   335   295
  3     266     550   668   652   543   357   358
  4     351     650   746   841   717   360   434
  5     379     571   661   658   721   714   416
  6     407     505   587   706   721   576   396
  7     369     309   333   466   479   415   353
  8     533     289   364   427   421   389   394

Delta [%]:
  1      1      2      3      4      5      6      7      8
  1      1      0      1      0      0      0      1      0
  2      1      1      1      0      1      1      0      0
  3      1      2      1      1      1      1      1      0
  4      0      0      0      1      0      0      1      0
  5      0      1      0      1      1      0      1      0
  6      0      0      1      1      1      1      1      0
  7      0      0      0      0      0      2      1      1
  8      1      0      1      1      0      0      0      0

```

Figura 15 - Default de arquivo texto Exemplar 01-A.txt.



Os três arquivos de dados *.txt* são utilizados pelo software para subsidiar a obtenção dos quatro arquivos do tipo imagem. No primeiro gráfico gerado, que fornece a representação visual da matriz de velocidades, ou seja, das médias das velocidades medidas entre cada sensor, interessa observar os pontos onde a interação entre os sensores apresenta alguma falha, ou seja, os pontos onde a velocidade da onda propagada é baixa (Figura 16).

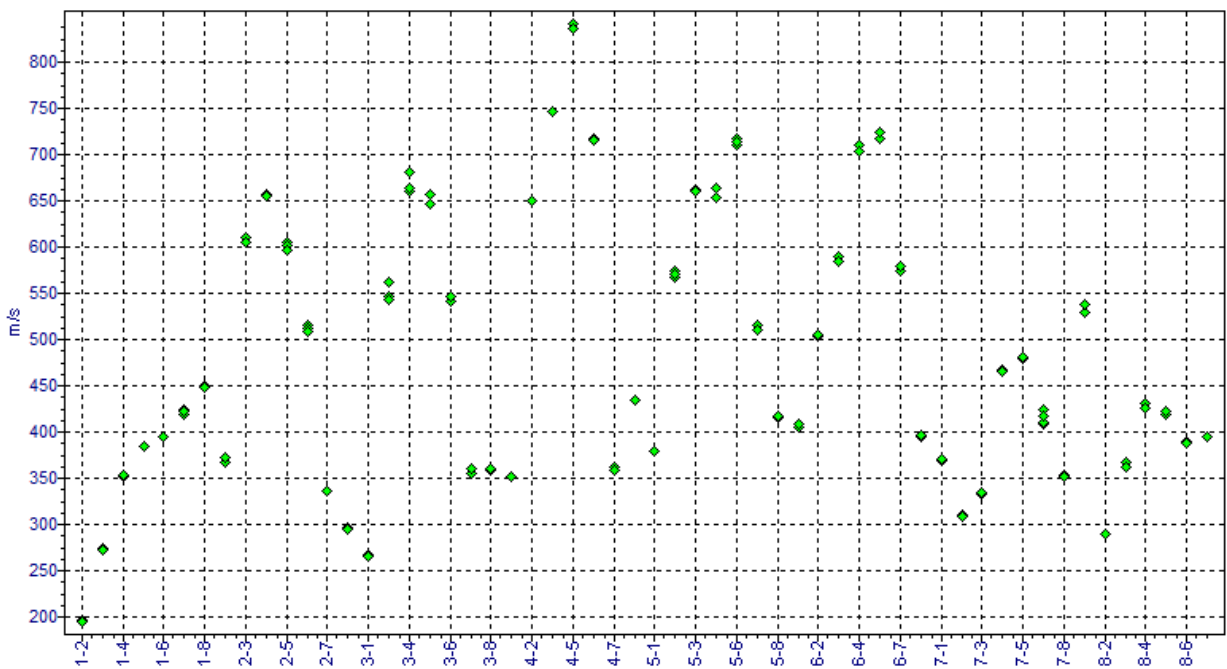


Figura 16 - Gráfico de velocidades médias entre os sensores 1 a 8 - Exemplo |01A.

É possível depreender que o algoritmo do *software* utilizou valores similares de velocidade da onda, como método de classificação da interação, tanto no sentido de ida, por exemplo, quando a pancada é dada no sensor 1 e percorre o material até o sensor 3, quanto no sentido de volta, quando a pancada é dada no sensor 3 e percorre o material até o sensor 1.

Para representar no gráfico de linhas, as interações entre os sensores na forma de um gradiente de cores: rosa-vermelho-laranja-amarelo-verde, o software considera o gradiente crescente de interação, da mais fraca para a mais forte, em termos de velocidade da onda.

No caso do Exemplar 01, a classificação por cores ao longo do gradiente crescente de velocidade compreende 28 interações possíveis, 11 são muito boas, 2 são boas, 7 são intermediárias, 3 são fracas e 4 são muito fracas (Figura 17).

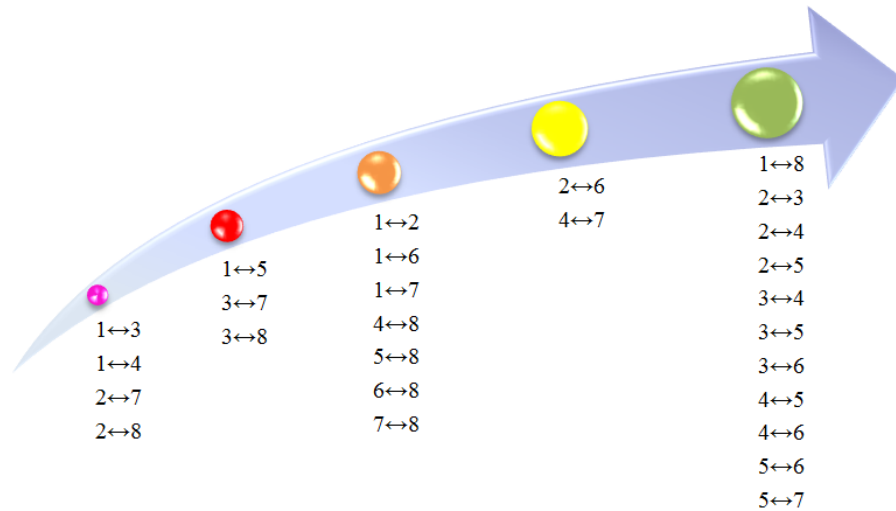


Figura 17 – Classificação manual de interações por cores em face das velocidades de onda.

No gráfico de linhas são interpoladas as cores da classificação para posterior formação de áreas representativas da qualidade das interações (Figura 18).

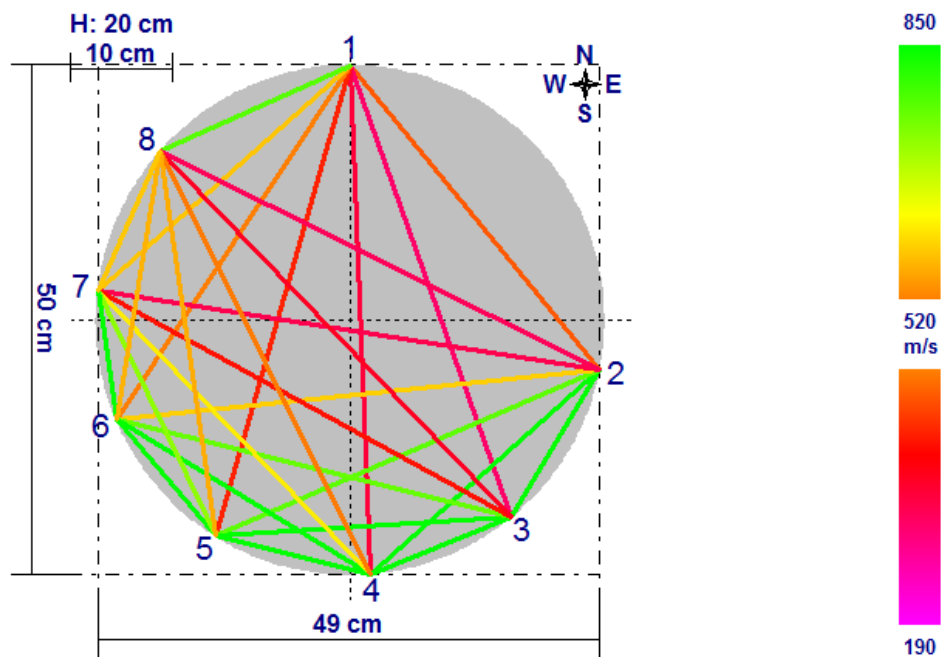


Figura 18 - Gráfico de linhas do Exemplar 01.

A partir do gráfico de linhas é gerado o gráfico 2D e o gráfico mecânico (Figura 19).

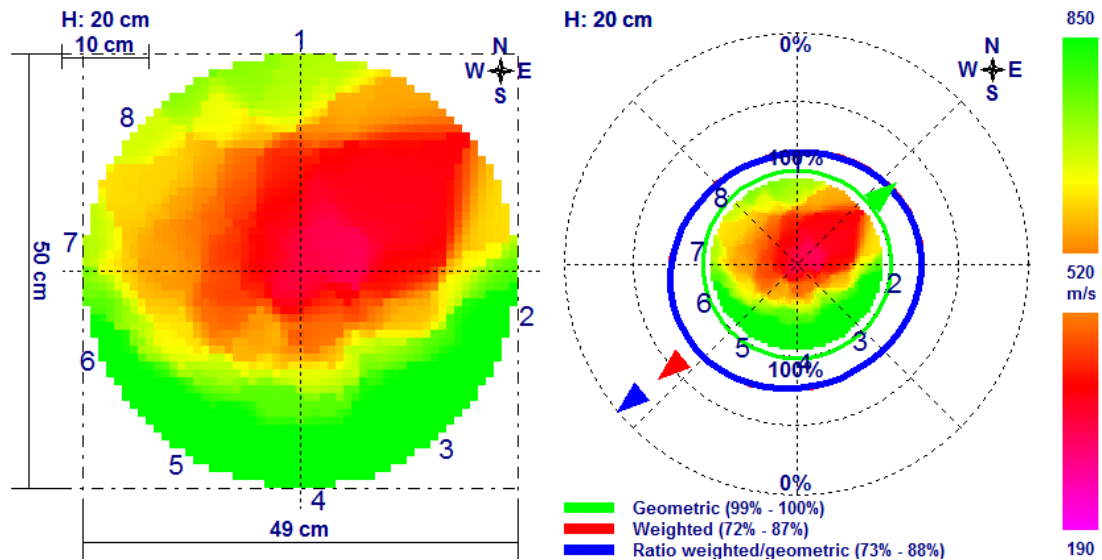


Figura 19 - A. Gráfico 2D do Exemplar |01-A|. Gráfico mecânico do Exemplar |01-A|.

O gráfico 2D está incluído no gráfico mecânico, que é, portanto, o principal resultado obtido pela tomografia realizada e por conseguinte considerado o mais adequado para análise da sanidade da árvore. Pelo facto de o gráfico mecânico refletir de forma mais clara e sucinta os resultados parciais, os resultados finais individuais serão apenas discutidos no contexto do gráfico mecânico.

### 3.5 Resultados por indivíduo

#### 3.5.1 Exemplar 01

O exemplar apresenta um tronco circular na base e na porção superior do tronco, sendo ambas as secções transversais relativamente círculos perfeitos, com estabilidade de 99-100%.

Quanto ao decaimento ou possível fragilidade da árvore, tanto na secção da base, quanto na secção do topo, há manchas ao nível do rosa, que indicam perda substancial de suporte físico para as ondas emitidas pelo equipamento.

Para ambas as secções, a variação observada parece influenciar de forma similar a resistência à flexão, de 72-87% para a base e de 73-87% para o topo.

As condições das secções transversais circulares da base e do topo, quanto à forma, são similares e quanto ao decaimento da madeira, igualmente em mau estado e com indicações de possível direção de queda bastante semelhante: Sudoeste (SO). O ratio entre a componente geométrica e a componente mecânica, tem-se que a resistência à flexão da árvore é de 73-87% (Figura 20).

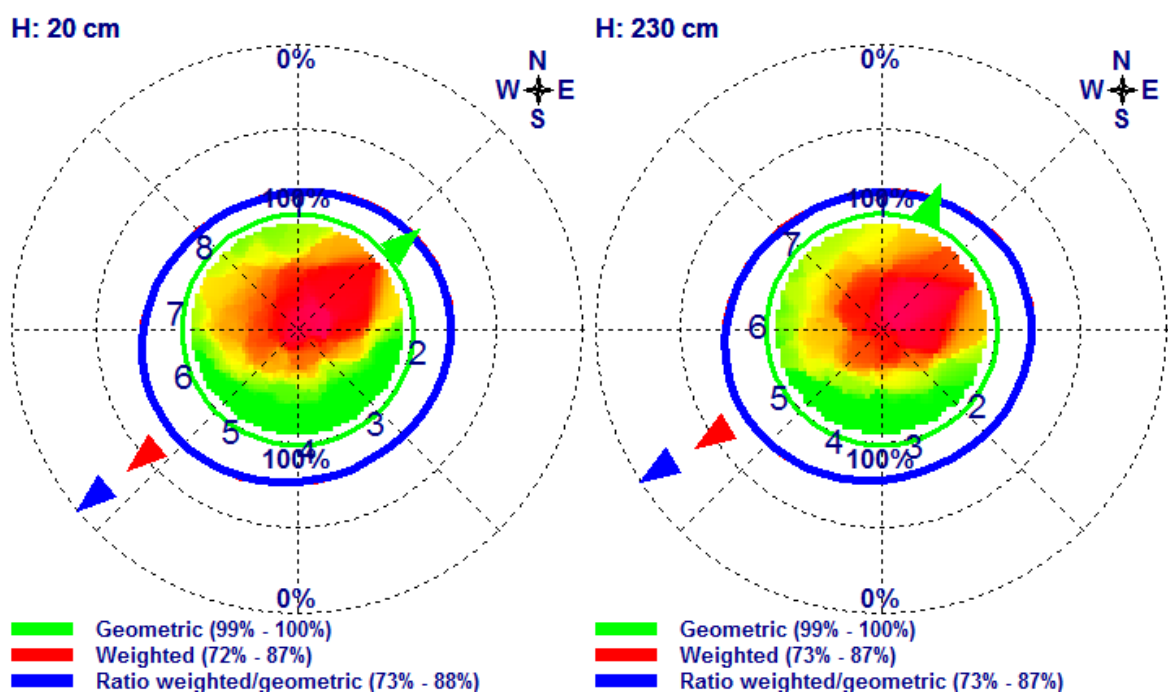


Figura 20 - Tomografia do Exemplar 01. Gráficos mecânicos da base e do topo.

### 3.5.2 Exemplar 02

O exemplar apresenta um tronco circular na base e na porção superior do tronco, sendo ambas as secções transversais relativamente círculos perfeitos, com estabilidade de 100%.

Quanto ao decaimento ou possível fragilidade da árvore, na secção do topo, são apresentadas pequenas manchas amarelas que indicam alguma perda de suporte físico para as ondas emitidas pelo equipamento no valor de 1%.

As pequenas diferenças nas secções transversais circulares da base e do topo, quanto ao decaimento, podem explicar a alteração observada nas indicações de possível direção de queda, levemente distintas entre a base e o topo, respetivamente: Norte (N) e Su-sudeste (NNE).

Como resultado do ratio entre a componente geométrica e a componente mecânica, tem-se que a resistência à flexão da árvore é de 100% (Figura 21).

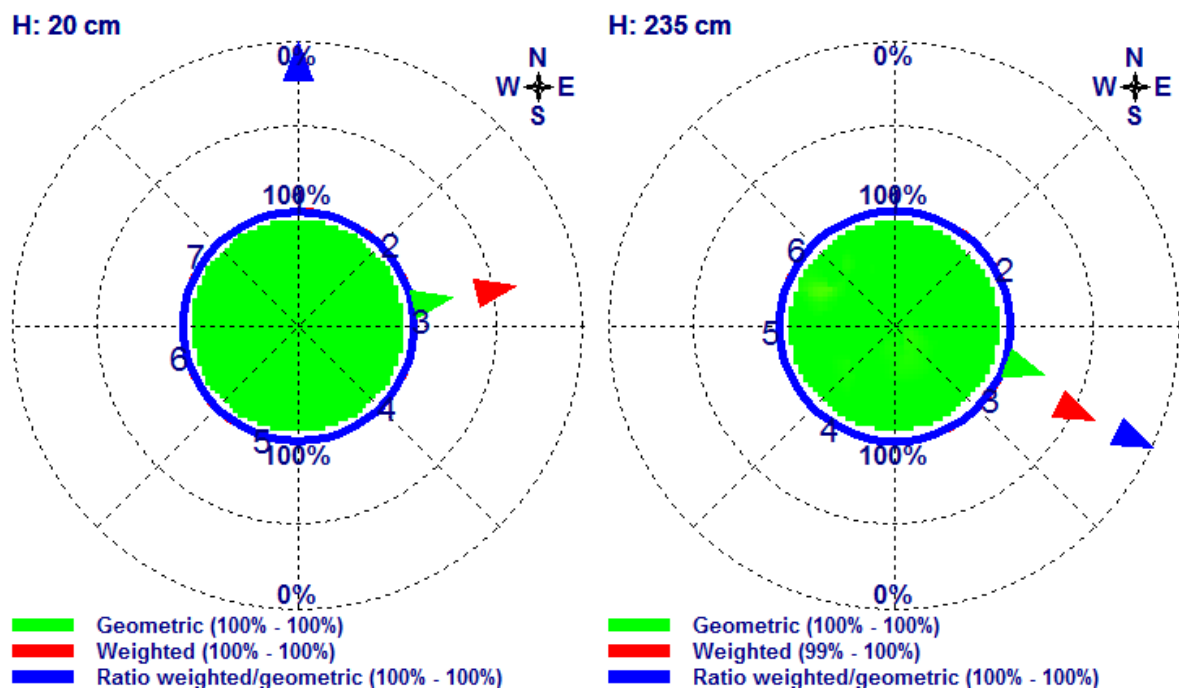


Figura 21 - Tomografia do Exemplar 02. Gráficos mecânicos da base e do topo.

### 3.5.3 Exemplar 03

O exemplar apresenta um tronco circular na base, com tendência à irregularidade da forma na medida em que se alcança a porção superior do tronco. A secção transversal da base é relativamente um círculo perfeito, enquanto que a do topo é irregular e apresenta estabilidade de 99-100%.

Quanto ao decaimento ou possível fragilidade da árvore, na secção da base e do topo, constam pequenas manchas amarelas que indicam alguma perda de suporte físico para as ondas emitidas pelo equipamento.

Para a secção da base, a variação da velocidade observada diminuiu a resistência à flexão em 2%, já para a secção do topo, 1%, ou seja, a resistência é maior no topo.

As diferenças nas secções transversais circulares da base e do topo, tanto quanto à forma da secção, como quanto ao decaimento, são refletidas nas indicações de possível direção de queda também distintas entre a base e o topo, respectivamente: Su-sudeste (SSE) e Sudoeste (SO). A resistência à flexão da base é de 98-100% e do topo 100% (Figura 22).

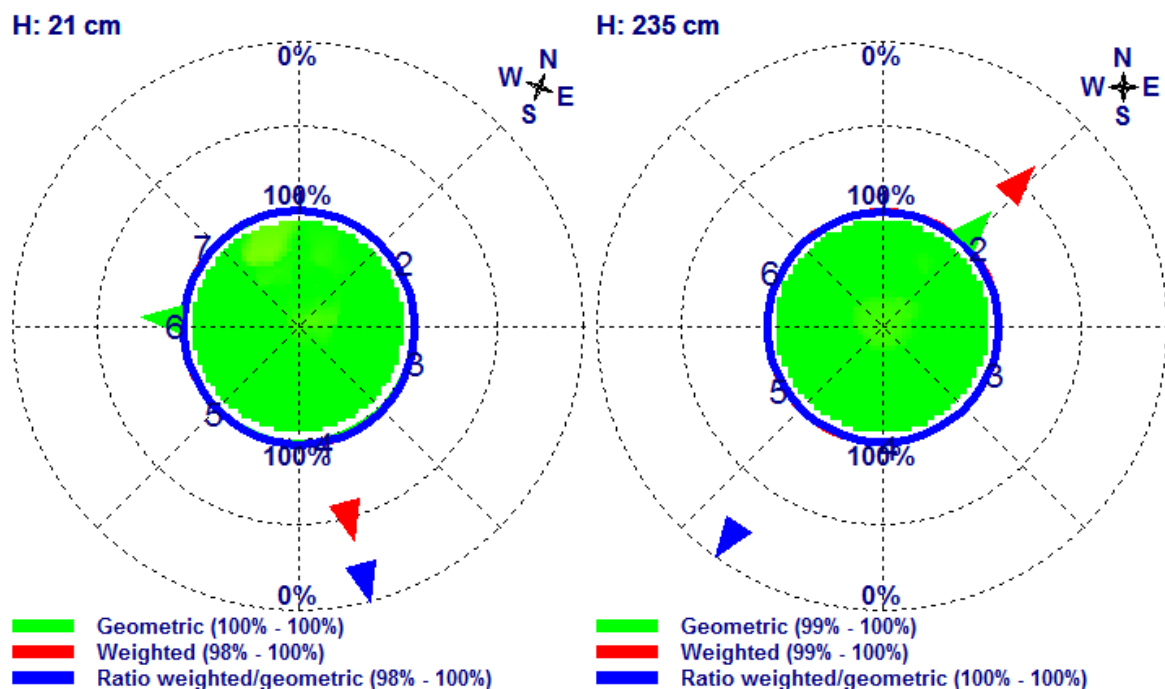


Figura 22 - Tomografia do Exemplar 03. Gráficos mecânicos da base e do topo.

### 3.5.4 Exemplar 04

O exemplar apresenta um tronco irregular na base com tendência à regularidade da forma na medida em que se alcança a porção superior do tronco. A

estabilidade da secção transversal da base, quando observada a forma desta, é de 99%, já a secção transversal do topo que é mais regular apresenta estabilidade de 100%.

Quanto ao decaimento ou possível fragilidade da árvore, tanto na secção da base, quanto na secção do topo, são apresentadas pequenas manchas amarelas que indicam alguma perda de suporte físico para as ondas emitidas pelo equipamento. Para a secção da base, a variação da velocidade observada diminuiu a resistência à flexão em 1%, já para a secção do topo, 2%, ou seja, a resistência é maior na base.

Tendo em conta que são diferentes as secções transversais circulares da base e do topo, tanto quanto à forma da secção, como quanto ao decaimento, observam-se indicações de possível direção de queda também distintas entre a base e o topo, respetivamente: Oeste (O) e Este (E).

Como resultado do ratio, tem-se que a resistência à flexão da base é de 100% e do topo 98-100% (Figura 23).

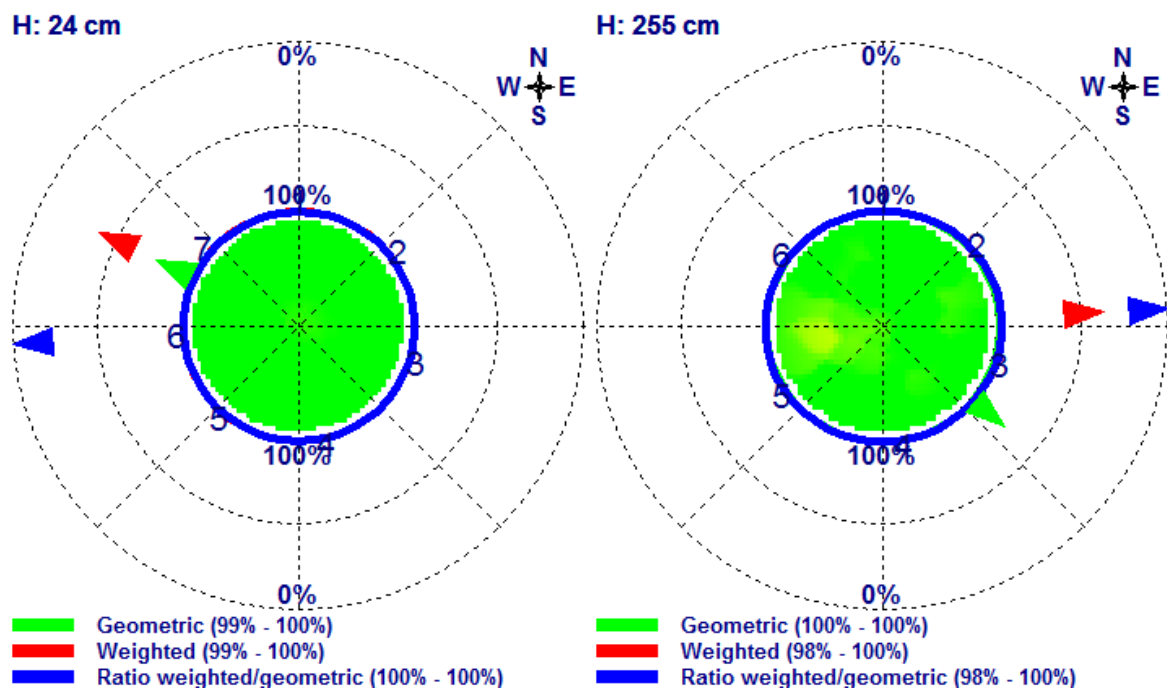


Figura 23 - Tomografia do Exemplar 04. Gráficos mecânicos da base e do topo.

### 3.5.5 *Exemplar 12*

O exemplar apresenta um tronco irregular na base com tendência à regularidade da forma na medida em que se alcança a porção superior do tronco. A estabilidade da secção transversal da base, quando observada a forma desta, é de 98%, já a secção transversal do topo que é mais regular apresenta estabilidade de 100%.

Quanto ao decaimento ou possível fragilidade da árvore, tanto na secção da base, quanto na secção do topo, são apresentadas pequenas manchas amarelas que indicam alguma perda de suporte físico para as ondas emitidas pelo equipamento. Para a secção da base, a variação da velocidade observada diminuiu a resistência à flexão em 2%, já para a secção do topo, 1%, ou seja, a resistência é maior no topo.

As diferenças entre as secções transversais circulares da base e do topo aparentemente equilibraram-se, tanto quanto à forma da secção, como quanto ao decaimento, observa-se indicação de possível direção de queda semelhante, apesar das diferenças observadas: Norte (N).

Como resultado do ratio entre a componente geométrica e a componente mecânica, tem-se que a resistência à flexão da árvore é de 100% (Figura 24).



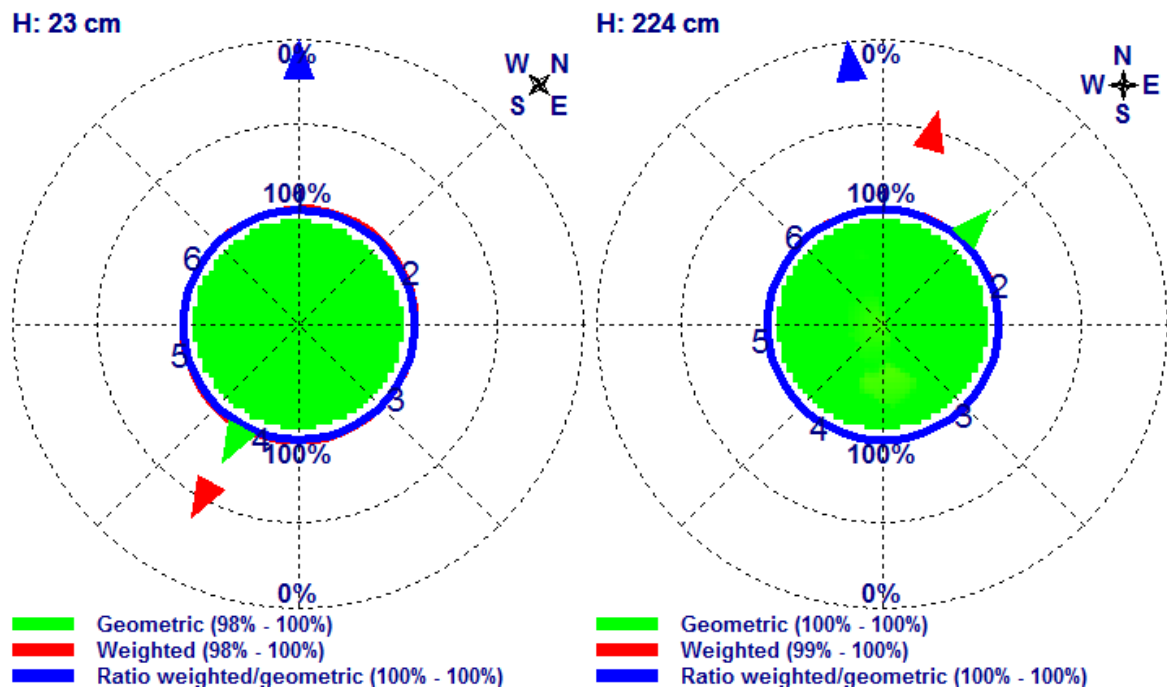


Figura 24 - Tomografia do Exemplar 12. Gráficos mecânicos da base e do topo.

### 3.5.6 Exemplar 13

O exemplar apresenta um tronco circular na base, com tendência à irregularidade da forma na medida em que se alcança a porção superior do tronco. A secção transversal da base é relativamente um círculo perfeito, com estabilidade de 100%, enquanto que a secção transversal do topo é irregular, com estabilidade de 99%.

Quanto ao decaimento ou possível fragilidade da árvore, tanto na secção da base, quanto na secção do topo, são apresentadas pequenas manchas amarelas que indicam alguma perda de suporte físico para as ondas emitidas pelo equipamento, no valor de 1%, para ambas as secções.

As pequenas diferenças nas secções transversais circulares da base e do topo, tanto quanto à forma da secção, como quanto ao decaimento, são localizadas em diferentes sítios, o que pode explicar a alteração observada nas indicações de possível direção de queda, distintas entre a base e o topo, respetivamente: Oeste-noroeste (ONO) e Su-sudoeste (SSO).

Como resultado do ratio entre a componente geométrica e a componente mecânica, a resistência à flexão da árvore é de 100% (Figura 25).

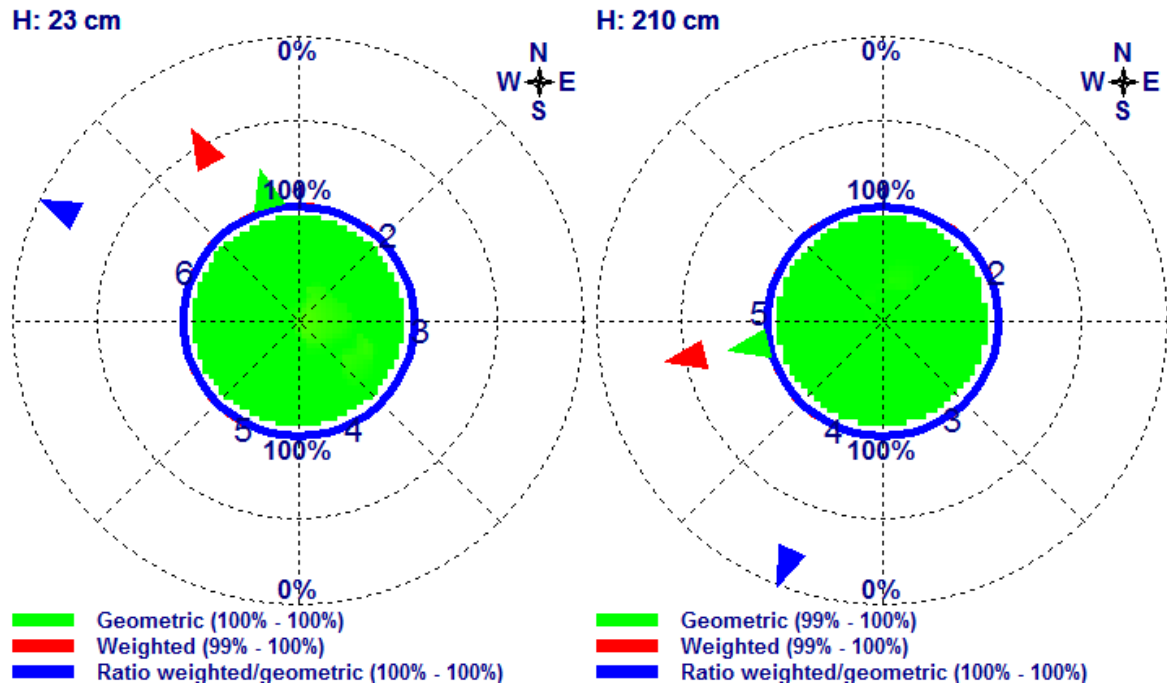


Figura 25 - Tomografia do Exemplar 13. Gráficos mecânicos da base e do topo.

### 3.5.7 Exemplar 19

O exemplar apresenta um tronco irregular na base com tendência à regularidade da forma na medida em que se alcança a porção superior do tronco. A estabilidade da secção transversal da base, quando observada a forma desta, é de 99%, já a secção transversal do topo que é mais regular apresenta estabilidade de 100%.

Quanto ao decaimento ou possível fragilidade da árvore, tanto na secção da base, quanto na secção do topo, são apresentadas manchas amarelas que indicam alguma perda de suporte físico para as ondas emitidas pelo equipamento.

Para a secção do topo, a variação observada não foi suficiente para alterar a resistência à flexão, que permanece em 100%, enquanto que na secção da base a resistência passou a ser de 98-99%.

As diferenças nas secções transversais circulares da base e do topo, tanto quanto à forma da secção, como quanto ao decaimento, são localizadas em diferentes sítios, o que pode explicar a alteração observada nas indicações de possível direção de queda, distintas entre a base e o topo, respetivamente: Su-sudeste (SSE) e Este (E).

Como resultado do ratio entre a componente geométrica e a componente mecânica, tem-se que a resistência à flexão da base é de 99-100% e do topo é de 100% (Figura 26).

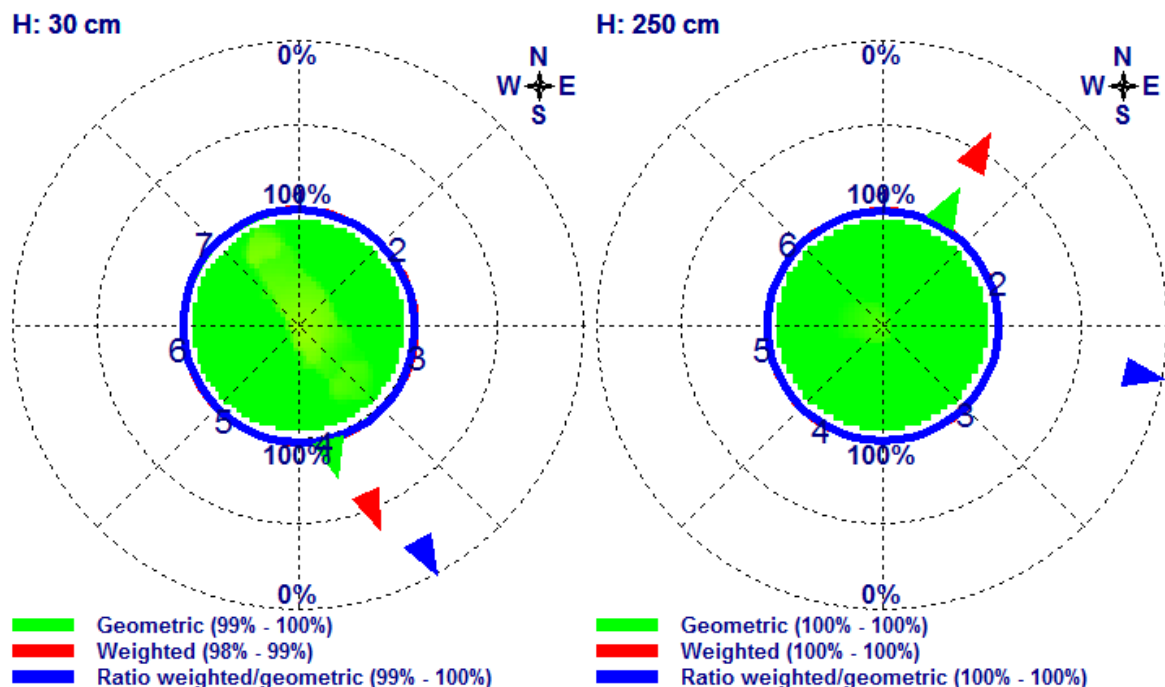


Figura 26 - Tomografia do Exemplar 19. Gráficos mecânicos da base e do topo.

### 3.5.8 Exemplar 22

O exemplar apresenta um tronco circular na base e na porção superior do tronco, sendo ambas as secções transversais relativamente círculos perfeitos, com estabilidade de 100%.

Quanto ao decaimento ou possível fragilidade da árvore, tanto na secção da base, quanto na secção do topo, não há indício de qualquer perda de suporte físico

para as ondas emitidas pelo equipamento, já que as imagens apresentadas para ambas as secções são verdes na totalidade. Entretanto, para a secção do topo, apesar de ser observada variação na velocidade das ondas, conforme indicação das manchas amarelas, não há perda na resistência à flexão. Para ambas as secções, a resistência é de 100%.

Tendo em conta as diferenças visuais, quanto ao decaimento, entre as condições das secções transversais circulares da base e do topo, a indicação de possível direção de queda é divergente, respetivamente para base e topo: Este-nordeste (E-NE) e Norte (N).

Como resultado do ratio entre a componente geométrica e a componente mecânica, tem-se que a resistência à flexão da árvore é de 100% (Figura 27).

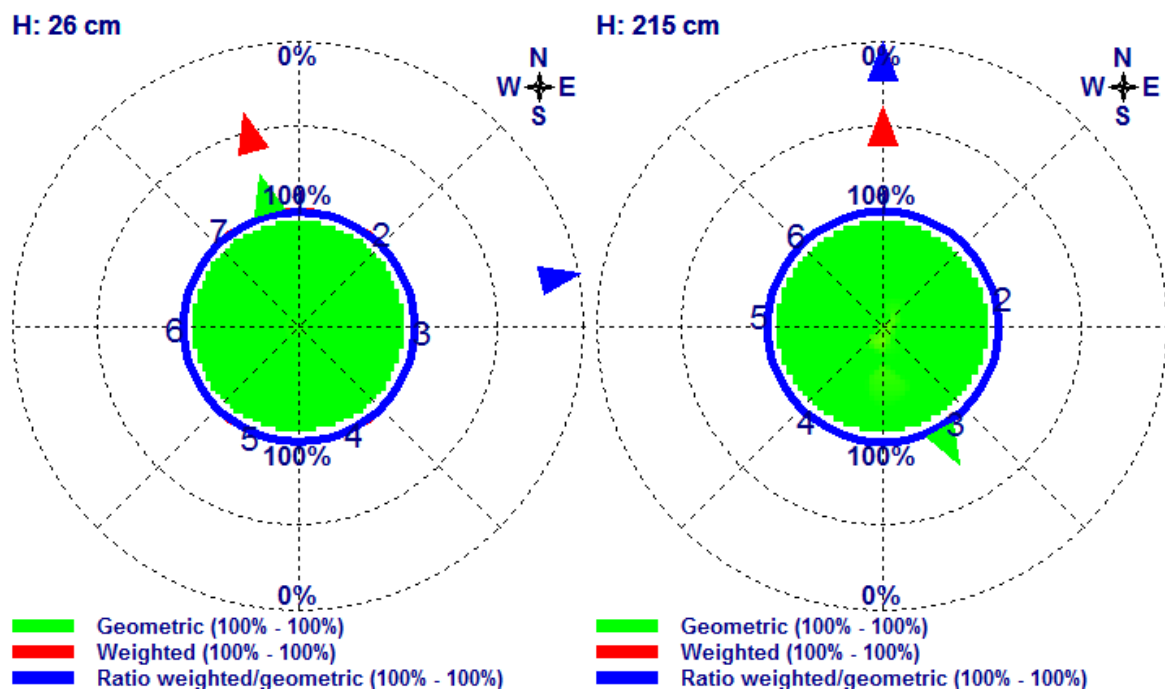


Figura 27 - Tomografia do Exemplar 22. Gráficos mecânicos da base e do topo.

### 3.5.9 Exemplar 71

O exemplar apresenta um tronco circular na base e na porção superior do tronco, sendo ambas as secções transversais relativamente círculos perfeitos, com estabilidade de 100%.

Quanto ao decaimento ou possível fragilidade da árvore, tanto na secção da base, quanto na secção do topo, não há indício de qualquer perda de suporte físico para as ondas emitidas pelo equipamento, já que as imagens apresentadas para ambas as secções são verdes na totalidade.

Apesar de não haver diferenças nas secções transversais circulares da base e do topo, tanto quanto à forma da secção, como quanto ao decaimento, há alteração nas indicações de possível direção de queda, levemente distintas entre a base e o topo, respetivamente: Norte (N) e Noroeste (NO).

Como resultado do ratio entre a componente geométrica e a componente mecânica, tem-se que a resistência à flexão da árvore é de 100% (Figura 28).

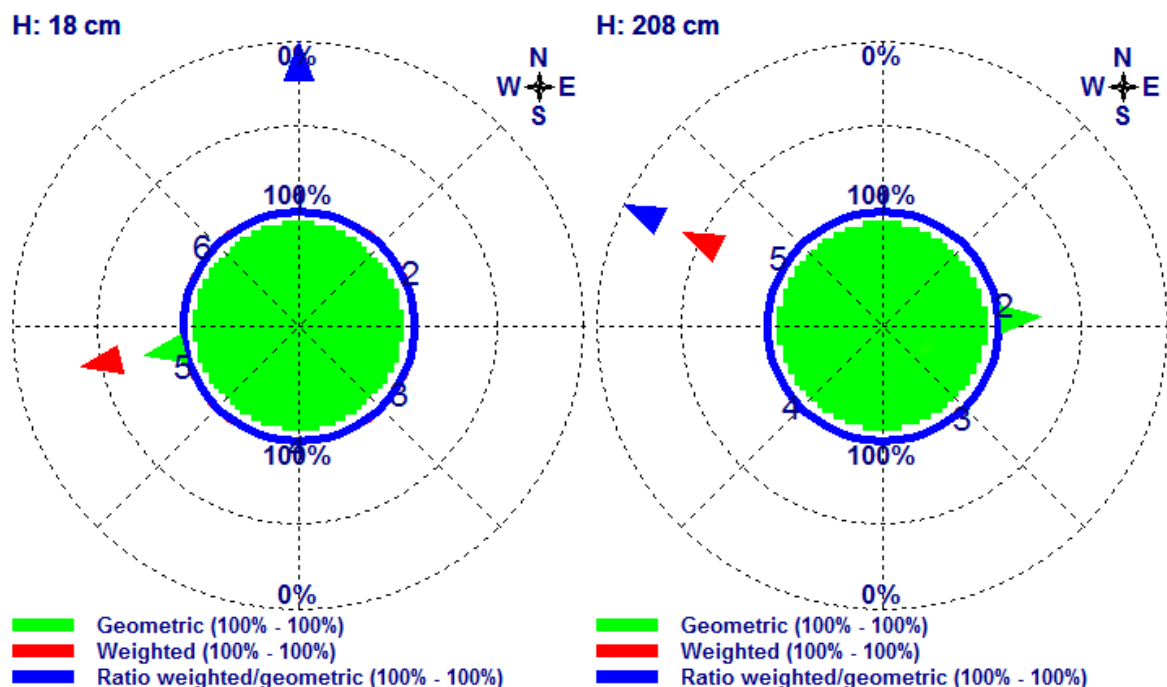


Figura 28 - Tomografia do Exemplar 71. Gráficos mecânicos da base e do topo.

### 3.5.10 Exemplar 72

O exemplar apresenta um tronco circular na base e na porção superior do tronco, sendo ambas as secções transversais relativamente círculos perfeitos, com estabilidade de 100%.

Quanto ao decaimento ou possível fragilidade da árvore, tanto na secção da base, quanto na secção do topo, são apresentadas pequenas manchas amarelas que indicam alguma perda de suporte físico para as ondas emitidas pelo equipamento. Para a secção da base a variação observada não foi suficiente para alterar a resistência à flexão, que é superior em cerca de 1% em relação ao topo.

As pequenas diferenças nas secções transversais circulares da base e do topo, tanto quanto à forma da secção, como quanto ao decaimento, são localizadas em diferentes sítios, o que pode explicar a alteração observada nas indicações de possível direção de queda, distintas entre a base e o topo, respetivamente: Este (E) e Su-sudoeste (SSO).

Como resultado do ratio entre a componente geométrica e a componente mecânica, tem-se que a resistência à flexão da base é de 100% e do topo de 99-100% (Figura 29).

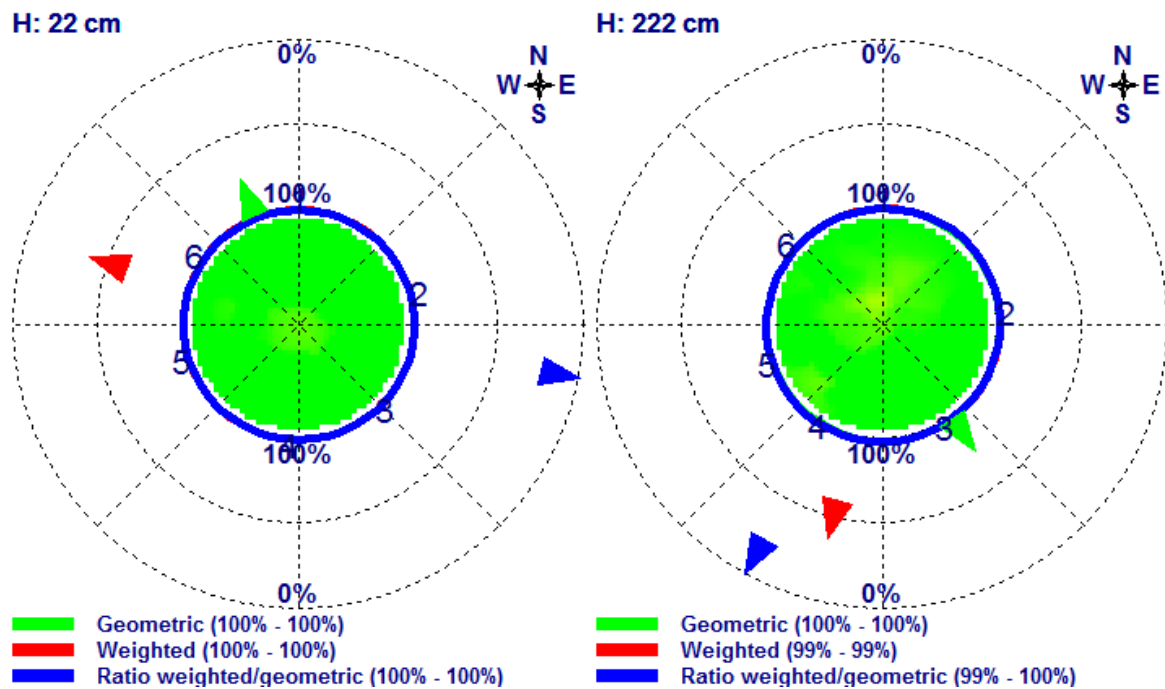


Figura 29 - Tomografia do Exemplar 72. Gráficos mecânicos da base e do topo.

### 3.5.11 Exemplar 75

O exemplar apresenta um tronco irregular na base com tendência à regularidade da forma na medida em que se alcança a porção superior do tronco. A estabilidade da secção transversal da base, quando observada a forma desta, é de 97%, já a secção transversal do topo que é mais regular apresenta estabilidade de 100%.

Quanto ao decaimento ou possível fragilidade da árvore, na secção da base são apresentadas pequenas manchas amarelas, enquanto que na secção do topo há manchas ao nível do laranja, que indicam maior perda de suporte físico para as ondas emitidas pelo equipamento. Entretanto, para ambas as secções, a variação observada parece influenciar de forma similar a resistência à flexão, de 96-100%.

Tendo em conta que são muito diferentes as condições das secções transversais circulares da base e do topo, tanto quanto à forma da secção, como quanto ao decaimento, em especial em face do mau estado da secção de topo, as indicações de possível direção de queda são divergentes: Nordeste (NE) e Nor-noroeste

(NNO). Como resultado do ratio entre a componente geométrica e a componente mecânica, tem-se que a resistência à flexão da base é de 98-100% e do topo é de 96-100% (Figura 30).

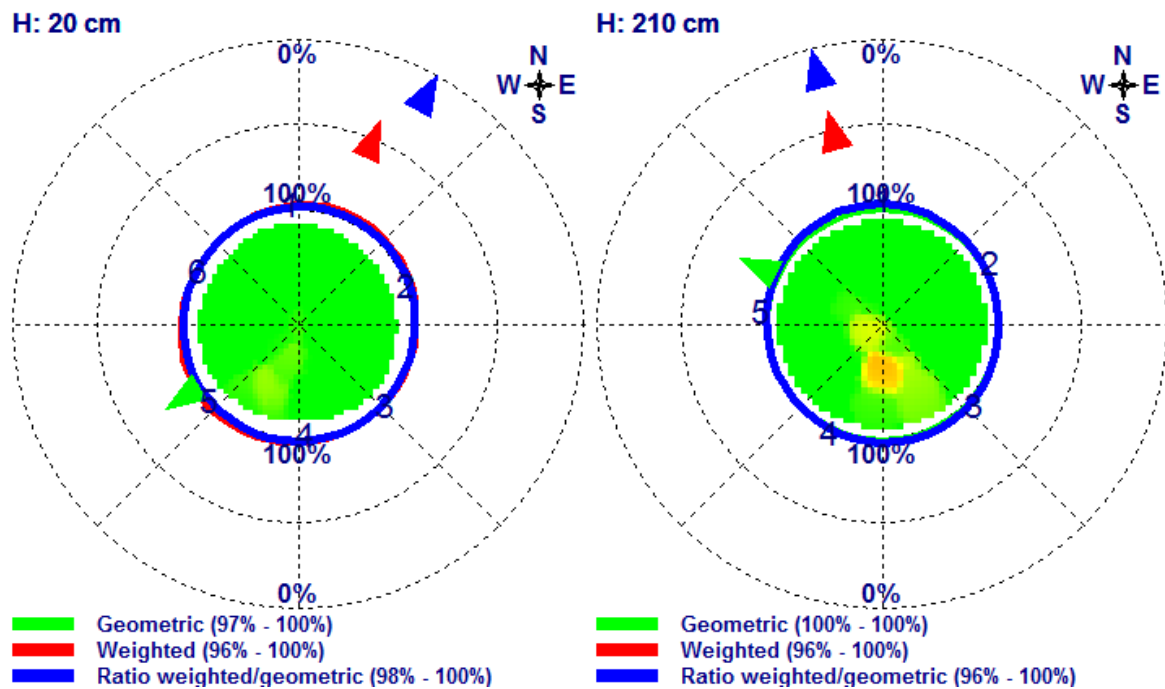


Figura 30 - Tomografia do Exemplar 75. Gráficos mecânicos da base e do topo.

### 3.5.12 Exemplar 81

O exemplar apresenta um tronco circular na base e na porção superior do tronco, sendo ambas as secções transversais relativamente círculos perfeitos, com estabilidade de 99-100%.

Quanto ao decaimento ou possível fragilidade da árvore, tanto na secção da base, quanto na secção do topo, são apresentadas pequenas manchas amarelas que indicam alguma perda de suporte físico para as ondas emitidas pelo equipamento no valor de 1%.

As pequenas diferenças nas secções transversais circulares da base e do topo, tanto quanto à forma da secção, como quanto ao decaimento, são localizadas em diferentes sítios, o que pode explicar a alteração observada nas indicações de



possível direção de queda, levemente distintas entre a base e o topo, respectivamente: Norte (N) e Nor-nordeste (NNE). Como resultado do ratio entre a componente geométrica e a componente mecânica, tem-se que a resistência à flexão da árvore é de 100% (Figura 31).

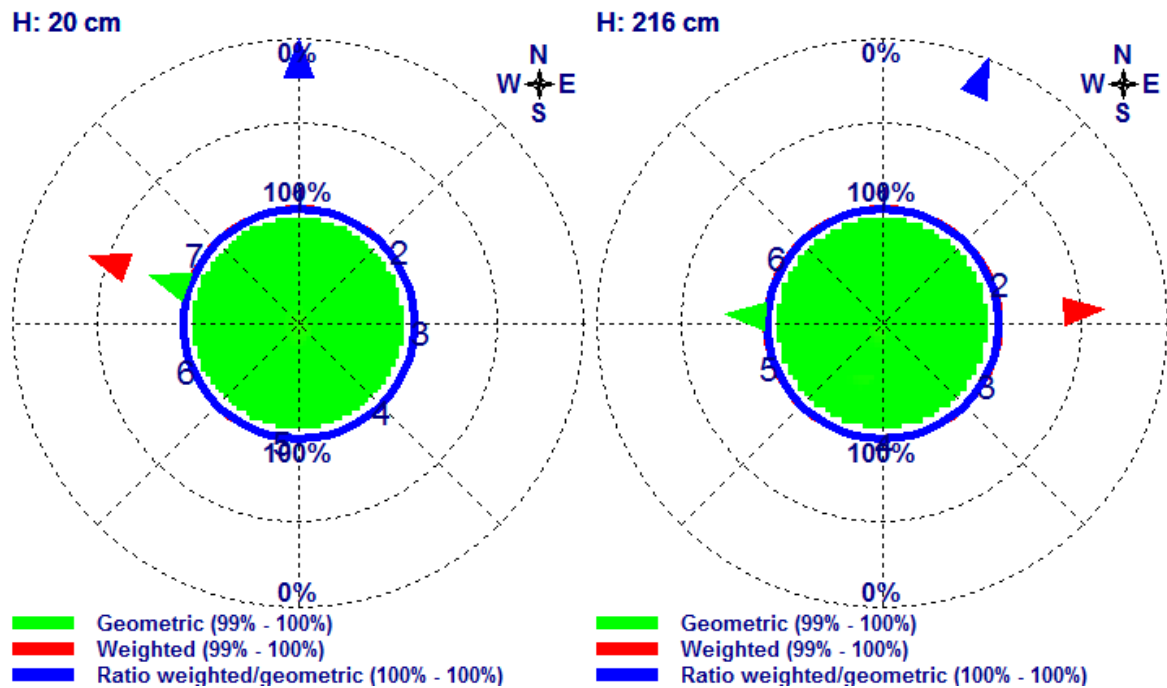


Figura 31 - Tomografia do Exemplar 81. Gráficos mecânicos da base e do topo.

### 3.5.13 Exemplo 82

O exemplar apresenta um tronco circular na base, com tendência à irregularidade da forma na medida em que se alcança a porção superior do tronco. A secção transversal da base é relativamente um círculo perfeito, já a secção transversal do topo apresenta estabilidade de menos 9%.

Quanto ao decaimento ou possível fragilidade da árvore, tanto na secção da base, quanto na secção do topo há perdas ao nível do laranja coincidentes com a indicação de resistência à flexão diminuída para 88-98% e 89-99%, respectivamente.

Tendo em conta que são muito diferentes as condições das secções transversais circulares da base e do topo, tanto quanto à forma da secção, como quanto ao decaimento, notadamente a diferença das zonas afetadas nas secções transversais observadas, as indicações de possível direção de queda são divergentes: Nordeste (NE) e Sudeste (SE).

Como resultado do ratio entre a componente geométrica e a componente mecânica, tem-se que a resistência à flexão da base é de 88-98% e do topo é de 97-99% (Figura 32).

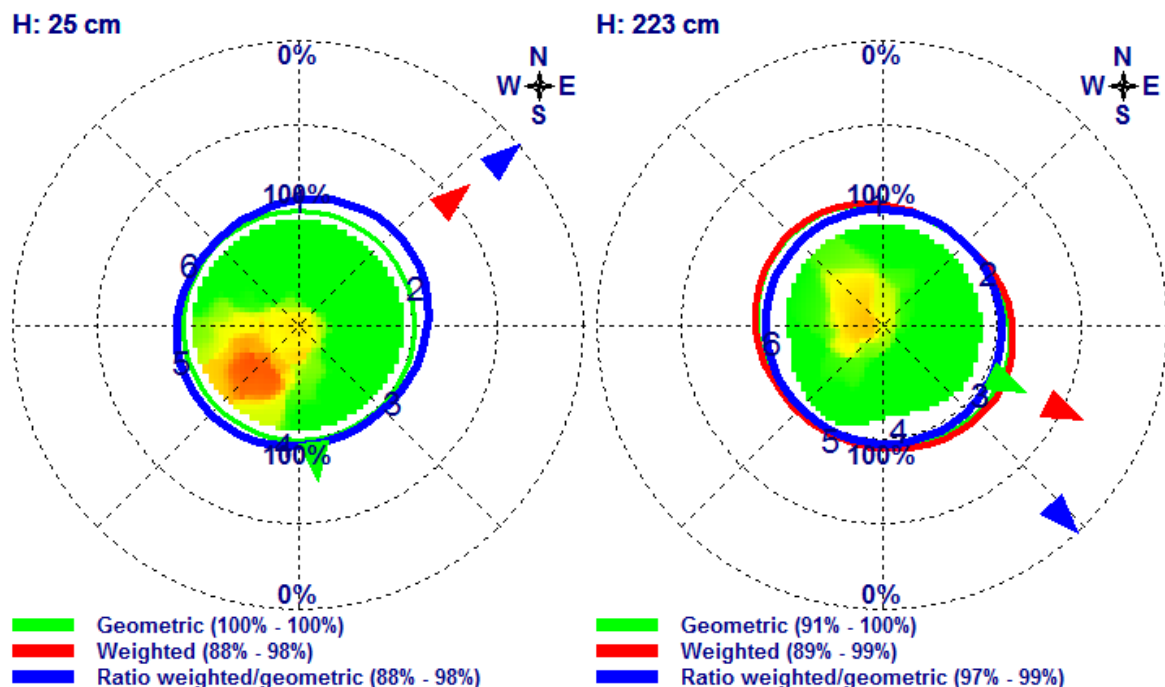


Figura 32 - Tomografia do Exemplar 82. Gráficos mecânicos da base e do topo.

#### 3.5.14 Exemplar 92

O exemplar apresenta um tronco irregular na base com tendência à regularidade da forma na medida em que se alcança a porção superior do tronco. A estabilidade da secção transversal da base, quando observada a forma desta, é de 86%, já a secção transversal do topo que é mais regular apresenta estabilidade de 99%.

Quanto ao decaimento ou possível fragilidade da árvore, na secção da base não há indício de qualquer perda de suporte físico para as ondas emitidas pelo equipamento, já que a imagem apresentada é verde na totalidade. Entretanto, mesmo não tendo sido observada qualquer variação na velocidade das ondas, há perda na resistência à flexão, no valor de 14%.

Na secção do topo, há perdas ao nível do laranja coincidentes com a indicação de resistência à flexão diminuída para 92-98%. Tendo em conta que são muito diferentes as condições das secções transversais circulares da base e do topo, tanto quanto à forma da secção, como quanto ao decaimento, em especial em face do mau estado da secção de topo, as indicações de possível direção de queda são divergentes: Noroeste (NO) e Este-nordeste (ENE).

Como resultado do ratio entre a componente geométrica e a componente mecânica, tem-se que a resistência à flexão da base é de 100% e do topo é de 92-99% (Figura 33).

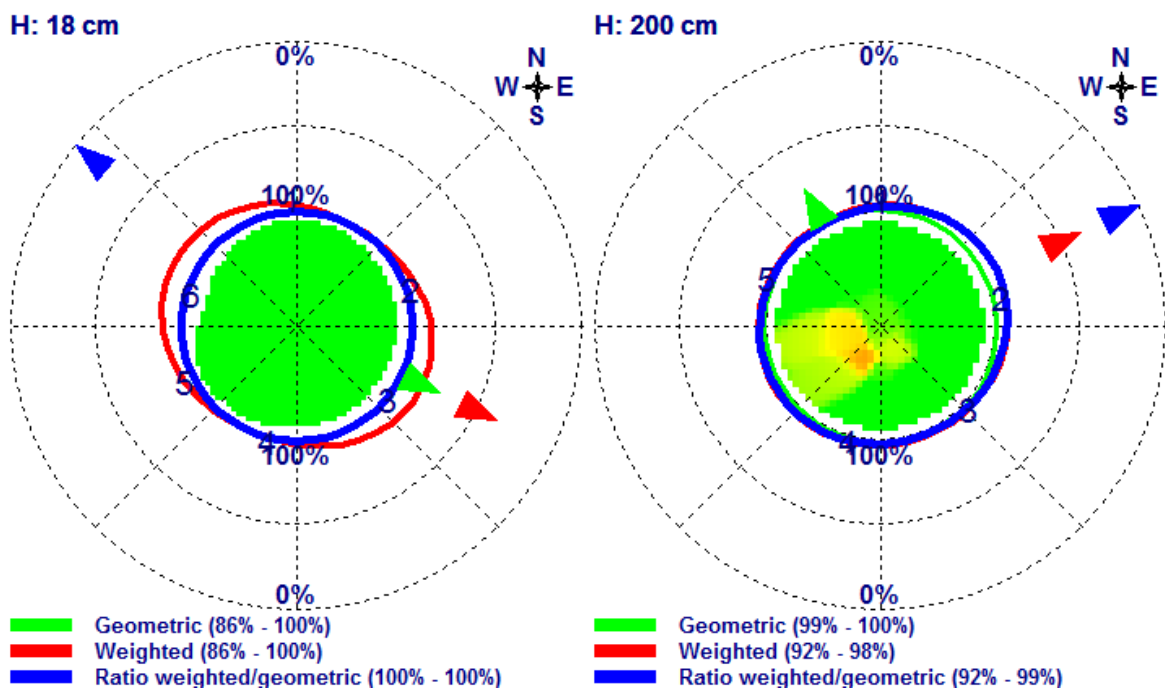


Figura 33 - Tomografia do Exemplar 92. Gráficos mecânicos da base e do topo.

### 3.5.15 Exemplar 94

O exemplar apresenta um tronco circular na base, com leve tendência à irregularidade da forma na medida em que se alcança a porção superior do tronco. A secção transversal da base é relativamente um círculo perfeito, com estabilidade de 100%, já a secção transversal do topo é irregular e apresenta estabilidade de 98%.

Quanto ao decaimento ou possível fragilidade da árvore, tanto na secção da base, quanto na secção do topo, não há indício de qualquer perda de suporte físico para as ondas emitidas pelo equipamento, já que as imagens apresentadas para ambas as secções são verdes na totalidade. Entretanto, para a secção do topo, mesmo não tendo sido observada qualquer variação na velocidade das ondas, há alguma perda na resistência à flexão, que é de 2% menor que a resistência da base.

Tendo em conta que são muito semelhantes às condições das secções transversais circulares da base e do topo, tanto quanto à forma da secção, como quanto ao decaimento, a indicação de possível direção de queda é coincidente: Norte (N).

Como resultado do ratio entre a componente geométrica e a componente mecânica, tem-se que a resistência à flexão da árvore é de 100% (Figura 34).

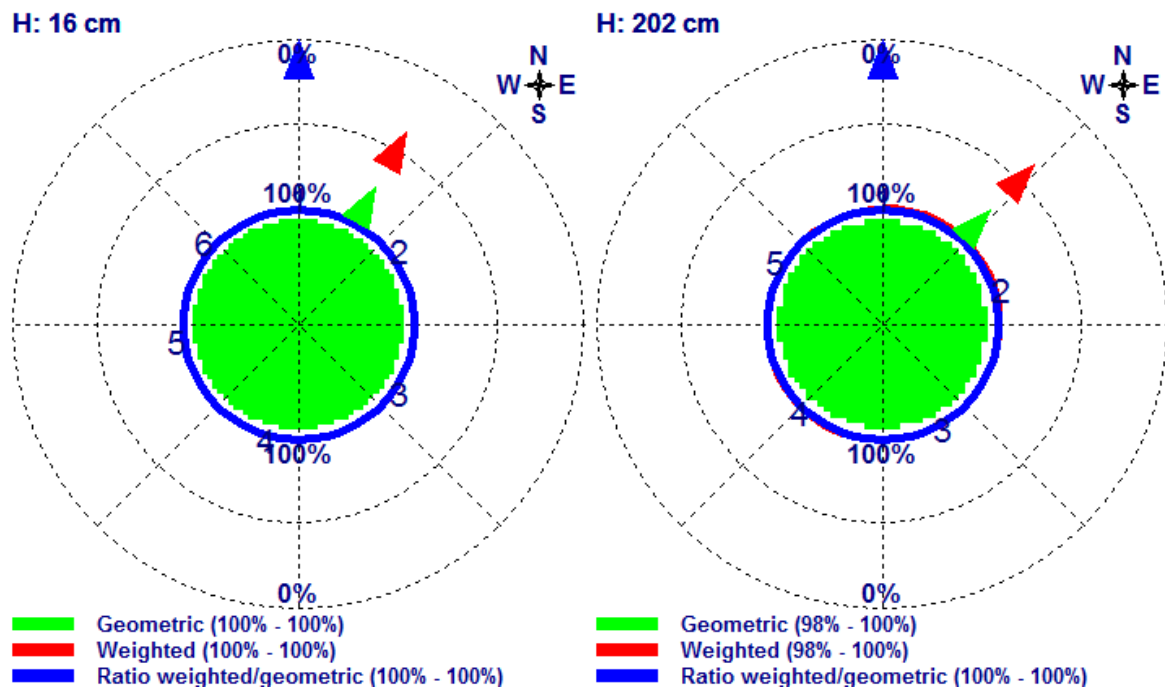


Figura 34 - Tomografia do Exemplar 94. Gráficos mecânicos da base e do topo.

### 3.5.16 Exemplar 97

O exemplar apresenta um tronco circular na base, com tendência à irregularidade da forma na medida em que se alcança a porção superior do tronco. A secção transversal da base é relativamente um círculo perfeito e a secção transversal do topo é irregular, entretanto ambas apresentam estabilidade de 100%.

Quanto ao decaimento ou possível fragilidade da árvore, tanto na secção da base, quanto na secção do topo, são apresentadas pequenas manchas amarelas que indicam alguma perda de suporte físico para as ondas emitidas pelo equipamento. Para a secção da base a variação observada não foi suficiente para alterar a resistência à flexão, que é superior em cerca de 13% em relação ao topo.

Tendo em conta que são diferentes as secções transversais circulares da base e do topo, tanto quanto à forma da secção, como quanto ao decaimento, observam-se indicações de possível direção de queda também distintas entre a base e o topo, respetivamente: Este-nordeste (ENE) e Sul (S).

Como resultado do ratio entre a componente geométrica e a componente mecânica, tem-se que a resistência à flexão da árvore é de 100% (Figura 35).

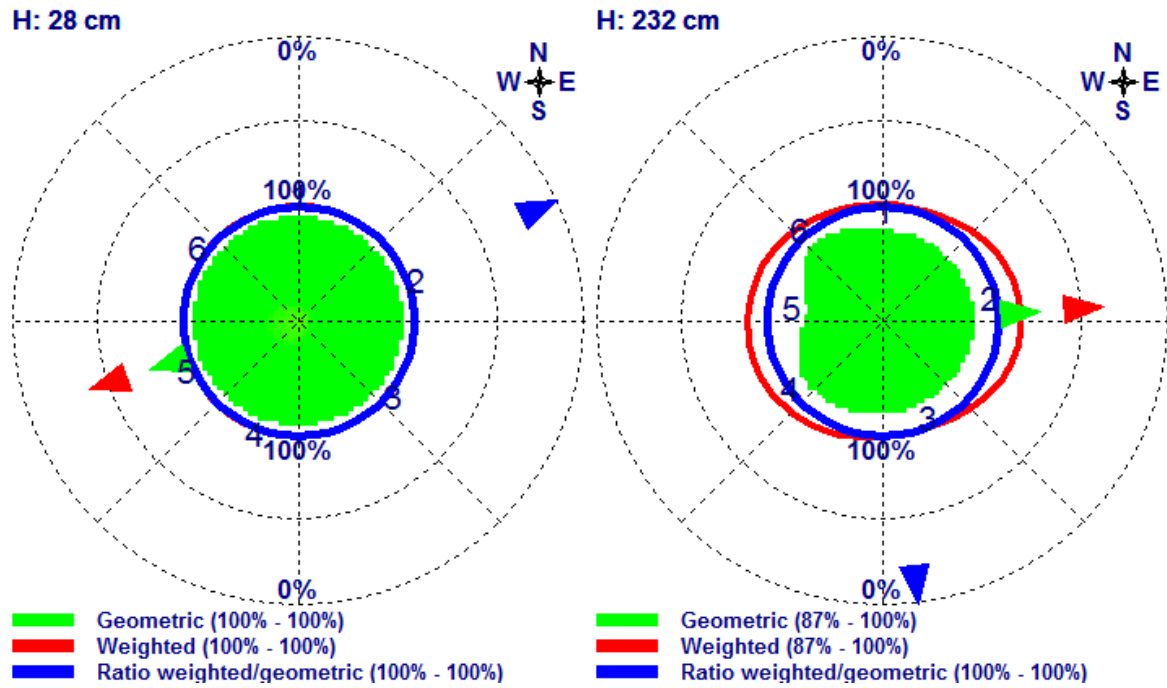


Figura 35 – Tomografia do Exemplar 97. Gráficos mecânicos da base e do topo.

### 3.6 Resultados relativos aos dados de velocidade da onda na madeira

Em se tratando da componente Biodiversidade, seria interessante utilizar as diversas matrizes de dados fornecidas como resultados após a realização da tomografia acústica, para construir uma base de dados com intervalos de velocidade da onda de tensão na madeira que refletissem o padrão normal da espécie, ou seja, de árvores sãs.

Essas referências poderiam facilitar análises de risco de queda de árvores para portadores de equipamentos acústicos mais simples, do tipo sensor-recetor, que passariam a ter dados de referência para árvores saudáveis para a espécie *Tilia tomentosa* Moench, e por comparação seria possível fazer inferências acerca da sanidade da árvore com uma medição única. Para além disso, isolar o intervalo de madeira sã da espécie pode contribuir para estudos de diferenciação das espécies dentro do Gênero.

Neste tópico propõe-se a exclusão dos valores de velocidade da onda de tensão nas tomografias que apresentaram pior estado visual (exemplar 01 A e B), para esta finalidade específica, considerados outputs, como forma de testar a possibilidade de encontrar esse intervalo ótimo de velocidade da onda de tensão na madeira da espécie que fosse capaz de refletir apenas dados de árvores saudáveis. Há possibilidade de encontrar esse intervalo, quando encontrado um intervalo em que os dados comportem-se dentro de um padrão de normalidade, para valores mais elevados possíveis de velocidade da onda de tensão.

Na tentativa de perceber o comportamento por grupo dentro da população, foram buscados os valores de velocidade da onda de tensão das matrizes geradas pelo software Arbotom® e relacionados na forma de uma tabela. Tendo em conta valores estatísticos básicos acerca das velocidades encontradas, os dados foram primeiramente classificados pelas cores indicadas nas imagens gráficas do Arbotom®. Depois foi feita a ordenação por média dentro de cada grupo de cores, da menor média para a maior. A quantidade de sensores utilizados variou conforme o tamanho das circunferências das árvores, cabendo ressaltar que a

quantidade de sensores utilizadas foi suficiente para detectar a presença ou não de defeitos. Entretanto, a utilização de mais sensores permite uma maior precisão da localização dos danos na madeira (Tabela 3).

Tabela 3 - Dados de velocidade média e estatística básica da Amostra.

Grupo	Informações por indivíduo			Dados de Velocidade de Propagação da onda					
	Arbotom	Exemplar	A-Base e B-Altura	Nº de Sensores	Média	DP	Variância	Mediana	Mínimo
4	1	A	8	477	147	21506	425	195	841
4	1	B	7	506	139	19318	488	292	850
3	92	B	5	736	231	53429	794	299	1014
3	82	A	6	793	166	27395	815	507	1121
3	82	B	6	843	119	14249	843	606	1098
3	75	B	5	880	186	34462	932	514	1179
2	3	B	6	818	228	51804	871	252	1141
2	13	B	5	858	320	102578	961	343	1304
2	3	A	7	915	151	22776	945	497	1157
2	22	B	6	918	138	19161	916	624	1223
2	97	A	6	938	111	12314	961	732	1154
2	75	A	6	940	207	42966	970	327	1282
2	4	B	6	943	165	27357	925	705	1379
2	12	B	6	952	143	20466	941	680	1256
2	19	A	7	974	140	19696	971	694	1311
2	4	A	7	975	135	18128	972	718	1240
2	22	A	7	981	118	245206	1007	755	1180
2	13	A	6	1007	145	21052	990	711	1366
2	19	B	6	1011	154	23716	1033	732	1284
2	72	A	6	1048	169	28508	1062	685	1339
2	2	B	6	1063	188	35219	1060	706	1537
2	81	B	6	1069	123	15172	1078	794	1284
2	72	B	6	1083	186	34734	1086	623	1549
2	81	A	7	1092	116	13399	1099	838	1299
2	71	B	5	1137	173	29984	1183	767	1361
1	2	A	7	941	147	21599	935	670	1170
1	12	A	6	941	117	13659	956	725	1116
1	71	A	6	996	131	17038	1030	667	1173
1	92	A	6	996	148	22047	1031	648	1229
1	94	B	5	1019	103	10597	1014	862	1187
1	94	A	6	1022	109	11840	1052	805	1201
1	97	B	6	1056	173	29967	1063	348	1368

Também foi possível observar que as diferenças entre imagens em que constam as cores verdes e amarelas são praticamente imperceptíveis quando analisados apenas os dados de velocidade média. Isto porque, o intervalo de velocidades médias das imagens em que aparecem as colorações verdes | amarelas | laranjas



| vermelhos são respetivamente: 941→1056 | 818→1137 | 736→880 | 477→506m/s. Depreende-se que um mesmo valor de velocidade pode ser enquadrado no intervalo da cor verde, amarela ou laranja. Ou seja, pela separação por cores, só é possível isolar com segurança as duas tomografias em que os dados são realmente baixos em comparação com os demais dados. O que significa dizer que o dado isolado de velocidade média, no caso de estudo, é suficiente para destacar apenas as árvores consideradas em muito mau estado, ou seja, para as quais são encontradas médias de velocidade abaixo de 506m/s.

De uma forma geral, as elevadas variâncias obtidas confirmam que os dados de velocidade registados pelo Arbotom® são discrepantes entre si, seja entre os sensores, seja entre a base e o topo da secção de cada indivíduo. O que é totalmente esperado, pois como é óbvia, a única hipótese em que os dados comportar-se-iam na forma de algum padrão pré-definido seria no caso de todas as árvores estarem igualmente sãs ou igualmente doentes, o que acaba por ser pouco provável na natureza.

Para este método o agrupamento por cores também aponta para diferenças subtis entre o grupo classificado como verde e o grupo classificado como amarelo (Tabela 4).

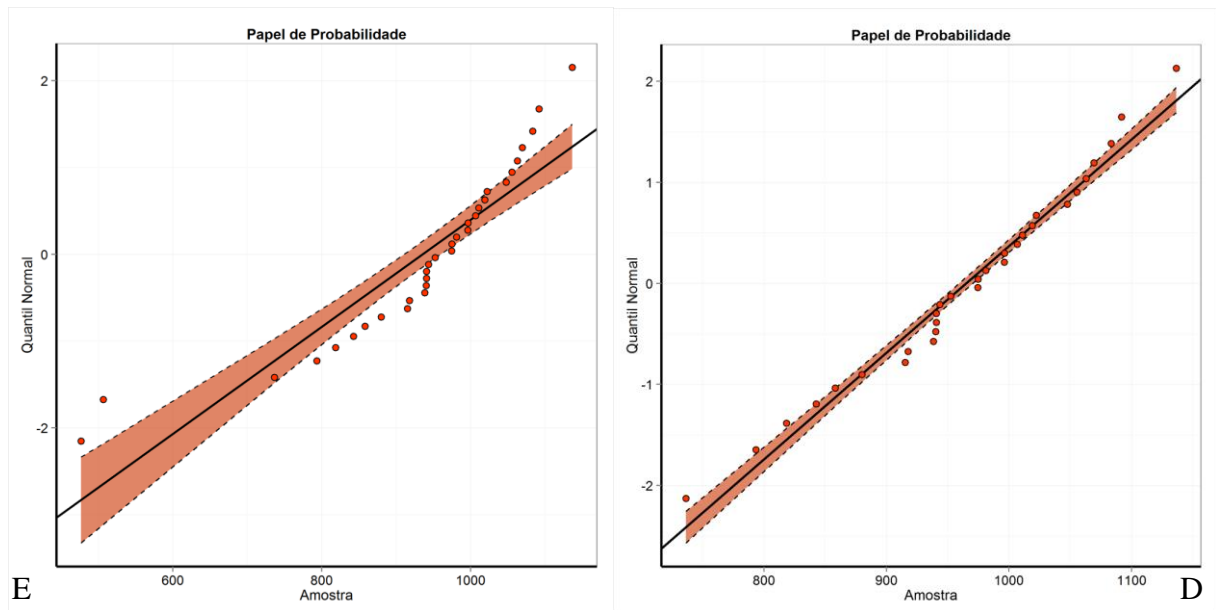
**Tabela 4 - Dados de velocidade por grupo.**

Dados de velocidade <i>Tília tomentosa</i>		Dados de velocidade <i>Tília tomentosa</i>		Dados de velocidade <i>Tília tomentosa</i>		Dados de velocidade <i>Tília tomentosa</i>	
Média	996	Média	985	Média	813	Média	491
DP	39	DP	80	DP	54	DP	15
Variância	1557	Variância	6461	Variância	2903	Variância	221
Mediana	1030	Mediana	972	Mediana	829	Mediana	456
Mínimo	348	Mínimo	252	Mínimo	299	Mínimo	195
Máximo	1368	Máximo	1549	Máximo	1179	Máximo	850

A estatística pode ser aplicada com o objetivo de facilitar a compreensão de determinado comportamento de uma população. Para testar hipóteses sobre a média, por exemplo, é preciso conhecer a forma como se dá a distribuição dos dados nessa população, uma vez que testes paramétricos, como o tradicional teste *t-student*, só podem ser utilizados para populações que apresentem distribuição normal. Assim, o primeiro passo é verificar a condição de normalidade, ou seja, validar a hipótese de distribuição normal dos dados (Portal Action, 2016).

Os testes de normalidade servem para verificar se a distribuição de probabilidade associada a um conjunto de dados pode ser aproximada pela distribuição normal. Aplica-se, por exemplo, o teste de *Kolmogorov – Smirnov*, que observa a máxima diferença entre a função de distribuição acumulada assumida para os dados, no caso a Normal, e a função de distribuição empírica dos dados, no caso o valor tabelado tido como valor crítico, para um dado nível de significância (Portal Action, 2016).

Para realizar os testes de normalidade foi utilizado o *Software ActionStat* e confirmou-se que se deve rejeitar a hipótese de normalidade, uma vez que os valores de  $p$  são menores que 5%, para todos os testes. Assim, com nível de confiança de 95%, temos evidências de que os dados não seguem uma distribuição normal. No entanto, quando colocamos os valores de velocidade num gráfico de dispersão, pode-se observar que, quando são removidos os *outliers*, no caso em estudo são representativas do único exemplar que de facto se afasta do comportamento dito “normal” esperado para velocidade na espécie, as demais árvores podem ser agrupadas como uma população cujas velocidades se aproximam de um padrão de distribuição normal. Para realmente testar a hipótese de encontrar um intervalo ótimo para árvores saudáveis, poderia ser feita uma análise do tipo Cluster para separar dados de árvores saudáveis dos dados de árvores não saudáveis. Mas para a finalidade deste trabalho, o ensaio de probabilidades foi considerado suficiente (Figura 36).



Testes de Normalidade		
Testes	Estatísticas	P-valores
Anderson - Darling	1,530973911	0,0005
Kolmogorov - Smirnov	0,196015296	0,003
Shapiro - Wilk	0,837687166	0,0002
Ryan - Joiner	0,911217654	0,0005

Figura 36 - Gráficos de normalidade para dados de velocidade da onda de tensão propagada na árvore E. Gráfico de dispersão com todas as 36 tomografias em um eixo X de velocidade em m/s por área plotada em vermelho onde deveria estar localizados dados de normalidade. D. Gráfico de dispersão após a remoção dos dados de velocidade da onda propagada na árvore relativos a 2 tomografias realizadas em que pode ser vista a aproximação dos dados ao comportamento de normalidade.

Após esses procedimentos, torna-se viável alguma análise acerca do conjunto de indivíduos que compõem a espécie *Tilia tomentosa* no Parque Dr. Manuel Braga. Para tal foi construída uma tabela onde constam informações sobre os dados, com enfoque no conjunto observado, e não nos indivíduos. Sob essa ótica, a velocidade média já não é o melhor dado a ser observado, sendo mais destacáveis os valores de mínimo e de máximo encontrados, que permitem observar as reais diferenças entre exemplares saudáveis em contraposição a exemplares que requerem alguma monitorização.

É importante não considerar, para fins de observação da média de velocidade para a espécie, os pontos representativos de exemplares em mau estado, ou seja, deve-se excluir os exemplares em mau estado, como o exemplar 01, sob pena de

comprometer eventuais inferências acerca da velocidade de onda propagada em exemplares sadios da espécie *Tilia tomentosa* (Tabela 5).

**Tabela 5 - Dados de velocidade da onda (m/s) para *Tilia tomentosa* Moench. Com todos os exemplares (esquerda) e após exclusão de outliers\* (direita).**

Dados de velocidade <i>Tilia tomentosa</i>		Dados de velocidade * <i>Tilia tomentosa</i>	
Média	935	Média	965
DP	145	DP	92
Variância	21026	Variância	8405
Mediana	963	Mediana	975
Mínimo	195	Mínimo	252
Máximo	1549	Máximo	1549

Os resultados médios encontrados, quando ajustados por meio da exclusão das árvores em mau estado, se assemelham aos valores esperados para tílias, que “*variam entre 940–1183 m/s, para velocidade da onda de tensão radial, para tempo de voo por unidade de comprimento*”, de acordo com Claus Mattheck e Klaus Bethge, que em 1993 foram os responsáveis pelos primeiros relatórios publicados em que ondas de choque foram utilizadas para determinar a degradação interna de árvores vivas (*in* Ross, Brashaw, & Pellerin, 2015).

Para os exemplares objeto de estudo da espécie *Tilia tomentosa* Moench, os valores máximos que representam a sanidade da madeira analisada estão subestimados em relação aos valores de referência estipulados para o gênero *Tilia*, uma vez que foram encontradas velocidades máximas de até 1549 m/s em material saudável. Para além disso, se considerarmos que a velocidade mínima esperada para um exemplar saudável, conforme os valores de referência tabelados para o gênero, é de cerca de 940m/s; e se considerarmos ainda que não foram encontradas estruturas mecanicamente comprometidas, é possível que o intervalo de confiança dos valores de velocidade que apontem para a sanidade da árvore, no

caso da *Tilia tomentosa* Moench, seja mais alargado, uma vez que em todos os grupos foram encontrados valores mínimos entre 195-348m/s.

### 3.7 Resultados gerais Arbotom® - base vs. topo

Dos 16 exemplares avaliados, 10 árvores apresentaram condição interna mais homogênea, são os exemplares: 01, 03, 04, 13, 19, 22, 72, 81, 82, 94; e 06 árvores apresentaram heterogeneidade entre os resultados da base e os resultados do topo, são os exemplares: 02, 12, 71, 75, 92, 97 (Tabela 6).

**Tabela 6 - Resultados por cor baseados nos dados gerados pelo Arbotom®.**

Exemplar	1	2	3	4	12	13	19	22	71	72	75	81	82	92	94	97
Arb®A - base	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arb®B - topo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

À exceção do exemplar 97, todas as árvores da amostra apresentaram uma condição de topo igual ou pior que a condição da base, em termos de homogeneidade do material lenhoso. Confirmou-se, portanto, que o estado dos ramos e/ou da parte superior está a afetar de forma mais relevante a sanidade das árvores.

### 3.8 Resultados Arbotom® vs. Análise visual

O Arbotom® é um equipamento que recolhe dados representativos da condição interna da árvore e permite uma boa aproximação de inferências acerca da sanidade desta. No entanto, por si só não é suficiente para atestar eventual condição de risco, fazendo-se necessárias outras componentes para uma avaliação completa.

Em relação à amostra de 16 exemplares em que se utilizou o equipamento, para 14 dos 16 exemplares avaliados, a análise visual levou a resultados equivalentes ou mais rigorosos que os resultados obtidos com o método Arbotom®. Em apenas 2 casos o equipamento demonstrou haver uma condição interna pior, na

base ou no topo, do que aquilo que foi observado externamente, nomeadamente para os exemplares 19 e 97 (Tabela 7).

**Tabela 7 - Resultados totais: Arbotom® e Análise visual.**

Exemplar	1	2	3	4	12	13	19	22	71	72	75	81	82	92	94	97
Arb® base/topo	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Análise Visual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A importância do uso do equipamento Arbotom®, assim como de outras ferramentas de diagnóstico, fica evidenciada exatamente nos casos dos exemplares 19 e 97. Isto porque, os casos mais preocupantes, em termos de risco mau avaliado, residem nas omissões ou falhas da análise humana, ou seja, quando nas análises visuais não são perceptíveis falhas internas que podem até mesmo levar à queda da árvore.

## CAPÍTULO IV | Conclusões

Em Análise de risco de queda de árvores, não existe uma metodologia única replicável, justificadamente pelo facto de as especificidades de cada local e de sua flora tornarem a padronização da análise inviável. No entanto, há uma rotina básica recomendada em diferentes manuais que consiste em primeiramente avaliar a relevância dos alvos na zona de impacte no caso de colapso de pernas ou mesmo de queda da árvore e posteriormente proceder à avaliação da árvore para que a tomada de decisão seja complementada pela probabilidade de falha mecânica do todo ou de parte da árvore, sempre que possível com o auxílio de equipamento próprio capaz de conferir objetividade à avaliação.

A queda de ramos ou o colapso de um indivíduo arbóreo no Parque Dr. Manuel Braga pode acarretar danos ao património público, assim como comprometer a segurança pública, visto ser a área verde em questão bastante frequentada, repleta de bancos debaixo das árvores, para além de ser área de acesso a outras partes das margens do rio Mondego. Posto isso, certamente toda a área verde é considerada de alto risco. Quanto à avaliação dos exemplares de *Tilia tomentosa* Moench, das 103 árvores submetidas à inspeção visual, 37 encontram-se em bom estado e 66 apresentam condição potencial de risco associado.

Considerando apenas a inspeção visual, dentre as 66, 6 árvores podem ser classificadas como de risco imediato devido à condição evidente de decaimento, capaz de comprometer a estabilidade da árvore, sendo cabida a adoção de medidas imediatas de substituição, monitorização ou aprofundamento de inspeções no sentido de prevenir quedas, danos ao património ou a transeuntes. Para as demais 60 árvores desse universo é recomendável a elaboração de um programa de monitorização intensiva para prevenção de danos, no que tange às consequências para a segurança pública das podas e interferências nos ramos realizadas até o momento, especialmente na porção Sudeste (SE) do parque.

Quando se utilizam equipamentos não destrutivos de medição de velocidades de onda na madeira, considera-se de risco, os exemplares cuja seção transversal do tronco apresente uma redução de velocidade maior que 25% do padrão de referência (Allison & Wang, 2015), no entanto a inexistência de um banco de dados compartilhado em investigação não destrutiva da madeira dificulta a análise dos resultados por espécie.

O uso do equipamento Arbotom® para uma amostra de 16 exemplares, dentre os 103 exemplares analisados visualmente, permitiu abordar com mais objetividade a questão da estabilidade das árvores. A média de velocidade, das árvores consideradas saudáveis, foi de 965m/s, ou seja, apenas o exemplar 01 da amostra apresenta valores médios de velocidade inferiores a 724m/s, relativos aos 25% de referência tabelada existente (Allison & Wang, 2015). Mesmo para esse exemplar, foi comprovada a estabilidade mecânica da estrutura, assim como para os demais 15 exemplares avaliados.

O valor mínimo de velocidade da onda de tensão encontrado foi de 195m/s e o valor máximo foi de 1549 m/s. Assim, em termos de ecologia da espécie, uma das possibilidades é que o intervalo de confiança dos valores de velocidade que apontem para a sanidade da árvore, seja mais alargado para *Tilia tomentosa* Moench, que os valores tabelados para o gênero, que variam entre 940 - 1183 m/s (Allison & Wang, 2015).

Por fim, é de ressaltar que as funções da árvore no ambiente compreendem nichos que não são facilmente valorados pelo Homem. O corte de uma árvore pode comprometer indiretamente a disponibilidade de recursos para fungos e micro-organismos e, conseqüentemente, reduzir os níveis de Biodiversidade no ambiente urbano (Lonsdale *et al.*, 2008).

No caso de estudo, excetuada a ocorrência de eventos de força maior, a principal fonte potencial de risco direto é a queda de ramos, pois em termos de estrutura e estabilidade, mesmo os exemplares considerados comprometidos na análise



visual, quando submetidos à inspeção por equipamento, provaram ser capazes de manter a estabilidade mecânica de sua estrutura.

É temerário considerar avaliações realizadas exclusivamente pelos resultados obtidos a partir de um equipamento, ou exclusivamente pela avaliação visual humana. Tanto em um caso, como no outro, os resultados podem não ser específicos o suficiente e culminar em conclusões equivocadas. Idealmente, deve-se aplicar a análise múltipla como forma de minimização dos riscos, desenvolver um banco de dados com as velocidades por espécie e realizar novas medições com o uso do equipamento Arbotom® nos mesmos exemplares da amostra, a fim de monitorizar o estado de decaimento ao longo dos anos.

## CAPÍTULO V | Referências bibliográficas

- Allison, R. B., & Wang, X. (2015). Nondestructive testing in the Urban Forest. In R. J. Ross (Ed.), *Nondestructive evaluation of wood* (Second, pp. 82–93). Forest Products Laboratory - USDA. Retrieved from WWW.FPL.FS.FED.US
- Almeida, A. C. de. (1996). Um olhar verde sobre as ruas e rotundas de coimbra \*. In *Actas do I Colóquio de Geografia de Coimbra* (pp. 115–118). Coimbra.
- Alméras, T., & Fournier, M. (2009). Biomechanical design and long-term stability of trees: Morphological and wood traits involved in the balance between weight increase and the gravitropic reaction. *Journal of Theoretical Biology*, 256(3), 370–381. <http://doi.org/10.1016/j.jtbi.2008.10.011>
- Angwin, P. A., Cluck, D. R., Zambino, P. J., Oblinger, B. W., & Woodruff, W. C. (2012). Hazard Tree Guidelines For Forest Service Facilities and Roads in the Pacific Southwest Region, 2012(April).
- Bittencourt, R. (2012). Métodos Quantitativos Estatísticos.
- Encyclopaedia Britannica, 2016. Encyclopædia Britannica® Online. Disponível em: <https://www.britannica.com/plant/Malvaceae>. Aceido a 09 de novembro de 2016.
- Fundação Serralves. (2016). *Tilia tomentosa*. Retrieved October 27, 2016, from <http://biodiversidade.serralves.pt/pt/>
- Herbário de Plantas Medicinais da Universidade de Coimbra, 2016. Disponível em: [http://www.uc.pt/ffuc/patrimonio\\_historico\\_farmaceutico/colecao/herbario/t](http://www.uc.pt/ffuc/patrimonio_historico_farmaceutico/colecao/herbario/t). Acedido a 17 de agosto de 2016.
- Infraestruturas de Portugal - IP S.A., 2016. Abate de plátanos em via pública no Porto. Disponível em <http://www.arvoresdeportugal.net/2010/06/resposta-da-ep-ao-pedido-pedido-de-informacao-a-estradas-de-portugal-%E2%80%93>

platanos-da-circunvalacao/. Acedido a 13 de agosto de 2016.

Instituto Superior de Agronomia -ISA/Lisboa, 2016. Avaliação do risco de ruptura em Arvoredo. Disponível em <https://www.isa.ulisboa.pt/lpvva/servicos-a-comunidade/avaliacao-do-risco-de-ruptura-em-arvoredo>. Acedido em 13 de agosto de 2016.

IPT, 2016 - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP. 2016. Av. Prof. Almeida Prado 532 Cid. Universitária - Butantã. 05508-901 São Paulo/SP - F +55 11 3767-4000. Disponível em: <http://www.ipt.br/noticia/288.htm> | <http://www.ipt.br/noticia/387.htm>. Acedidos a 31 de outubro de 2016.

Koeser, A. K., Hasing, G., Mclean, D., & Northrop, R. (2013). Tree Risk Assessment Methods : A Comparison of Three Common Evaluation Forms 1.

Kühn, M., Juhlin, C., Held, H., Bruckman, V., Tambach, T., Kempka, T., A. Ferreira, Pardal, J., Ferreira, C. S.S., Soares, D.D.J. Malta, M. & Vilhena, J. (2013). Improving Urban Ecosystems Resilience at a City Level the Coimbra Case Study. *Energy Procedia*, 40, 6–14. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.08.002>

Lin, C., Kao, Y., Lin, T., Tsai, M., Wang, S., Lin, L. & Chan, M. (2008). International Biodeterioration & Biodegradation Application of an ultrasonic tomographic technique for detecting defects in standing trees. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 62(4), 434–441. <http://doi.org/10.1016/j.ibiod.2007.09.007>

Lonsdale, D., Pautasso, M., & Holdenrieder, O. (2008). Wood-decaying fungi in the forest: Conservation needs and management options. *European Journal of Forest Research*, 127(1), 1–22. <http://doi.org/10.1007/s10342-007-0182-6>

Lopes, L. (2011). Inventário do Património Arquitectónico. Retrieved May 11, 2016, from [http://www.monumentos.pt/Site/APP\\_PagesUser/SIPA.aspx?id=10879](http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=10879)

Marques, D. (2009). O contributo de estudos climáticos à escala local para o ordenamento O exemplo de Coimbra ( Portugal ). In *Actas* (pp. 3394–3415).

- Matheny, B. N., Clark, J., & Kingdom, U. (1990). TREE What We Know ( and What We Don ' t Know ), 28–33.
- Oliveira, S., & Lopes, A. (2007). *VI Congresso da Geografia Portuguesa Lisboa, 17-20 de Outubro de 2007.*
- Pinto, D., & Gaspar, P. (2009). Agentes meteorológicos e qualidade do ar na cidade de Coimbra ( Portugal ) (pp. 3127–3146).
- PortalAction, 2016. Ambiente virtual de aprendizagem. Disponível em: <http://www.portalaction.com.br/ambiente-virtual-de-aprendizado>. Acedido a 17 de agosto de 2016.
- Rinn, F. (2003). Arbotom® Version 5. User manual. Disponível em [www.rinntech.de](http://www.rinntech.de), Acedido a dezembro de 2015.
- Ruxton, G. D. (2014). Why are so many trees hollow ?, 2014–2016. In *Biology letters*, University of St Andrews, UK
- Sacramento, F. D. C. B. do. (2013). *Tomografia das árvores do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra : avaliação do estado de conservação Tomografia das árvores do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra : avaliação do estado de conservação.* Universidade de Coimbra.
- Santos, N. (2013). A nova vida do velho centro nas cidades portuguesas e brasileiras. In CEGOT (Ed.), . Coimbra: FLUC Geografia - Livros e Capítulos de Livros. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10316/21669>
- Shortle, W. C., & Dudzik, K. R. (2012). Wood Decay in Living and Dead Trees : A Pictorial Overview. *Gen. Tech Rep. NRS-97. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station., 26p.*
- Shortle, W. C., Dudzik, K. R., & Smith, K. T. (2010). Development of wood decay in wound-initiated discolored wood of eastern red cedar. *Holzforschung*, 64(4), 529–

536. <http://doi.org/10.1515/HF.2010.051>

Skatter, S., & Kucera, B. (2000). Tree breakage from torsional wind loading due to crown asymmetry. *Forest Ecology and Management*, 135(1-3), 97-103. [http://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00301-7](http://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00301-7)

Somps, M. and. (2010). Tree Risk Assessment. *Hort Science*, (Alameda Counte Flood Control), 26.

Spatz, H.-C., & Niklas, K. J. (2013). The latest version is at <http://www.amjbot.org/cgi/doi/10.3732/ajb.1200454> M ODES OF FAILURE IN TUBULAR PLANT ORGANS 1. *American Journal of Botany*, 100(2), 1-7. <http://doi.org/10.3732/ajb.1200454>

Stoffel, M. (2009). Mechanical stability and growth performance of trees. PhD thesis no. 1644, DEPARTEMENT DE GEOSCIENCES - GEOGRAPHIE UNIVERSITE DE FRIBOURG (SUISSE)

Streitwolf-engel, R., Boller, T., Wiemken, A., & Sanders, I. R. (1998). Van Der Heijden\_Nature\_1998, 74(1994), 69-72. <http://doi.org/10.1038/23932>

Țenche-constantinescu, A. M., Madoșa, E., Chira, D., Hernea, C., Țenche-constantinescu, R. V, Lalescu, D., & Borlea, G. F. (2015). *Tilia* spp . Urban Trees for Future, 43(1), 259-264. <http://doi.org/10.15835/nbha4319794>

Tree Management Bureau, D. (2012). Guidelines for Tree Risk Assessment and Management Arrangement On an Area Basis and on a Tree Basis, (December).

USDA Forest. (1992). *Urban Tree Risk Management: A Community Guide to Program Design and Implementation*. St. Paul, MN. Retrieved from <http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/uf/utrm/>

**ANEXOS | Formulários de avaliação e análise de risco de queda de árvores**

Anexo 1 - Sistema utilizado pelo Governo de Hong-Kong/China.

Tree Management Information System (TMIS) 樹木管理資訊系統  
Tree Risk Assessment Form 2 - Individual Tree  
樹木風險評估表格2：個別樹木

Please enable macro before using this workbook.  
請於填寫表格前啟用巨集  
(Please save this workbook as xls format)

**General Information 基本資料**

Dept. 部門/ Agency 機構:	Inspection officer 巡查人員:	Post 職位:
File Ref 檔案編號:	Endorsement Officer 覆核人員:	Post 職位:
Date of Inspection (dd/mm/yyyy) 巡查日期:	Last Inspection Date (dd/mm/yyyy) 上次巡查日期:	
Agency 機構/ Project 工程/ Contract No. 合約編號:		
Tree Risk Management Zone 樹木風險管理地點類別:	<input checked="" type="radio"/> category I <input type="radio"/> category II <input type="radio"/> category III	
Inspection Frequency 巡查週期:		

**Location Information 位置資料**

Tree ID (Dept. Ref.) 樹木編號(部門參考):	Tree Species 樹木品種:
Master Zone Departmental Ref. 主區編號:	
Sub Zone Departmental Ref. 副區編號:	
English Location 英文地點:	
Chinese Location 中文地點:	
Nearby Utility Post No. 最近公用設施編號:	
Coordinates 座標 * (HK1980 GRID)	Northing 坐標北 (Y)    Easting 坐標東 (X)
Is the tree on Tree Register? 是否樹木登記冊內樹木? <input type="checkbox"/> Yes 是	Is the tree a Stone Wall Tree? 是否石牆樹? <input type="checkbox"/> Yes 是
Tree Register No. 樹木登記冊號碼:	OVT No. 古樹名木:
Location Types 地點類別: (multiple answers allowed 可選多於一項):	<input type="checkbox"/> Roadside Landscaped Area 路旁綠化地區 <input type="checkbox"/> Central Divider 中央分隔帶 <input type="checkbox"/> Tree Pit 樹穴 <input type="checkbox"/> Village Environs 鄉村範圍 <input type="checkbox"/> Public Park/Recreation Venue 公園/康樂場地 <input type="checkbox"/> Unallocated Government Land 未撥用的政府土地 <input type="checkbox"/> Remote Countryside 偏遠郊區 <input type="checkbox"/> Recreational Site/Facilities inside Country Park 郊野公園內康樂用地或設施 <input type="checkbox"/> Vacant Government Land 政府空置土地 <input type="checkbox"/> SIMAR Slopes 系統性維修責任的斜坡 <input type="checkbox"/> Others (please specify) 其他 (請說明):
No. of Tree Trunk(s) (#) 主幹數目(#):	DBH of tree trunk(s) (mm) (1.3m above soil level) 每株主幹胸徑(毫米) (離地面1.3米) #1 #2 #3 #4 #5    Aggregated DBH (mm) 總胸徑(毫米): 0
Tree Height(m) 樹高(米):	Tree Spread(m) 樹冠闊度(米):
Age class 樹齡組別:	<input type="radio"/> Young 幼 <input checked="" type="radio"/> Mature 成熟 <input type="radio"/> Senescent 衰老

**GENERAL CONDITION 基本狀況**

Foliage density 葉片密度: <input checked="" type="radio"/> Normal 正常 <input type="radio"/> Sparse 稀疏
Foliage colour 葉片顏色: <input checked="" type="radio"/> Normal 正常 <input type="radio"/> Chlorotic 萎黃 <input type="radio"/> Brown (signs of wilting) 褐色 (呈現枯萎徵狀)
Leaf Size 葉片大小: <input checked="" type="radio"/> Normal 正常 <input type="radio"/> Abnormal 不正常
Epicormics 水橫枝: <input type="radio"/> Yes 是 <input checked="" type="radio"/> No 否 (please specify the location and severity 請說明位置及嚴重程度)
Tree vigor 樹壯程度: <input checked="" type="radio"/> Good 好 <input type="radio"/> Average 良 <input type="radio"/> Poor 差
Lean 傾斜: <input type="radio"/> Yes 是 <input checked="" type="radio"/> No 否 Angle of lean from vertical 傾斜角度 <input type="radio"/> Natural due to phototropism/self-corrected 趨光性或已自然修正 <input type="radio"/> Recently tilted/Unstable root-plate 新近傾斜/根基不穩
Soil cracks or cracks in structure(s) behind lean 有土壤裂縫或裂縫處於傾斜部位背後: <input type="radio"/> Yes 是 <input checked="" type="radio"/> No 否

**CROWN CONDITION 樹冠狀況**    Severity of Defects 嚴重程度:

Heavy crown load 樹冠負荷大: <input type="radio"/> Yes 是 <input checked="" type="radio"/> No 否	
Live crown ratio 活冠比: (foliage canopy / total height of tree) 有葉的樹冠 / 樹高 <input checked="" type="radio"/> Low 低 < 40% <input type="radio"/> Medium 中 40 - 70% <input type="radio"/> High 高 > 70%	
Dieback twigs 枯枝: <input type="radio"/> <5% crown 樹冠 <input type="radio"/> 5 - 20% crown 樹冠 <input type="radio"/> 21 - 50% crown 樹冠 <input checked="" type="radio"/> >50% crown 樹冠	
Crown reduced/excessively thinned/ topped/ pollarded: 樹冠大幅減少或削頂或截頭 <input type="radio"/> Yes 是 <input checked="" type="radio"/> No 否	
Asymmetric tree canopy 樹冠不對稱: <input type="radio"/> Yes 是 <input checked="" type="radio"/> No 否	
Signs of pests and disease 呈現病蟲害徵狀: <input type="radio"/> Yes 是 <input checked="" type="radio"/> No 否 (If yes please specify type 如有請說明種類)	
Others (please specify) 其他 (請說明):	

**BRANCH CONDITION 枝幹狀況**    Severity of Defects 嚴重程度:  
(multiple answers allowed 可選多於一項):

<input type="checkbox"/> Co-dominant branches 等勢枝	
<input type="checkbox"/> Included bark 內夾樹皮	
<input type="checkbox"/> Cavities 樹洞	
<input type="checkbox"/> Cracks/splits 裂縫/裂縫	
<input type="checkbox"/> Wounds/Mechanical injury 明顯傷痕/機械破壞	
<input type="checkbox"/> Dead branches/Hangers 枯死/懸吊斷枝	
<input type="checkbox"/> Crooks/abrupt bends 不常規彎曲	
<input type="checkbox"/> Cross branches 橫枝	
<input type="checkbox"/> Heavy lateral limb 重側枝	
<input type="checkbox"/> Lion's tailing 獅尾 (excessive end weight on branch 枝端過重)	
<input type="checkbox"/> Bleeding/sap flow 淨液	
Parasitic/Epiphytic plants 寄生/附生植物 <input type="radio"/> Yes 是 <input checked="" type="radio"/> No 否 (If yes please specify type 如有請說明種類)	
Signs of pests and disease 呈現病蟲害徵狀: <input type="radio"/> Yes 是 <input checked="" type="radio"/> No 否 (If yes please specify type 如有請說明種類)	
Others (please specify) 其他 (請說明):	

TRUNK CONDITION 主幹狀況 <i>(multiple answers allowed 可選多於一項):</i>	Severity of Defects 嚴重程度:	ROOT CONDITION 根部狀況 <i>(multiple answers allowed 可選多於一項):</i>	Severity of Defects 嚴重程度:	SITE CONDITION 樹木生長環境 <i>(multiple answers allowed 可選多於一項):</i>
<input type="checkbox"/> #1 Decay/Cavity * 病爛樹洞(open 可見的) Length長: (mm) Width闊: (mm) Depth深: (mm)		<input type="checkbox"/> Root flare/collar not visible 根莖不現		<b>Site disturbed by construction activities</b> 鄰近環境受工程影響:
<input type="checkbox"/> #2 Decay/Cavity * 病爛樹洞(open 可見的) Length長: (mm) Width闊: (mm) Depth深: (mm)		<input type="checkbox"/> Root rot根部腐爛		<input type="checkbox"/> Road widening道路擴寬
<input type="checkbox"/> #3 Decay/Cavity * 病爛樹洞(open 可見的) Length長: (mm) Width闊: (mm) Depth深: (mm)		<input type="checkbox"/> Cracks/splits裂縫或裂開		<input type="checkbox"/> Drain replacement渠道重鋪
<input type="checkbox"/> Poor taper不良漸尖生長		<input type="checkbox"/> Cut/pruned roots 根部經切割或截根		<input type="checkbox"/> Soil grade reduce/increase 地表上升或下降
<input type="checkbox"/> Codominant trunks等勢幹		<input type="checkbox"/> Fungal fruiting bodies 呈現菌類子實體		<input type="checkbox"/> Site clearing地盤平整活動
<input type="checkbox"/> Included bark 內夾樹皮		<input type="checkbox"/> Dead surface roots 根部枯萎		<input type="checkbox"/> Soil heaving土壤脹起
<input type="checkbox"/> Cracks/splits 裂縫或裂開		<input type="checkbox"/> Exposed root根部外露		<input type="checkbox"/> Laying of new footpath 鋪設行人道
<input type="checkbox"/> Abnormal bark crack 不尋常樹皮裂縫		<input type="checkbox"/> Mechanical injury機械破壞		<input type="checkbox"/> Laying of underground utilities 鋪設地下設施
<input type="checkbox"/> Bulge 腫脹		<input type="checkbox"/> Termites/borers injury 白蟻或蛀心蟲蛀蝕		<input type="checkbox"/> New flower beds/ new lawn below tree在樹下加建花園/草坪
<input type="checkbox"/> Fungal fruiting bodies 呈現菌類子實體		<input type="checkbox"/> Root-plate movement 根基移位		<input type="checkbox"/> Others( <i>specify</i> ) 其他(請說明)
<input type="checkbox"/> Exposed dead wood 枯幹外露		<input type="checkbox"/> Girdling roots纏繞根		<b>Soil condition 土壤情況</b>
<input type="checkbox"/> Wounds/Mechanical injury明顯傷痕 機械破壞		<input type="checkbox"/> Rooting area restricted 根部伸展範圍受限制: Yes是 No否 <i>(If yes pls specify type 如有請說明)</i>		<input type="checkbox"/> Sandy 沙質
<input type="checkbox"/> Large wound/ crack/ decay on circumference 大範圍破壞或裂縫或腐爛		<input type="checkbox"/> Drain 渠道		<input type="checkbox"/> Clay 黏土
<input type="checkbox"/> Bleeding /Sap flow 淨液		<input type="checkbox"/> Footpath/pavement行人道		<input type="checkbox"/> Water logging 積水
<b>Signs of pests and disease</b> 呈現病蟲害徵狀: Yes是 No否 <i>(If yes, please specify type 如有, 請說明種類)</i>		<input type="checkbox"/> Road curb路圍		<input type="checkbox"/> Soil compaction 土壤被擠壓
<b>Others (please specify):</b> 其他(請說明)		<input type="checkbox"/> Retaining structure 護土結構		<b>(restricted root growth area inside dripline 於滴水線範圍內有障礙物限制根部延伸) Yes是 No否</b>
		<input type="checkbox"/> Footings or railings 地基或欄杆		<b>Width of Planting area 種植面積</b>
		<input type="checkbox"/> Others ( <i>please specify</i> ): 其他(請說明)		<input type="checkbox"/> < 1.2m
				<input type="checkbox"/> 1.3- 2m
				<input type="checkbox"/> 2.1- 3m
				<input type="checkbox"/> 3.1- 4m
				<input type="checkbox"/> > 4m
				<b>Tree location with exposure to wind</b> 樹木所在地點的受風情況:
				<input type="checkbox"/> Single tree單獨一棵
				<input type="checkbox"/> Tree with emergent canopy 樹冠層以上
				<input type="checkbox"/> Edge of a group of trees 樹群邊緣
				<input type="checkbox"/> Recently exposed新近暴露
				<b>Others (please specify):</b> 其他(請說明)

\* Please specify the location and aspect of Decay/Cavity in section of Tree Photos or Comments (e.g. Location of Decay/Cavity with height above ground level and aspect of Decay/Cavity opening)  
請於樹木相片或詳註部分詳細說明腐爛/樹洞的位置及方位例：腐爛/樹洞離地距離及腐爛/樹洞開口面向的方向

**TARGET (people or property potentially affected by tree/branch failure) 目標 (因樹木/枝幹倒下而致可能受影響的人或財產):**

Building 建築物  Parking 停車位  Traffic 交通  Recreation 康樂

Gathering point 聚集地點  Pedestrians 行人道  Hardscape 園藝景觀裝置

Others 其他 (*please specify 請說明*):

Can target be moved 能否移除目標?  Yes 是  No 否

Can use of site be restricted 可否限制場地的使用?  Yes 是  No 否

Frequency of use of location 使用該地點的頻密程度:  
 Occasional use 偶爾使用  Intermittent use 間歇使用  Frequent use 經常使用  Constant use 恆常使用

**HAZARD RATING 危害評估:**  
Tree or part likely to fall 樹木或枝條有可能倒下  
 Trunk 樹幹  Branch/limb 枝幹  Whole 整棵

Failure Potential + Size of Part + Target Rating = Hazard Rating  
 倒塌可能 + 部位大小 + 目標評估 = 危害評估

1 + 3 + 1 = 5

Failure potential 倒下的可能性:  
 1=low 低  2=medium 中  3=high 高  4=severe 極高

Size of part 部位大小:  
 1= < 150mm  
 2= 150 - 450mm  
 3= 451 - 750mm  
 4= > 750mm

Target rating 目標評估:  
 1 - occasional use 偶爾使用  
 2 - intermittent use 間歇使用  
 3 - frequent use 經常使用  
 4 - constant use 恆常使用

**REMEDIAL/RISK MITIGATION MEASURES**  
 風險減低措施 (*can tick more than one 可選多於一項*):

Remedial/Risk Mitigation measures taken.  
已施行的風險緩解措施 (please specify 請說明): \_\_\_\_\_

Remedial/Risk Mitigation measures proposed to be taken as specified below:  
將會施行以下所指明的風險緩解措施:

Pruning 修剪:  Remove defective parts 移去有缺陷部份  Crown cleaning 清理樹冠  
 Crown thinning 疏減樹冠  Remove stub 移去殘端部份  
 Crown raising 提升樹冠  Crown reduction 縮減樹冠

Tree Removal 移除樹木:

Cabling/Bracing/Propping 安裝纜索或支撐物:

Move Target 移走目標:

Restrict use within fall zone 限制可能發生樹木倒下或枝條斷裂的範圍使用

Pest/ disease control 控制病蟲害:

Needs further inspection within \_\_\_\_\_ months  Month  
需於 \_\_\_\_\_ 個月內再次檢查樹木  
(please specify 請說明): \_\_\_\_\_

	Anticipated Date of Completion 預計完成日期(dd/mm/yyyy)	Date of Completion 完成日期(dd/mm/yyyy)
Date:		
Date:		
Date:		
Date:		
Date:		
Date:		

Comments 評註:

**Attached Information 附夾資料**  
 (Maximum 20 attachments and total 40MB allowed 最多可容納20個附件並合計不多於40MB)  
 Attachment: 附件 (Please double click the yellow area to get the related file 請雙擊黃色部份並選取相關附件)

**Site Plan 場地平面圖**    
 (At least 1 Site Plan is provide 最少提供一個場地平面圖)  
 1   
 Description 說明:

**Tree Photo 樹木相片**    
 (At least 1 Tree Photo is provide 最少提供一個樹木相片)  
 1   
 Description 說明:

**Resistograph Chart 微鑽阻力測試**    
 1   
 Description 說明:

**Tomograph 聲納圖像**    
 1   
 Description 說明:

**Other Attachments 其他附件 (Please specific 請註明)**    
 1   
 Subject Title 標題:   
 Description 說明:

Note:  
 Please read in conjunction with TMO's Guidelines on Tree Risk Assessment and Management Arrangement and relevant Technical Circulars promulgated on Development Bureau website [www.trees.gov.hk](http://www.trees.gov.hk)  
 請參閱發展局網頁 [www.trees.gov.hk](http://www.trees.gov.hk) 樹木管理辦事處的樹木風險評估安排及管理指引及相關技術通告



Anexo 2 - Método da Sociedade Internacional de Arboricultura dos EUA.

# ISA Basic Tree Risk Assessment Form

Client \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_ Time \_\_\_\_\_  
 Address/Tree location \_\_\_\_\_ Tree no. \_\_\_\_\_ Sheet \_\_\_\_\_ of \_\_\_\_\_  
 Tree species \_\_\_\_\_ dbh \_\_\_\_\_ Height \_\_\_\_\_ Crown spread dia. \_\_\_\_\_  
 Assessor(s) \_\_\_\_\_ Time frame \_\_\_\_\_ Tools used \_\_\_\_\_

Target Assessment							
Target number	Target description	Target zone			Occupancy rate 1 - rare 2 - occasional 3 - frequent 4 - constant	Practical to move target?	Restriction practical?
		Target within drip line	Target within 1 x Ht.	Target within 1.5 x Ht.			
1							
2							
3							
4							

**Site Factors**  
 History of failures \_\_\_\_\_ Topography Flat  Slope  \_\_\_\_\_ % Aspect \_\_\_\_\_  
 Site changes None  Grade change  Site clearing  Changed soil hydrology  Root cuts  Describe \_\_\_\_\_  
 Soil conditions Limited volume  Saturated  Shallow  Compacted  Pavement over roots  \_\_\_\_\_ % Describe \_\_\_\_\_  
 Prevailing wind direction \_\_\_\_\_ Common weather Strong winds  Ice  Snow  Heavy rain  Describe \_\_\_\_\_

**Tree Health and Species Profile**  
 Vigor Low  Normal  High  Foliage None (seasonal)  None (dead)  Normal \_\_\_\_\_ % Chlorotic \_\_\_\_\_ % Necrotic \_\_\_\_\_ %  
 Pests \_\_\_\_\_ Abiotic \_\_\_\_\_  
 Species failure profile Branches  Trunk  Roots  Describe \_\_\_\_\_

**Load Factors**  
 Wind exposure Protected  Partial  Full  Wind funneling  \_\_\_\_\_ Relative crown size Small  Medium  Large   
 Crown density Sparse  Normal  Dense  Interior branches Few  Normal  Dense  Vines/Mistletoe/Moss  \_\_\_\_\_  
 Recent or planned change in load factors \_\_\_\_\_

**Tree Defects and Conditions Affecting the Likelihood of Failure**

**— Crown and Branches —**

Unbalanced crown  LCR \_\_\_\_\_ %  
 Dead twigs/branches  \_\_\_\_\_ % overall Max. dia. \_\_\_\_\_  
 Broken/Hangers Number \_\_\_\_\_ Max. dia. \_\_\_\_\_  
 Over-extended branches   
 Pruning history  
 Crown cleaned  Thinned  Raised   
 Reduced  Topped  Lion-tailed   
 Flush cuts  Other \_\_\_\_\_  
 Cracks  \_\_\_\_\_ Lightning damage   
 Codominant  \_\_\_\_\_ Included bark   
 Weak attachments  \_\_\_\_\_ Cavity/Nest hole \_\_\_\_\_ % circ.  
 Previous branch failures  \_\_\_\_\_ Similar branches present   
 Dead/Missing bark  Cankers/Galls/Burls  Sapwood damage/decay   
 Conks  Heartwood decay  \_\_\_\_\_  
 Response growth \_\_\_\_\_  
 Main concern(s) \_\_\_\_\_  
 Load on defect N/A  Minor  Moderate  Significant  \_\_\_\_\_  
 Likelihood of failure Improbable  Possible  Probable  Imminent  \_\_\_\_\_

**— Trunk —**

Dead/Missing bark  Abnormal bark texture/color   
 Codominant stems  Included bark  Cracks   
 Sapwood damage/decay  Cankers/Galls/Burls  Sap ooze   
 Lightning damage  Heartwood decay  Conks/Mushrooms   
 Cavity/Nest hole \_\_\_\_\_ % circ. Depth \_\_\_\_\_ Poor taper   
 Lean \_\_\_\_\_ ° Corrected? \_\_\_\_\_  
 Response growth \_\_\_\_\_  
 Main concern(s) \_\_\_\_\_  
 Load on defect N/A  Minor  Moderate  Significant   
 Likelihood of failure Improbable  Possible  Probable  Imminent

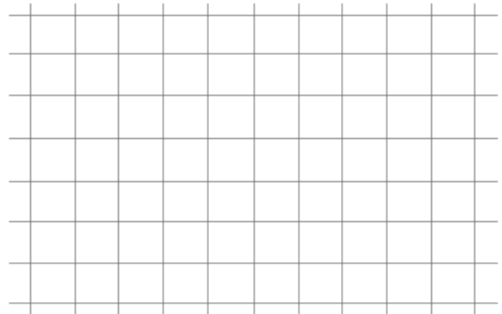
**— Roots and Root Collar —**

Collar buried/Not visible  Depth \_\_\_\_\_ Stem girdling   
 Dead  Decay  Conks/Mushrooms   
 Ooze  Cavity  \_\_\_\_\_ % circ.  
 Cracks  Cut/Damaged roots  Distance from trunk \_\_\_\_\_  
 Root plate lifting  Soil weakness   
 Response growth \_\_\_\_\_  
 Main concern(s) \_\_\_\_\_  
 Load on defect N/A  Minor  Moderate  Significant   
 Likelihood of failure Improbable  Possible  Probable  Imminent

Risk Categorization																			
Condition number	Tree part	Conditions of concern	Part size	Fall distance	Target number	Target protection	Likelihood								Consequences				Risk rating of part (from Matrix 2)
							Failure				Impact				Failure & Impact (from Matrix 1)				
							Improbable	Possible	Probable	Imminent	Very low	Low	Medium	High	Unlikely	Somewhat	Unlikely	Very likely	
1																			
2																			
3																			
4																			

Matrix 1. Likelihood matrix.

Likelihood of Failure	Likelihood of Impacting Target			
	Very low	Low	Medium	High
Imminent	Unlikely	Somewhat likely	Likely	Very likely
Probable	Unlikely	Unlikely	Somewhat likely	Likely
Possible	Unlikely	Unlikely	Unlikely	Somewhat likely
Improbable	Unlikely	Unlikely	Unlikely	Unlikely



Matrix 2. Risk rating matrix.

Likelihood of Failure & Impact	Consequences of Failure			
	Negligible	Minor	Significant	Severe
Very likely	Low	Moderate	High	Extreme
Likely	Low	Moderate	High	High
Somewhat likely	Low	Low	Moderate	Moderate
Unlikely	Low	Low	Low	Low



Notes, explanations, descriptions \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Mitigation options \_\_\_\_\_ Residual risk \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ Residual risk \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ Residual risk \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ Residual risk \_\_\_\_\_

Overall tree risk rating Low  Moderate  High  Extreme  Work priority 1  2  3  4   
 Overall residual risk Low  Moderate  High  Extreme  Recommended inspection interval \_\_\_\_\_  
 Data  Final  Preliminary Advanced assessment needed  No  Yes-Type/Reason \_\_\_\_\_  
 Inspection limitations  None  Visibility  Access  Vines  Root collar buried Describe \_\_\_\_\_

Fonte: <http://www.isa-arbor.com/store/product.aspx?ProductID=442>. Acedido em 13-07-2016.

Anexo 3 - Modelo adaptado do Departamento de Agricultura-USDA pelo Serviço Florestal do Alasca/EUA.

**HAZARD TREE EVALUATION**

Facility: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Evaluators: \_\_\_\_\_ Pg. \_\_\_\_ of \_\_\_\_

Tree ID _____ Species _____ DBH _____ Ht. _____ Site ID _____ Ref. Pt. _____ Bear _____ Dist. _____ Top: OK Dying Dead Recent/Old <input type="checkbox"/> Photo Branches: OK Dying Dead Detached Roots: OK Exposed Wounded Decayed %Impaired _____ Stem: OK Conks: _____ Cracks: Old Recent Decayed: Rind thickness _____ Avg. _____ Min. safe rind thickness = Dia. _____ x 0.15 = _____ Forks: Splitting Included bark Lean: _____ % Scar/Cavity/Canker: Open Closed %Circum. _____ % Targets: _____ Ratings: Failure Pot. _____ Damage Pot. _____ Hazard Rating _____ Recommended Treatment: _____ Comments: _____	Tree ID _____ Species _____ DBH _____ Ht. _____ Site ID _____ Ref. Pt. _____ Bear _____ Dist. _____ Top: OK Dying Dead Recent/Old <input type="checkbox"/> Photo Branches: OK Dying Dead Detached Roots: OK Exposed Wounded Decayed %Impaired _____ Stem: OK Conks: _____ Cracks: Old Recent Decayed: Rind thickness _____ Avg. _____ Min. safe rind thickness = Dia. _____ x 0.15 = _____ Forks: Splitting Included bark Lean: _____ % Scar/Cavity/Canker: Open Closed %Circum. _____ % Targets: _____ Ratings: Failure Pot. _____ Damage Pot. _____ Hazard Rating _____ Recommended Treatment: _____ Comments: _____
---	---

Tree ID _____ Species _____ DBH _____ Ht. _____ Site ID _____ Ref. Pt. _____ Bear _____ Dist. _____ Top: OK Dying Dead Recent/Old <input type="checkbox"/> Photo Branches: OK Dying Dead Detached Roots: OK Exposed Wounded Decayed %Impaired _____ Stem: OK Conks: _____ Cracks: Old Recent Decayed: Rind thickness _____ Avg. _____ Min. safe rind thickness = Dia. _____ x 0.15 = _____ Forks: Splitting Included bark Lean: _____ % Scar/Cavity/Canker: Open Closed %Circum. _____ % Targets: _____ Ratings: Failure Pot. _____ Damage Pot. _____ Hazard Rating _____ Recommended Treatment: _____ Comments: _____	Tree ID _____ Species _____ DBH _____ Ht. _____ Site ID _____ Ref. Pt. _____ Bear _____ Dist. _____ Top: OK Dying Dead Recent/Old <input type="checkbox"/> Photo Branches: OK Dying Dead Detached Roots: OK Exposed Wounded Decayed %Impaired _____ Stem: OK Conks: _____ Cracks: Old Recent Decayed: Rind thickness _____ Avg. _____ Min. safe rind thickness = Dia. _____ x 0.15 = _____ Forks: Splitting Included bark Lean: _____ % Scar/Cavity/Canker: Open Closed %Circum. _____ % Targets: _____ Ratings: Failure Pot. _____ Damage Pot. _____ Hazard Rating _____ Recommended Treatment: _____ Comments: _____
---	---

Fonte: [http://www.fs.usda.gov/detail/r10/forest-grasslandhealth/?cid=fsbdev2\\_038336](http://www.fs.usda.gov/detail/r10/forest-grasslandhealth/?cid=fsbdev2_038336) - Acedido em 13-07-2016.

Anexo 4 - Modelo adaptado do Departamento de Agricultura-USDA pelo Serviço Florestal de Minnesota/EUA.

### HAZARD TREE INSPECTION FORM

MAP

Unit \_\_\_\_\_

Subunit \_\_\_\_\_

Inspectors \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

Remarks \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Tree location or map number	Tree species	Defect(s)	Hazard potential H or M	Remarks	Recommended action	Action taken/date

Local Manager \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_

Source: MN DNR

USDA COMMUNITY TREE RISK EVALUATION FORM  
 Example Form \*


Location: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_ Inspector(s): \_\_\_\_\_

Tree #	Species	DBH	Location (Street Address)	Defect Code(s)	1	2	3	4	Description of Other Risk Factors	Risk Rating (Sum of Columns 1-4)	Corrective Action Code(s)	Action Completed	
					Probability of Failure	Size of Defective Part(s)	Probability of Target	Other Risk Factors (Optional)		3-12 pts		Date	Initials
					1-4 pts	1-3 pts	1-3 pts	0-2 pts					

\* This is an *example* form adapted from various sources by the US Forest Service, Northeastern Area Hazard Tree Training Team. The US Forest Service assumes no responsibility for conclusions derived from the use of this form. Managers should construct their own forms, based on need and experience. Revised: 4/03

Fonte: <http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/uf/utrm/> - Acedido em 13/07/2016.

Anexo 5 - Guia para avaliação visual de Tílias no Parque Dr. Manuel Braga.

<p>FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO VISUAL Tílias NO PARQUE DR. MANUEL BRAGA COIMBRA</p>			
<p>DATA: _____</p> <p>ÁRVORE Nº: _____</p>			
<p><b>PARÂMETROS PARA ANÁLISE</b></p>			
<p><b>TR</b> - Inclinação do Tronco</p>	0	Ao menos uma face reta	
	1	Levemente inclinado	
	2	Direção de queda aparente	
	3	Direção de queda nítida	
<p><b>CIB</b> - Condição Irregular da Base</p>	0	Ausência de deformação	
	1	Alguma deformação	
	2	Mais de uma deformação	
	3	Muitas deformações	
<p><b>RP</b> - Ramos com Problema</p>	0	Nenhum	
	1	Um ou poucos	
	2	Vários	
	3	Muitos e/ou ramo principal danificado	
<p><math>\Sigma</math> total dos Parâmetros = _____</p> <p><b>EA</b> - Estado da Árvore</p>	0	$\Sigma = 0$ a 3	
	1	$\Sigma = 4$	
	2	$\Sigma = 5$	
	3	$\Sigma = 6$ a 9	
<p><b>OBSERVAÇÕES</b></p>			
<p><b>IB</b> - Epifitismo</p>		<p><b>RC</b> - Ramos conectados</p>	
0	Ausência	0	Não
1	Presença	1	Sim