



RELAÇÃO DA TOMOGRAFIA ULTRASSÔNICA COM A VARIÇÃO DE RIGIDEZ EM DISCOS BIODETERIORADOS

Micael Gimenes Duarte, Raquel Gonçalves, Mariana Nagle dos Reis

RESUMO

Para determinar quando uma árvore começa a apresentar risco, é necessário conhecer quanto da resistência ou da rigidez inicial permanece em cada um dos elementos que a compõe (fuste, galhos e raízes), de forma a ser possível calcular quão próxima a mesma está de falhar. Na madeira atacada por fungos, o lenho torna-se menos resistente e menos rígido e, conseqüentemente, são esperadas reduções na velocidade de propagação de ondas. O objetivo dessa pesquisa foi caracterizar a rigidez do lenho sadio e afetado por processos de biodeterioração e avaliar a associação da tomografia ultrassônica com essa rigidez. Os ensaios foram realizados em árvores de *Cenostigma pluviosum* (Sibipiruna), do campus de Campinas da Unicamp, com diferentes tipos e estágios de biodeterioração. A caracterização da rigidez da madeira permitiu criar imagem representativa da variação interna da rigidez no disco (mapa de rigidez), que por sua vez foi comparada às imagens tomográficas dos discos. Os resultados da caracterização permitiram concluir que a rigidez na região de cerne é superior à do alburno, com diferença média de 15%. Para a região com deterioração, embora a média geral da rigidez tenha sido 17% inferior à obtida no cerne e 2% inferior à obtida no alburno, os resultados não foram conclusivos porque para alguns discos a rigidez da zona deteriorada superou as obtidas na madeira sem deterioração, o que não é esperado. As imagens tomográficas apresentam maior detalhamento da diferenciação dentro dos discos do que os mapas de rigidez, mas a região de alburno é, em geral, superdimensionada.

Palavras-chave: rigidez do lenho, velocidade de propagação de ondas de ultrassom, coeficiente de rigidez.

INTRODUÇÃO

Pela biomecânica a árvore é considerada um elemento estrutural sujeito a forças gravitacionais e de vento, fazendo-se necessário o conhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas, na condição saturada, além dos esforços normais e cisalhantes que nela atuam. A necessidade desse conhecimento torna importante o uso de ferramentas tecnológicas (equipamentos) para auxiliar a inspeção das árvores e, assim, obter parâmetros que possam ser utilizados no cálculo do risco de queda. O uso dessas tecnologias contribui para a tomada de decisão a respeito da manutenção ou da retirada de uma árvore, com segurança para a comunidade e respeitando a necessidade de manutenção dos serviços ambientais prestados pelas árvores para as cidades.

Para determinar quando uma árvore começa a apresentar risco, é necessário conhecer quanto da resistência ou da rigidez inicial permanece em cada um dos

elementos que a compõe (fuste, galhos e raízes), de forma a ser possível calcular quão próxima a mesma está de falhar.

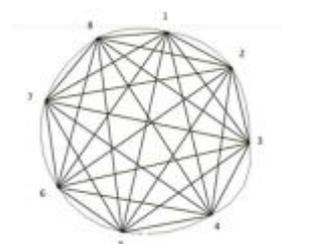
Na madeira atacada por fungos, o lenho torna-se menos resistente e menos rígido. Brazolin et al. (2014) comprovaram, estatisticamente, diferenças entre módulos de ruptura e de elasticidade em flexão no lenho sadio e deteriorado por fungos. Tais reduções de resistência e de rigidez produzem, como consequência, reduções na velocidade de propagação de ondas (Wang et al, 2014, Deflorio et al. 2007).

O ensaio de propagação de ondas é considerado um ensaio mecânico que permite se obter o coeficiente de rigidez de materiais (Bucur 2006) e tem sido amplamente utilizado para essa finalidade (Preziosa 1981 e 1982, Keunecke et al 2007, Gonçalves et al 2011, Vázquez et al 2015). Para este estudo, essa técnica será de grande importância, pois permite avaliar corpos de prova de pequenas dimensões, permitindo isolar as áreas que se pretende caracterizar.

Portanto, espera-se com essa pesquisa caracterizar a rigidez do lenho sadio e afetado por processos de biodeterioração e avaliar a associação da tomografia ultrassônica com essa rigidez.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios consistiram na obtenção da tomografia ultrassônica por meio do equipamento USLab (Agricef, Brasil – figura 1) em dois pontos distintos em cada árvore, sendo um localizado na altura do peito (DAP) e outro próximo ao colo da árvore com o solo (DAS). Para isso, utilizou-se malha de difração com 8 pontos de medição (Figura 2) e os ensaios foram realizados na árvore viva.



Para calcular as velocidades nos pontos que não foram percorridos pela rota de medição da malha de difração é utilizado um software desenvolvido no próprio grupo de pesquisa (ImageWood 3.0) que faz a interpolação dos valores vizinhos aos pontos medidos, em seguida, faixas de velocidade são associadas à faixas de cores, gerando uma imagem (Figura 3).

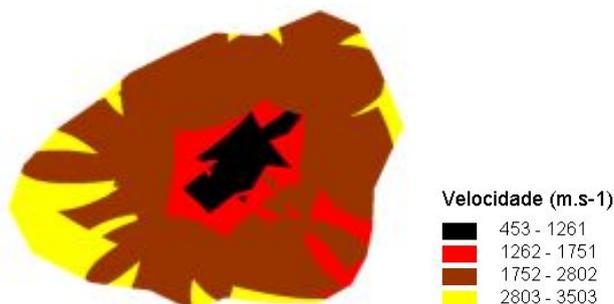
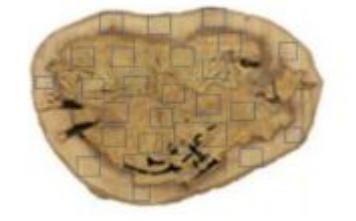


Figura 3. Exemplo de Imagem tomográfica gerada no ImageWood 3.0

A partir de toretes de aproximadamente 400 mm de altura retirados do tronco de cada espécime, foram feitas amostras a serem utilizadas nos ensaios de laboratório. Os

corpos de prova foram selecionados dentro do disco a fim de caracterizar a rigidez média em todos os pontos de diferentes regiões do disco (Figura 4).

Os ensaios de caracterização mecânica da rigidez foram realizados com equipamento de ultrassom (EP1000, Olympus, Japão ou USLab, Agricef, Brasil – Figura 5) utilizando transdutores de frequências variadas, em função da dimensão do corpo de prova, de forma a ser sempre garantida relação entre comprimento de onda e comprimento de percurso superior a três (Bucur 2006).



Para melhor definir as diferentes regiões, os discos foram polidos e fotografados (Figura 6). Os dados de coeficientes de rigidez permitiram obter os mapas de rigidez do disco. Para melhor visualização desses mapas foi utilizado o software livre Imagej para confeccionar máscaras, identificando as diferentes regiões de mesmo valor médio através de cores (Figura 7).



Figura 6. Discos fotografado após polimento



Figura 7. Máscara representativa da caracterização de rigidez do disco

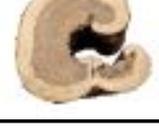
Com a média do coeficiente de rigidez correspondente a cada região nos diferentes discos foram confeccionadas as máscaras de rigidez com seus respectivos valores médios para a região de alburno (amarelo), cerne (marrom e laranja) e deterioração severa (vermelho). Para a elaboração das imagens tomográficas, foram definidas quatro faixas de velocidades representando: redução de até 36% da velocidade máxima do disco, que corresponde ao oco encontrado na amostra (preto); faixa de redução de 36% a 50% da velocidade máxima do disco, referente à deterioração severa (vermelho), faixa de 50% a 80% da velocidade máxima, referente ao cerne (marrom) e faixa de 80% a 100% correspondente ao alburno (amarelo).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de rigidez encontrados na região de cerne são superiores aos valores de alburno, com diferença média foi de 15% (Tabela 1). Em apenas quatro discos havia região com deterioração passível de serem obtidos corpos de prova, e embora a média geral da rigidez tenha sido 17% inferior à obtida no cerne e 2% inferior à obtida no alburno, os resultados não foram conclusivos porque para alguns discos a rigidez da zona deteriorada superou as obtidas na madeira sem deterioração, o que não é esperado.

Assim, é necessário realizar mais ensaios com essa metodologia para ser possível concluir se ela é adequada. As imagens tomográficas apresentaram maior detalhamento da diferenciação dentro dos discos do que os mapas de rigidez. Exemplos nos disco 346 DAS e 347 DAP, nos quais a imagem tomográfica capta a rachadura na região da medula e o mapa de rigidez indica ser tudo homogêneo (Tabela 1). Os discos 347 DAS, 349 DAS e 349 H apresentaram imagens tomográficas e mapa de rigidez muito semelhantes (Tabela 1). A região do alburno em geral fica ampliada nas imagens tomográficas (Tabela 1).

Tabela1 - Valores médios de coeficiente de rigidez para cada região acompanhado de suas respectivas máscaras de rigidez e imagens tomográficas.

	região	Média CLL (Mpa)			Mascara Rigidez	Imagem tomográfica	Legenda
		Alburno	Cerne	Deterioração			
	346 DAS	12744	15328				Velocidade (m/s) 451 - 995 995 - 1370 1370 - 2120 2120 - 2760
	346 DAP	11617	12480				Velocidade (m/s) 250 - 534 534 - 1074 1074 - 2044 2044 - 3014
	347 DAS 1	12588	14286				Velocidade (m/s) 373 - 800 800 - 1260 1260 - 1720
	347 DAP	10090	11626				Velocidade (m/s) 1111 - 1400 1400 - 2040 2040 - 2680
	348 DAS	12882	14180				Velocidade (m/s) 100 - 174 174 - 348 348 - 522 522 - 696
	348 DAP	11032	14597	14891			Velocidade (m/s) 368 - 136 136 - 204 204 - 272 272 - 340
	349 DAS	9825	12997	11006			Velocidade (m/s) 300 - 1100 1100 - 1800 1800 - 2500 2500 - 3200
	349 H	9012	10405	6383			Velocidade (m/s) 300 - 1000 1000 - 1800 1800 - 2600 2600 - 3400
	351 DAP	15617	13898	15326			Velocidade (m/s) 200 - 1100 1100 - 1500 1500 - 2400 2400 - 3000

CONCLUSÃO

A rigidez na região de cerne é superior à do alburno, com diferença média de 15%. Para a região com deterioração, embora a média geral da rigidez tenha sido 17% inferior à obtida no cerne e 2% inferior à obtida no alburno, os resultados não foram conclusivos

porque para alguns discos a rigidez da zona deteriorada superou as obtidas na madeira sem deterioração, o que não é esperado. As imagens tomográficas apresentam maior detalhamento da diferenciação dentro dos discos do que os mapas de rigidez, mas a região de alburno é, em geral, superdimensionada.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Raquel Gonçalves e a Mariana Nagle dos Reis pela oportunidade e pela partilha de conhecimentos.

À equipe do Laboratório de Ensaios Não Destrutivos por todo o apoio durante a realização desta pesquisa.

Por fim ao CNPQ pela concessão da bolsa de pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

Brazolin, s.; Tomazello filho, m.; Yojo, t.; neto, m.a.o.; Albuquerque, a.r.; Junior, c.r.s; (2014) Propriedades físico-mecânicas do lenho deteriorado por fungos apodrecedores de árvores de tipuana tipu, Cerne, Lavras, v. 20, n. 2, p. 183-190

Bucur V. Acoustics of wood. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 393p, 2006

Deflorio, G; Fink, S; Schwarze, F.W.M.R.; (2007) Detection of incipient decay in tree stems with sonic tomography after wounding and fungal inoculation. Wood Sci Technol. 42:117- 132.

Divos, F.; Szalai, L. (2002) Tree evaluation by acoustic tomography. In: Proceedings of the 13th International symposium on nondestructive testing of wood; 2002 August 19. 21; Berkeley, CA. Madison, WI: Forest Products Society: 251.256

Du, X. et al. (2015) Stress Wave Tomography of Wood Internal Defects using EllipseBased Spatial Interpolation and Velocity Compensation. BioResources, v. 10, n. 3, p. 3948-3962

Feng, H. et al. (2014) Tomographic image reconstruction using an interpolation method for tree decay detection. BioResources, v. 9, n. 2, p. 3248-3263

Gonçalves R, Trinca AJ, Cerri DGP (2011a) Comparison of Elastic Constants of Wood Determined by Ultrasonic Wave Propagation and Static Compression Testing. Wood Fiber Sci 43:64-75

Keunecke D, Sonderegger W, Pereteanu K, Lüthi T, Niemz P (2007) Determination of Young's and shear moduli of common yew and Norway spruce by means of ultrasonic waves. Wood Sci Technol 41:309-327.

Preziosa C (1982). Méthode de détermination des constantes élastiques du matériau bois par utilisation des ultrasons. Université d'Orléans, Orléans

Preziosa C, Mudry M, Launay J, Gilletta F (1981) Détermination des constantes élastiques du bois par une méthode acoustique goniométrique. CR Acad.Sc.Paris, Série II 293:91-94

Vázquez C, Gonçalves R, Bertoldo C, Baño V, Vega A, Crespo J, Guaita M (2015). Determination of the mechanical properties of *Castanea sativa* Mill. using ultrasonic wave propagation and comparison with static compression and bending methods. Wood Sci. Technol 49:607-622.

Wang, Xiping et al. Assessment of decay in standing timber using stress wave timing nondestructive evaluation tools. USDA FS Forest Products Laboratory General Technical Report FPL-GTR-147. US Dept. of Agriculture Forest Service. Washington, 2014.

Zeng, L. et al. (2013) Interference resisting design for guided wave tomography. Smart Materials and Structures, v. 22, n. 5, p. 055017