

Delimitação dos lenhos juvenil e adulto de cedro
por meio de suas propriedades mecânicasDelimitation of juvenile and mature cedar
wood by means its mechanical propertiesRafael de Avila Delucis¹, Matheus Lemos Peres², Leonardo Weinert Correa³,
Roger de Avila Vega³, Rafael Beltrame⁴ e Darci Alberto Gatto⁴**Resumo**

Em busca do reporte de resultados pormenorizados, a fim de indicar o emprego de maneira confiável da madeira de cedro (*Cedrela fissilis*), o presente estudo objetivou delimitar seus lenhos juvenil e adulto, com base na variação, no sentido medula-casca, de seus módulos de elasticidade estático e dinâmico. Para tal, foram selecionadas, ao acaso, árvores centenárias no município de Canguçu, Rio Grande do Sul, das quais foram retiradas amostras centímetro à centímetro no sentido medula-casca, de modo a caracterizar toda a extensão radial das madeiras. Os módulos de elasticidade estático e dinâmico foram avaliados por meio de ensaios de flexão estática e propagação de ondas de ultrassom, respectivamente. Os principais resultados obtidos evidenciaram que do ponto de vista dos valores médios, não houve diferença entre as variáveis utilizadas como parâmetro para a delimitação. Entretanto, o módulo de elasticidade dinâmico pode ser considerado como um parâmetro preferencial, em razão da facilidade, velocidade, versatilidade e baixo custo intrínseco à metodologia de obtenção dessa propriedade.

Palavras-chave: Qualidade da madeira, ensaios não destrutivos, *Cedrela fissilis*, ultrassom.

Abstract

In order to find results for the correct employment for cedar timber (*Cedrela fissilis*), the present work aimed to estimate the demarcation of juvenile and mature wood based on radial variation of static and dynamic modulus of elasticity. For this, centenary trees were randomly selected from Canguçu, Rio Grande do Sul, from which samples were taken at each centimeter from pith to bark. The static and dynamic moduli of elasticity were obtained through static bending and ultrasound tests, respectively. The main results showed that the average values of used parameters do not differ from the demarcation estimative. Nevertheless, the dynamic modulus of elasticity is more suitable for this estimative due to its readiness, quickness and low-cost methodology for obtaining this wood property.

Keywords: Wood quality, non-destructive tests, *Cedrela fissilis*, ultrasound.

INTRODUÇÃO

A delimitação entre os lenhos juvenil e adulto justifica-se com base em estudos que reportaram diversas de suas diferenças, as quais abrangem suas características químicas e anatômicas e, por conseguinte suas propriedades físicas e mecânicas (DÜNISCH et al., 2010; PERES, et al., 2012).

Por esse motivo, segundo Delucis et al., (2013), a proporção de lenho juvenil é um dos principais indicadores da qualidade da madeira quando em seu processamento, de forma que a

determinação das propriedades tecnológicas no sentido medula-casca, é imprescindível para o uso responsável de cada espécie, reduzindo desperdícios de recursos na obtenção de produtos de base madeireira.

O lenho juvenil é a madeira formada nos primeiros anos da vida do vegetal, a partir de suas células meristemáticas, localizadas no câmbio. Com o desenvolvimento da árvore em altura, as células de meristema apical vão progressivamente concentrando-se nas posições axiais mais altas. O lenho adulto começa a ser formado na medida

¹Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM). UFPEL - Campus Capão do Leão - Caixa Postal 354- CEP: 96010-900 - Capão do Leão, RS. E-mail: r.delucis@hotmail.com.

²Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM). UFPEL - Campus Capão do Leão - Caixa Postal 354- CEP: 96010-900 - Capão do Leão, RS. E-mail: matheusldeperes@gmail.com.

³Graduando do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM). UFPEL - Campus Capão do Leão - Caixa Postal 354- CEP: 96010-900 - Capão do Leão, RS. E-mail: leu_weinert@hotmail.com; rogervega@hotmail.com.

⁴Professor Adjunto do Centro de Engenharias. UFPEL - Campus Capão do Leão - Caixa Postal 354- CEP: 96010-900 - Capão do Leão, RS. E-mail: beltrame.rafael@yahoo.com.br; darcigatto@yahoo.com.

que o efeito dos meristemas apicais passa a não ser mais verificado na base (EVERT, 2006).

Portanto, é possível entender-se que o lenho juvenil localiza-se próximo à medula, estendendo-se da base até o topo da árvore, apresentando forma aproximadamente cilíndrica e fixando-se uma determinada posição axial, suas características no sentido medula-casca vão gradativamente assumindo os níveis do lenho adulto. O lenho adulto situa-se circundando o lenho juvenil até as proximidades da casca e, em sua constituição, pode conter cerne e/ou alborno, dependendo dos fatores: espécie e condições edafoclimáticas (GATTO et al., 2012).

Embora existam muitos trabalhos internacionais tratando da delimitação entre os lenhos juvenil e adulto, no meio científico nacional, ainda existem poucos estudos sobre o tema (VIDAURRE et al., 2011). Nesse contexto, um dos principais objetivos das investigações existentes é a verificação de variáveis passíveis de serem tomadas como parâmetros de comportamento da madeira no sentido medula-casca. A partir da variabilidade dessas propriedades tecnológicas da madeira, é possível aplicar técnicas específicas, a fim de determinar as zonas contidas pelos lenhos juvenil e adulto.

O chamado método das retas de regressão é notadamente o mais utilizado no meio científico (PERES et al., 2012; DELUCIS et al., 2013; PALERMO et al., 2013). Essa metodologia foi proposta inicialmente no ano de 1985 por pesquisadores dos Estados Unidos no trabalho de Loo et al., 1985. Já no meio científico nacional, o trabalho de Gatto e colaboradores, no ano de 2007, foi o precursor (GATTO et al., 2007).

De maneira geral, a madeira proveniente de lenho juvenil é citada como de qualidade inferior, muito embora seja largamente utilizada comercialmente. A partir do conhecimento dos períodos de formação de cada lenho, é possível que, através de intervenções silviculturais, sejam otimizados diversos procedimentos industriais, reduzindo problemáticas como: a incidência de defeitos de secagem, a formação de peças sólidas com propriedades físico-mecânicas inadequadas, o baixo rendimento na polpação celulósica e a má qualidade da produção de papel (ALTEYRAC et al., 2006; NUGHORO et al., 2012; PALERMO et al., 2013).

Diferentes parâmetros já foram aplicados para a demarcação dos lenhos, englobando análises de características anatômicas como: o comprimento de fibra ou traqueídeo (LARA

PALMA et al., 2010; KIAEI et al., 2012), o ângulo de microfibrila, a proporção de lenho tardio e o comprimento do traqueídeo (JIAN et al., 1998), a largura do anel de crescimento (DÜNISCH et al., 2010), a densidade do anel de crescimento (ALTEYRAC et al., 2006), além de propriedades físicas como massa específica (PERES et al., 2012; DELUCIS et al., 2013).

Outra frente de pesquisa verificada no meio científico para a estimativa da segregação dos lenhos juvenil e adulto, trata da utilização de técnicas analíticas de caracterização. Utilizando o advento dos raios X, Csoka et al., (2005) aplicaram a técnica de difratometria de raios X, analisando os gráficos obtidos por meio do procedimento de transformada de Fourier. Já Ramos et al., (2011) e Oliveira et al., (2012), empregaram a técnica de densitometria e microdensitometria de raios X, respectivamente, a fim de segregar os lenhos juvenil e adulto da madeira de *Eucalyptus grandis*.

Contudo, no ambiente industrial, a seleção de peças de madeira sólidas precisa estar norteada por parâmetros técnicos consolidados, a fim de que se tenha uma estimativa confiável do comportamento dessas peças, tanto em seu processamento, quanto em seu emprego como produto manufaturado. Desse modo, o módulo de elasticidade dinâmico apresenta-se como boa alternativa, em vista dos satisfatórios resultados reportados na literatura acerca de sua exatidão, a fim de prever propriedades mecânicas obtidas por meio de ensaios destrutivos (OLIVEIRA; SALES, 2006; STANGERLIN et al., 2010; MISSIO et al., 2013).

Nesse sentido, as propriedades mecânicas são os parâmetros da madeira mais sensíveis, embora, careçam de uma exploração maior de estudos científicos, com vistas de serem utilizados por empresas do ramo. Dessa maneira, o presente estudo propõe a análise dos módulos de elasticidade estático (MOE) ao teste de flexão estática e dinâmico (Ed) pelo método ultrassonoro, como parâmetros para a determinação da idade de segregação dos lenhos juvenil e adulto do cedro.

MATERIAL E MÉTODOS

Seleção e confecção do material de estudo

Para o estudo, foram selecionadas três árvores adultas de cerca de 100 anos de idade, com bom fuste e diâmetro à altura do peito (DAP; 1,3 m) entre 30 e 60 cm, em uma floresta nativa licenciada pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente, na localidade de Sanga Funda, 4º

subdistrito de Canguçu-RS (31°25'52.22"S 52°40'36.21"O), em conformidade com o procedimento D 5536-94 da *American Society for Testing and Materials* - ASTM, (2010).

De cada árvore derrubada, foi retirada a primeira tora com 2,0 m de comprimento, as quais foram encaminhadas ao laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Posteriormente, realizou-se o desdobro primário das toras e a retirada de um disco, na altura do DAP, com 20 cm de espessura, dos quais foram segmentadas amostras à cada centímetro, de forma a representar a extensão radial do tronco, sendo que tais amostras possuíam as dimensões de 1 cm x 1 cm x 20 cm (largura x espessura x comprimento) (Figura 1).

Foram descartadas amostras com presença de nodosidades e grã reversa ou inclinada. Em seguida, os corpos de prova foram climatizados sob as condições de 20 °C de temperatura e 65% de umidade relativa do ar, até a estabilização do conteúdo de umidade em 12%.

Avaliação dos parâmetros físico-mecânicos da madeira

Após o acondicionamento, o volume e a massa das amostras ($V_{12\%}$ e $m_{12\%}$) foram mensurados com o uso de paquímetro digital, com 0,01 mm, e por meio de uma balança analítica, com resolução de 0,01 g, respectivamente, para o cálculo da massa específica aparente ($\rho_{12\%}$), de acordo com a Equação 1.

$$\rho_{12\%} = \frac{m_{12\%}}{V_{12\%}} \quad (\text{Equação 1})$$

Posteriormente, foi realizado o ensaio de propagação de ondas de ultrassom na direção longitudinal dos corpos de prova, com auxílio de um aparelho de ultrassom da marca Proceq, dotado de dois transdutores piezelétricos do tipo ponto seco com frequência de excitação de 45 kHz, obtendo-se a velocidade ultrassônica (V_{som}), a qual foi empregada no cálculo do módulo de elasticidade dinâmico (E_d) (Equação 2).

$$E_d = V_{som}^2 \times \rho_{12\%} \quad (\text{Equação 2})$$

Por fim, foram determinadas propriedades mecânicas por meio do ensaio destrutivo de flexão estática. O módulo de elasticidade estático (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) foram avaliados conforme o procedimento adaptado D 143-94 da ASTM, (2007), empregando-se uma velocidade de 0,65 mm.s⁻¹. Para a realização dos ensaios, utilizou-se uma máquina universal de ensaios eletromecânica informativa da marca EMIC, modelo DL 30000 com a capacidade de 300 kN.

Delimitação dos lenhos juvenil e adulto

A segregação dos lenhos foi definida conforme procedimento utilizado no estudo de Gatto et al., (2007). A metodologia tem base na utilização de duas regressões lineares, uma para a parte ascendente da distribuição de pontos no gráfico de anel de crescimento versus MOE e E_d ,

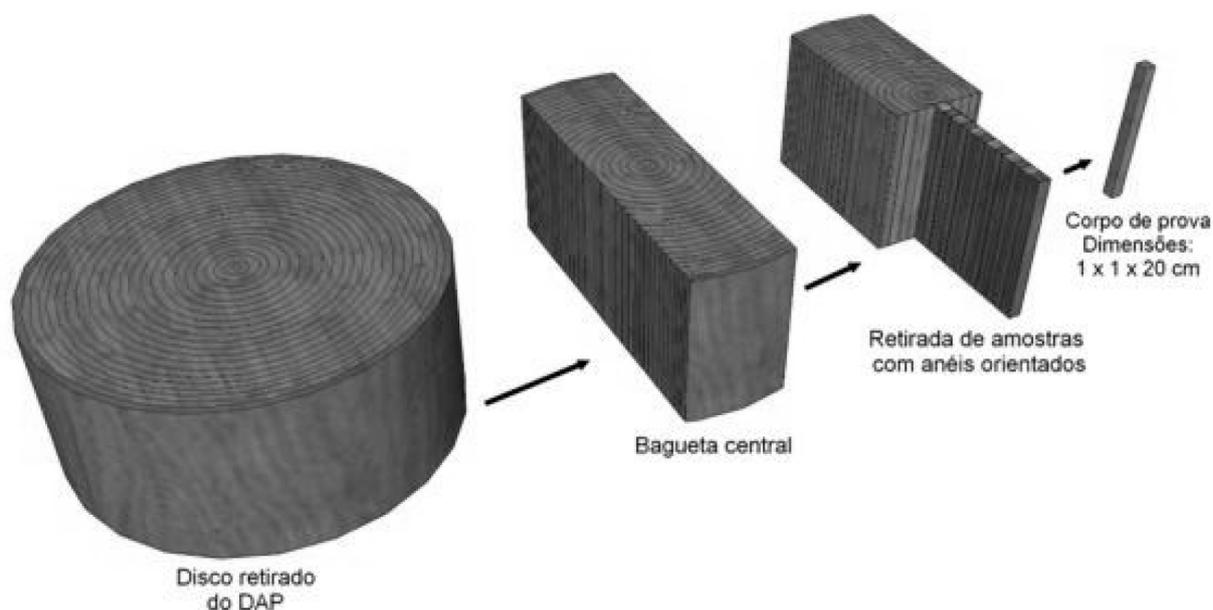


Figura 1. Fluxograma de confecção dos corpos de prova.
Figure 1. Sample production flowchart.

e outra para a região em que a distribuição se mostrava constante ou levemente descendente. Os limites dessas duas regiões foram definidos visualmente no gráfico, antes do ajuste das equações. De posse dos modelos matemáticos correspondentes às regiões, o ponto de início da formação do lenho adulto foi determinado pela extrapolação das retas de regressão, definido como valor do eixo das ordenadas comum entre as equações.

Análise estatística

Para o tratamento dos dados, empregou-se um planejamento experimental totalmente casualizado no esquema fatorial 2 x 2. Sendo os dois fatores, o tipo de lenho e a variável utilizada para a segregação desses lenhos, e os dois níveis de cada fator, os lenhos juvenil e adulto e as propriedades mecânicas MOE e Ed, respectivamente. Após aplicação da ANOVA fatorial, os desdobramentos necessários foram feitos por meio de ANOVA's simples em 1% de significância.

Por fim, com vistas à predição do MOE, por meio do parâmetro mecânico obtido pelo ensaio não destrutivo de propagação de ondas de ultrassom, foi ajustado um modelo matemático linear por meio de uma análise de regressão simples, tendo como variáveis dependente e independente o módulo de elasticidade estático e dinâmico, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos matemáticos ajustados para a segregação dos lenhos juvenil e adulto (Tabela 1) foram significativos somente para a primeira reta de regressão. Já para a segunda, a distribuição dos pontos nos gráficos (Anel *versus* MOE e Anel *versus* Ed; Figura 2) não possibilitou um ajuste de modelos matemáticos lineares significativos, de acordo com o teste F.

A distribuição dos pontos nos gráficos da Figura 2 aponta que, a partir da medula, no sentido da casca, houve um aumento gradativo dos níveis, tanto para o MOE, quanto para Ed. Posteriormente, nas proximidades da casca, verificou-se a estabilização dos pontos. Esse comportamento é semelhante ao verificado em estudos antecedentes com base na variabilidade do comprimento de fibras (GATTO et al., 2007; LARA PALMA et al., 2010) e da massa específica (PERES et al., 2012; DELUCIS et al., 2013; PALERMO et al., 2013).

Tal comportamento dessas propriedades anômicas, físicas e mecânicas da madeira se deve a características endógenas, como: procedência da semente e características genéticas (BELTRAME et al., 2012); e exógenas, como: plano de manejo silvicultural (TREVISAN et al., 2014), características de solo (MOYA et al., 2010) e atmosféricas (SANTOS et al., 2012), as quais são intrínsecas às florestas nas quais essa matéria prima foi obtida.

Tabela 1. Equações de regressão para a estimativa da segregação em função do MOE e Ed.

Table 1. Regression equations for demarcation estimative as function of MOE and Ed.

Anel de segregação	Equação	R ²	Syx	Valor F
35	MOE = 4795,47 + 69,801*Anel	0,119	1203,97	7,21*
	MOE = 7145,39 + 2,03132*Anel	0,091	1071,31	0,17 ^{ns}
29	Ed = 5901 + 46,7396*Anel	0,064	1772,62	7,65**
	Ed = 7038,1 + 7,44803*Anel	0,065	1740,32	1,14 ^{ns}

Em que: MOE= módulo de elasticidade estático (MPa); R²= coeficiente de determinação do modelo; Syx= erro médio padrão (MPa); F= valor de F calculado; *= significativo a 5% de probabilidade de erro; **= significativo a 1% de probabilidade de erro; ^{ns}= não significativo;

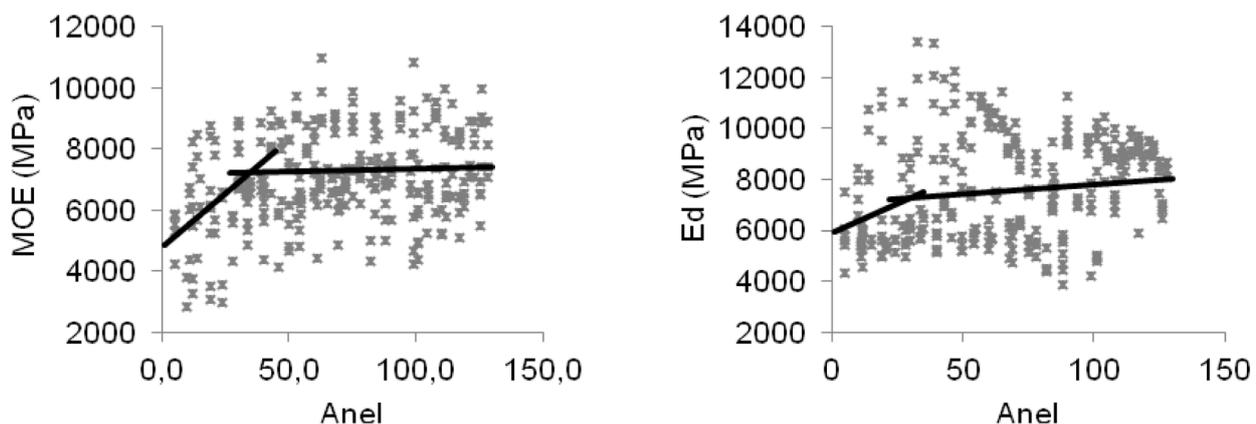


Figura 2. Modelos de regressão para a estimativa da segregação do lenho ajustados em função do MOE e Ed.

Figure 2. Regression models for wood demarcation adjusted as function of MOE and Ed.

Comparando-se a massa específica com as propriedades mecânicas da madeira, Dünisch et al., (2010), reportaram que essa relação se dá em razão da largura dos anéis de crescimento. De modo que, a partir do lenho juvenil, a largura dos anéis vai gradativamente diminuindo no sentido medula-casca, até as proximidades do lenho adulto. Por esse motivo, na comparação com o lenho juvenil, o lenho adulto apresenta menor proporção de espaços intercelulares, ou seja, maior proporção de madeira por volume.

Para Kiaei et al., (2012), tanto a massa específica, quanto o módulo de elasticidade são condicionados ao teor de celulose, e à variabilidade dessas propriedades da madeira ocorre em razão das variações na atividade fisiológica do vegetal, ao longo de seu desenvolvimento.

Ainda com base na Tabela 1, é possível observar que, utilizando-se o MOE como parâmetro para a segregação dos lenhos, a idade em que ocorreu a separação foi de 35 anos. Já para o Ed, a segregação ocorreu aos 29 anos de idade. Em seu estudo, Delucis et al., (2013), tomando a variação radial da massa específica básica, como parâmetro para delimitação dos lenhos de cedro, determinaram uma transição entre os mesmos aos 40 anos de idade, valor superior ao encontrado no presente estudo.

Pelos resultados mostrados na Tabela 2, verifica-se que a escolha do parâmetro utilizado para segregação (MOE e Ed) não influenciou nos valores médios das propriedades físico-

-mecânicas, ou seja, considerando-se o início da formação do lenho adulto a partir dos 29 ou 35 anos, não há diferenças do ponto de vista dos valores médios das propriedades da madeira avaliadas nesse estudo.

Embora não tenha sido verificado efeito significativo do fator referente à escolha da variável utilizada como parâmetro de segregação (Tabela 2), é possível afirmar que o Ed pode ser considerado uma variável mais indicada do que o MOE. Isto devido ao fato de sua avaliação advir de um ensaio não destrutivo, ou seja, a partir dessa variável é possível economizar recursos em comparação ao empregado na obtenção do MOE, o qual é obtido com a destruição do corpo de prova.

Nesse sentido, se fazem necessários estudos mais aprofundados, a fim de verificar as condições ideais para ensaios com aparelho de propagação de ondas de ultrassom, visando a manutenção dos aspectos positivos da técnica, como a rapidez e a versatilidade, mas ao mesmo tempo, aumentando sua confiabilidade.

Aparte, verificou-se diferenciação dos parâmetros físico-mecânicos, considerando o fator tipo de lenho, pois foram observadas maiores médias para o lenho adulto do que para o lenho juvenil. Conforme mostra a Tabela 3, na comparação com o lenho juvenil, a superioridade do lenho adulto, em valores percentuais foi de 10,45, 10,65, 21,63 e 21,99% para $\rho_{a12\%}$, V_{som} , MOE e Ed, respectivamente.

Tabela 2. ANOVA fatorial aplicada em razão dos fatores tipo de lenho e variável utilizada para a segregação dos lenhos.

Table 2. Factorial ANOVA applied due to the types of wood and variable used for separation of the kinds of woods.

Parâmetro	FV	SQ	GL	QM	Teste F
$\rho_{a12\%}$	A: Lenho	0,26541	1	0,26541	158,64**
	B: Variável	2,935E-3	1	0,00293	1,75 ^{ns}
	A x B	6,661E-4	1	6,666E-4	0,40 ^{ns}
	Resíduos	0,97705	584	1,673E-3	
V_{som}	A: Lenho	1,099E7	1	1,0991E7	79,90**
	B: Variável	190917	1	190917	1,39 ^{ns}
	A x B	104408	1	104408	0,76 ^{ns}
	Resíduos	8,006E7	582	137561	
MOE	A: Lenho	1,5311E8	1	1,5311E8	84,80**
	B: Variável	4,0563E6	1	4,0563E6	2,25 ^{ns}
	A x B	3,0013E6	1	3,0013E6	1,66 ^{ns}
	Resíduos	1,0400E9	576	1,8056E6	
Ed	A: Lenho	2,0374E8	1	2,0374E8	59,84**
	B: Variável	707801	1	707801	0,21 ^{ns}
	A x B	151780	1	151786	0,04 ^{ns}
	Resíduos	1,9950E9	586	3,4045E6	

Em que: $\rho_{a12\%}$ = massa específica aparente a 12%; V_{som} = velocidade de propagação de ondas de ultrassom; MOE = módulo de elasticidade estático; Ed = módulo de elasticidade dinâmico; ** = significativo em 1% de probabilidade de erro; ^{ns} = não significativo.

Os valores médios reportados na Tabela 3 estão de acordo com os trabalhos de Delucis et al., (2013), em que os autores obtiveram para a $\rho_{12\%}$ os valores de 0,537 e 0,503 g.cm⁻³, para lenhos juvenil e adulto da madeira de cedro, respectivamente. Já no estudo de Valério et al., (2009), os autores reportaram para a mesma espécie, valores de massa específica básica de 0,433 e 0,393 g.cm⁻³ para amostras retiradas na parte externa e interna do tronco, respectivamente. Analisando a mesma espécie de madeira (*Cedrela fissilis*) proveniente da região da mata amazônica, Del Menezzi et al., (2010), verificaram valores médios de 4.231 m.s⁻¹ e 8.436 MPa para V_{som} e MOE, respectivamente.

Tabela 3. Descrição dos parâmetros físicos e mecânicos em razão do fator tipo de lenho.

Table 3. Description of physical and mechanical parameters according to the kind of wood.

	Lenho juvenil	Lenho adulto	Teste F
$\rho_{a12\%}$ (g.cm ⁻³)	0,507 _(7,97)	0,560 _(7,31)	158,32**
V_{som} (m.s ⁻¹)	3366,14 _(8,22)	3724,8 _(10,40)	78,86**
MOE (MPa)	5971,15 _(26,18)	7262,93 _(17,73)	82,31**
Ed (MPa)	6568,45 _(28,3)	8013,36 _(22,94)	60,91**

Em que: $\rho_{a12\%}$ = massa específica aparente a 12%; V_{som} = velocidade de propagação de ondas de ultrassom; MOE = módulo de elasticidade estático; Ed = módulo de elasticidade dinâmico; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro. Coeficiente de variação entre parênteses.

Dessa maneira, verifica-se que nos estudos de Valério et al., (2009) e Del Menezzi et al., (2010), apresentam valores mais baixos do que os do presente estudo, todavia, não é possível atribuir alguma explicação para esse comportamento, pois os autores não informaram a idade do material utilizado em seus estudos.

Comparando-se com outras madeiras de folhosas nativas, verifica-se que, os valores médios de propriedades físico-mecânicas do presente estudo, estão dentro dos níveis reportados na literatura. Como no estudo de Lourençon et al., (2014), onde para os lenhos juvenil e adulto das madeiras de nogueira-peçã (*Carya illinoensis*), aos 18 anos, e açoita-cavalo (*Luehea divaricata*), aos 49 anos foram encontrados os valores de 7.357 e 6.116 MPa para o MOE, e 87 e 89 MPa para o MOR, respectivamente. Já no estudo de Oliveira e Salles (2006), analisando a relação entre a massa específica e propriedades ultrasonoras, para as madeiras de jatobá (*Hymenaea* sp.) e cupiúba (*Goupia glabra*), os autores obtiveram, para a primeira, valores para $\rho_{12\%}$ e V_{som} de 0,750 g.cm⁻³ e 4.400 m.s⁻¹, respectivamente. Já para a segunda, valores para $\rho_{12\%}$ e V_{som} de 0,88 g.cm⁻³ e 4.600 m.s⁻¹, respectivamente.

Tendo em vista a grande utilização industrial de espécies exóticas de rápido crescimento, se torna interessante comparar os níveis com a madeira de cedro avaliada no presente estudo. Missio et al., (2013), estimando as propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* com 25 anos de idade por método ultrassônico, verificaram valores médios de 0,540 g.cm⁻³, 4.290 m.s⁻¹ e 9.133 MPa para a $\rho_{12\%}$, V_{som} e Ed, respectivamente. Adicionalmente, analisando a madeira de *Eucalyptus dunni*, aos 25 anos de idade, Dickson et al., (2003), encontraram valores respectivos de 0,6 g.cm⁻³, 15.500 MPa, 124 MPa e 3.901 m.s⁻¹ para massa específica básica, MOE, MOR e V_{som} .

Portanto, comparando-se com os níveis de propriedades físico-mecânicas reportados na literatura para espécies de exóticas utilizadas em grande escala industrialmente (gênero *Eucalyptus*), verifica-se que as propriedades mecânicas da madeira de cedro, analisadas nesse estudo estão no mesmo patamar de grandeza, de modo que, do ponto de vista dessas propriedades, a madeira de cedro pode ser indicada para as mesmas finalidades em que são utilizadas essas madeiras do gênero *Eucalyptus*.

Como se vê na Figura 3, a partir das divisões propostas pelas variáveis utilizadas para a segregação, e dos próprios lenhos juvenil e adulto, foi possível ajustar modelos matemáticos estatisticamente significativos para a predição do MOE, os quais, quando comparados entre si, não apresentaram diferença evidente do ponto de vista da precisão de ajuste.

Embora os modelos apresentados na Figura 3 tenham se mostrado estatisticamente significativos, são menos precisos do que os encontrados em estudos antecedentes, em que outros autores, avaliando distintas madeiras de folhosas, verificaram um padrão de variação de seus dados que possibilitou o ajuste de modelos mais satisfatórios do que os modelos obtidos no presente estudo (CALEGARI et al., 2008; STANGERLIN et al., 2008; STANGERLIN et al., 2010).

No entanto, podem ser elencadas diversas fontes de erro, as quais possivelmente influenciaram na precisão de ajuste, verificada pela alteração do tipo de onda mecânica gerada pelos transdutores de ponto seco utilizados. São considerados fatores negativos: as condições do ambiente de avaliação (umidade relativa do ar e temperatura), condições dos tradutores (a pressão imposta na extremidade, o material de fabricação a pequena área de contato com a amostra

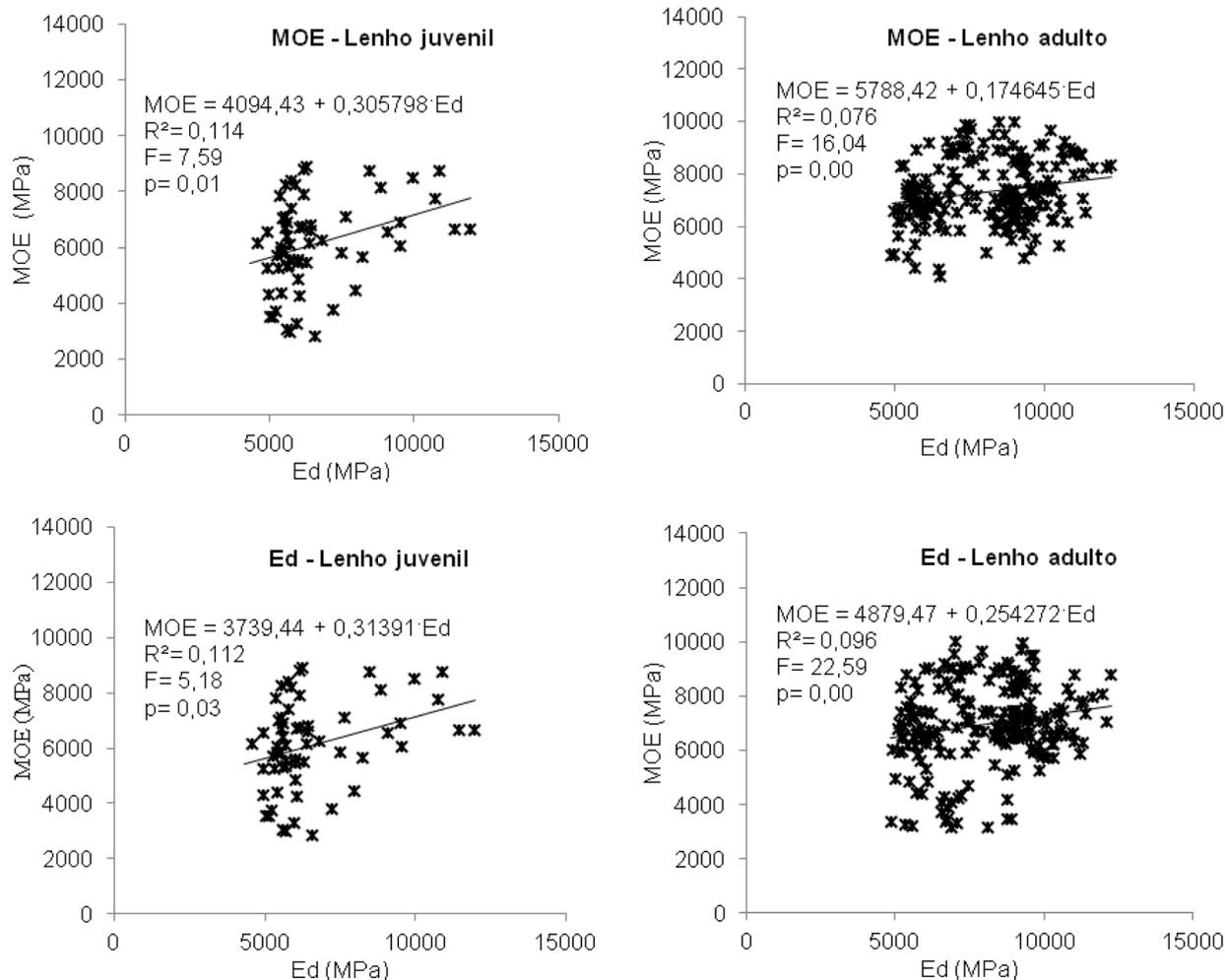


Figura 3. Modelos de regressão para predição do módulo de elasticidade dinâmico em função do módulo de elasticidade estático em razão dos mesmos utilizados como parâmetros de delimitação dos lenhos juvenil e adulto.

Figure 3. Regression models for predicting dynamic modulus of elasticity as related to static modulus of elasticity; being to the same parameters as used for the delimitation of juvenile and adult woods.

e o ângulo de inclinação com o corpo de prova) (NESVIJSKI, 2003; CALEGARI et al., 2008; STANGERLIN et al., 2010).

Além dos fatores citados, outros autores ressaltaram que as ondas superficiais geradas pelos transdutores de ponto seco podem ser alteradas em função de dimensões inadequadas de corpos de prova (CALEGARI et al., 2008). Os mesmos autores sugeriram para utilização de transdutores de ponto seco que preferencialmente sejam ensaiadas madeiras duras e pouco heterogêneas, e nesse sentido, destacaram a madeira de coníferas, em detrimento da madeira de folhosas.

De modo geral, os resultados apontam que existe confiabilidade satisfatória para a utilização dos parâmetros mecânicos avaliados no presente estudo, como indicadores de comportamento dos lenhos juvenil e adulto da madeira de cedro.

CONCLUSÕES

Tomando como base a variação dos módulos de elasticidade estático e dinâmico no sentido medula-casca, verificou-se que, a idade em que ocorreu a segregação dos lenhos juvenil e adulto de cedro foi de cerca de 30 anos. A variabilidade radial das propriedades mecânicas se assemelhou à verificada em estudos antecedentes para a massa específica básica, entretanto, o valor obtido para o ano de segregação foi menor.

Em comparação com o lenho juvenil, os valores médios de propriedades mecânicas, obtidas para o lenho adulto justificam um planejamento florestal que priorize a produção de madeira adulta, caso sejam requeridas propriedades mecânicas superiores.

Tanto o módulo de elasticidade estático, quanto o dinâmico, foram parâmetros satisfatórios para a delimitação dos lenhos juvenil e adulto.

No entanto, a constante elástica dinâmica pode ser tida como preferencial, em razão da possibilidade de avaliação não destrutiva das amostras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTEYRAC, J.; CLOUTIER, A.; ZHANG, S. Y. Characterization of juvenile wood to mature wood transition age in black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) at different stand densities and sampling heights. **Wood Science and Technology**, New York, v. 40, n. 2, p. 124-138, 2006.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D143-94**: Standard Test methods for small clear specimens of timber. West Conshohocken, 2007, 32 p.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D5536-94**: Standard practice for sampling forest trees for determination of clear wood properties. Philadelphia, 2010, 9 p.
- BELTRAME, R.; BISOGNIN, D. A.; MATTOS, B. D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; HASELEIN, C.; GATTO, D. A.; SANTOS, G. A. Desempenho silvicultural e seleção precoce de clones de híbridos de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 6, p. 791-796, 2012.
- 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 ultrassônica na madeira. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 607-615, 2008.
- CSOKA, L.; ZHU, J.; TAKATA, K. Application of the Fourier analysis to determine the demarcation between juvenile and mature wood. **Journal of Wood Science**, Amsterdam, v. 51, n. 3, p. 309-311, 2005.
- DEL MENEZZI, C. H. S.; SILVEIRA, R. R.; SOUZA, M. R. Estimativa das propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras amazônicas por meio da técnica não-destrutiva de ondas de tensão. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40, n. 2, p. 325-332, 2010.
- DELUCIS, R. A.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; CADEMARTORI, P. H. G.; CORREA, L. W.; VEGA, R. A. Segregação e variação radial das propriedades físicas da madeira juvenil e adulta de cedro (*Cedrela fissilis* Vellozo). **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 549-556, 2013.
- DICKSON, R. L.; RAYMOND, C. A.; JOE, W.; WILKINSON, C. A. Segregation of *Eucalyptus dunnii* logs using acoustics. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 179, n. 1-3, p. 243-251, 2003.
- DÜNISCH, O.; RICHTER, H. G.; KOCH, G. Wood properties of juvenile and mature heartwood in *Robinia pseudoacacia* L. **Wood Science and Technology**, New York, v. 44, n. 2, p. 301-313, 2010.
- EVERT, R. F. **Esau's Plant Anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development**. 3.ed. New Jersey: John Wiley & Sons; 2006. 624 p.
- GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; TREVISAN, R.; DENARDI, L. Proportion of juvenile wood of açoita-cavalo, pecan and London plane wood. **International Wood Products Journal**, London, v. 4, n. 1, p. 33-36, 2012.
- GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R.; BULIGON, E. A.; CALEGARI, L.; STANGERLIN, D. M.; OLIVEIRA, L. S. Estimativa da idade de segregação do lenho juvenil e adulto para *Platanus x acerifolia* (Ait.) Wild. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 393-398, 2007.
- JIAN, L.; YIXING, L.; YONGZHI, C.; ZICAI, X. Demarcation of juvenile and mature woods of planted Chinese fir and its wood quality prediction. **Journal of Forestry Research**, v. 9, n. 4, p. 229-232, 1998.
- KIAEI, M.; BAKHSHI, R.; VEYLAKI, S. Determination of fiber length and juvenile and mature wood zones in *Acer velutinum* Boiss. trees grown in Iran. **Forestry Studies in China**, Beijing, v. 14, n. 4, p. 323-326, 2012.
- LARA PALMA, H. A.; LEONELLO, E. C.; BALLARIN, A. W. Demarcação da madeira juvenil e adulta de *Corymbia citriodora*. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. suplemento, p. 141-148, 2010.
- LOO, J. A.; TAUER, C. G.; MCNEW, R. W. Genetic variation in the time of transition from juvenile to mature wood in loblolly pine (*Pinus taeda* L.). **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 34, n. 1, p. 14-19, 1985.
- LOURENÇON, T. V.; MATTOS, B. D.; GATTO, D. A.; BULIGON, E. A.; HASELEIN, C. R. Determinação da Idade de Transição entre Lenho Juvenil e Adulto de três espécies florestais por meio de suas propriedades mecânicas. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 2, p. 251-260, 2014.

- MISSIO, A. L.; GATTO, D. A.; MODES, K. S.; SANTINI, E. J.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, I. Ultrasonic method for estimation of modulus of elasticity of *Eucalyptus grandis* wood. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 1, p. 102-107, 2013.
- MOYA, R.; ARCE, V. L.; GONZALEZ, E. P.; OLIVARES, C. G.; RIOS, G. V. Efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo en algunas propiedades de la madera de teca (*Tectona grandis*). **Revista Árvore**, v. 34, n. 6, p. 1109-1118, 2010.
- NESVIJSKI, E. G. Dry point contact transducers: design for new applications. **NDT.net**, Bad Breisig, v. 9, n. 9, 2003. Disponível em: < <http://www.ndt.net/article/v08n09/nesvi/nesvi.htm> > Acesso em: 08 mai. 2015.
- NUGHORO, W. D.; MARSOEM, S. N.; YASUE, K.; FUJIWARA, T.; NAKAJIMA, T.; HAYAKAWA, M.; NAKABA, S.; YAMAGISHI, Y.; JIN, H.; KUBO, T.; FUNADA, R. Radial variations in the anatomical characteristics and density of the wood of *Acacia mangium* of five different provenances in Indonesia. **Journal of Wood Science**, Amsterdam, v. 58, n. 3, p. 185-194, 2012.
- OLIVEIRA, B. R. U.; LATORRACA, J. V. F.; TOMAZELLO FILHO, M.; PALERMO, G. P. M.; CARVALHO, A. M.; PASTRO, M. S. Microdensitometria de raios X aplicada na determinação da variação da densidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 93, p. 103-112, 2012.
- OLIVEIRA, F. G. R.; SALES, A. Relationship between density and ultrasonic velocity in Brazilian tropical woods. **Bioresource Technology**, Essex, v. 97, n. 18, p. 2443-2446, 2006.
- PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; SEVERO, E. T. D.; NASCIMENTO, A. M.; REZENDE, M. A. Delimitação entre os lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 191-200, 2013.
- PERES, M. L.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; BELTRAME, R.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Idade de segregação do lenho juvenil e adulto pela variação da massa específica de açoita-cavalo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1596-1602, 2012.
- RAMOS, L. M. A.; LATORRACA, J. V. F.; PASTRO, M. S.; SOUZA, M. T.; GARCIA, R. A.; CARVALHO, A. M. Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 411-418, 2011.
- SANTOS, L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; TRUGILHO, P. F. Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 971-980, 2012.
- STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; SANTINI, E. J.; DOMINGUES, J. M. X.; GATTO, D. A.; MELO, R. R. Determinação do módulo de elasticidade em madeiras por meio de métodos destrutivo e não destrutivo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 2, p. 145-150, 2008.
- STANGERLIN, D. M.; GONÇALEZ, J. C.; SANTINI, E. J.; 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. 691-700, 2010.
- TREVISAN, R.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; DENARDI, L.; GATTO, D. A. Efeito do desbaste nas rachaduras de topo das toras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 193-204, 2014.
- VALÉRIO, A. F.; WATZLAWICK, L. F.; SILVESTRE, R.; KOEHLER, H. S. Determinação da densidade básica da madeira de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) ao longo do fuste. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 23-28, 2009.
- VIDAURRE, G.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M.D.C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 4, p. 469-480, 2011.

Recebido em 10/06/2014

Aceito para publicação em 23/02/2015

