

AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DE POSTES DE MADEIRA UTILIZADOS NA REDE ELÉTRICA NA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE

Eduardo Schneid¹, Darci Alberto Gatto², Pedro Henrique Gonzalez de Cademartori³, Leandro Gonçalves Hamm¹, Diego Martins Stangerlin⁴

Resumo: O presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência do método não destrutivo por meio de emprego de ultrassom para estimar a deterioração causada por organismos xilófagos em postes de madeira. Realizou-se uma avaliação visual de acordo com a norma ASTM D3345 (1994) e, após, uma avaliação utilizando ondas ultrassônicas, no sentido longitudinal com transmissão semidireta. Para tais avaliações, utilizou-se um aparelho de ultrassom e pares de dois tipos de transdutores, de face plana e de ponto seco. As avaliações ultrassônicas demonstraram que a utilização de transdutores de ponto seco possui melhor ajuste das equações de regressão entre os coeficientes da avaliação visual e a velocidade de propagação da onda. O coeficiente de determinação da regressão para esse tipo de transdutor foi superior a 60%, demonstrando que o emprego desse método torna-se uma ferramenta importante e eficiente.

Palavras-chave: ultrassom, inspeção de postes, transdutores de face plana e ponta seca.

NON-DESTRUCTIVE EVALUATION WOOD POLES USED IN ELECTRIC LINE IN THE METROPOLITAN REGION OF PORTO ALEGRE

Abstract: This study aimed to evaluate the efficiency of non-destructive method by the use of ultrasound to estimate the degradation caused by wood decay organisms on wood poles. Was made a visual evaluation by ASTM D3345 (1994) and ultrasonic evaluation with semi-direct transmission in longitudinal direction. For this, was used an ultrasound equipment and two pairs of two transducers types, a plane face and point-contact. The ultrasonic evaluations

¹ Engenheiro Industrial Madeireiro, Mestrando em Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (PPGEF), Universidade de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, RS. <eduardoschneid87@gmail.com>

² Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS. <darcigatto@yahoo.com>

³ Engenheiro Industrial Madeireiro, Mestrando em Ciência e Engenharia de Materiais, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM), Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Pelotas, RS. <pedrocademartori@gmail.com>

⁴ Engenheiro Florestal, M.Sc., Professor Assistente do Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais (ICAA), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) – Campus de Sinop. Avenida Alexandre Ferronato, 1200, Setor Industrial, CEP: 78550-000 - Sinop, MT. <Diego_stangerlin@yahoo.com.br>

demonstrated that the utilization of point-contact transducers has the best adjustment of the regression equations between visual and ultrasonic evaluation. The coefficient of determination for this type of transducers was above 60%, demonstrating that the use of this method becomes an important and efficient tool.

Keywords: ultrasound, pole inspection, face plane and point-contact transducers.

1 INTRODUÇÃO

A madeira dos postes utilizados na construção das redes elétricas recebe tratamento preservativo com finalidade de aumentar sua vida útil. Porém, ao longo do tempo, tal proteção apresenta perda na eficiência tornando-os susceptíveis à ação de agentes externos. Tais agentes afetam diretamente as propriedades mecânicas da madeira dos postes, o que causa a necessidade de substituição dos mesmos. Com isso, faz-se necessário a inspeção dos postes, para que se possa conhecer o estado de deterioração da madeira.

Segundo Lepage (1986), a inspeção abaixo da linha de afloramento deve ser feita cavando-se uma vala de cerca de 40 cm de profundidade, limpando a área de interesse e perfurando, firmemente, várias regiões com estilete para avaliar a profundidade do apodrecimento, caso este venha a ocorrer. Se possível, identificar o tipo de apodrecimento ou coletar material, o acondicionando para identificação em laboratório. No caso de ataque de cupins, o autor recomenda que seja feita inspeção interna do poste. Normalmente, utiliza-se um martelo para avaliação por percussão, pois se trata de um teste simples e seguro, quando feito por pessoa experiente.

A empresa CPFL Energia, de acordo com sua Orientação Técnica nº 766, estabelece que a equipe de inspeção e manutenção deva ser composta por um grupo de três pessoas treinadas, sendo uma delas com amplo conhecimento sobre todas as fases do processo. A inspeção deve iniciar desde o topo até 60 cm abaixo da linha de afloramento. Caso seja diagnosticada alguma parte oca na estrutura, a mesma deve ser perfurada com trado e determinar a extensão do oco com escala graduada. Todas as perfurações devem ser fechadas com batoque (CPFL, 2001).

Portanto, como a metodologia de inspeção de postes usualmente aplicada é subjetiva, o método não destrutivo, que utiliza propagação de ondas ultrassônicas para inspecionar a qualidade dos postes de madeira, torna-se uma interessante alternativa. Para tanto, faz-se necessária à compreensão do fenômeno de propagação das ondas ultrassônicas no material, mediante estabelecimento de relações entre as diversas variáveis envolvidas.

Segundo Bucur; Böhnke (1994) e Calegari et al. (2008), na madeira existem diversos fatores que tem influência na propagação de ondas ultrassônicas, tais como: propriedades físicas do substrato, características da espécie, temperatura e umidade, fatores relacionados aos transdutores (forma, frequência e posicionamento).

Dessa forma, o presente estudo tem com objetivo avaliar a eficiência do método não destrutivo, por meio de emprego de ondas ultrassônicas, para estimar a deterioração causada por organismos xilófagos em postes de madeira.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Avaliação visual e ultrassônica

Os postes utilizados foram retirados da rede elétrica da região metropolitana de Porto Alegre/RS de concessão da CEEE (Companhia Estadual de Energia Elétrica). Utilizaram-se 12 postes substituídos da rede elétrica e dois postes, porém as espécies da madeira não foram identificadas. Esses foram avaliados visualmente para identificar o grau de ataque de organismos xilófagos. Para essa avaliação seguiu-se a norma ASTM D3345 (1994) modificada, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Nota de classificação em razão do dano causado pelos agentes xilófagos (ASTM D3345, 1994).

Table 1. Grade for classification towards the damage caused by wood decay agents (ASTM D3345, 1994).

Nota	Avaliação do dano causado pelo agente xilófago
10	Livre de qualquer patologia.
7	Ataque superficial, presença de poucos orifícios ou infecções (fungos de bolor ou manchadores), sem qualquer comprometimento estrutural.
5	Ataque moderado, presença de orifícios e infecções, fase inicial de apodrecimento, sem comprometimento da peça.
3	Ataque intenso, presença de orifício, galerias, apodrecimento, comprometimento parcial do uso da peça.
0	Comprometimento da utilização da peça.

Norma ASTM D3345 (1994) modificada.

Antecedendo a avaliação visual, identificou-se a linha de engastamento em cada um dos postes. A partir disso, mediram-se trechos de 30 cm, tanto na parte inferior quanto na parte superior da linha de afloramento, até atingir a distância de 90 cm contados a partir dessa linha, conforme a Figura 1. Nesses trechos, realizaram-se as avaliações visuais seguindo os critérios expostos acima, assim como a propagação da onda ultrassônica.



Figura 1. Localização da linha de afloramento e secções de avaliação.

Figure 1. Location of the crimping line and sections evaluation.

Após a avaliação visual, fez-se a avaliação ultrassônica por meio de aparelho de ultrassom da marca TICO (Figura 2) e dois pares de transdutores, estes de ponto seco com emissão de frequência de 45 kHz (Figura 2.A) e de face plana com emissão de frequência de 54 kHz (Figura 2.B). Antecedendo cada série de ensaios, realizou-se a calibração do aparelho com ambos os transdutores, seguindo o manual do aparelho.



Figura 2. Aparelho de ultrassom e dois pares de transdutores; Transdutores de ponto seco (A); Transdutores de face plana (B).

Figure 2. Ultrasound equipment and two transducers types; transducer point-contact (A); transducer plan face (B).

As avaliações ultrassônicas iniciaram-se com os transdutores de ponto seco. Esses foram posicionados na face da peça, sendo que a determinação do tempo de propagação ocorreu em sentido longitudinal e empregando-se a transmissão semidireta entre os dois transdutores. O percurso de propagação da onda ultrassônica foi fixado em 30 cm. Após, utilizaram-se os transdutores de face plana, respeitando o mesmo sentido, transmissão e distância entre eles. Para tais, exigiu-se a aplicação de uma camada de acoplante (vaselina

industrial) entre a superfície do poste e os transdutores, de modo a permitir uma melhor emissão das ondas e eliminar o ar existente entre as interfaces.



Figura 3. Posicionamento do transdutor de transmissão semidireta, posições e seções avaliadas pelo aparelho de ultrassom.

Figure 3. Positioning of the transducers semi-direct transmission, position and sections evaluation for ultrasound equipment.

De posse das variáveis tempo de propagação e distância entre transdutores) possibilitou-se o cálculo da velocidade de propagação da onda ultrassônica no poste, em metros por segundo ($m.s^{-1}$).

2.2 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância multivariada (MANOVA) para verificar a influência dos dois fatores (posição e transdutor) na velocidade de propagação da onda ultrassônica. Foram realizadas análises de regressão polinomial, nas quais a variável dependente foi a nota obtida por meio da avaliação visual, e a independente, a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas obtidas com os dois tipos de transdutores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 é apresentada a análise de variância multivariada (MANOVA) para velocidade de propagação de ondas ultrassônicas sobre efeito de dois fatores (posição e transdutor).

Tabela 2. Resultados da análise de variância multifatorial (MANOVA) para velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.

Table 2. Results of multifactor analysis of variance (MANOVA) for speed of propagation of ultrasonic waves.

Fator	SQ	GL	MQ	F _{calc.}	p
Posição	7248790	5	1449760	3,90	0,0023
Transdutor	12149100	1	12149100	32,69	0,0000
Total	79235400	167			

SQ= soma dos quadrados; GL=graus de liberdade; MQ=médias dos quadrados.

Observa-se que os valores p para os dois fatores foram inferiores a 0,05, mostrando que ambos apresentam efeito estatisticamente significativo a um nível de 95% de confiança sobre a velocidade de propagação da onda ultrassônica. O fator que revelou maior influência na velocidade de propagação foi o transdutor.

Na Tabela 3, são apresentados os valores médios para as velocidades de propagação da onda ultrassônica.

Tabela 3. Resultados da análise de médias da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas em relação à posição e transdutor.

Table 3. Results of the analysis of the means velocity of propagation of ultrasonic waves in relation to position and transducer.

Efeitos	Nº amostras	Média (m.s ⁻¹)
Posição		
1	28	2436,71 ab
2	28	2301,82 ab
3	28	2095,71 a
4	28	2191,46 ab
5	28	2625,07 b
6	28	2650,57 b
Transdutor		
TFP	84	2652,48 a
TPS	84	2114,64 b

Médias seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si (Tukey, $p > 0,05$); TFP=transdutor face plana; TPS=transdutor ponta seca.

Observa-se que na posição três (3), a qual se localiza logo abaixo da linha de afloramento do poste, apresenta menor velocidade de propagação em relação as demais. Pode-se observar que a velocidade de propagação aumenta conforme a distância aumenta em relação a linha de afloramento. Nesta posição, o teor de umidade tende a ser elevado, assim como a oxigenação, favorecendo o desenvolvimento de fungos que degradam a madeira. Oliveira et al. (1986) relatam que existem quatro zonas de micro climas em postes em serviço,

sendo: topo do poste, onde há o umedecimento e secagem intermitentes e assim podem ocorrer apodrecimento; acima do solo, que caracteriza-se como uma zona de baixa umidade e assim a deterioração da madeira normalmente não ultrapassa a mudança da coloração da superfície devido à fotodeterioração; região de afloramento como sendo uma zona de umidade elevada e oxigenação, favorecendo a deterioração da madeira de forma mais rápida; base do poste, uma zona com alta umidade, porém a oxigenação torna-se um fator limitante no desenvolvimento de fungos e bactérias.

A velocidade de propagação de ondas ultrassônicas depende da elasticidade do material. Como a madeira degradada é menos resistente do que a madeira sã, uma onda levará mais tempo para atravessar a primeira. Sabendo-se que a onda terá que contornar os vazios, como os deixados por insetos, ela levará mais tempo para ir do ponto de emissão ao ponto de recepção. Assim, uma baixa velocidade de propagação pode indicar a ocorrência de defeitos (VALLE et al, 2004).

Para os valores das velocidades de propagação das ondas ultrassônicas com os diferentes transdutores, evidencia-se que os de face plana apresentam maiores valores em relação aos de ponto seco, apresentando diferença estatística significativa em nível de 5% de probabilidade de erro. Nesvijski (2003) afirma que transdutores de ponto seco não geram ondas direcionais, fazendo com que a velocidade de propagação diminua em relação aos transdutores de face plana. Além desse fator, a forma, o material de fabricação e/ou o ângulo de inclinação do extensor de ondas também contribuem para a alteração do tipo de onda gerada pelo transdutor, alterando também sua velocidade.

Os menores valores de velocidade para os transdutores de ponto seco obtidos nesse estudo sugerem que a onda gerada apresenta componentes longitudinais e transversais ao propagar-se na madeira. Stangerlin et al. (2010), em estudo comparando velocidades de propagação entre os tipos de transdutores, se sugere que os baixos valores encontrados para os transdutores de ponto seco sejam ocasionados pelo ângulo formado entre os transdutores e a superfície da madeira, pois uma onda ao incidir em ângulo com a superfície da madeira gera componentes longitudinais e transversais.

Nas Figuras 4 e 5 são encontradas as correlações polinomiais entre a nota avaliada e a velocidade de propagação da onda ultrassônica com transdutor de ponto seco e face plana, respectivamente.

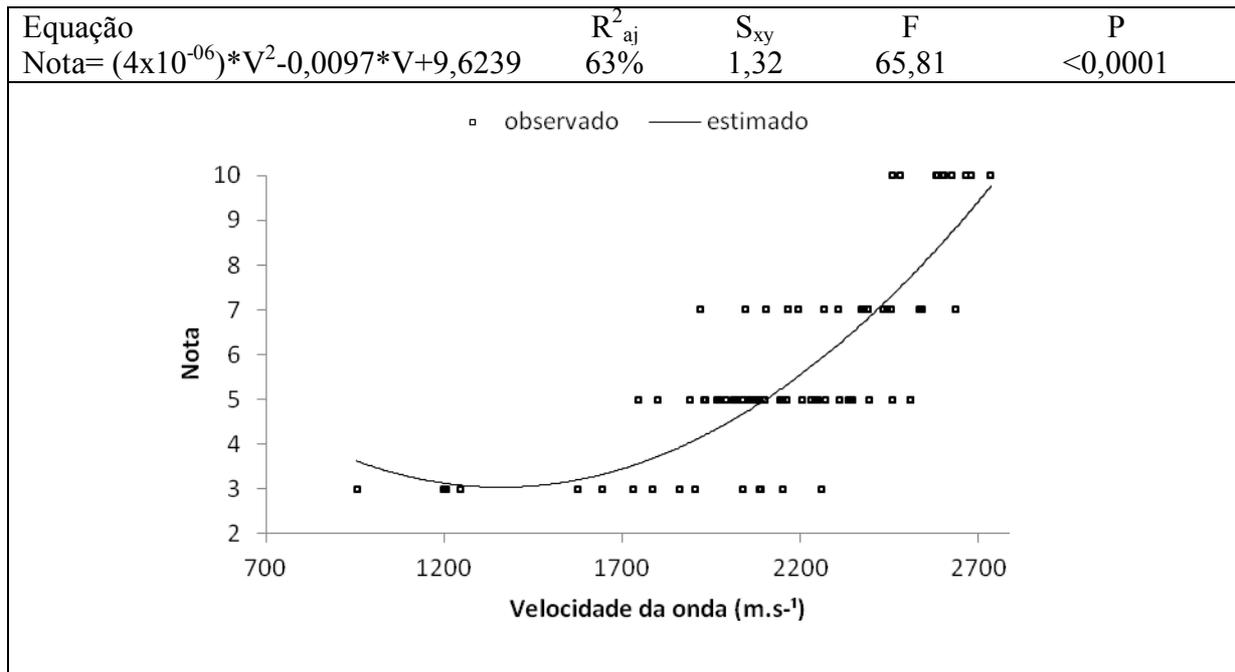


Figura 4. Velocidade da onda em função da deterioração da madeira com transdutor ponto seca e transmissão semidireta.

Figure 4. Velocity of the wave towards the degradation of wood with point-contact transducer and semi-direct transmission.

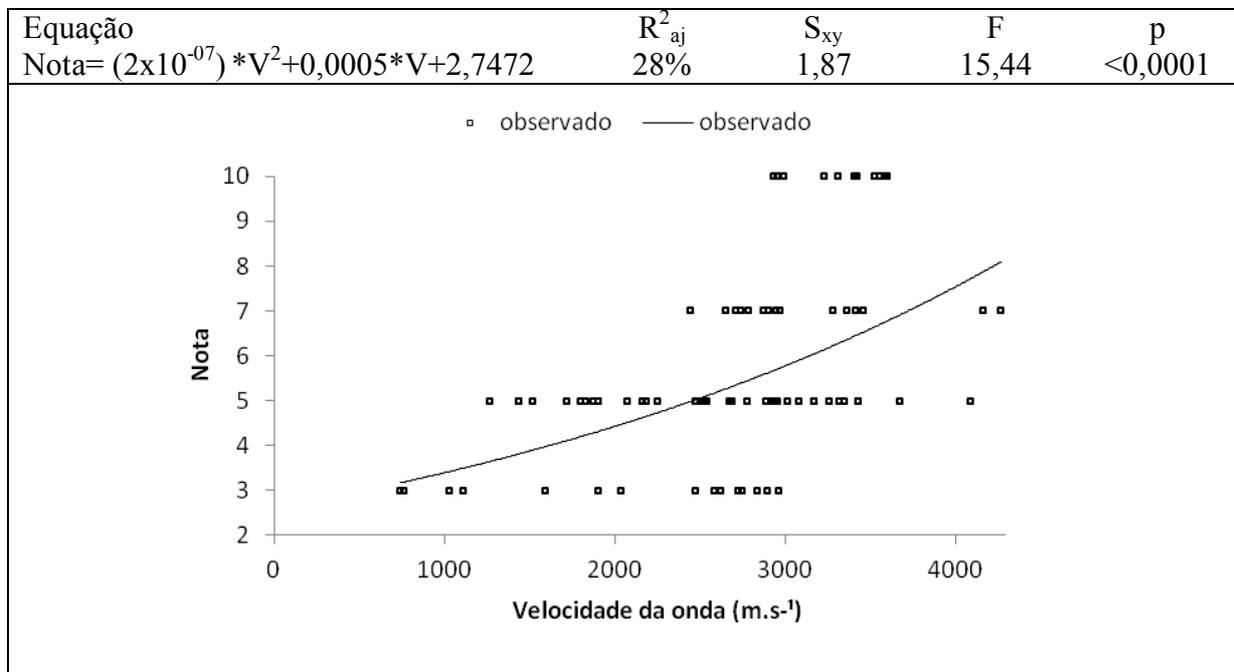


Figura 5. Velocidade da onda em função da deterioração da madeira com transdutor face plana e transmissão semidireta.

Figure 5. Velocity of the wave towards the degradation of wood with plan face transducer and semi-direct transmission.

Nas duas regressões apresentadas evidencia-se que, quanto menor a deterioração (maior nota) da madeira, maior a velocidade de propagação da onda ultrassônica. Carrasco; Azevedo Junior (2003) relatam que o aumento da velocidade de propagação é devido à deposição de celulose nas paredes das fibras, já que essa maior deposição influencia na rigidez da madeira. Conforme Mendes (1988), fungos apodrecedores, principalmente os causadores da podridão parda e branca, atacam a celulose, hemiceluloses e lignina, diminuindo os valores tanto das propriedades mecânicas como da massa específica.

Portanto, como a velocidade de propagação da onda ultrassônica e os valores das constantes de rigidez têm relação direta, as madeiras que apresentam deterioração têm suas constantes de rigidez afetadas.

Além disso, comparando-se as duas correlações polinomiais, o melhor modelo (maior R_{aj}^2 , menor S_{yx} e maior $F_{calc.}$) foi observado para os dados obtidos com os transdutores de ponto seco. Esse resultado pode ter sido influenciado pelo fato de que os transdutores de face plana necessitam a aplicação de vaselina industrial como acoplante entre as interfaces (transdutor e poste). Além disso, tais transdutores não puderam ser usados em superfícies ásperas e curvas, características evidenciadas nos postes inspecionados. Nesvijski (2003) relata que acoplantes e características da superfície da amostra influenciam nos resultados.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos por meio das avaliações ultrassônicas, pode-se concluir que o método não destrutivo é eficiente para estimar a deterioração causada por organismos xilófagos. Porém, recomenda-se que sejam utilizados transdutores de ponto seco.

5 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D3345**: Standard method for laboratory evaluation of wood and other cellulosic materials for resistance to termite. **Annual Book of ASTM Standard**, v. 410, p. 439-441, 1994.

BUCUR, V.; BÖHNKE, I. Factors affecting ultrasonic measurements in solid wood. **Ultrasonics**, v. 32, n. 5, p. 385-390, 1994.

CALEGARI, L. ; STANGERLIN, D. M. ; SANTINI, E. J. ; HASELEIN, C. R. ; GATTO, D. A. ; CARMO, P. I. O. ; SILVA FILHO, L. C. P. Avaliação de alguns fatores influentes na velocidade ultra-sônica na madeira. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 607-615, 2008.

CALEGARI, L. **Uso da onda ultra-sônica como meio de controle do processo de secagem da madeira**. 2006. 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

CARRASCO, E. V. M.; AZEVEDO JUNIOR, A. P. Avaliação não-destrutiva de propriedades mecânicas de madeiras através de ultra-som – fundamentos físicos e resultados experimentais. **Cerne**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 178-191, 2003.

CPFL - COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. **Inspeção e Manutenção Preventiva e Corretiva em Postes de Madeira**. Orientação Técnica. São Paulo: CPFL, 2001.

LEPAGE, E. S. **Manual de Preservação de Madeiras: Vol. I e II**. São Paulo: IPT – Divisão de Madeiras, 1986. 708p.

LORENZI, A. **Aplicação de testes ultra-sônicos para avaliação de estruturas de concreto utilizando elementos de inteligência artificial**. 2000. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

MENDES, A. S.; ALVES, M. V. S. **A degradação da madeira e sua preservação**. Brasília: IBDF/LPF, 1988. 57 p.

NESVIJSKI, E. G. Dry point contact transducers: design for new applications. In: **The e-Journal of Nondestructive Testing**, v. 9, n. 9, Berlin: NDT.net, 2003.

OLIVEIRA, A. M. F.; LELIS, A. T.; LEPAGE, E. S.; CARBALLERA LOPEZ, G. A.; OLIVEIRA, L. C. S.; CANEDO, M. D.; MILANO, S. Agentes destruidores da madeira. In: LEPAGE, E. S. (Coord.) **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v. 1. p. 99-279.

STANGERLIN, D. M.; GONÇALEZ, J. C.; SANTINI, E. J.; GONÇALEZ, R.; CALEGARI, L.; MELO, R. R.; GATTO, D. A. Avaliação de tipos de ondas geradas por dois modelos de transdutores para determinação do módulo de elasticidade dinâmico. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 1-5, 2010.

VALLE, A.; TEREZO, R. F.; TELES, C. D. M. Uso de técnicas não destrutivas no diagnóstico de patologias em estruturas de madeira. **E-Mat**, Porto Alegre, v. 01, p. 148-157, 2004.