

RELAÇÃO ENTRE A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRASSÔNICA E DEFEITOS DA MADEIRA

RELATIONSHIP BETWEEN ULTRASONIC WAVE PROPAGATION VELOCITY AND WOOD DEFECTS

Tamiris dos Santos FERREIRA¹

Daniella Cristina MAGOSSI²

¹Engenharia Florestal, discente, Faculdades FatiFajar, Jaguariaíva, Paraná, (tamirisdossantossferreira@gmail.com), ²Prof. Me. das Faculdades FatiFajar, Jaguariaíva, Paraná, (magossidaniella@gmail.com)

RESUMO

Estabelecer parâmetros de classificação da madeira, relativo à presença de defeitos, pode contribuir na gestão da qualidade da madeira, em seu melhor aproveitamento e visar aplicações específicas da madeira. Objetivando avaliar, estatisticamente, a sensibilidade do método do ultrassom na detecção de defeitos e características indesejáveis em peças de madeira e visando o estabelecimento de critérios que auxiliem na proposição de um método de classificação para a madeira, através do uso do ultrassom, foram amostradas 200 peças de madeira de *Pinus taeda*, com 15 anos de idade, cada peça medindo 30 cm de comprimento, 2 cm de largura e 2 cm de espessura. As peças foram classificadas visualmente em 50 peças de cada característica (com presença de nó, presença de lenho de reação, presença de medula e isentas de defeitos aparentes). Os corpos de prova foram ensaiados por aparelho de ultrassom, determinando 2 medidas de velocidade para cada peça. A partir das velocidades, foram realizadas análise de Boxplot, normalidade de Anderson-Darling e teste de Tukey $\alpha = 0,05$, onde constatou-se diferença significativa entre algumas médias das amostras que foram reclassificadas em classe 1 (presença de nó e medula) e classe 2 (presença de lenho de compressão). Foi realizada regressão à fim de determinar a relação entre as classes de defeitos e as medidas de velocidade, que se mostraram significativas. Os defeitos da classe 1 apresentaram razão de chances de 0,9936, ou seja, menor probabilidade de ocorrência destes, conforme a velocidade aumenta, ao contrário dos defeitos da classe 2 que, apresentaram razão de chances de 1,0045, sendo esse mais provável de ocorrer conforme a velocidade aumenta.

Palavras-chave: Classificação visual, Ultrassom, Medidas de velocidade.

ABSTRACT

Establishing wood grading configurations regarding the presence of defects can contribute to wood quality management, optimal use and visualization of specific wood applications. Aiming to statistically evaluate the sensitivity of the ultrasound defect detection method and the undesirable features in wood pieces and the monitoring of the use of criteria that assist in proposing a classification method for wood, use of ultrasound, samples 200 pieces of 15-year-old *Pinus taeda* wood, each piece measuring 30 cm long, 2 cm wide and 2 cm thick. The pieces were visually classified into 50 pieces of each resource (presence of knot, presence of reaction wood, presence of marrow and free of apparent defects). The specimens were tested by the ultrasound device, determining 2 velocity measurements for each piece. From the changes, Boxplot analysis, Anderson-Darling normality and Tukey test $\alpha = 0.05$ were performed, showing the significant difference between some media from those that were reclassified in class 1 (presence of node and marrow). and class 2 (presence of compression wood). Regression was performed to determine a relationship between defect classes and velocity measurements, which are shown. Class 1 defects have odds ratios of 0.9936, that is, lower likelihood of occurrence according to the maximum velocity, whereas class 2 defects have odds ratios of 1.0045, the most likely to occur as velocity increases.

Keywords: Visual classification, Ultrasound, Speed measurements.

1 INTRODUÇÃO

A madeira possui capacidade de uso reconhecido e valorizado para diversos fins, devido a vantagens, tais como grande potencial de renovação na natureza, apresentar propriedades adequadas à pré-fabricação, possuir elevada resistência mecânica em relação ao peso próprio e um baixo consumo energético em seu processamento. Na busca por conhecimentos específicos do material, bem como uso de novas técnicas de aplicação, diversos países vêm investindo recursos financeiros e humanos em sua avaliação.

A tecnologia nos apresenta ferramentas que auxiliam na caracterização e avaliação da madeira, do ponto de vista da qualidade e mecânico. Dentre estas ferramentas, a aplicação de técnicas de ensaios não destrutivos possui grande relevância, por apresentar a possibilidade de obter informações estratégicas, a partir da árvore viva ou de peças de madeira, que podem auxiliar na tomada de decisões econômicas e ambientais, onde o uso do ultrassom se destaca.

A aplicação da técnica de ultrassom na caracterização e identificação de defeitos na madeira, representa um grande avanço tecnológico, por se tratar de um método de menor custo e mais rápido, representa uma opção econômica e prática, preservando o material ensaiado. Porém, essa técnica, quando utilizada na detecção de defeitos e características indesejáveis da madeira, ainda que simples e precisa, não contemplam questões ligadas à diferenciação desses defeitos.

A tendência mundial atual é a de incorporar métodos não destrutivos na caracterização de materiais, inclusive a madeira, uma vez que tais métodos permitem caracterizar as propriedades com maior agilidade e menores custos, sem perda de precisão. Essas condições são possíveis, pois se trata de método que pode ser utilizado em uma grande quantidade de elementos, não ficando restrito a amostragens que, no caso da madeira, são altamente questionáveis devido à grande variabilidade natural desse material.

O princípio de que as propriedades mecânicas de peças de madeira estruturais e de corpos de prova, livres de defeitos resultantes da presença de aspectos de crescimentos, se diferem, e de que essas características podem ser observadas e avaliadas visualmente, é a base da classificação visual da madeira. Podendo, assim, estabelecer regras de classificação, a partir da avaliação visual, onde tais características de crescimento são utilizadas na separação da madeira em padrões de qualidade diferentes.

No Brasil, os métodos de classificação da madeira, em relação à presença de defeitos e características indesejáveis, são baseados, basicamente, na classificação visual, o que torna a atividade onerosa e propensa a falhas. Estabelecer um critério de classificação, pode contribuir na gestão da qualidade da madeira, em seu melhor aproveitamento e visar aplicações específicas da madeira. Neste contexto, a proposta de trabalho científico é de que, por meio da avaliação da relação entre a velocidade de onda ultrassônica e as propriedades da madeira, possibilita apresentar conceitos que caracterizem a existência de defeitos e características indesejáveis na madeira, auxiliando na tomada de decisão. Sendo assim, o objetivo deste foi avaliar, estatisticamente, a sensibilidade do método do ultrassom na detecção de defeitos e características indesejáveis em peças de madeira, visando o estabelecimento de

critérios que auxiliem na proposição de um método de classificação para a madeira, através do uso do ultrassom.

Para obter resultados e resposta acerca da problematização apresentada neste trabalho, foi realizado uma análise quali-quantitativa, por meio de um estudo de caso, através da pesquisa de caráter exploratório, procurando reunir um número de informações detalhadas com a finalidade de trazer maior conhecimento sobre a relação entre a velocidade de disseminação de onda ultrassônica na madeira, e se possível, estabelecer fatores que caracterizem diferentes tipos de defeitos encontrados na madeira.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram utilizadas 200 peças de *Pinus taeda*, com 15 anos de idade, provenientes de um reflorestamento com espaçamento 3x2 m, situado na cidade de Jaguariaíva – PR. As peças, com medidas de 30 cm de comprimento, 2 cm de espessura e 2 cm de largura, foram separadas visualmente em classes de defeitos sendo: 50 peças com presença de nó, 50 peças com presença de medula, 50 peças com presença de lenho de compressão e 50 peças isentas de defeitos aparentes (testemunha).

Optou-se por ensaiar as peças na umidade de equilíbrio do ambiente (aproximadamente 16%), onde, as mesmas, permaneceram por 40 dias em local aberto e sombreado, pois a secagem artificial das peças poderia causar rachaduras ou trincas internas que afetariam os resultados.

O aparelho utilizado foi o Lucchi Meter Minipalm, demonstrado na Figura 1, que possui 2 transdutores, um com face exponencial e outro de face plana, que determina a velocidade em que a onda ultrassônica leva para atravessar a peça, do transdutor emissor ao transdutor receptor. Os testes foram realizados no laboratório de Acústica do Curso Tecnologia em Luteria, da UFPR.

FIGURA 1 - Aparelho de Ultrassom Lucchi Meter.



Os corpos de prova classificadas foram enumeradas e ensaiadas. A face transmissora do transdutor (face plana) foi fixada em uma bancada para facilitar a determinação da velocidade ultrassônica e diminuir a interferência. Cada peça de madeira recebeu e transmitiu um sinal ultrassônico, determinando a 1ª medida de velocidade de onda. Após isso, a mesma peça foi girada e novamente recebeu e transmitiu um sinal ultrassônico, determinando a 2ª medida de velocidade de onda. No total foram realizadas 400 leituras (200 peças X 2 leituras), os testes são demonstrados na Figura 2.

FIGURA 2 - Teste de propagação de velocidade de onda ultrassônica.



O equipamento de ultrassom foi calibrado, no início da série de ensaios, utilizando o corpo-de-prova acrílico e conforme os procedimentos especificados no manual do equipamento.

Com as respectivas leituras de velocidade de onda ultrassônica, conforme os estudos de Puccini (2002) foi executado o *Boxplot* e o teste de normalidade de Anderson-Darling utilizando o MINITAB.

Posteriormente os dados foram comparados com teste ANOVA e de Tukey à 0,05% de significância, para indicar diferenças nas médias e reclassificá-las para posterior regressão logística, a fim de relacionar as variáveis velocidade e presença de defeitos que foram reclassificados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores da média e do coeficiente de variação (CV%) da velocidade de propagação das ondas ultrassônicas para cada classe: presença de nó, presença de medula, presença de lenho de compressão e madeira livre de defeitos (testemunha).

TABELA 1 - Médias das velocidades de propagação de onda ultrassônica.

Aspectos da Madeira	Nó	Medula	Lenho de Compressão	Sem Defeitos
Velocidade Média (m/s)	3560	3496	4846	4469
CV (%)	16,61	16,22	8,99	10,33

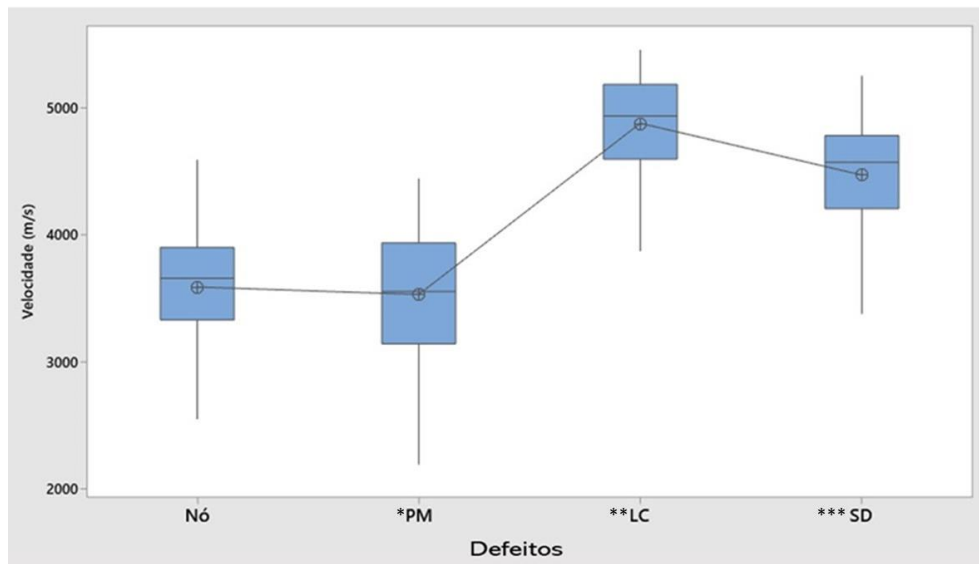
O *Boxplot* não indicou diferença expressiva nas médias das classes Nó e Medula, havendo diferença expressiva com as demais classes. Para o grupo Nó o *Boxplot* indicou 5 possíveis *outliers*, que são valores de dados atípicos, para os grupos Medula e Lenho de compressão 1 possível outlier e para sem defeitos, nenhum.

Para equivalência do tamanho amostral (45 amostras para nó) houve a retirada dos dados mais discrepantes, levando como critério de confiança: Média +

(mais) Desvio Padrão e Média – (menos) Desvio Padrão, redefinindo os dados em 45 amostras individuais para cada classe de defeito.

O Gráfico 1 demonstra o *boxplot* realizado após a retirada dos possíveis outliers e equivalência do amanho amostral.

GRÁFICO 1 - Boxplot Nó, Medula, Lenho de Compressão e Sem defeitos.



*PM = Medula; **LC = Lenho de compressão; ***SD = Sem defeito.

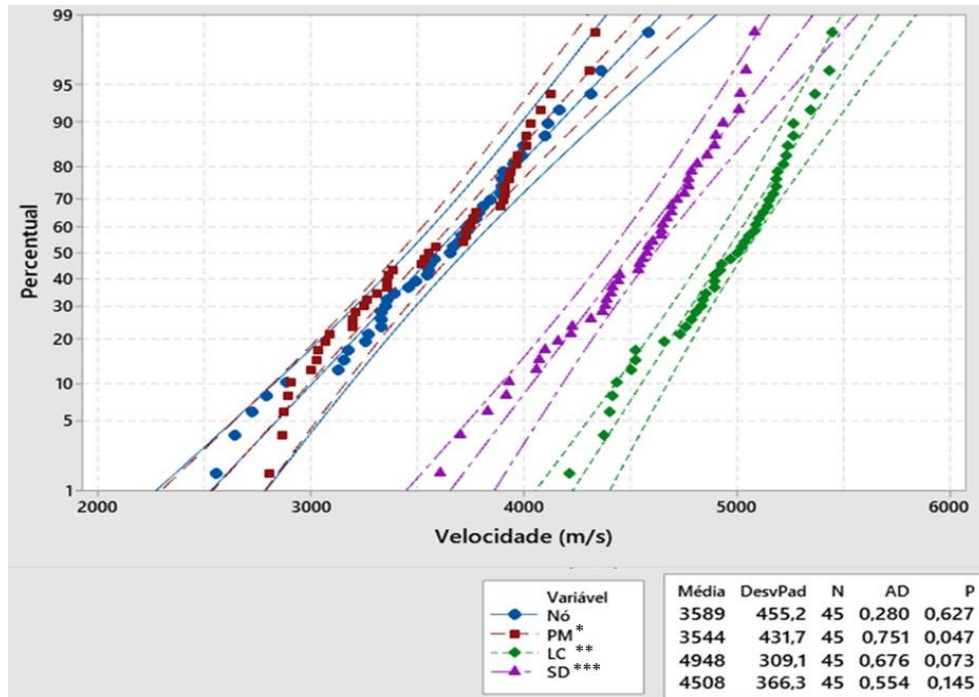
Constituindo o gráfico de normalidade para as classes e aplicando o teste de normalidade de Anderson Darling, representado na Gráfico 2, mostraram que todas as classes não rejeitaram a Hipótese de normalidade com valor $p = 0,63$ para nó, $0,05$ para presença de medula, $0,07$ para lenho de compressão e $0,14$ para a madeira sem defeitos.

Objetivando avaliar a sensibilidade do uso do ultrassom na detecção de defeitos na madeira, os corpos de prova foram testadas através da ANOVA com um fator e comparação do teste de Tukey $\alpha = 0,05$. A Tabela 2 demonstra o resultado das médias, desvio padrão e intervalo de confiança das amostras.

Na análise de variância, demonstrada abaixo, na Tabela 3, a hipótese nula afirma que os valores médios das velocidades de propagação de onda ultrassônica para os quatro grupos (nó, presença de medula, presença de lenho de reação e sem defeitos) são iguais. Como o valor de p é menor que o nível de significância de $0,05$,

é possível rejeitar a hipótese nula e concluir que algumas das velocidades de propagação ultrassônica têm médias diferentes.

GRÁFICO 2 - Normalidade de Anderson-Darling das classes Nó, PM, LC. e SD.



*PM = Medula; **LC = Lenho de compressão; ***SD = Sem defeitos;

TABELA 2 – Médias e Desvio Padrão das amostras.

Fator	N	Média (m/s)	Desvio Padrão	IC de 95% (m/s)
Nó	45	3589,1	455,2	(3472,9; 3705,2)
*PM	45	3544,2	431,7	(3428,0; 3660,3)
**LC	45	4947,7	309,1	(4831,6; 5063,8)
***SD	45	4507,6	366,3	(4391,4; 4623,7)

*PM = Medula; **LC = Lenho de compressão; ***SD = Sem defeitos.

TABELA 3 - Análise de Variância.

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fator	3	65063230	21687743	139,19	0,000
Erro	176	27423490	155815		
Total	179	92486720			

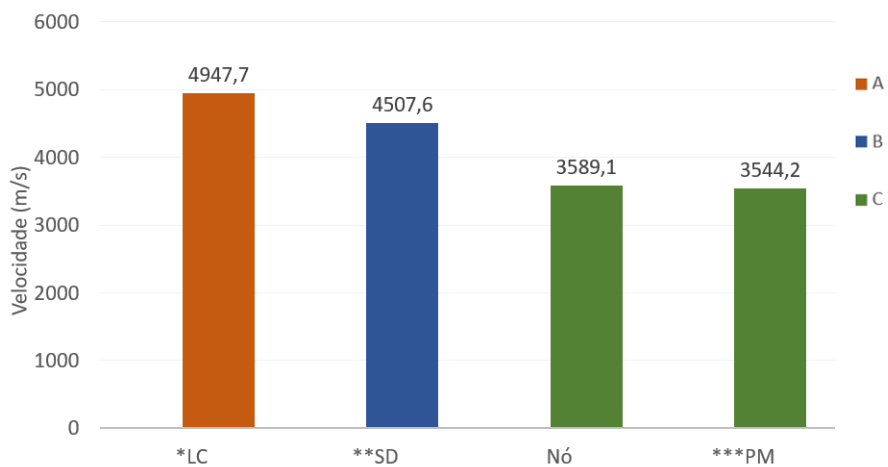
Como a hipótese de que todas as médias são iguais foi rejeitada, utilizou-se a tabela de informações de agrupamento, demonstrada na Tabela 4, para determinar se a diferença média entre pares específicos de grupos, são estatisticamente significativas. Os resultados são expressos, também, no Gráfico 3.

TABELA 4 - Informações de Agrupamento Usando Método de Tukey e 95% de Confiança.

Fator	N	Média V (m/s)	Agrupamento
*LC	45	4947,7	A
**SD	45	4507,6	B
Nó	45	3589,1	C
***PM	45	3544,2	C

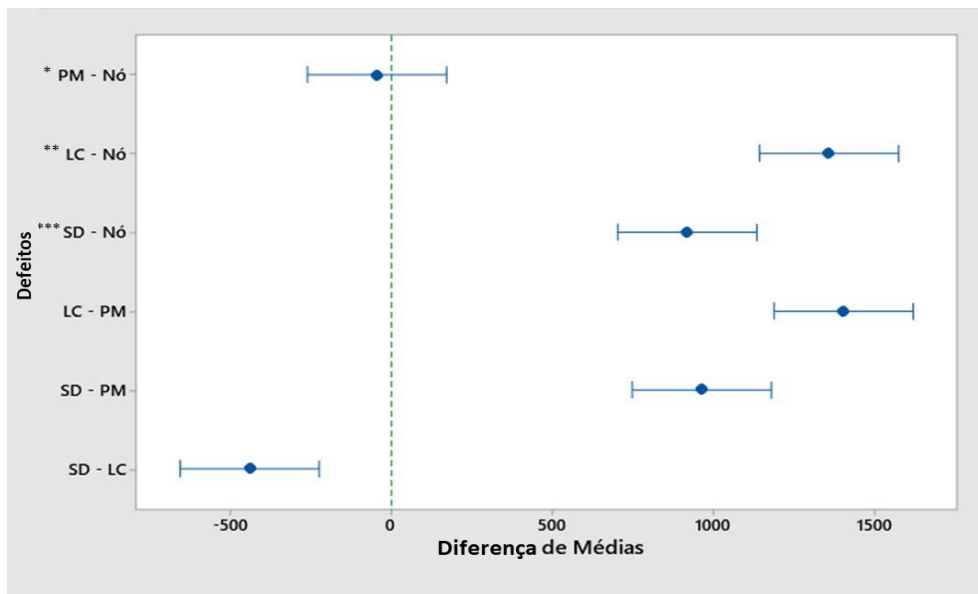
*LC = Lenho de compressão; **SD = Sem defeitos; ***PM = Medula.

GRÁFICO 3 - Informações de agrupamento.



O Gráfico 4 ilustra o intervalo de confiança simultâneo usando o método de Tukey a 95% de confiança.

GRÁFICO 3 - Intervalo de Confiança simultâneo usando o método de Tukey à 95% de confiança.



*PM = Medula; **LC = Lenho de compressão; ***SD = Sem defeitos.

Nota-se que as médias dos fatores nó e presença de medula não se diferem significativamente, o fator Lenho de compressão possui média significativamente mais elevada que os demais fatores (4947,7 m/s), seguido da madeira sem defeitos aparente (4507,6 m/s).

Tendo em vista que um dos objetivos deste trabalho foi o de avaliar a sensibilidade do ultrassom na detecção de defeitos na madeira, primeiramente avaliou se a velocidade de propagação da onda ultrassônica foi afetada pela presença de defeitos nos corpos-de-prova. Para isso decidiu-se verificar se, estatisticamente, a velocidade esteve correlacionada com os defeitos encontrados durante a análise visual. Tendo em vista que as análises visuais representaram variáveis qualitativas e não quantitativas, utilizou-se para a avaliação estatística a regressão logística, considerando como variável independente a velocidade, e como variáveis dependentes a reclassificação dos defeitos em classe 1 (abrangendo as madeiras com presença de nó e medula) e classe 2 (abrangendo madeiras com presença de lenho de compressão). Cada variável foi analisada separadamente.

3.1 CLASSE 1

Para a aplicação da regressão logística foram consideradas como variável dependente a presença de nó e de medula no corpo-de-prova, visto que estas variáveis não tiveram diferenças médias significativas pelo teste de Tukey $\alpha = 0,05$, e como variável independente, a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas na direção longitudinal (m/s). Para a variável dependente atribuiu-se valor 1 à presença dos defeitos e 0 à ausência destes. O Gráfico 5 expressa a linha ajustada binária para a classe 1. A Tabela 5.1, 5.2 e 5.3 expressam a razão de chances, qualidade de ajuste e análise de variância, respectivamente, para a classe 1.

GRÁFICO 4 - Linha Ajustada binária para classe 1.

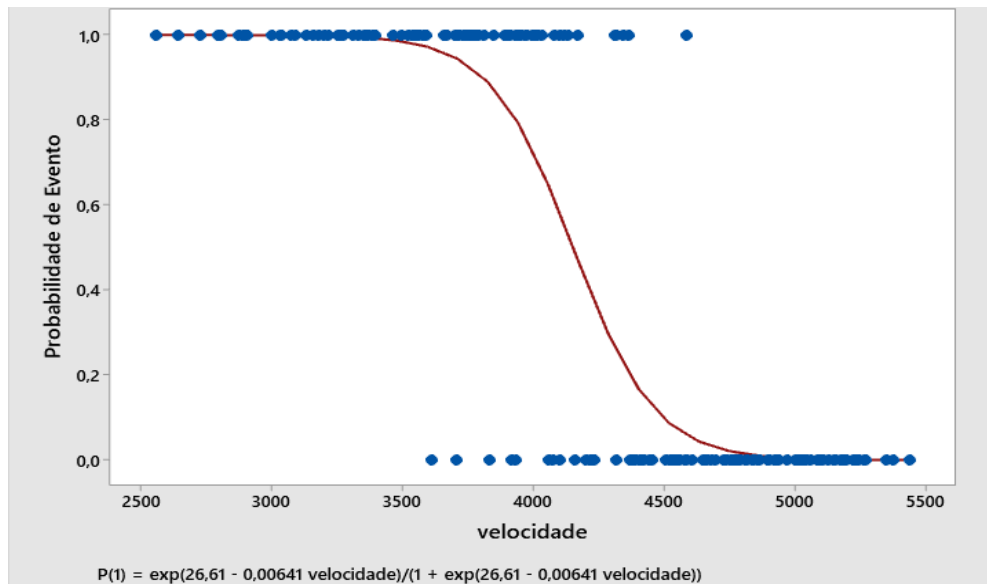


TABELA 5.1 - Razões de Chances para Preditores Contínuos para classe 1.

	Razão de Chances	IC de 95%
Velocidade	0,9936	(0,9916; 0,9956)

O gráfico demonstra que a probabilidade de ocorrer presença de defeitos da classe 1 diminui à medida que a velocidade ultrassônica longitudinal na madeira aumenta. Até a velocidade de 3.500 m/s a concentração de defeitos da classe 1 é comum, a partir desta, à medida que a velocidade aumenta, diminui a concentração

de defeitos da classe 1, sendo este ausente a partir de $\cong 4.800$ m/s. A Razão de chances resultou em $0,9936 < 1$, reforçando o fato de que os defeitos da classe 1 tem menos probabilidade de ocorrer conforme a velocidade aumenta.

TABELA 5.2 - Testes de Qualidade de Ajuste para classe 1.

Teste	GL	Qui-Quadrado	Valor-P
Deviance	178	76,99	1,000
Pearson	178	117,90	1,000
Hosmer-Lemeshow	8	6,43	0,599

Os valores-p obtidos são maiores do que o nível de significância de 0,05, em todos os testes de qualidade do ajuste, não fornecendo evidências de que as probabilidades estimadas desviam das probabilidades observadas de uma forma que a distribuição binomial não prediz.

TABELA 5.3 - Análise de Variância para classe 1.

Fonte	GL	Teste de Wald	
		Qui-Quadrado	Valor-p
Regressão	1	39,19	0,000
Velocidade	1	39,19	0,000

A regressão indicou associação estatisticamente significativa valor-p $< 0,05$, evidenciando que a variável velocidade é influenciada pela variável defeitos classe 1.

3.2 CLASSE 2

Para a aplicação da regressão logística, foi considerada como variável dependente a presença de lenho de compressão no corpo-de-prova e como variável independente, a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas na direção longitudinal (V, em m/s). Para a variável dependente atribuiu-se valor 1 à presença dos defeitos e 0 à ausência destes. O Gráfico 6 expressa a linha ajustada binária para

a classe 1. A Tabela 6.1, 6.2 e 6.3 expressam a razão de chances, qualidade de ajuste e análise de variância, respectivamente, para a classe 2.

GRÁFICO 5 - Linha ajustada binária para classe 2.

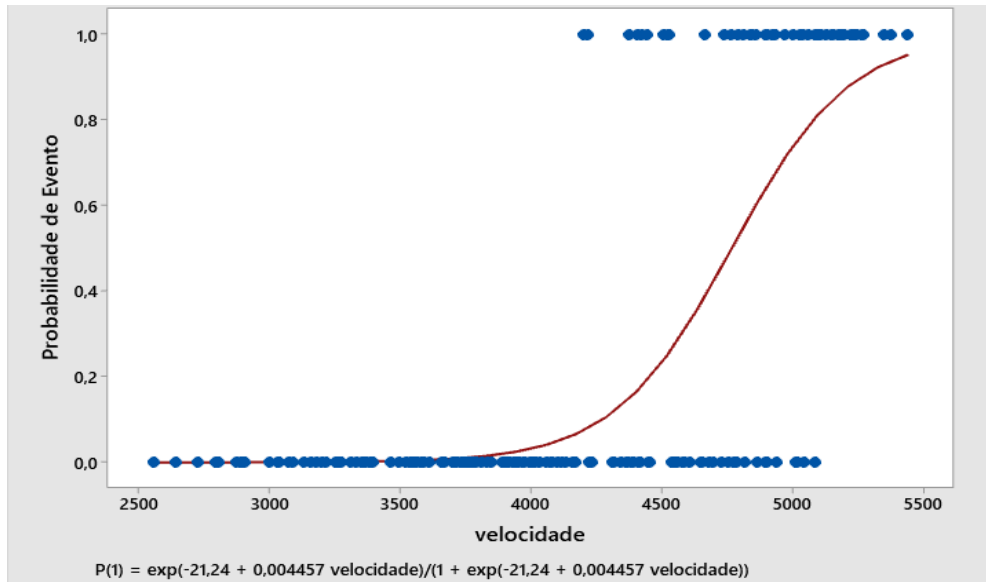


TABELA 6.1 - Razões de Chances para Preditores Contínuos para classe 2.

	Razão de Chances	IC de 95%
Velocidade	1,0045	(1,0030; 1,0059)

O gráfico demonstra que a probabilidade de ocorrer presença de defeitos da classe 2 aumenta à medida que a velocidade ultrassônica longitudinal na madeira aumenta. Até a velocidade de 4.000 m/s a concentração de defeitos da classe 2 é ausente, a partir desta, à medida que a velocidade aumenta, aumenta a concentração de defeitos da classe 2, sendo este com alta concentração a partir de $\cong 4.800$ m/s. A Razão de chances resultou em $1,0045 > 1$, reforçando o fato de que os defeitos da classe 2 tem mais probabilidade de ocorrer conforme a velocidade aumenta.

Todos os testes de qualidade do ajuste têm valor-p maiores do que o nível de significância de 0,05, não fornecendo evidências de que as probabilidades estimadas desviam das probabilidades observadas de uma forma que a distribuição binomial não prediz.

TABELA 6.2 - Testes de Qualidade de Ajuste para classe 2.

Teste	GL	Qui-Quadrado	Valor-P
Deviance	178	101,68	1,000
Pearson	178	104,74	1,000
Hosmer-Lemeshow	8	7,63	0,471

TABELA 6.3 - Análise de Variância para classe 2.

Fonte	GL	Teste de Wald	
		Qui-Quadrado	Valor-p
Regressão	1	36,17	0,000
Velocidade	1	36,17	0,000

A regressão indicou associação estatisticamente significativa valor-p < 0,05, evidenciando que a variável velocidade é influenciada pela variável defeitos classe 2.

Sandoz (1989) avaliou 341 vigas de diâmetros variados da espécie Spruce (*Picea sp*), com teores de umidade de 14% e 22%. A correlação entre testes mecânicos destrutivos de flexão estática, análise visual e determinação da velocidade de propagação de ondas de ultrassom, sugeriu um parâmetro de identificação que propõe, como critério, a velocidade de propagação do ultrassom nas peças estruturais, associando-a com as categorias determinadas na Norma Suíça (SAI). Os resultados obtidos possibilitaram ao autor a sugestão de três classes, determinadas de acordo com normas de avaliação visual e velocidades de propagação de ondas de ultrassom. Conforme essas classes o autor determinou três intervalos de velocidade: para a primeira classe, Velocidades > 5.600 m/s; para a segunda classe velocidades de 5.230 m/s à 5.600 m/s e para a terceira classe Velocidades < 5.230 m/s.

Puccini (2002) comprovou, estatisticamente que, relativo à velocidade de propagação da onda, o conjunto de peças de madeira com defeitos foi diferente significativamente do conjunto de peças de madeira livre de defeitos para madeira de *Pinus sp*. com umidade de aprox. 12%, estabelecendo um intervalo de velocidade que, para as peças com defeitos, a chance de confirmação da existência desse defeito, é de 74,32% e para as peças livres de defeito, a chance de o ultrassom indicar que a peça é defeituosa, é de 18,87%, ou seja, podendo ser estabelecido o seguinte critério:

$v < 6000$ m/s = 74,32% chance de presença de defeito IC (90%) = [65,17; 81,75]; $v > 6000$ m/s = 18,87% chance de presença de defeito IC (90%) = [7,64; 39,52]. Os valores encontrados neste estudo de caso se diferem dos encontrados no trabalho realizados por Puccini (2002), apresentando média inferior a 6.000 m/s na classe de madeira sem defeitos, o que pode ser justificado pelo teor de umidade em que os presentes testes foram realizados, de aprox. 16%, isso pode ser constatado no estudos de Costa (2005), que concluiu, em seus estudos sobre a velocidade de propagação de ondas de ultrassom na madeira para diferentes condições de umidade, realizados com *Pinus elliottii* e Pinheiro do Paraná (*Araucária angustifolia*) que a velocidade de propagação das ondas de ultrassom, nas direções longitudinal, radial e tangencial, tende a aumentar com a diminuição da umidade.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A sensibilidade do uso do método de ultrassom na detecção de defeito em peças de madeira, mostrou-se significativa, levando em conta o princípio de que a velocidade de propagação de onda ultrassônica varia conforme características expressivas indesejáveis (como a presença de medula) e presença de defeitos na madeira.
- Não foram encontradas diferenças significativas nas velocidades médias para as classes de madeira com presença de Nó e Presença de medula, sendo estas diferentes significativamente das demais classes, Presença de lenho de compressão e madeira sem defeitos aparentes.
- A regressão logística comprovou a relação entre as variáveis defeito (classe 1 e classe 2) e as medidas de velocidade de onda ultrassônica longitudinal, ambas com p-valor $< 0,05$. A classe 1 apresentou razão de chances de $0,9936 < 1$, ou seja, os defeitos da classe 1 tem menos probabilidade de ocorrer conforme a velocidade de onda ultrassônica aumenta, ao contrário da classe 2 que apresentou razão de chances de $1,0045 > 1$, tendo maior probabilidade de ocorrer conforme a velocidade de onda ultrassônica aumenta.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 1030/2010**: Madeira serrada de coníferas — Defeitos — Medição. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2010. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: Abnt—associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997. 55 p. Disponível em: <[http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_10544nby - 7190 - _projeto de estbutubas de madeiba pdf.pdf](http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_10544nby_-_7190_-_projeto_de_estbutubas_de_madeiba_pdf.pdf)>. Acesso em: 25 jun. 2019.

BALLARIN, A. W.; NOGUEIRA, M. Determinação do módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* por ultrassom. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 19-28, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162005000100003>. Acesso em: 30/05/2019.

BROOK, M. V. **Ultrasonic Inspection Technology Development and Search Unit Design**. Editora Wiley, ed.1, Nova York, 2012. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/286885889 Ultrasonic Inspection Technology Development and Search Unit Design Examples of Practical Applications](https://www.researchgate.net/publication/286885889_Ultrasonic_Inspection_Technology_Development_and_Search_Unit_Design_Examples_of_Practical_Applications)> acesso em 10/05/2019.

BUCUR, Voichita. ACOUSTICS OF WOOD. In: THE INTERNATIONAL CONGRESS ON SOUND AND VIBRATION (ICSV13), 13., 2006, Vienna. **Proceedings....** Vienna - Austria: Tu Vienna, 2006. p. 1 - 14. Disponível em: <<http://blogs.umass.edu/bct597f-clouston/files/2011/01/acoustics-of-wood.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2019.

BUCUR, V. Ultrasonic techniques for nondestructive testing of standing trees. **Ultrasonics**, [s.l.], v. 43, n. 4, p.237-239, fev. 2005. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ultras.2004.06.008>>. Acesso em: 30 maio 2019.

CALIL, Carlito et al. **Estruturas de madeira: Projetos, dimensionamento e exemplos de cálculo**. Brasil: Elsevier, 2019. 208 p. ISBN 8535288945, 9788535288940. Disponível em: <https://books.google.com.br/books/about/Estruturas_de_madeira.html?id=TFmGDwAAQBAJ&redir_esc=y>. Acesso em: 30 maio 2019.

CALIL JUNIOR, Carlito. **SET 406 - ESTRUTURAS DE MADEIRA (NOTAS DE AULA)**. São Carlos: Carlito Calil Junior, 1998. 107 slides, color. Disponível em: <<http://www.civilnet.com.br/Files/MADEIRA/Apostila-madeiras.pdf>>. Acesso em: 19/09/2019.

CHEEKE, J. D. N. **Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves**. Editora CRC Press, ed.1, Londres, 2002. Disponível em: <<http://the-eye.eu/public/WorldTracker.org/Science/Physics/Fundamentals%20and%20Applications%20of%20Ultrasonic%20Waves%20->

[%20D.%20Cheeke%20%28CRC%2C%202002%29%20WW.pdf>](#) acesso em 10/05/2019.

CONNERS, Richard W., et al. Identifying and Locating Surface Defects in Wood: Part of an Automated Lumber Processing System. **IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence**. Vol. 5, No. 6, pp. 573-583.1983. disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/224377763_Identifying_and_Locating_Surface_Defects_in_Wood_Part_of_an_Automated_Lumber_Processing_System>. Acesso em: 30/05/2019.

COSTA, Odilon Antonio Leme da. **VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE ULTRA-SOM NA MADEIRA PARA DIFERENTES CONDIÇÕES DE UMIDADE**. 2005. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2005. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257152/1/Costa_OdilonAntonioLeme_da_D.pdf>. Acesso em: 13/05/2019.

DELLABETHA, Alexander Augusto. **SISTEMA INDUSTRIAL PARA AQUISIÇÃO DE IMAGENS E CLASSIFICAÇÃO DE NÓS EM MADEIRA SERRADA**. 2018. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletronica do Campus Universitário da Região dos Vinhedos, Área do Conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade de Caxias do Sul, Bento Gonçalves, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/3857/TCC%20Alexander%20Augusto%20Dellabetha.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 10/05/2019.

FULLER, J. J.; ROSS, R. J.; DRAMM, J. R. **Honeycomb and surface check detection using ultrasonic nondestructive evaluation**. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1994. 6 p. Disponível em: <<https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrn/fplrn261.pdf>>. Acesso em: 30/05/2019.

GRÖNLUND, Cilla. Quality improvements in forest products industry. Tese de doutorado. Suécia: Lulea University of Technology, 1995. Disponível em: <<http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A989886&dswid=-3954>>. Acesso em: 30/05/2019.

MANTOVANI, Giancarlo Zibetti de. **Estruturas de madeira: uso do ultrassom na localização de defeitos**. 2014. 136 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/122003>>. Acesso em: 10/05/2019.

McDONALD, K. A.; COX, R. G.; BULGRIN, E. H. **Locating lumber defects by ultrasonics**. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1969. 14 p. Disponível em: <<https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrp/fplrp120.pdf>>. Acesso em: 30/05/2019.

PEDROSO, Cinthya Bertoldo. **ESTIMATIVA DE PROPRIEDADES DE RIGIDEZ DA MADEIRA A PARTIR DE AVALIAÇÃO ACÚSTICA NA ÁRVORE E EM TORAS**

RECÉM ABATIDAS. 2011. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Engenharia Agrícola, Construções Rurais e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/256890/1/Pedroso_Cinthyabertoldo_M.pdf Acesso em 10/05/2019.

PUCCINI, Carlos T.; GONCALVES, Raquel; and MONTEIRO, Mariu E. A. **Avaliação estatística da variação da velocidade de propagação de ondas de ultrassom na madeira em presença de defeitos.** Rev. bras. eng. agríc. ambient. [online]. 2002, vol.6, n.3, pp.499-503. ISSN 1415-4366. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000300020> acesso em 10/05/2019.

RITTER, Michael A.. **Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance.** Washington, Dc: United States Department Of Agriculture, 1990. 944 p. Disponível em: https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/misc/em7700_8--entire-publication.pdf. Acesso em: 18/09/2019.

ROSE, J. L. **Ultrasonic Waves in Solid Media.** Editora Cambridge University Press, 1ª edição, Cambridge, 2004. Disponível em: <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.428552> acesso em 10/05/2019.

SANDOZ, Jean Luc. Grading of Construction timber by ultrasound. **Wood Science and Technology**, New York, v. 2, n. 23, p.95-108, 1989.

WANG, X.; CARTER, P.; ROSS, R. J.; BRASHAW, B. K. **Acoustics assessment of wood quality of raw forest materials.** Forest Products Journal, v. 57, p. 6-14. maio 2007a. Disponível em: https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2007/fpl_2007_wang003.pdf Acesso em 10/05/2019.