

PROPRIEDADES DA MADEIRA DE *Pinus elliottii* Engelm SUBMETIDA A DIFERENTES TEMPERATURAS DE SECAGEM

Darci Alberto Gatto¹, Leandro Calegari², Elio José Santini³, Diego Martins Stangerlin⁴, Rômulo Trevisan⁵, Leonardo da Silva Oliveira⁶

(recebido: 29 de maio de 2007; aceito: 28 de maio de 2008)

RESUMO: Objetivou-se, neste estudo, determinar a influência da temperatura de secagem sobre algumas propriedades das madeiras juvenil e adulta de *Pinus elliottii* Engelm. Para tanto, as propriedades de amostras submetidas à secagem em estufa, sob diferentes temperaturas (60, 100 e 140°C) e depois condicionadas a 20°C e 65% de umidade relativa, foram comparadas com amostras apenas climatizadas nessas condições. Os resultados mostraram um aumento da umidade de equilíbrio diretamente relacionado com o aumento da massa específica aparente (12%). Entretanto, um comportamento inverso foi observado com relação à temperatura de secagem. Da mesma forma, a massa específica aparente, módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) apresentaram-se inferiores na madeira juvenil quando comparada à madeira adulta. Os valores médios do MOE e MOR não apresentaram diferenças significativas com a elevação da temperatura de secagem. Entretanto, o MOR demonstrou uma tendência de redução.

Palavras-chave: Secagem da madeira, madeira juvenil e adulta, qualidade da madeira.

EFFECTS OF DRYING TEMPERATURE ON SOME PROPERTIES OF *Pinus elliottii* Engelm WOOD

ABSTRACT: This study aimed to determine the influence of drying temperature on some properties of juvenile and mature wood of *Pinus elliottii* Engelm. The properties of lumber kiln-dried at 60, 100 and 140°C were compared to lumber dried at 20°C and 65% relative humidity. The results had shown an increase of the equilibrium moisture content directly related to the increase of the nominal specific gravity (12%). However, an inverse behavior was observed in relation to the drying temperature. The nominal specific gravity, elasticity modulus (MOE) and rupture modulus (MOR) presented inferior characteristics in the mature wood when compared to those of the juvenile wood. The average values of MOE and MOR had not presented significant differences with the rise of the drying temperature. However, the MOR demonstrated tendency of reduction.

Key words: Wood drying, juvenile and mature wood, wood quality.

1 INTRODUÇÃO

A umidade de equilíbrio da madeira é estimada em função da umidade relativa e da temperatura do ambiente. Essa estimativa é utilizada, na prática, indistintamente para todas as espécies. Entretanto, diversos autores constataram que a umidade de equilíbrio depende de diversos fatores, como a espécie, porcentagem de lignina e celulose, quantidade de extrativos e tratamento térmico e químico dados à madeira. Outro fator que tem influência na umidade de equilíbrio é a temperatura de secagem a qual a madeira é submetida. Esse fator também pode influenciar as propriedades mecânicas relacionadas à flexão

estática, ao módulo de elasticidade (MOE) e ao módulo de ruptura (MOR).

Existem várias referências, na literatura, que ressaltam que as propriedades químicas, físicas, anatômicas e mecânicas da madeira juvenil são diferentes e, na maioria das vezes, inferiores às da madeira formada na fase adulta da árvore. Assim, quando comparada com a madeira adulta, a madeira juvenil difere por apresentar menor massa específica, maior ângulo das microfibrilas na camada S2, traqueídeos mais curtos, menor contração transversal, maior contração longitudinal, maior proporção de lenho de reação, menor porcentagem de lenho outonal, paredes celulares mais finas, maior conteúdo de lignina,

¹Engenheiro Florestal, Professor Adjunto do Curso de Engenharia Industrial Madeireira da Universidade Federal de Pelotas – UFPel – Cx. P. 354 – 96019-900 – Pelotas, RS – darcigatto@yahoo.com

²Engenheiro Florestal, M.Sc., Doutorando em Ciência Florestal – Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa/UFV – Campus Universitário – 36570-000 – leandrocalegari@yahoo.com.br

³Engenheiro Florestal – Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria, DCF/CCR/UFSM – Prédio 44 sala 5243 – Campus Universitário – 97105-900 – Santa Maria, RS – santinie@ccr.ufsm.br

⁴Engenheiro Florestal, Mestrando em Ciência Florestal – Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria, DCF/CCR/UFSM – Campus Universitário – 97105-900 – Santa Maria, RS – Bolsista CNPq – diegostangerlin@yahoo.com.br

⁵Engenheiro Florestal, M.Sc., Professor do Curso de Engenharia Florestal da Universidade do Oeste de Santa Catarina/UNOESC – Rua Dirceu Giordani, 696 – Bairro Jardim Universitário – 89820-000 – Xanxerê, SC – romulo_trevisan@yahoo.com.br

⁶Professor Adjunto, Universidade Federal de Pelotas - Faculdade de Engenharia Agrícola - Campus Universitário do Capão do Leão - Cx. P. 354 - 96010-900 - Pelotas, RS - leonardo76rs@yahoo.com.br

menor conteúdo de celulose e menor resistência mecânica (LARSON, 1973; LATORRACA & ALBUQUERQUE, 2000; PANSHIN & ZEEUW, 1970).

A maioria dos estudos de variabilidade do lenho demonstram uma tendência nas propriedades da madeira no sentido medula-casca, uma variação radial freqüentemente descrita em zonas de madeira juvenil e adulta. A madeira juvenil, porção do tronco da árvore que cerca a medula, é caracterizada por uma mudança progressiva nas características da célula e nas propriedades da madeira (PANSHIN & ZEEUW, 1970).

A variação radial aparece ao longo do tronco e pode ser explicada, em termos, por mudanças nas dimensões dos traqueídeos/fibras e, em último caso, pelo crescimento e produção hormonal (LARSON, 1973). Dessa forma, as propriedades da madeira não são uniformes da medula para o exterior; a madeira dos primeiros anéis formados apresenta menor massa específica e menor comprimento de fibras, entre outras características. A taxa de mudança, na maioria das propriedades, é muito rápida nos primeiros anéis. Os anéis posteriores vão assumindo gradualmente as características da madeira adulta (BENDTSEN, 1978).

Embora a madeira juvenil, com relação às suas características, não seja necessariamente inferior, como por exemplo, para utilização em papel de imprensa e para a qualidade da impressão no papel (ZOBEL, 1984), é sabido que suas características podem afetar algumas propriedades da madeira sólida. Entretanto, Gatto (2008) pesquisando o vergamento (capacidade de moldar) da madeira adulta e juvenil de nogueira-pecã concluíram que a madeira juvenil verga com menor incidência de defeitos. Dessa forma, há interesse considerável na caracterização da madeira juvenil, pois a proporção desse tipo de madeira influencia na qualidade dos produtos de desbaste, no manejo e na administração da colheita final. Assim, estudar as características da madeira juvenil e da madeira adulta é de grande importância prática, já que a proporção de madeira juvenil no mercado é crescente. Tal informação permitirá estimar melhor os valores comuns entre as propriedades da madeira juvenil e adulta e, conseqüentemente, contribuirá para melhorar a utilização tecnológica da madeira.

Objetivou-se analisar a variação das propriedades relacionadas à flexão estática (MOR e MOE), da massa específica a 12% de umidade e da umidade de equilíbrio das madeiras juvenil e adulta de *Pinus elliottii* Engelm, após submetidas a quatro temperaturas de secagem e condicionadas em câmara de climatização.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a obtenção de madeira homogênea, utilizou-se madeira de uma árvore de *Pinus elliottii* Engelm de 32 anos de idade com DAP de 64 cm, a qual foi sorteada de um povoamento localizado no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Da árvore obteve-se duas toras de 2,6 m de comprimento, que após o abate foram transportadas a uma serraria para realização do desdobro, obtendo-se de cada tora uma prancha central de 8 cm de espessura e 40 cm de largura, aproximadamente, incluindo a medula e com boa orientação dos anéis de crescimento. Dividiu-se cada uma das pranchas em tábuas de menor espessura de 8 cm e largura de 20 cm, aproximadamente, seccionando-as em sentido longitudinal. De cada uma dessas tábuas obteve-se 5 amostras de aproximadamente 50 cm de comprimento, por meio de sucessivos cortes transversais. Desse modo, obteve-se um total de 40 amostras, que apresentavam madeira juvenil e adulta nas respectivas bordas laterais. A representação da confecção das amostras, a partir das toras, encontra-se na Figura 1.

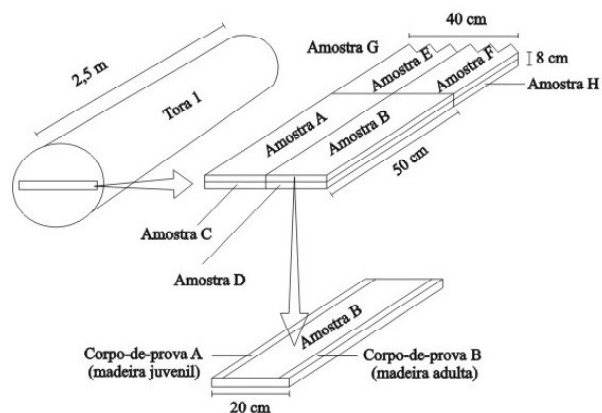


Figura 1 – Representação da confecção das amostras a partir das toras.

Figure 1 – Representation of the preparation of log samples.

As amostras foram transportadas para o Laboratório de Produtos Florestais (LPF-UFSM). Após serem sorteadas ao acaso, formaram-se quatro grupos de dez amostras, que foram envoltos, separadamente, em lona plástica para manutenção da umidade. Um dos grupos recebeu tratamento de climatização (câmara climatizada), sob temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 2\%$. Os outros grupos foram submetidos à secagem em estufa sob

três diferentes temperaturas de secagem (60, 100 e 140°C). Para esse fim, utilizou-se uma estufa, de laboratório, com circulação forçada de ar e sem controle da umidade relativa. A umidade final (base seca) foi estabelecida em 12% e estimada pelo método de pesagem, a partir da definição da umidade inicial.

Após o término do processo de secagem, os três grupos de amostras submetidos à secagem em estufa foram colocados na câmara climatizada para condicionamento até apresentarem massa constante. Passada essa etapa de condicionamento, as amostras dos quatro grupos foram aplainadas e seccionadas em corpos-de-prova para serem ensaiadas em flexão estática. Retiraram-se dois corpos-de-prova de cada amostra, um da borda localizada próxima à medula (madeira juvenil) e o outro na borda oposta (madeira adulta). Corpos-de-prova com presença de medula foram descartadas.

Depois de confeccionados, os corpos-de-prova dos quatro grupos foram condicionados em câmara climatizada até o momento dos testes. A confecção e ensaio dos corpos-de-prova seguiram as recomendações da norma ASTM D143-94 (ASTM, 1995).

A determinação da massa específica aparente, a 12% de umidade, foi definida antes da realização dos testes de flexão estática. Utilizaram-se, para esse fim, um paquímetro digital e uma fita métrica para a obtenção do volume, pelo método estereométrico (DURLO, 1991a), e uma balança digital, para a obtenção da massa.

Para a realização do teste de flexão estática utilizou-se uma máquina universal de ensaio, marca AMSLER, com capacidade para 20 toneladas e dotada de sistema automatizado de aquisição de dados.

Após o teste de flexão estática, seccionou-se uma subamostra da parte central de cada corpo-de-prova, que

foi utilizada para a determinação da umidade da madeira. Adotou-se, como massa úmida, a massa da subamostra após o teste de flexão estática e, para a massa seca, a massa da subamostra seca, em estufa a 103±2°C (DURLO, 1991a).

Considerando-se que os resultados dos ensaios referentes à flexão estática e massa específica aparente devem ser analisados à umidade de referência (12%), os valores da massa específica aparente, MOE e MOR foram corrigidos pelo uso das equações apresentadas na Tabela 1.

Os resultados foram analisados por análises de regressão e de variância, ambos a 5% de significância, utilizando-se pacote estatístico Statgraphics Plus. Para a análise de variância, utilizou-se o teste *Least Significant Difference* (LSD) de Fisher.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As madeiras juvenil e adulta apresentaram valores médios de massa específica aparente a 12% de umidade de 0,37 e 0,54 g/cm³, respectivamente. Essa maior massa específica na madeira adulta também foi observado por Haselein et al. (2000) e Latorraca & Albuquerque (2002). Entretanto, assim como verificado por Oliveira & Tomaselli (1981), não se observou diferença estatística a 95% de probabilidade da massa específica com relação à temperatura de secagem, no mesmo tipo de madeira.

Na Tabela 2, pode-se verificar que houve influência do aumento da temperatura de secagem sobre a umidade de equilíbrio da madeira, e essa influência mostrou-se mais acentuada na madeira juvenil.

Observa-se na Tabela 2, que a madeira juvenil apresentou diferença estatística significativa com relação a todas as temperaturas de secagem. O aumento da

Tabela 1 – Equações para correção da massa específica aparente, módulo de elasticidade e módulo de ruptura em função do teor de umidade.

Table 1 – Equations for correction of the apparent specific mass, modulus of elasticity and modulus of rupture in function of the moisture content.

Propriedades	Equações (BODIG & JAYNE, 1982)
Massa específica aparente	$ME_{a12\%} = ME_{obs} \cdot \{1 + [0,0045 \cdot (U\% - 12)]\} / (1 + U\% / 100)$
Módulo de elasticidade	$MOE_{12\%} = 10^{\{(\log MOE_{obs}) + (U\% - 12) / [(28 - 12) \cdot \log 1,28]\}}$
Módulo de ruptura	$MOR_{12\%} = 10^{\{(\log MOR_{obs}) + [(U\% - 12) / (28 - 12)] \cdot \log 1,65\}}$

Em que: $ME_{a12\%}$ = massa específica aparente a umidade de referência de 12%; $MOE_{12\%}$ = MOE na umidade de referência de 12%; $MOR_{12\%}$ = MOR na umidade de referência de 12%; U% = umidade da madeira (base seca) no instante do ensaio, em %; ME_{obs} = massa específica aparente na umidade observada; MOE_{obs} = MOE na umidade observada; MOR_{obs} = MOR na umidade observada.

Tabela 2 – Umidade de equilíbrio médio das madeiras juvenil e adulta de *Pinus elliottii* Engelm, em função da temperatura de secagem.

Table 2 – Average equilibrium moisture content of the juvenile and mature samples of *Pinus elliottii* Engelm in function of the drying temperature.

Temperatura de secagem (°C)	Lenho juvenil			Lenho adulto		
	Ueq (%)		CV (%)	Ueq (%)		CV (%)
20	10,7	d ¹	3,4	11,2	b	13,5
60	10,0	c	3,8	10,8	b	4,6
100	9,2	b	5,2	10,7	b	8,8
140	8,2	a	6,7	9,1	a	6,3

Em que: ¹Valores seguidos pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente, a 5% de significância, pelo teste *Least Significant Difference* (LSD) de Fisher.

temperatura reduziu a umidade de equilíbrio dos corpos-de-prova. Já no caso da madeira adulta, somente o uso da temperatura de 140°C proporcionou diferença significativa com relação às demais temperaturas, em que se observou apenas tendência de queda da umidade de equilíbrio. Essa redução significativa da umidade de equilíbrio em função do aumento da temperatura de secagem também foi observada por Durlo (1991b), Kozlik (1976) e Oliveira & Tomaselli (1981).

De acordo com Durlo (1991b), a exposição da madeira a altas temperaturas e longos períodos, faz com que haja uma decomposição das hemiceluloses, as quais são mais higroscópicas e degradam-se mais rapidamente, em comparação com outros constituintes primários (celulose e lignina). Essa menor umidade de equilíbrio pode ser um dos fatores responsáveis pela maior contração encontrada para os corpos-de-prova secos à alta temperatura. Thiam et al. (2002) explicou a causa desse comportamento de modo semelhante.

Considerando que a influência do tipo de madeira ocorre principalmente devido à massa específica, a Figura 2 representa o comportamento da umidade de equilíbrio em função dessa variável e da temperatura de secagem. O modelo envolvendo essas duas variáveis mostrou-se significativo, a 95% de probabilidade.

Pela Figura 2, pode-se observar que o aumento da umidade de equilíbrio está diretamente relacionado com o aumento da massa específica aparente. Comportamento inverso foi observado com relação à temperatura de secagem.

As propriedades relativas à flexão estática não sofreram influência significativa a 95% de probabilidade, com a alteração da temperatura de secagem. Notou-se uma tendência da redução dos valores do MOR com o aumento

da temperatura, na faixa de 20-100°C (Figura 3). Já os valores do MOE apresentaram uma tendência aleatória, em função do aumento da temperatura de secagem. Essa tendência não significativa a 95% de probabilidade da redução das propriedades relacionadas à flexão estática também foi observada por Marques et al. (2003), Oliveira & Tomaselli (1981) e Thiam et al. (2002).

Entretanto, as propriedades relacionadas à flexão estática apresentaram influência significativa a 95% de probabilidade, com o tipo de madeira. Os valores observados e ajustados do MOR e do MOE observam-se nas Figuras 4 e 5, respectivamente, em função da massa específica aparente, que está relacionada ao tipo de madeira.

Do mesmo modo que observado por Ballarin & Palma (2003), nas Figuras 4 e 5 observou-se que as propriedades relacionadas à flexão estática apresentaram-se sensivelmente superiores na madeira adulta quando comparado à madeira juvenil. Esse comportamento é devido à influência da massa específica (HASELEIN et al., 2002), uma vez que a massa específica aparente média, obtida para a madeira adulta foi sensivelmente maior que a obtida para a madeira juvenil.

A existência de uma alta relação linear entre massa específica e as propriedades relacionadas à flexão estática têm sido comprovadas por diversos pesquisadores, entre eles, Ballarin & Palma (2003) e Haselein et al. (2002). Entretanto, Ballarin & Palma (2003), Latorraca & Albuquerque (2002) e Treacy et al. (2000), descrevem que a grande diferença de propriedades mecânicas observadas entre a madeira adulta e juvenil não ocorrem exclusivamente pela diferença de massa específica, sendo a diferença entre os ângulos fibrilares dos traqueídeos da madeira juvenil (55°) e da adulta (20°) o maior responsável por essas variações.

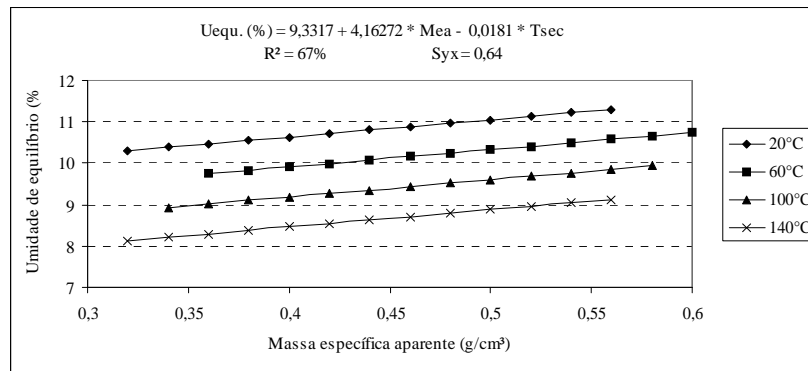


Figura 2 – Curvas ajustadas relacionando a umidade de equilíbrio (Ueq.) da madeira de *Pinus elliottii* Engelm em função da massa específica aparente (MEa) e temperatura de secagem (Tsec).

Figure 2 – Fitted curves relating the equilibrium moisture content (Ueq.) of the *Pinus elliottii* Engelm wood in function of the nominal specific gravity (MEa) and temperature of drying (Tsec).

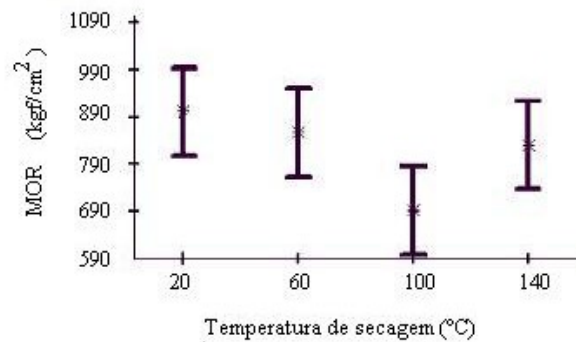


Figura 3 – Comportamento do MOR em função da temperatura de secagem para madeira adulta de *Pinus elliottii* Engelm.

Figure 3 – Behavior of the MOR in function of the drying temperature for mature wood of *Pinus elliottii* Engelm.

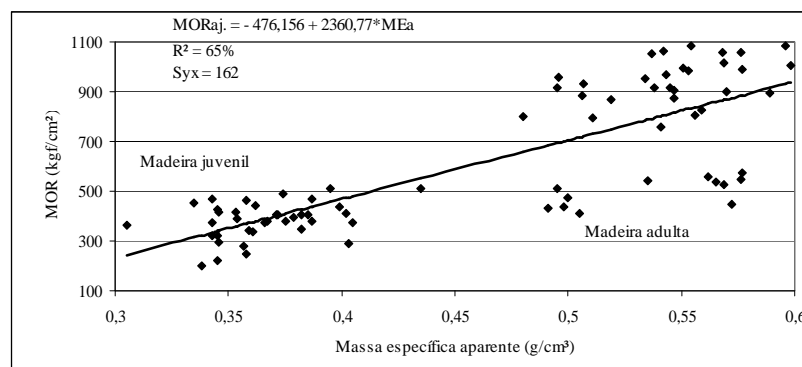


Figura 4 – Valores observados e ajustados do módulo de ruptura (MORaj.) em função da massa específica aparente (MEa) da madeira de *Pinus elliottii* Engelm.

Figure 4 – Observed and adjusted values of rupture modulus (MORaj.) in function of the nominal specific gravity (MEa) of *Pinus elliottii* Engelm wood.

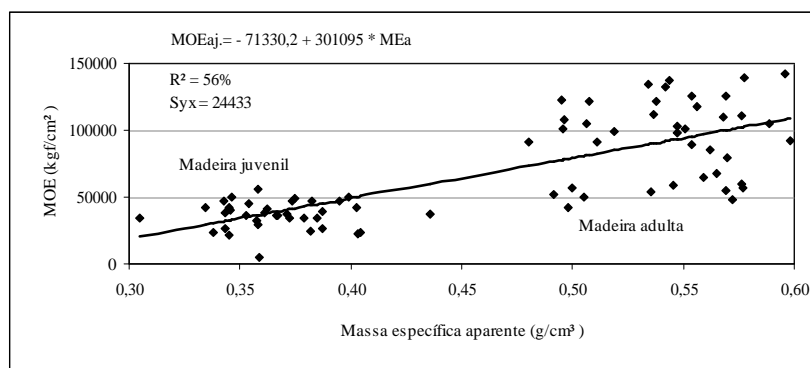


Figura 5 – Valores observados e ajustados do módulo de elasticidade (MOEaj.) em função da massa específica aparente (MEa) da madeira de *Pinus elliotii* Engelm.

Figure 5 – Observed and adjusted values of elasticity modulus (MOEaj.) in function of the nominal specific gravity (MEa) of *Pinus elliotii* Engelm wood.

4 CONCLUSÕES

A massa específica aparente (12%) da madeira juvenil foi inferior a da madeira adulta. Na mesma madeira, não ocorreu diferença significativa a 95% de probabilidade da massa específica aparente, com relação à temperatura de secagem.

Entretanto a umidade de equilíbrio da madeira aumentou proporcionalmente à massa específica aparente, e reduziu-se significativamente a 95% de probabilidade, com o aumento da temperatura de secagem.

O aumento nas propriedades da flexão estática (MOR e MOE) mostraram-se diretamente relacionadas com o aumento de massa específica aparente, de acordo com o tipo de madeira. Considerando a mesma madeira, essas propriedades não sofreram influência significativa a 95% de probabilidade da temperatura de secagem. Entretanto, ocorreu uma tendência da redução dos valores do MOR, em função do aumento da temperatura de secagem. Essa tendência mostrou-se mais acentuada quando do uso da madeira adulta.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard methods of testing small clear specimens of timber**: D 143-94. Philadelphia, 1995.

BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 371-380, 2003.

BENDTSEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, v. 28, n. 10, p. 69-72, 1978.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Van N. Reinhold, 1982. 712 p.

DURLO, M. A. **Tecnologia da madeira**: peso específico. Santa Maria: UFSM; CEPEF/FATEC, 1991a. 29 p. (Série técnica, 8).

DURLO, M. A. Influência da temperatura de secagem no comportamento higroscópico da madeira de *Pinus elliotii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 7-21, 1991b.

GATTO, D. A. Características tecnológicas das madeiras de *Luehea divaricata*, *Carya illinoensis* e *Platanus x acerifolia* quando submetidas ao vergamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 121-131, 2008.

HASELEIN, C. R.; BERGER, R.; GOULART, M.; STHAL, M.; TREVISAN, R.; SANTINI, E. J.; LOPES, M. de C. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 147-152, 2002.

HASELEIN, C. R.; CECHIN, E.; SANTINI, E. J.; GATTO, D. A. Características estruturais da madeira de *Pinus elliotii* Engelm aos 30 anos de idade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 135-144, 2000.

KOZLIK, C. J. Kiln temperature effect on tensile strength of douglas-fir and western hemlock lumber. **Forest Products Journal**, v. 26, n. 10, p. 30-34, 1976.

LARSON, P. R. The physiological basis for wood specific gravity in conifers. In: IUFRO DIVISION 5 MEETING, 1973, Stellenbosch. **Proceedings...** Stellenbosch, 1973. v. 2, p. 672-680.

LATORRACA, J. V. de F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. de. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 279- 291, 2000.

MARQUES, M. H. B.; MARTINS, V. A.; ALVES, M. V. da S. Efeito da secagem e da preservação sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira de marupá (*Simarouba amara* Aubl.). In: FEIRA DE MÁQUINAS E PRODUTOS DO SETOR MADEIREIRO, 5.; CONGRESSO INTERNACIONAL DE COMPENSADO E MADEIRA TROPICAL, 6., 2003, Belém, PA. **Anais...** Belém, 2003.

OLIVEIRA, V. S.; TOMASELLI, I. Efeito da secagem a altas temperaturas em algumas propriedades físicas e mecânicas de madeira jovem de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Revista Floresta**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 17-25, 1981.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. de. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill, 1970. 105 p.

THIAM, M.; MILOTA, M. R.; LEICHTI, R. J. Effect of high-temperature drying on bending and shear strengths of western hemlock lumber. **Forest Products Journal**, v. 52, n. 4, p. 64-68, 2002.

TREACY, M.; EVERTSEN, J.; DHUBHÁIN, A. **A comparison of mechanical and physical wood properties of a range of Sitka Puce provenances**. Finland: COFORD-National Council for Forest Research and Development, 2000. 35 p.

ZOBEL, B. J. The changing quality of the world wood supply. **Wood Fiber Science**, v. 18, p. 1-17, 1984.