



Ciência Rural

ISSN: 0103-8478

cienciarural@mail.ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria

Brasil

Missio, André Luiz; Gonzalez de Cademartori, Pedro Henrique; Dufau Mattos, Bruno;
Weiler, Michael; Gatto, Darci Alberto

Propriedades mecânicas da madeira resinada de *Pinus elliottii*

Ciência Rural, vol. 45, núm. 8, agosto, 2015, pp. 1432-1438

Universidade Federal de Santa Maria

Santa Maria, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33142184014>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Propriedades mecânicas da madeira resinada de *Pinus elliottii*

Mechanical properties of *Pinus elliottii* tapped wood

André Luiz Missio^{I*} Pedro Henrique Gonzalez de Cademartori^{II} Bruno Dufau Mattos^{III}
Michael Weiler^{IV} Darcy Alberto Gatto^I

RESUMO

As propriedades mecânicas por flexão estática da madeira resinada de *Pinus elliottii* foram avaliadas por meio de testes destrutivos e não destrutivos. Para tanto, foram confeccionados corpos de prova de 10x10x200mm³ (radial, tangencial e longitudinal), levando em consideração dois fatores: lenho (juvenil, próximo à medula e adulto, próximo à casca) e resina, isto é, corpos de prova oriundos de toras com e sem estrias de resinagem. Para a avaliação não destrutiva, utilizou-se um aparelho de ultrassom com transdutores do tipo ponto seco, em que se pode calcular a velocidade da onda ultrassônica e consequentemente o módulo de elasticidade dinâmico (E_D). Para obtenção do módulo de elasticidade (MOE) e do módulo de ruptura (MOR), realizou-se o ensaio destrutivo de flexão estática de três pontos. De posse das curvas de força x deformação, calculou-se a fragilidade do material. Os resultados confirmaram que o fator lenho foi significativo para as propriedades analisadas e o fator resina, em especial, para aumento do MOR e da massa específica. A fragilidade aumentou quando analisada a madeira juvenil e o fator resina quando incluso tendeu a aumentar a fragilidade no lenho adulto. O modelo de regressão múltiplo com variáveis Dummies, proposto para estimar o MOE pelo E_D , foi significativo em 1% de probabilidade de erro ($r^2=0,75$). Os resultados apresentados no presente trabalho mostraram que os fatores lenho e resina não afetaram negativamente as propriedades mecânicas da madeira de *Pinus elliottii*, em que, para o segundo fator, conclui-se, de maneira geral, que a madeira serrada oriunda de toras resinadas pode não representar danos significativos quando em serviço estrutural.

Palavras-chave: *Slash Pine, resina de pinus, flexão estática, método não destrutivo, dummies.*

ABSTRACT

The mechanical properties for static bending of *Pinus elliottii* tapped wood were evaluated by nondestructive

and destructive tests. To achieve this, samples measuring 10x10x200mm³ (thickness, width and length) were prepared considering two factors: wood (juvenile, near to pith and mature, near to bark) and resin, i.e., samples from logs with and without tapping grooves. The nondestructive evaluation were performed using an ultrasound equipment with dry-point transducers in order to measure the ultrasonic velocity and, consequently, the dynamic modulus of elasticity (E_D). The modulus of elasticity (MOE) and the modulus of rupture (MOR) were measured through static bending tests. The wood brittleness were determined through the analysis of force x deformation plots. The results confirmed the significance of wood factor for the properties analyzed and the factor resin, especially for MOR and density. The brittleness increased for the juvenile wood and, when included the factor resin, this property tends to increase for the mature wood. The multiple regression model with Dummies variables proposed to estimate MOE as a function of E_D was significant at 1% of probability of error ($r^2=0,75$). Moreover, the results showed that factor wood and factor resin did not negatively affect the mechanical properties of *Pinus elliottii* wood. In general, the timber from tapped logs could not represent significant damages when in structural service.

Key words: *Slash pine, pine resin, static bending, nondestructive method, dummies.*

INTRODUÇÃO

O gênero *Pinus* compreende aproximadamente 600 espécies florestais, em que a madeira das espécies *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* destaca-se por apresentar grande aplicação industrial no Brasil. Essas espécies foram as que melhor se

^IPrograma de Pós-graduação em Engenharia Florestal (PPGEF), Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: andreluizmissio@gmail.com. ^{*}Autor para correspondência.

^{II}Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal (PPGEF), Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil.

^{III}Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais (PIPE), UFPR, Curitiba, PR, Brasil.

^{IV}Divisão de Métodos e Processos, Engenheiro Industrial Madeireiro, S.C.A Mobiliário Contemporâneo, Bento Gonçalves, RS, Brasil.

adaptaram ao clima na região sul e sudeste do país, tornando-se fontes renováveis de ciclo rápido, com mercado abrangendo os setores de paletes, embalagens, mobiliário, construção civil e indústrias de celulose e papel. Sabe-se também que o ciclo econômico não se restringe apenas à madeira, pois a resinagem de pinus caracteriza-se como uma das mais importantes explorações econômicas desses plantios. De acordo com a Associação dos Resinadores do Brasil (ARESB, 2013), atualmente, a resina é extraída através da abertura de estrias na base da árvore, onde são colocados estimulantes que evitam a cicatrização do local, o que permite a extração por um período mais longo.

Atrás apenas da China no mercado mundial, a produção de resina no Brasil na safra 2012-2013 foi de 96 mil toneladas, em que se estimou o seu preço médio em março de 2013 em R\$1491,82 por tonelada (ARESB, 2013). A resina é composta pela mistura de terpenoides, o breu (diterpeno, C₂₀), a terebentina (monoterpeno, C₁₀ e sesquiterpeno, C₁₅) (PHILLIPS & CROTEAU, 1999; BOHLMANN & KEELING, 2008) e é utilizada principalmente em produtos químicos intermediários, adesivos, revestimentos (STUBBS et al., 1984), solventes ou agentes de limpeza de tintas, vernizes e na indústria farmacêutica (FAO, 1995).

De acordo com CADEMARTORI et al. (2012), o processo de resinagem é relevante pela sua abrangência em termos de mercado consumidor e escala industrial, já que é considerada como uma forma secundária e rentável de aproveitamento da floresta plantada. Os mesmos autores sugerem que a resinagem pode influenciar diretamente em diversos aspectos qualitativos da madeira, tornando-se assim necessária uma melhor avaliação desse material, para que os seus produtos oriundos possam ganhar mercado e estabelecer um conceito cada vez mais favorável entre os consumidores.

Em geral, a qualidade da madeira serrada de *Pinus* utilizada em diferentes nichos do mercado nacional e internacional é avaliada visualmente em função da presença de características do material, tais como esmoados, empenamentos, nós e bolsas de resina. O Catálogo de Normas de Madeira Serrada de *Pinus* (ABPM, 1990) estabelece classes de qualidade para a madeira serrada, as quais indicam que a presença de bolsas de resina afeta negativamente o material. As restrições da norma estabelecem que a madeira de melhor qualidade não deve apresentar bolsas de resina, enquanto as classes inferiores apontam a existência de bolsas, porém com restrições a sua porcentagem em relação à largura ou ao comprimento da peça.

Juntamente com a qualidade da madeira, a avaliação e caracterização das propriedades mecânicas desse material devem ser consideradas como um aditivo de maneira a incrementar ou expandir a utilização da madeira de *pinus*, dadas as informações concebidas por estas propriedades, essencialmente relacionadas à resistência mecânica a distintos esforços quando em serviço. Nesse contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar as propriedades mecânicas por flexão estática da madeira resinada de *Pinus elliottii* por meio de técnicas não destrutivas e destrutivas.

MATERIAL E MÉTODOS

A madeira da espécie *Pinus elliottii* Engelm. foi proveniente de um plantio homogêneo de 7.200ha na região litorânea do município de São José do Norte (31°59'59.40" S, 52°1'59.88" O), estado do Rio Grande do Sul – Brasil. O plantio tem espaçamento 2x2m², não foi realizado nenhum manejo florestal e as árvores foram resinadas de 10 a 12 vezes antes do abate, sendo um processo por ano, isto é, inicia-se no período de inverno e finaliza-se no período de verão. As árvores possuíam entre 28 e 32 anos.

Foram selecionadas aleatoriamente seis toras, três com estrias de resinagem e três sem estrias de resinagem. As toras foram desdobradas em tábuas tangenciais e radiais de uma polegada. Das tábuas, foram confeccionados corpos de prova de 10x10x200mm³ (radial, tangencial e longitudinal). Os corpos de prova foram confeccionados considerando dois fatores: lenho juvenil (próximo à medula) e lenho adulto (próximo à casca), e fator resina, isto é, corpos de prova oriundos de toras com e sem estrias de resinagem. Após a etapa de confecção, os corpos de prova foram climatizados em condição de 20°C e 65% de umidade relativa do ar.

Foram realizados dois tipos de avaliação mecânica, a não destrutiva com a utilização de um aparelho de ultrassom e a destrutiva em máquina universal de ensaios. Para avaliação por ultrassom, foram utilizados transdutores ponto seco com 54kHz de frequência. Foram realizadas três medições no sentido longitudinal dos corpos de prova, pelo método direto, para obtenção da velocidade de propagação da onda ultrassônica (V), em função do comprimento do corpo de prova, sendo utilizada a média aritmética das três medições. Posteriormente, calculou-se o módulo de elasticidade dinâmico (E_D), em MPa, pela equação $E_D = V^2 \cdot \rho_{ap} \cdot 10^6$, em que: V = velocidade de propagação da onda ultrassônica (m s⁻¹); ρ_{ap} = massa específica aparente na condição climatizada (kg m⁻³), obtida

conforme norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR, 1997).

Os ensaios destrutivos de flexão estática foram realizados em uma máquina universal de ensaios (EMIC D30000), com célula de carga de 2kN e vão de 140mm, de acordo com os procedimentos normativos da American Society for Testing and Materials D143-94 (ASTM, 2000). Dessa maneira, foi obtido o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR).

De posse das curvas de força x deformação obtidas no ensaio de flexão estática, apropriadade da fragilidade (F) foi calculada através da metodologia proposta por PHUONG et al. (2007), utilizando uma proporção do trabalho absorvido na região elástica (A_E) em relação ao trabalho absorvido na região plástica (A_p) do diagrama força x deformação conforme a equação: $F = (A_E / A_E + A_p)$. De acordo com os mesmos autores, o limite proporcional foi obtido ao desenhar uma curva de correlação linear com coeficiente de determinação de 0,999, partindo da carga de 0% até o limite elástico.

A análise estatística procedeu-se com delineamento inteiramente casualizado, com uma espécie (*Pinus elliottii*), dois tipos de lenho (juvenil e adulto), duas condições (toras com e sem estrias de resinagem) e trinta e sete repetições (corpos de prova). Os dados foram interpretados através de análise de variância (ANOVA) fatorial e criação de modelos matemáticos de regressão. Primeiramente, foram verificadas a normalidade e homogeneidade de variância dos dados, pressupostos antes de qualquer teste paramétrico. Na ANOVA, foram realizadas comparações de médias, para os fatores lenho e resinagem, pelo teste F em 5% de probabilidade de erro. Em caso de rejeição da hipótese nula, foi realizado teste de médias HSD de Tukey, em 5% de probabilidade de erro.

Os modelos de regressão foram selecionados de acordo com o coeficiente de determinação (r^2), erro padrão médio (S_{yx}) e estatística F. Para validação do modelo, foi feito teste de heterogeneidade de variância, normalidade e independência dos erros pelos testes White, Shapiro-Wilk e Durbin-Watson, respectivamente. Foram inseridas no modelo duas variáveis Dummies, D1 e D2, que assumiram valores 0 e 1 para presença ou não dos fatores lenho e resinagem. As variáveis Dummies foram definidas da seguinte forma: D1=0 se o fator resinagem não estiver presente no E_D ; D1=1 se o fator resinagem estiver presente no E_D ; D2=0 se o lenho juvenil está presente no E_D ; D2=1, se o lenho adulto está presente no E_D . Foi também avaliada a significância no coeficiente angular entre os fatores

lenho e resina, em que se criaram as variáveis X·D1 e X·D2. A significância de cada variável independente no modelo foi verificada por meio do teste T usual, considerando variáveis significativas aquelas que apresentaram p-valor menor que 0,05 ($P<0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância fatorial, os fatores lenho e resinagem tiveram um efeito estatisticamente significativo ($P<0,05$) para todas as propriedades, com exceção da massa específica (ρ_{ap}) para o fator lenho e do módulo de elasticidade (MOE) e da fragilidade (F) para o fator resinagem (Tabela 1). A interação entre os fatores (Lenho x Resinagem) foi estatisticamente significativa ($P<0,05$) para as propriedades da ρ_{ap} , MOE, módulo de elasticidade dinâmico (E_D) e fragilidade (F), e não significativa ($P>0,05$) para o módulo de ruptura (MOR) e a velocidade de propagação da onda ultrassônica (V).

A ρ_{ap} se mostrou 14,8% superior no lenho adulto, quando comparada ao lenho juvenil, para os corpos de prova oriundos de toras sem estrias de resinagem. Quanto maior a proporção de lenho juvenil, menor é a ρ_{ap} (BALLARIN & NOGUEIRA, 2005; KRETSCHMANN, 2008; BAL & BEKTAŞ, 2012). Em toras com a presença de estrias de resinagem, não houve diferenças significativas para a ρ_{ap} entre os lenhos. Para ambos os tipos de lenho, houve diferença significativa entre a ρ_{ap} dos corpos de prova oriundos de toras com e sem estrias de resinagem, sendo 61% superior para o lenho juvenil e 35,7% para o lenho adulto (Tabela 2). De acordo com o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF, 1978), a ρ da resina bruta é de 0,97g cm⁻³, valor similar ao encontrado para o lenho juvenil oriundo de toras com estrias de resinagem.

Pode-se observar que a resina age como um material de enchimento e se mantém retida nos espaços vazios da madeira. Assim, o incremento da ρ_{ap} em relação ao fator resinagem é maior no lenho juvenil, devido a esse lenho apresentar maior diâmetro de lúmen e paredes celulares mais finas (BUCUR, 2006) do que o lenho adulto, apresentando assim mais sítios para a resina se manter depositada.

Para o MOE e o MOR, os resultados foram iguais em relação aos fatores lenho e resinagem. No lenho adulto, os valores médios do MOE e do MOR foram 79,8 e 48,9% superiores ao do lenho juvenil, respectivamente, para corpos de prova provenientes de toras sem estrias de resinagem. Esses resultados se mostraram representativos para a espécie e para a variação que ocorre entre lenhos (ADAMOPOULOS et al., 2007; KRETSCHMANN, 2008). Em toras com

Tabela 1- Análise de variância fatorial das propriedades da madeira da espécie *Pinus elliottii* sob influência dos fatores lenho e resinagem.

Propriedade	Fonte	SQ	GL	QM	F
ρ_{ap}	Lenho	0,0295343	1	0,0295343	3,41 ^{ns}
	Resinagem	3,25845	1	3,25845	376,67 ^{**}
	Lenho x Resinagem	0,127247	1	0,127247	14,71 ^{**}
	Resíduos	1,26299	146	0,00865062	
MOE	Lenho	7,20398E8	1	7,20398E8	112,13 ^{**}
	Resinagem	1,04553E7	1	1,04553E7	1,63 ^{ns}
	Lenho x Resinagem	3,40136E7	1	3,40136E7	5,29 [*]
	Resíduos	9,12336E8	142	6,4249E6	
MOR	Lenho	36156,1	1	36156,1	117,82 ^{**}
	Resinagem	1821,84	1	1821,84	5,94 [*]
	Lenho x Resinagem	106,642	1	106,642	0,35 ^{ns}
	Resíduos	44497,8	145	306,882	
V	Lenho	2,99887E6	1	2,99887E6	59,52 ^{**}
	Resinagem	1,74508E6	1	1,74508E6	34,64 ^{**}
	Lenho x Resinagem	328,332	1	328,332	0,01 ^{ns}
	Resíduos	7,35619E6	146	50384,8	
E_D	Lenho	7,27946E7	1	7,27946E7	122,40 ^{**}
	Resinagem	4,54442E7	1	4,54442E7	76,41 ^{**}
	Lenho x Resinagem	2,93391E6	1	2,93391E6	4,93 [*]
	Resíduos	8,6831E7	146	594733	
F	Lenho	204,811	1	204,811	16,24 ^{**}
	Resinagem	3,07788	1	3,07788	0,24 ^{ns}
	Lenho x Resinagem	129,991	1	129,991	10,31 ^{**}
	Resíduos		123	12,6138	

Em que: ρ_{ap} = massa específica (g cm^{-3}); MOE = módulo de elasticidade (MPa); MOR = módulo de ruptura (MPa); V = velocidade de propagação da onda ultrassônica (m s^{-1}); E_D = módulo de elasticidade dinâmico (MPa); F = fragilidade; SQ = soma de quadrados; GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio. ^{ns}= não significativo; ^{*} = significativo em 5% de probabilidade de erro; ^{**} = significativo em 1% de probabilidade de erro.

estrias de resinagem, a diferença entre lenhos nos valores médios do MOE e do MOR foram de 42 e 38,8%, respectivamente, inferiores aos observados em toras sem estrias de resinagem.

A V diminuiu nos corpos de prova oriundos de toras com estrias de resinagem, sendo 8,4 e 7,4% menor no lenho juvenil e adulto, respectivamente, o que evidencia que a velocidade de propagação na resina é menor que na madeira. As ondas de ultrassom são ondas mecânicas que se propagam mais facilmente em meios sólidos, por meio de vibrações moleculares. Dessa forma, a diminuição da V em função do fator resinagem, para ambos os lenhos, pode ser associada à consistência pouco sólida da resina em relação à madeira.

Entre lenhos, os resultados médios apresentados da V foram estatisticamente superiores em

aproximadamente 10% no lenho adulto. Os resultados aqui encontrados foram típicos aos encontrados na literatura para a madeira do gênero *Pinus* (BALLARIN & NOGUEIRA, 2005; STANGERLIN et al., 2008). Já o E_D apresentou diferenças estatisticamente significativas para ambos os fatores, em especial, o aumento de 35,5 e 14,8% no E_D nos corpos de prova provenientes de toras com estrias de resinagem no lenho juvenil e adulto, respectivamente. Esses resultados são confirmados com o aumento significativo da ρ_{ap} quando inserido o fator resinagem nos corpos de prova, já que o E_D é diretamente proporcional a ρ_{ap} e a V.

Para a F, os corpos de prova oriundos de toras sem estrias de resinagem apresentaram um aumento de 88,5% no lenho juvenil em comparação com o lenho adulto. Diferentemente do lenho juvenil, os valores médios da F no adulto

Tabela 2- Valores médios e teste de médias para as propriedades da madeira da espécie *Pinus elliottii* sob influência dos fatores lenho e resinagem.

Propriedade	Lenho	Resinado	Não-resinado
ρ_{ap}	Juvenil	0,936 b A	0,581 a A
	Adulto	0,905 b A	0,667 a B
MOE	Juvenil	8333,31 b A	6822,32 a A
	Adulto	11834,80 a B	12267,90 a B
MOR	Juvenil	76,3285 b A	67,5928 a A
	Adulto	105,962 a B	100,63 a B
V	Juvenil	2384,99 a A	2604,87 b A
	Adulto	2672,30 a B	2886,23 b B
E_D	Juvenil	5302,17 b A	3914,08 a A
	Adulto	6421,81 b B	5596,20 a B
Fragilidade	Juvenil	8,062 a A	9,785 a B
	Adulto	7,542 b A	5,191 a A

Em que: ρ_{ap} = massa específica (g cm^{-3}); MOE = módulo de elasticidade (MPa); MOR = módulo de ruptura (MPa); V = velocidade de propagação da onda ultrassônica (m s^{-1}); E_D = módulo de elasticidade dinâmico (MPa); F = fragilidade. Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas na linha e letras maiúsculas na coluna, não apresentam significância a 5% de probabilidade de erro (Tukey Test, $P>0,05$).

apresentaram um aumento significativo de 45,3%, quando incluído o fator resinagem nos corpos de prova. A F apresentou uma correlação linear negativa de -0,52 com o MOR e -0,50 com o MOE, em que, quanto maior a F, menores os valores do MOR e do MOE, resultado já esperado.

Observou-se que o percentual de fragilidade na fratura do corpo de prova (F) foi uma variável pouco

sensível em relação ao tipo de lenho e também em função de corpos de prova oriundos de toras com ou sem estrias de resinagem na madeira de *Pinus elliottii*. Todavia, para todas as situações (lenhos x resinagem), os valores de F podem ser considerados baixos (menor que 10%), evidenciando que a madeira dessa espécie tem a característica de não romper de maneira frágil, mesmo com a presença de resina.

Para a estimativa do MOE em função do E_D , do fator resina (D1), do fator lenho (D2), do $E_D \cdot D1$ e do $E_D \cdot D2$, verificou-se que todas as variáveis independentes foram significativas em 1% de probabilidade de erro quando inseridas no modelo, exceto a variável D1 (dummy 1) que não foi significativa, sendo retirada do modelo máximo final (Tabela 3). A variável do E_D foi transformada na variável X ($1/E_D$), evitando assim a autocorrelação dos resíduos, detectada através do teste Durbin-Watson.

O modelo final obtido foi: $\text{MOE} = 18129,4 + 5805,24 \cdot D2 - 4,23462E7 \cdot X - 1,02755E7 \cdot D1 - 2,33595E7 \cdot X \cdot D2$; com $R_{aj}^2 = 0,747$ e $S_{yx} = 1731,66 \text{ MPa}$, isto é, o modelo linear múltiplo proposto explica 74,70% da variabilidade do MOE. Note que, para um mesmo valor das outras covariáveis, o sinal positivo apresentado na variável D2 (dummy2) indicou que a presença de lenho adulto afetou positivamente o MOE, fato já esperado e reportado por outros autores (BALLARIN & NOGUEIRA, 2005; GULER et al., 2007; KRETSCHMANN, 2008; STANGERLIN et al., 2008).

Os valores calculados a partir do modelo proposto para cada situação, isto é, juvenil (D1=0; D2=0), juvenil + resinagem (D1=1; D2=0), adulto (D1=0; D2=1) e adulto + resinagem (D1=1; D2=1) pode ser visualizado na figura 1. Observa-se que a

Tabela 3-Regressão linear múltipla e análise de variância para o modelo proposto com variáveis dummies, para o lenho juvenil e adulto com e sem estrias de resinagem de *Pinus elliottii*.

Parâmetro	Estimação	Erro médio	Estatística T	P
Intercepto	18129,4	1028,53	17,6265	0,00001
D2	5805,24	1456,82	3,98487	0,00010
X	-4,23462E7	3,99212E6	-10,6075	0,00001
X·D1	-1,02755E7	1,85033E6	-5,55332	0,00001
X·D2	-2,33595E7	7,6019E6	-3,07284	0,0025
-----Análise de Variância-----				
Fonte	SQ	GL	QM	F
Modelo	1,29017E9	4	3,22542E8	107,56
Resíduo	4,19813E8	140	2,99866E6	--
Total	1,70998E9	144	--	--

Em que: SQ = soma de quadrados; GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio.

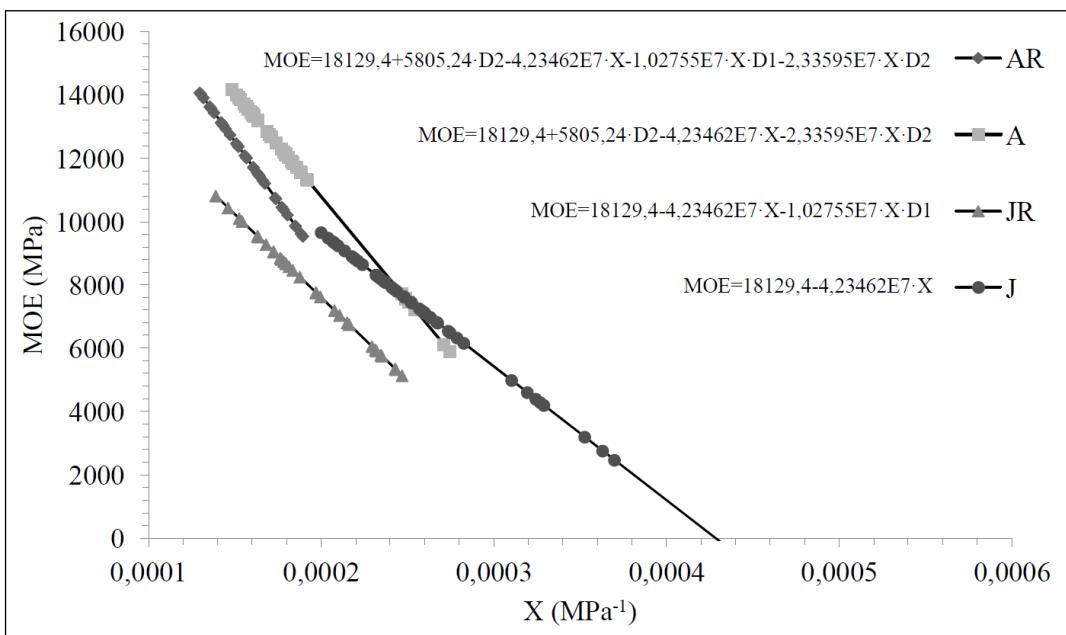


Figura 1- Modelos matemáticos de regressão diferenciando os fatores lenho e resina a partir do modelo máximo apresentado. AR = lenho adulto resinado (calculado); A = lenho adulto não resinado (calculado); JR = lenho juvenil resinado (calculado); J = lenho juvenil não resinado (calculado).

inclusão ou não das variáveis Dummies no modelo alteraram o nível, isto é, o valor do intercepto, e a angulação da reta do modelo de regressão, quando associadas com a variável X. Já que as variáveis X · D1 e X · D2 foram significativas, todas as situações apresentaram um coeficiente angular diferente, mostrando assim que a estimativa do MOE não foi igualmente proporcional, quando os fatores lenho e resina estavam presente no E_D .

CONCLUSÃO

Os fatores lenho e resinagem influenciaram na massa específica, no módulo de elasticidade, no módulo de ruptura e no módulo de elasticidade dinâmico, em que, no geral, houve acréscimos nos valores médios dessas propriedades. A velocidade de propagação da onda ultrassônica apresentou comportamento distinto entre os fatores, diminuindo com a presença do fator resina.

Para todo fatorial, a fragilidade apresentou valores baixos e não mostrou um comportamento específico em relação aos fatores lenho e resinagem.

O modelo de regressão múltiplo com variáveis Dummies mostrou que os fatores lenho e resinagem afetaram o coeficiente angular da reta de regressão. O modelo foi significativo em 1% de probabilidade de erro, sendo assim bom estimador do

módulo de elasticidade para cada uma das situações propostas no artigo.

REFERÊNCIAS

- ADAMOPOULOS, S. et al. Strength properties of juvenile and mature wood in black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Wood and Fiber Science*, v.39, n.2, p.241-249, 2007. Disponível em: <http://www.teilar.gr/dbData/Dimosieyseis/Wood%20and%20Fiber%20Science_2007.pdf>. Acesso em 15 mar. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MADEIRAS. *Catálogo de normas de madeira serrada de pinus*. Caxias do Sul: Spectrum Comunicação. 1990. 34p.
- ASSOCIAÇÃO DOS RESINADORES DO BRASIL (ARESB). *Estatísticas gerais*. 2013. Disponível em: <<http://www.aresb.com.br>>. Acesso em: mar. 2013.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *Standards methods of testing small clear specimens of timber*: D143-94. Annual Book of ASTM Standard. West Conshohocken, 2000. 31p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Projeto de estruturas de madeira*: NBR 7190. Rio de Janeiro, 1997.107p.
- BAL, B.C.; BEKTAŞ, İ. The effects of heat treatment on the physical properties of juvenile wood and mature wood of *Eucalyptus grandis*. *Bio Resources*, v.7, n.4, p.5117-5127, 2012. Disponível em: <http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_07_4_5117_Bal_Bektas_Heat_Treatment_Eucalyptus_Grandis/1752>. Acesso em: fev. 2013.

- BALLARIN, A.W.; NOGUEIRA, M. Determinação do módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* por ultrasom. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p.19-28, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v25n1/24867.pdf>>. Acesso em: mar. 2013.
- BOHLMANN, J.; KEELING, C. Terpenoid biomaterials. **Plant Journal**, v.54, n.4, p.656-669, 2008. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-313X.2008.03449.x/pdf>>. Acesso em: mar de 2013. doi: 10.1111/j.1365-313X.2008.03449.x
- BUCUR, V. **Acoustics of wood**. Berlin: Springer-Verlag, 2006. 412p. Disponível em: <<http://link.springer.com/book/10.1007%2F3-540-30594-7>>. Acesso em: fev de 2013.
- CADEMARTORI, P.H.G.D. et al. Qualidade da madeira serrada de *Pinus elliottii* Engelm. procedentes de florestas resinadas. **Cerne**, v.18, n.4, p.577-583, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cerne/v18n4/v18n4a07.pdf>>. Acesso em: mar de 2013. doi: 10.1590/S0104-77602012000400007.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Flavor and fragrances of plant origin (Non-Wood Forest Products 1)**. 1995. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/V5350e/V5350e00.htm>>. Acesso em: mar de 2013.
- GULER, C. et al. Some chemical, physical and mechanical properties of juvenile wood from Black Pine (*Pinus nigra* Arnold) plantations. **Journal of Applied Science**, v.7, n.5, p.755-758, 2007. Disponível em: <<http://www.scialert.net/abstract/?doi=jas.2007.755.758>>. Acesso em: mar de 2013. doi: 10.3923/jas.2007.755.758.
- INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS (IPEF). **O *Pinus elliottii*, a goma resina e seus derivados**. Resina de pinus implantados no Brasil. Piracicaba: ESALQ-USP, Seção de Química, Celulose e Papel, 1978.22p.
- KRETSCHMANN, D.E. The influence of juvenile wood content on shear parallel, compression, and tension perpendicular to grain strength and mode I fracture toughness of loblolly pine at various ring orientation. **Forest Product Journal**, v.58, n.7/8, p.89-96, 2008. Disponível em: <http://www.fpl.fs.fed.us/documents/fplrp/fpl_rp647.pdf>. Acesso em: fev de 2013.
- PHILLIPS, M.A.; CROTEAU, R.B. Resin-based defenses in conifers. **Trends in Plant Science**, v.4, n.5, p.184-190, 1999. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1360138599014016>>. Acesso em: fev de 2013. doi: 10.1016/S1360-1385(99)01401-6.
- PHUONG, L. et al. Effects of heat treatment on brittleness of *Styrax tonkinensis* wood. **Journal of Wood Science**, v.53, n.3, p.181-186, 2007. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10086-006-0841-0>>. Acesso em: fev de 2013. doi: 10.1007/s10086-006-0841-0.
- STANGERLIN, D.M. et al. Determinação do módulo de elasticidade em madeiras por meio de métodos destrutivo e não-destrutivo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.2, p.145-150, 2008. Disponível em: <<http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=284&path%5B%5D=164>>. Acesso em: fev de 2013. doi: 10.5039/agraria.v3i2a284.
- STUBBS, J. et al. **Chemical Stimulation of lightwood in southern pines**. Asheville: United States Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, 1984. Disponível em: <http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/gtr/gtr_se025.pdf>. Acesso em: mar. 2013.