

5.03.99 – Engenharia Agrícola.

## INTERFERÊNCIAS DA MEDULA, DE NÓS E DO SISTEMA DE INTERPOLAÇÃO EM IMAGENS DE TOMOGRAFIA ULTRASSÔNICA

Guilherme A. Martins<sup>1\*</sup>, Stella S. A. Palma<sup>2</sup>, Raquel Gonçalves<sup>3</sup>

1. Estudante de IC da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP
2. Estudante de Mestrado da Fac. de Engenharia Agrícola da UNICAMP/Coorientadora
3. Professora Titular da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP/Orientadora

### Resumo:

A condição interna de árvores é um problema atual importante, sendo a tomografia acústica um dos métodos mais eficazes para sua identificação. O objetivo deste trabalho foi caracterizar o nível de interferência da medula, de nós e do sistema de interpolação nas imagens de tomografia ultrassônica. Na geração das imagens foram utilizados 44 discos, com medula centrada e madeira normal, medula aproximadamente centrada e com presença de nós e medula deslocada. Os resultados indicaram que discos com medula deslocada apresentaram o mesmo tipo de imagem que os discos com medula centrada, mas o aparecimento de cor representativa de velocidades inferiores ocorreu com maior frequência. Os discos com nós apresentaram velocidades entre 20% e 50% da velocidade máxima e maior ocorrência de cordões em formas de setas. Esse padrão pode representar interferência do sistema de interpolação, mas pode também ter relação com a presença do nó, que é uma singularidade localizada.

**Palavras-chave:** ensaio não destrutivo; inspeção de árvores; tomografia ultrassônica.

**Apoio financeiro:** FAPESP pelo apoio à pesquisa. CNPq e CAPES pelas bolsas de IC e mestrado, respectivamente.

**Trabalho selecionado para a JNIC pela instituição:** UNICAMP.

### Introdução:

Em centros urbanos a queda de árvore é uma grande preocupação do poder público, pois provocam graves acidentes e prejuízos econômicos. A tomografia acústica aplicada em árvores, com o objetivo de analisar a presença de anomalias ou deteriorações, é baseada na geração de imagens produzidas por meio de diferenciação de cores, que representam faixas de velocidades obtidas no material sob inspeção. Essas faixas de velocidade, por sua vez, estão associadas à deterioração e perda de rigidez da madeira.

Puccini *et al.* (2002) avaliaram a influência dos nós, da medula e do desvio de fibras na velocidade de propagação de ondas de ultrassom. Os resultados indicaram que a variação da velocidade foi altamente significativa nos modelos que envolviam, como variável independente, a presença de nós, de medula e de desvio de grã. A análise de correlação múltipla permitiu concluir que a característica mais associada à variação da velocidade de propagação da onda ultrassônica foi a presença do nó. Mesma conclusão foi obtida por Sandoz (1989), que indicou o nó como o defeito de maior influência na velocidade de propagação de onda. A velocidade longitudinal foi 85% e 89% da velocidade na madeira sem a singularidade para nós e medula, respectivamente (Puccini, 2002).

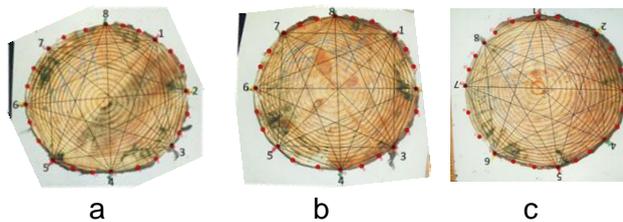
Outros aspectos que influenciam as imagens geradas dos discos quando são utilizados softwares computacionais é o sistema de interpolação.

O algoritmo de interpolação utilizado nesse projeto foi o *Inverso do quadrado*, método adotado no software *ImageWood 2.0*, desenvolvido pelo próprio grupo de pesquisa. Do trabalho desenvolvido por Trinca (2014), as interpolações resultantes pelo método *Inverso do quadrado* geralmente apresentam interferências nas imagens produzidas. Essas interferências se apresentam como “cordões” com formas de setas, e devem ser conhecidas para que as imagens sejam adequadamente interpretadas. Bucur (2010) observa que interferências provenientes dos métodos de interpolação, reconhecidas e assimiladas pelos pesquisadores, não produzem erros de interpretação, pois há um padrão que permite diferenciar as interferências do resultado efetivo.

O objetivo do trabalho foi caracterizar a interferência da medula, de nós e do sistema de interpolação em imagens de tomografia ultrassônica, pois árvores, em geral, apresentam essas singularidades e é necessário saber se tais singularidades têm o potencial de afetar a identificação de defeitos.

### Metodologia:

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos em ensaios de ultrassom utilizando toretes de *pinus sp.* De cada torete foram cortados 2 discos (denominados a e b). Os discos foram avaliados detalhadamente e 44 foram escolhidos para que a amostragem fosse composta de discos com medula aproximadamente centrada e madeira aparentemente normal (Figura 1a), com medula aproximadamente centrada e com presença de nós (Figura 1b) e com medula deslocada (Figura 1c). Os discos com medula deslocada possuem zona de madeira de reação (Figura 1c).



**Figura 1.** Disco com presença medula aproximadamente centrada e madeira aparentemente normal (a), medula aproximadamente centrada e nós (b) e medula deslocada (c)

Durante os ensaios foram geradas as coordenadas do contorno do disco e as coordenadas dos pontos de medição. Na Figura 1 também é possível visualizar a malha que representa as rotas de medição, denominada de malha de difração. Para cada ponto de medição da malha de difração foram determinados os tempos de propagação das ondas de ultrassom.

Assim, a primeira etapa da pesquisa foi organizar os dados em planilhas com formato adequado para serem inseridas no software *ImageWood 2.0*, desenvolvido pelo próprio grupo de pesquisa.

Para a obtenção da planilha “Contorno” utilizou-se software desenvolvido no grupo de pesquisa, o qual permite a obtenção das coordenadas X, Y dos pontos de contorno do disco. Para a obtenção da planilha “Tempo” os dados foram organizados de forma a se ter as coordenadas dos pontos iniciais ( $X_i$ ,  $Y_i$ ) e finais ( $X_f$ ,  $Y_f$ ) correspondentes às rotas de medição na malha de difração, e o tempo de propagação das ondas obtido no ensaio de ultrassom em cada uma destas rotas.

Após a elaboração das planilhas, foi iniciada a geração das imagens dos discos no software *ImageWood 2.0*. A imagem gerada pelo software utiliza cores associadas aos intervalos de velocidade adotados. O software calcula as velocidades mínima ( $V_{MIN}$ ) e máxima

( $V_{MAX}$ ) obtida no discos, nas diferentes rotas de medição. Foram adotadas 6 faixas de velocidades, sempre associadas a uma porcentagem da  $V_{MAX}$  obtida no disco. Esse procedimento teve como objetivo criar um padrão na comparação das imagens nos diferentes discos:

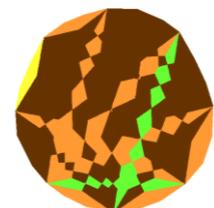
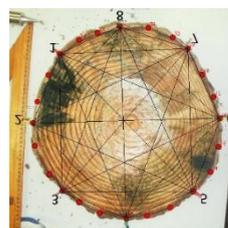
1.  $V_{MIN}$  até 20% da  $V_{MAX}$ : vermelho
2. de 20% a 30% da  $V_{MAX}$ : rosa
3. de 30% a 50% da  $V_{MAX}$ : amarelo
4. de 50% a 70% da  $V_{MAX}$ : verde
5. de 70% a 80% da  $V_{MAX}$ : laranja
6. de 80% até a  $V_{MAX}$ : marrom

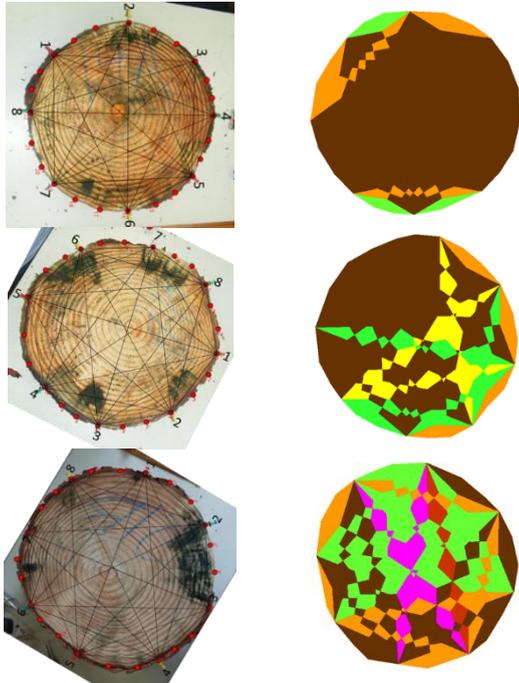
As imagens tomográficas geradas pelo software foram comparadas com as fotos de cada disco, sendo possível analisar o comportamento da faixa de velocidade da onda na madeira nas diferentes condições dos discos. Quanto à questão de interferências do sistema de interpolação utilizado pelo software, a análise foi feita para confirmar padrão anterior já obtido pelo grupo de pesquisa, que indica que imagens em forma de setas formadas na tomografia representam interferências do sistema de interpolação e devem ser desprezadas na interpretação das imagens.

### Resultados e Discussão:

#### ▪ Discos com medula aproximadamente centrada e sem nós

As velocidades variaram de 70% a 100% da  $V_{MAX}$ . Em alguns discos apareceram as cores verde e amarelo, em geral nas bordas. As rotas das bordas são tangenciais (velocidades inferiores) e, em geral, também mais susceptíveis à ocorrência de pequenas rachaduras e imperfeições, que podem ser a causa das velocidades mais baixas. As cores rosa, amarelo e verde também apareceram nas imagens em forma de setas, que foram identificadas como interferências do sistema de interpolação. No entanto, há imagens que indicam algum tipo de deterioração na madeira, como por exemplo, o disco que apresenta a zona inferior direita com muitas partes em amarelo ou o disco com a cor rosa na parte central.

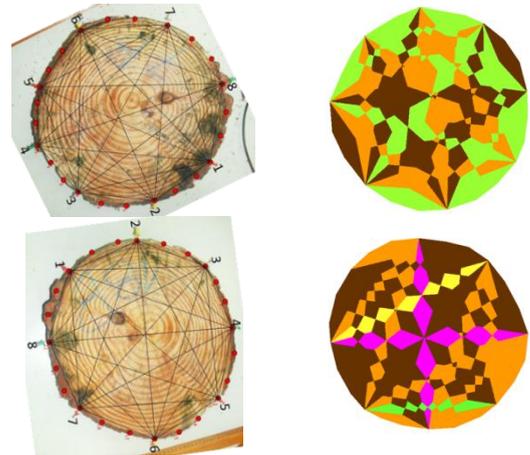
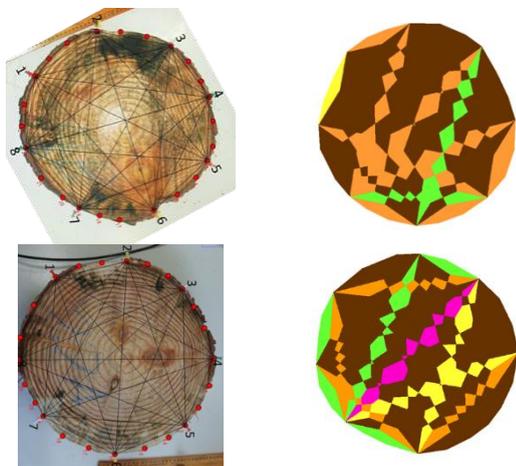




**Figura 2.** Discos com medula aproximadamente centrada e sem nós e imagens de tomografia ultrassônica

▪ Discos com medula aproximadamente centrada e com nós

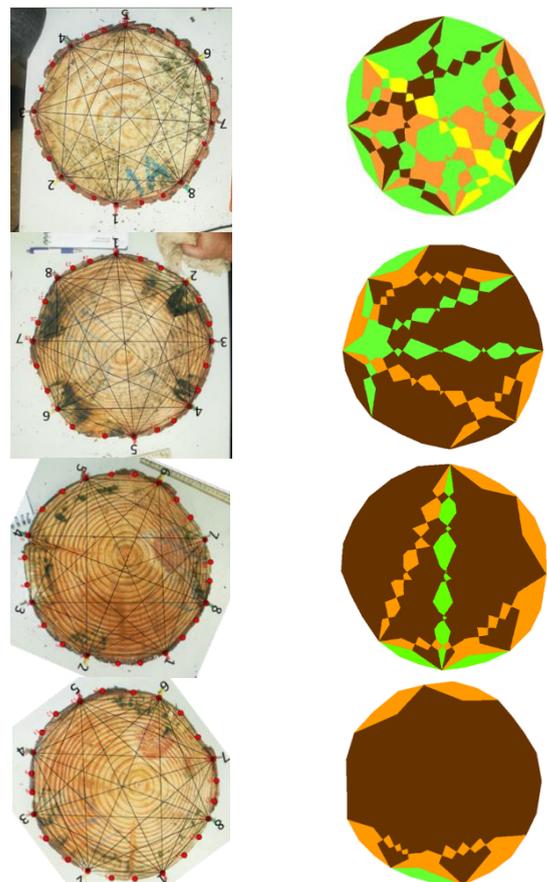
Observou-se o aparecimento de mais regiões em verde, amarelo e rosa (Figura 3) do que nos discos com situação parecida em termos de medula, mas sem nós (Figura 2). No entanto, não há um padrão claro que permita concluir que a presença do nó teve efeito redutor da velocidade. Esses discos apresentaram mais imagens em formas de cordões (teoricamente interferências do sistema de medição) do que nas demais situações analisadas. Esse comportamento pode ser consequência do nó ser uma singularidade localizada e, assim, a imagem reflete de forma mais clara a rota que está passando por esse nó.



**Figura 3.** Discos com medula aproximadamente centrada e com nós e imagens de tomografia ultrassônica

▪ Discos com medula deslocada

Os discos com medula deslocada apresentaram mais regiões em verde do que nos discos com medula aproximadamente centrada e sem nós. Por outro lado, apresentaram menos regiões em amarelo do que os discos com nós. Também é possível verificar menos cordões representativos de interferências do sistema de interpolação. As imagens de muitos discos parecem não ser afetadas pela medula deslocada, já que apresentaram, em grande parte da seção, as cores marrom e laranja.



**Figura 4.** Discos com medula deslocada e imagens de tomografia ultrassônica

### Conclusões:

Tendo em vista a natureza heterogênea e ortotrópica da madeira, variações de velocidade são normais, mesmo em peças com medula aproximadamente centrada e sem nós aparentes. Para a madeira de pinus estudada, verificou-se que, em geral, as imagens dos discos com medula aproximadamente centrada e sem nós aparentes apresentaram faixas de velocidades variando de 70% a 100% da  $V_{MAX}$  (laranja e marrom).

Nos discos com medula deslocada verificou-se que, embora muitos discos apresentassem o mesmo nível de cores dos discos com medula centrada (laranja e marrom), o aparecimento de cor representativa de velocidades variando de 50% a 70% da  $V_{MAX}$  (verde) ocorreu com maior frequência.

Os discos com nós foram os que mais apresentaram regiões com presença de cores representativas de velocidades variando de 30 a 50% da  $V_{MAX}$  (amarelo) e de 20 a 30% da  $V_{máx}$  (rosa). O padrão da imagem nestes discos foi o que mais apresentou cordões em formas de setas o que, teoricamente, representa interferência do sistema de interpolação. É possível que esse padrão (cordões em forma de setas) tenha relação com o nó, que é uma singularidade localizada.

### Referências bibliográficas

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. 2ed Malabar, Flórida: Krieger, 1993.

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

BUCUR, V. **Acoustic emission activity induced by delamination and fracture of wood structure. Delamination in Wood, Wood Products and Wood-Based Composites**. Springer, Netherlands, 2010.

FURIATI, M. **Classificação estrutural de peças de madeira**. Tese de Doutorado. Dissertação. 1981.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. **Forest products and wood science and introduction**. 2. ed. Ames: Iowa State University Press. 500. 1989.

PUCCINI, C. T. **Avaliação de aspectos de qualidade da madeira utilizando o ultrassom**. 139f. Tese de Doutorado. 2002

SANDOZ, J. L. **Grading of construction timber by ultrasound**. Wood Science and Technology, v. 23, n. 1, p. 95-108, 1989.

TRINCA, A. J.; GONÇALVES, R.; AGUSTINO, D. M.; Van Dijk, R. **Interference of Pith in Ultrasonic Tomography**. In: 18th Symp. Nondestructive Testing of Wood, Vol. 1. Sept. Madison, USA. 2013.

TRINCA, A. J.; GONÇALVES, R.; LINHARES, C. S. F. **Ultrasonic Tomography in Detecting Knots**. In: 18th Symp. Nondestructive Testing of Wood, Vol. 1. Sept. Madison, USA. 2013.

TRINCA, A. J.; GONÇALVES, R. **Imagem da Estrutura Interna da Árvore Utilizando Ultrassom**. Relatório Científico. Campinas – SP, 2014.