



PROGRESSÃO E MODELAGEM DE PROPRIEDADES DE ÁRVORES

DESDE A MUDA ATÉ A IDADE DE CORTE

PROGRESSION AND MODELING OF TREE PROPERTIES

FROM SEEDLING TO THE CUTTING AGE

Rafael Gustavo Mansini Lorensani^{1*}, Raquel Gonçalves², Mônica Ruy³

¹Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade de Campinas. Campinas, Brasil

²Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade de Campinas. Campinas, Brasil

³Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade de Campinas. Campinas, Brasil

* Contacto: Rafael Gustavo Mansini Lorensani: rafaelmansini@hotmail.com

CÓDIGO: 4611171

Resumen

Para as empresas florestais a viabilidade de classificar, o mais cedo possível, o material genético disponível, resulta em ganhos de produtividade e de qualidade na cadeia produtiva. Por isso, um dos principais objetivos dos programas de melhora genética é realizar a seleção em plantas jovens, e que essa seleção seja representativa no ano de aproveitamento da madeira. Sob essa ótica, o desenvolvimento de tecnologia não destrutiva é fundamental, não somente para o aproveitamento de áreas florestais, mas também como ferramenta de seleção em programas de melhora genética florestal. Nesta pesquisa ficou demonstrado que, associando ensaios de propagação de ondas com outras características obtidas diretamente no caule da planta ainda jovem, é possível antecipar o conhecimento de propriedades da madeira a ser produzida pela árvore na idade de corte e, assim, classificar o material genético.

Palabras-clave: mudas, ultrassom, propriedades físico-mecânicas.

Abstract

For forest companies, the feasibility of classifying available genetic material as soon as possible results in productivity and quality gains in the production chain. Therefore, one of the main objectives of genetic improvement programs is to carry out the selection on young plants, and that this selection is representative in the year of harvesting of the wood. From this perspective, the development of non-destructive technology is fundamental, not only for the use of forest areas, but also as a selection tool in forest genetic improvement programs. In this research it was demonstrated that by associating wave propagation tests with other characteristics obtained directly in the stem of the young plant, it is possible to anticipate the knowledge of wood properties to be produced by the tree at the cutting age and thus classify the genetic material.

Keywords: seedlings, ultrasound, physical and mechanical properties.



1. INTRODUÇÃO

A seleção antecipada de madeira de árvores jovens é muito importante para as empresas de base florestal. Em empresas que usam a madeira como material, a classificação prévia permite a seleção de materiais e de destino como uma função de suas propriedades, evitando gastos desnecessários para processar materiais que não atendam aos requisitos mínimos de processamento. Para empresas de papel e celulose a seleção prévia permite o conhecimento dos genótipos, evitando investimentos desnecessários em materiais que não possuem as propriedades necessárias para serem comercialmente viáveis (Apiolaza et al. 2013, Sharma et al. al. 2016).

Para realizar a seleção precoce, é necessário utilizar modelos de previsão que envolvam propriedades correlacionadas com a idade e com a propriedade que se deseja inferir em condições da idade de corte. Entre as propriedades de interesse das empresas de base florestal estão a rigidez, resistência e densidade da madeira. Por outro lado, entre as propriedades mensuráveis em mudas e em árvores jovens estão as propriedades acústicas (Merlo et al. 2014, Gonçalves et al., 2013), densidade (Wielinga et al. 2009, Lorensani et al. 2015), resistência e rigidez (Cherry et al. 2008, Vikram et al. al. 2011) e diâmetro e altura (Neves et al. 2013, Alves Ferreira et al. 2014), todos correlacionados com a idade e com as propriedades de interesse das empresas de base florestal.

No entanto, qualquer parâmetro incluído nesse tipo de análise, especialmente em árvores jovens, requer o conhecimento de seu comportamento durante o crescimento da árvore ou sua capacidade de se propagar com a idade. Nesse sentido, observa-se na literatura diversas pesquisas que avaliaram a propagação das propriedades das árvores ao longo dos anos. (Nogueira & Ballarin 2006, Lorensani et al. 2015, Alves Ferreira et al. 2014).

Considerando os aspectos mencionados e visando a antecipação da seleção da madeira, o objetivo desta pesquisa foi verificar se as mudas avaliadas com base no diâmetro, altura, densidade básica, resistência, rigidez e velocidade de propagação da onda ultrassônica mantinham tais propriedades consistentes ao longo do crescimento das árvores e se é possível inferir as propriedades das árvores adultas por meio das propriedades das mudas.

2. METODOLOGIA

A amostra foi composta de 3 clones de Eucalipto, nomeados A, B e C e 4 famílias de *Pinus pinaster*. Para os clones de eucalipto e famílias de pinus foram utilizadas 240 mudas de 3 e 6 meses, respectivamente. Para as 270 árvores adultas dos clones, as idades amostradas foram de 12, 24, 48 e 72 meses e para as 34 famílias de pinus a idade adulta foi de 72 meses (Tabela 1).

Tabela 1. Amostras de mudas e árvores adultas usados nos testes de ultrassom e determinação da densidade básica.

Clone/age	3	12	24	48	72	Total
A	50	30	30	30	30	170
B	20	30	30	30	30	140
C	50	-	-	-	30	80
Família 15	30	-	-	-	8	38
Família 18	30	-	-	-	9	39



Família 19	30	-	-	-	8	38
Família 23	30	-	-	-	9	39
Total	240	60	60	60	64	544

Todas as mudas e árvores (Tabela 1) foram submetidas a testes ultrassônicos e estáticos, além de cálculo de densidade básica e medidas de diâmetro. Após os testes de ultrassonografia, as árvores de cada local foram classificadas por grupos de árvores de velocidade ultrassônica: velocidades extremas (maiores e menores) e velocidades intermediárias. De cada grupo, pelo menos duas árvores foram escolhidas para compor a amostra de árvores a ser cortada para os ensaios de flexão estática (Tabela 2).

Tabela 2. Quantidade de troncos usados nos ensaios estáticos.

Clone/age	12	24	48	72	Total
A	6	10	10	6	32
B	10	10	10	6	36
C	-	-	-	6	6
Família 15	-	-	-	8	8
Família 18	-	-	-	9	9
Família 19	-	-	-	8	8
Família 23	-	-	-	9	9
Total	16	20	20	52	108

2.1 Medição de altura e diâmetro

Para medir a altura das mudas o caule foi considerado desde a linha entre a muda e o substrato, até sua extremidade, região onde se localizava uma área de brotação, desconsiderando as folhas extremas. O diâmetro foi medido na interface com o substrato.

Para as árvores (a partir dos 12 meses) a altura foi medida com um hipsômetro (Vertex IV, Haglöf, Suíça). O diâmetro das árvores foi medido na altura do peito (DAP), considerado a 1,30 m do solo, utilizando paquímetro.

2.2 Ensaio de ultrassom

Foram utilizados equipamento de ultrassonografia (USLab, Agricef, Brasil) com transdutores de pontas exponenciais de frequência de 45 kHz. As pontas dos transdutores são intercambiáveis, permitindo que os ensaios das mudas fossem feitos com ponteiras cônicas e os ensaios nas árvores com pontas arredondadas de 3 mm. As ponteiras cônicas foram feitas pelo próprio grupo de pesquisa.

Para o teste nas mudas de viveiro foi estabelecido uma distância padrão de 150mm para conter pelo menos 3 comprimentos de onda (λ). As mudas foram testadas indiretamente pelo ultrassom, com os transdutores posicionados a 45 ° com o eixo do caule. O teste indireto permite que a muda de viveiro seja testada viva e utilize a mesma metodologia aplicada em árvores.

O ensaio de ultrassom nas árvores foi realizado indiretamente, com os transdutores posicionados a 45 ° com o eixo do tronco. Nas árvores a distância entre os transdutores



foi de 0,7 m, sempre adotando 0,35 m acima e abaixo do DAP. O ensaio de ultrassom repetido em duas posições diametralmente opostas do tronco.

Com os tempos de propagação das ondas e as distâncias entre os transdutores, as velocidades foram calculadas para as mudas de viveiro e árvores.

2.3 Resistência e Rigidez

No caso das mudas com 3 meses de idade, a resistência e a rigidez foram determinadas por tração paralela a fibra realizado em uma máquina universal (DL30000, EMIC, Brasil) (Figura 1). A carga e a deformação foram obtidas simultaneamente pelo software da máquina, que recebia os sinais da célula de carga e do extensômetro.



Figura 1. Ensaio de tração em caule de muda de eucalipto.

Nas árvores, a resistência e a rigidez foram obtidas no teste de flexão estática em troncos saturados da base com 3,5 m de comprimento. Os testes foram realizados em um pórtico de carga servo-hidráulica usando um sistema de aquisição de dados de 8 canais (Quantun, HBM, Alemanha) no qual a célula de carga e o transdutor eletrônico de posição linear (resolução de 0,001 mm) foram acoplados, permitindo a leitura automática da carga e deslocamento vertical durante o teste. A aplicação da carga com 2 pontos simétricos foi realizada de acordo com a norma europeia EN 408 (2010).

As equações da NBR 7190 (1997) utilizadas nos ensaios de tração de corpos de prova (Equações 1 e 2) foram utilizadas para determinar a resistência (f_t) e o módulo de elasticidade (E_t) do caule das mudas em tração.

$$f_t = \frac{F_{t,max}}{A} \quad (1)$$

Onde: $F_{t,max}$ é a carga máxima aplicada e A é a área da seção transversal na parte central do caule.

$$E_t = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (2)$$



Em que: $\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$ são as tensões correspondentes a 10% e 50% da tensão de tração e $\varepsilon_{10\%}$ e $\varepsilon_{50\%}$ são a deformação específica medida na parte central da haste correspondente a $\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$, respectivamente.

Para os ensaios de flexão estática em toras, o módulo de elasticidade (E_M) foi calculado pela Equação 3 (módulo global da EN 408, 2010), considerando o módulo de cisalhamento (G) como valor infinito, simplificação permitida pela EN 408 (2010).

$$E_M = \frac{3aL^2 - 4a^3}{2bh^3 \left(2 \frac{f_{40\%} - f_{10\%}}{P_{40\%} - P_{10\%}} - \frac{6a}{5Gb} \right)} = \frac{3aL^2 - 4a^3}{48 I \left(\frac{f_{40\%} - f_{10\%}}{P_{40\%} - P_{10\%}} \right)} \quad (3)$$

Onde $P_{40\%}$ e $P_{10\%}$ são 40% e 10%, respectivamente, da carga máxima aplicada ao log durante os ensaios de flexão, $f_{40\%}$ e $f_{10\%}$ são os deslocamentos verticais correspondentes às cargas $P_{40\%}$ e $P_{10\%}$, respectivamente, L é o intervalo, $a = L/3$, $I =$ Inércia de madeira redonda e D é o diâmetro da seção transversal do tronco no ponto central sob casca.

A resistência à flexão também foi calculada de acordo com a EN 408 (2010) - Equação 4.

$$f_m = \frac{3F_{max}a}{bh^2} = \frac{3F_{max}a}{AD} \quad (4)$$

Onde: f_m é a resistência à flexão, F_{max} é a carga máxima (N), D é o diâmetro da seção transversal do tronco no ponto central sob casca, $A =$ área da seção transversal da madeira redonda.

2.4 Densidade básica

Do caule das mudas, com aproximadamente 150 mm de comprimento, foram utilizadas amostras de 30 a 50 mm de comprimento para determinação da densidade básica. No caso das árvores, o trado de incremento foi utilizada para obtenção de amostras cilíndricas, com 6 mm de diâmetro, na altura do peito. Cada amostra foi acondicionada em um saco plástico e refrigerada para manutenção da umidade em medições laboratoriais subsequentes.

O volume dos espécimes foi obtido em condição saturada e, em seguida, os espécimes foram levados a um forno a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até atingirem massa constante (condição seco no forno), na qual os pesos foram obtidos. Os valores de massa seca e volume saturado foram utilizados para determinar a densidade básica.

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os parâmetros (diâmetro, altura, velocidade, resistência, rigidez e densidade básica) foram analisados para verificar se existem diferenças estatísticas entre as idades e entre os clones. Usando valores médios reais e modelos de regressão (parâmetros x idade) também analisamos se as diferenças entre os clones observados nas mudas de viveiro são mantidas até a idade de corte.



Tabela 3. Valores médios (primeira linha) e coeficiente de variação (segunda linha) dos parâmetros medidos nas mudas: velocidade longitudinal ($V_{L,s}$), diâmetro (D_s) e altura das mudas (H_s) e as propriedades obtidas nas mudas e nas: densidade básica (DB_t), rigidez ($E_{M,t}$) e resistência ($f_{m,t}$).

Clone	Parâmetro	Idade (meses)				
		3	12	24	48	72
A	Velocidade [$m.s^{-1}$]	2249 (a) (1)	2697 (b) (1)	3130 (c) (1)	3811 (d) (1)	4654 (e) (1)
	Resistência [Mpa]	19,8 (a) (1)	31,7 (b) (1)	42,5 (d) (1)	57,9 (d) (1)	46,0 (c) (1)
	Rigidez [Mpa]	1822 (a) (1)	5858 (b) (1)	9704 (de) (1)	9772 (e) (1)	8257 (cd) (1)
	Densidade Básica [$kg.m^{-3}$]	350 (a) (1)	430 (b) (1)	480 (c) (1)	470 (c) (1)	480 (c) (1)
	Diâmetro [mm]	2,5 (a) (1)	64,7 (b) (1)	110,6 (c) (1)	124,5 (d) (1)	190,1 (e) (3)
	Altura [m]	0,31 (a) (1-2)	7,78 (b) (1)	16,12 (c) (1)	17,52 (d) (1)	28,72 (e) (3)
	B	Velocidade [$m.s^{-1}$]	2048 (a) (2)	2475 (b) (2)	2835 (c) (2)	3133 (d) (2)
Resistência [Mpa]		23,2 (a) (2)	30,6 (a) (1)	40,7 (b) (2)	51,4 (cd) (2)	44,2 (bc) (1)
Rigidez [Mpa]		2241 (a) (1)	5440 (b) (1)	6283 (bc) (2)	5843 (b) (2)	7346 (cd) (1)
Densidade Básica [$kg.m^{-3}$]		360 (a) (1)	460 (b) (2)	470 (b) (1)	460 (b) (1)	460 (b) (2)
Diâmetro [mm]		2,8 (a) (2)	81,2 (b) (2)	119,9 (c) (2)	143 (d) (2)	168,7 (e) (2)
Altura [m]		0,28 (a) (1)	10,66 (b) (2)	16,47 (c) (1)	20,87 (d) (2)	26,75 (e) (2)
C		Velocidade [$m.s^{-1}$]	2095 (a) (2)			
	Resistência [Mpa]	19 (a) (1)				47,7 (b) (1)
	Rigidez [Mpa]	1256 (a) (2)				7295 (b) (1)
	Densidade Básica [$kg.m^{-3}$]	270 (a) (2)				470 (b) (2)
	Diâmetro [mm]	2,5 (a) (1)				139,5 (b) (1)
	Altura [m]	0,31 (a) (2)				20,45 (b) (1)

Número e letras diferentes indicam valores estatisticamente diferentes. Letras comparam as linhas, e números comparam colunas.

Com os resultados, é possível observar que a velocidade de propagação das ondas ultrassônicas permite diferenciar os clones das mudas de viveiro, mantendo-se a ordem de diferenciação, de forma coerente, até a idade de corte. A velocidade das ondas de ultrassom usadas como ferramenta para classificar clones aos 12 ou 24 meses de idade apresentam o mesmo comportamento, mostrando que essas idades também poderiam ser usadas para diferenciar os clones por métodos acústicos.



Apesar dos resultados de velocidade apresentarem coeficiente de variação e valores médios similares aos de outros autores, deve-se compará-los com cautela, uma vez que a idade, espécie e outros fatores que influenciam o crescimento, influenciam nos valores (Santacalara et al. 2010, Vikran et al. 2011).

Observando os valores médios, tanto para a resistência, quanto para a rigidez, ambos não mantiveram sua diferenciação, porém avaliando modelos matemáticos dessas propriedades, observamos uma diferenciação a partir dos 12 meses de idade. Apesar de observarmos um decréscimo do valor médio das propriedades aos 72 meses, é importante salientar que a amostragem era composta por clones, e não pelos mesmos indivíduos ao longo do tempo.

Espera-se que a densidade básica aumente com a idade, mas este parâmetro é muito variável dentro e entre árvores de até 3 anos de idade (Raymond 2002 citado por Padua 2009). Diferentes pesquisas utilizando Eucalyptus obtiveram resultados incompatíveis quanto à variação de densidade com idade (Oliveira et al. 2005, Wu et al. 2007, Pádua et al. 2006). A densidade seguiu o mesmo modelo estatístico de regressão das propriedades mecânicas, mas somente após os 24 meses de idade, mantendo a diferenciação entre os clones até a idade de corte.

A altura e o diâmetro foram representados pelo mesmo modelo estatístico de regressão e a diferenciação dos clones pode ser feita a partir dos 12 meses de idade. Elevados valores de coeficiente de variação, e inversão de valores médios aos 72 meses podem ser explicados pelo fato de ter sido utilizados clones de diferentes idades, e não os mesmos clones ao longo do tempo.

Cada parâmetro obtido nas mudas (variáveis independentes), bem como as relações dos parâmetros (Tabela 5), foram avaliados, isoladamente, como preditores dos parâmetros de madeira (módulo de elasticidade, resistência e densidade) das árvores (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios (primeira linha) e coeficiente de variação (segunda linha) dos parâmetros medidos nas mudas: velocidade longitudinal ($V_{L,s}$), diâmetro (D_s) e altura das mudas (H_s) e as propriedades obtidas nas mudas e nas: densidade básica (DB_t), rigidez ($E_{M,t}$) e resistência ($f_{m,t}$).

Espécies	Mudas (3* e 6 meses)						Árvores (72 meses)		
	$V_{L,s}$ $m.s^{-1}$	D_s mm	H_s m	DB_s $kg.m^{-3}$	f_{ts} MPa	E_{ts} MPa	DB_t $kg.m^{-3}$	f_{mt} MPa	E_{Mt} MPa
Clone 1	2249	2.48	0.31	350	19.8	1822	480	46	8257
	10.1	7.2	9.3	17.8	27.3	58.2	4.6	12.0	18.3
Clone 2	2048	2.83	0.29	360	23.2	2241	460	44	7346
	4.7	12.5	7.5	15.7	44.9	60.1	5.0	16.0	8.6
Clone 3	2095	2.51	0.31	270	19.0	1256	470	48	7295
	7.7	10.1	9.2	17.0	36.5	59.1	4.80	5.7	30.6
Família 15	1816	3.30	0.33	430	17.1	312	440	50	2797
	9.9	11.0	7.4	11.7	23.3	25.1	7.7	16.1	25.2
Família 18	1789	3.59	0.33	430	16.9	313	460	59	3183
	8.2	9.2	10.4	6.4	21.4	25.6	9.0	11.3	14.1
Família 19	1735	3.46	0.31	440	18.2	313	460	54	2721



	11.0	9.9	11.5	16.7	19.6	26.9	11.5	28.4	31.1
Família 23	1930	3.75	0.36	440	17.4	469	480	49	2964
	11.1	11.32	9.7	6.3	16.1	17.0	7.8	29.8	16.8

*Mudas 1, 2 e 3 possuem 3 meses de idade, e as mudas 15, 18, 19 e 23 possuem 6 meses de idade.

Tabela 5. Relações entre parâmetros obtidos nas mudas.

Espécies	CLL _s	H _s /D _s	E _{ts} /f _{ts}
Clone 1	1770	125.0	92.0
Clone 2	1510	102.5	96.6
Clone 3	1185	123.5	66.1
Família 15	1417	100.0	18.2
Família 18	1376	91.9	18.5
Família 19	1324	89.6	17.2
Família 23	1639	96.0	27.0

Nota: Coeficiente de rigidez da muda $CLL_s = DB_s \cdot (VL_s)^2$, Velocidade Longitudinal (VL_s), diâmetro da muda (D_s), altura da muda (H_s), densidade básica da muda (DB_s), módulo de elasticidade da muda (E_{ts}), resistência à tração da muda (f_{ts}).

Inicialmente, foram analisados os modelos simples de regressão, com R² variando de 57 a 95% para estimar a rigidez. Os modelos de predição da resistência apresentaram R² variando de 58 a 81%. Para a densidade básica obtida nas árvores nenhum parâmetro obtido nas mudas apresentou correlação estatisticamente significativa. Os coeficientes de determinação encontrados são compatíveis com os coeficientes obtidos por outros autores (Watt et al., 2010, Apiolaza, 2009, Chauhan and Walker, 2006)

Para a resistência à flexão (f_{mt}) e densidade básica (DB_t) obtida das árvores, nenhum modelo de regressão múltipla envolvendo variáveis independentes não auto correlacionadas foi estatisticamente significativo. A magnitude da variação desses parâmetros pode explicar esse resultado. A variabilidade (coeficiente de variação) das densidades de madeira das árvores (clones e progênies) foi próxima de 3% e a resistência à flexão próxima de 10%, mas para o módulo de elasticidade esta variabilidade foi próxima de 50%.

Para a rigidez, um modelo que utilizava velocidade de propagação do pulso ultrassônico e altura da muda apresentou R² de 98,5%. Watt and Zoric (2010) em sua pesquisa obtiveram modelos que utilizavam a idade, relação entre altura e diâmetro e a temperatura mínima do outono com um R² de 96% (Tabela 6).

Tabela 6. Modelos de regressão com maior significância para predição da resistência (f_{Mt}) e rigidez (E_{Mt}) das árvores.

Model	P-valor	R ² (%)	R	Error*
$f_{Mt} = 1/(0.0147 + 0.0016 \cdot \ln(E_{ts}/f_{ts}))$	0,0145	81,0	0,90	3,10
$E_{Mt} = -2504 + 10.8 \cdot VL_s - 42572 \cdot H_s$	0,0002	98,5	0,99	384



4. CONCLUSÕES

Em geral, os resultados permitem concluir que todos os parâmetros têm o potencial de serem usados em um modelo preditivo para selecionar árvores, mas o grau dessa antecipação não seria o mesmo.

O modelo de regressão múltipla envolvendo a altura e a velocidade longitudinal das ondas ultrassônicas ao longo da direção das fibras do caule nas mudas foi o mais adequado para a predição da rigidez da madeira das árvores.

Para correlacionar a resistência à flexão de madeira das árvores, um modelo de regressão simples, utilizando a relação entre o módulo de elasticidade e a resistência obtida no teste de tração das mudas, permitiu um resultado estatisticamente significativo.

Finalmente, a densidade de madeira das árvores não pode ser prevista por nenhum modelo envolvendo parâmetros obtidos em plântulas dos mesmos clones ou progênies. Como a densidade é um parâmetro muito importante a ser conhecido, esse resultado mostra a importância de mais pesquisas nessa área.

5. AGRADECIMIENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP; Processos 2013/03449-9 e 2015/11926-7) pelo apoio financeiro e bolsa de estudos; À International Paper of Brazil pela doação de mudas e árvores dos clones de eucaliptos e apoio logístico aos ensaios florestais; ao projeto "IMAGINE" FEDER ININTERCONECTA nº: ITC-20151167 desenvolvido no Madera Plus Calidad Forestal e na Companhia Tragsa, Galicia, Espanha, pelo apoio financeiro; ao Projeto Trees4Future desenvolvido no Centro de Inovação e Serviços Tecnológicos de Madeiras da Galiza (CISMADEIRA), Espanha; e ao Laboratório de Estruturas da Escola Superior Politécnica de Lugo, Universidade de Santiago de Compostela, Lugo, Espanha.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves Ferreira, D. H. A., Leles, P. S. S., Machado, E. C., Abreu, A. H. M.; Abílio, F. M. 2014. Crescimento de clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em diferentes espaçamentos. Floresta, [S.l.], v. 44, n. 3, p. 431-440. doi:10.5380/ufv.v44i3.32188.

Apiolaza, L. A. 2009. Very early selection for solid wood quality: screening for early winners. Ann. For. Sci **66**(6):601. doi:10.1051/forest/2009047.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de Estrutura de Madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

Chauhan, S. S. and Walker, J. C. F. 2006. Variations in acoustic velocity and density with age, and their relationship in radiata pine. For. Ecol. Manage. **229**(1-3): 388-394. doi:10.1016/j.foreco.2006.04.019.

Cherry, M. L., Vikram, V.; Briggs, D., Cress, D. W. and Howe, G. T. 2008. Genetic variation in direct and indirect measures of wood stiffness in coastal Douglas-fir. Can. J. For. Res. **38**(9): 2476-2486. doi:10.1139/X08-087.



- EUROPEAN STANDARDS. EN 408. Structural timber and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties, 2010.
- Gonçalves, R., Batista, F. A. F. and Lorensani, R. G. M. 2013. Selecting eucalyptus clones using ultrasound test on standing trees. *For. Prod. J.* 63 (3-4): 112-118. doi:10.13073/FPJ-D-12-00114.
- Lorensani, R. G. M., Alves, C. S. and Gonçalves, R. 2015. Prediction of basic density using parameters measured on trees. In: 19th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. Rio de Janeiro, Brasil, September.
- Lorensani, R. G. M., Alves, C. S. and Gonçalves, R. Prediction of basic density using parameters measured on trees. In: 19th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. Rio de Janeiro, Brasil, September 2015.
- Merlo, E., Alvarez-Gonzalez, J. G., Santaclara, O. and Y Riesco, G. 2014. Modelling modulus of elasticity of *Pinus pinaster Ait.* in northwestern Spain with standing tree acoustic measurements, tree, stand and variables. *Forest Syst.* 23(1):1-14. doi: 10.5424/fs/2014231-04706.
- Neves, T. A., Protásio, T. P., Trugilho, P. F., Valle, M. L. A., Sousa, L. C. and Vieira, C. M. 2013. Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em diferentes idades para a produção de bioenergia. *Revista de Ciências Agrárias.* 56(2):139-148. doi:10.4322/rca.2013.022
- Nogueira, M. and Ballarin A. W. 2006. Ultrasound as a tool in the classification of parts of *Pinus taeda*. In: Seminário END Madeira, Itatiba, SP, CD-ROM 2006.
- Oliveira, J. T. S., Hellmeister, J. C. and Tomazello Filho, M. Variation of moisture content and basic density in the wood of seven species of eucalyptus. *Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 115-127, jan./fev. 2005.*
- Pádua, F. A. de, Trugilho, P. F. and Lima, J. T. Sampling of wood for the evaluation of basic density in *Eucalyptus*. In: BRAZILIAN MEETING ON WOOD AND WOOD STRUCTURES, 10., 2006, São Pedro, SP. Anais. São Pedro: UNESP/CEVEMAD/IBRAMEM, 2006. CD- ROM.
- Santaclara, O., Álvarez, J. G. and Merlo, E. 2011. Modeling structural lumber quality for *Pinus pinaster Ait.* in northwestern Spain using standing tree acoustic assesment, tree characteristics and stand variables. Proceedings of the 17th International Non destructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. University of West Hungary, Sopron, Hungary.
- Vikram, V., Cherry, M. L., Briggs, D., Cress, D. W., Evans, R. and Howe G. T. 2011. Stiffness of Douglas-fir lumber: effects of wood properties and genetics. *Can. J. For. Res.* 41(6): 1160–1173. DOI: 10.1139/x11-039.
- Watt, M. S. and Zoric, B. 2010. Development of a model describing modulus of elasticity across environmental and stand density gradients in plantation-grown *Pinus radiata* within New Zealand. *Can. J. For. Res.* 40(8): 1558-1566. doi:10.1139/X10-103.
- Watt, M. S., Sorensson, C., Cown, D. J., Dungey, H. S. and Evans, R. 2010. Determining the main and interactive effect of age and clone on wood density, microfibril angle and modulus of elasticity for *Pinus radiata*. *Can. J. For. Res.* 40(8): 1550-1557. doi: 10.1139/X10-095.
- Wielinga, B., Raymond, C. A., James, R. and Matheson, A.C. 2009. Genetic parameters and genotype by environment interactions for green and basic density and stiffness of *Pinus radiata d. don* estimated using acoustics. *Silvae Genet* 58:112–122.
- Wu, H. X., Powell, M. B., Yang, J. L., Ivkovich, M. and McRae, T. A. 2007. Efficiency of early selection for rotation-aged wood quality traits in radiata pine. *Ann. For. Sci.* 64: 1–9