



AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO MECÂNICO DA MADEIRA JUVENIL E ADULTA DE *Pinus taeda* L. NO SENTIDO BASE TOPO COM ULTRASSOM

Emmanoella C. G. ARAUJO¹, Thiago C. SILVA¹, Marcelo NOGUEIRA¹

1- Departamento de Ciência Florestal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil.

Resumo: Independente da idade da árvore, a região de madeira juvenil ocorre desde o topo até a base da árvore e dentro de um determinado número de anéis de crescimento desde o centro. Assim, a zona de madeira juvenil é semelhante a um cilindro localizado no centro da árvore, em que a ponta do tronco é constituída principalmente de madeira juvenil e a base contendo uma maior porcentagem de madeira adulta. Resultados de diversas pesquisas têm reportado que o módulo de elasticidade e a resistência mecânica são seriamente afetados pela presença de madeira juvenil. Este trabalho teve por objetivo determinar o módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta da madeira de *Pinus taeda* L. A madeira de *Pinus taeda* L. era originária de plantios da Estação Experimental de Itapeva-SP, sendo amostrados seis indivíduos arbóreos com 34 anos de idade. Os corpos-de-prova com as dimensões de 4cmx4cmx45cm de espessura, largura e comprimento respectivamente, foram obtidos das regiões de madeira juvenil e adulta da prancha central, previamente submetida à secagem industrial até atingir 12% de umidade, para a determinação da constante dinâmica por meios de ensaios utilizando o ultrassom, sendo posteriormente ensaiados destrutivamente à compressão paralela. Os resultados mostraram uma boa sensibilidade na qualificação mecânica da madeira juvenil e adulta utilizando essa técnica, apresentando valores 40% superiores na madeira adulta quando comparados a região de madeira juvenil.

Palavras-chave: avaliação não destrutiva; qualificação mecânica; *Pinus taeda*.

Abstract: Regardless of the age of the tree, the juvenile wood region occurs from top to bottom within the tree and a number of growth rings from the center. The juvenile wood zone is similar to a cylinder located in the tree, in which the tip of the stem mainly consists of the juvenile wood containing base and a higher percentage of mature wood. Results of several studies have reported that MOE and mechanical strength are seriously affected by the presence of juvenile wood. This research was developed with the main objective to determine the modulus of elasticity of juvenile and mature wood of *Pinus taeda* L. The wood of *Pinus taeda* L. plantations was originally of the Estação Experimental de Itapeva-SP, and sampled six individual trees of 34 years old. Longitudinal specimens (4cmx4cmx45cm) were sawed from regions of juvenile and mature wood of the central board, previously submitted to industrial drying up to 12% moisture content, to determine the dynamic constant testing means using ultrasound, subsequently destructively tested to the parallel compression. The results showed good sensitivity in the mechanical qualification of juvenile and mature timber using this technique, with values 40% higher than in mature wood compared juvenile wood zone.

Keywords: non destructive evaluation; mechanical qualification; *Pinus taeda*.

1. INTRODUÇÃO

Independente da idade da árvore, a região de madeira juvenil ocorre desde o topo até a base da árvore e dentro de um determinado número de anéis de crescimento desde o centro. Assim, a zona de madeira juvenil é semelhante a um cilindro localizado no centro da árvore, em que a ponta do tronco é constituída principalmente de madeira juvenil e a base contendo uma maior porcentagem de madeira adulta.

Segundo Zobel (1981) e Zobel e Kellison (1984), a madeira de pinus nas regiões tropicais e sub-tropicais tem rendimento e qualidade inferior à madeira produzida nas regiões temperadas, devido ao crescimento muito rápido das árvores, atingindo tamanhos comerciais muito jovens, com grande proporção de madeira juvenil.

De acordo com Zobel (1981) e McAlister et al. (1997), nas florestas naturais de climas temperados, a madeira juvenil normalmente fica restrita a uma pequena região do volume total da árvore, e nas plantações a quantidade de madeira juvenil é maior, especialmente naquelas árvores provenientes dos primeiros desbastes ou de plantações cortadas mais cedo. Este fenômeno é muito mais acentuado nas plantações das regiões tropicais.

A demarcação entre lenho juvenil e adulto não é clara, devido às mudanças graduais nas células. De fato, o número real de anéis do lenho juvenil depende de como ele é definido anatomicamente, por exemplo, o comprimento dos traqueídeos pode atingir uma estabilidade antes da espessura da parede celular (BENDTSEN e SENFT, 1986).

Loo et al. (1985) reportaram que a idade de transição da madeira juvenil para adulta, mensurada através das variações de densidade ou do comprimento das fibras, é diferente de acordo com as espécies. Por exemplo, essa transição, avaliada pela variação de densidade, ocorre entre 5 a 6 anos em *Pinus elliottii*, *Pinus caribea* e *Pinus radiata*, com cerca de 10 anos em *Pinus taeda* e de 20 anos em *Pinus ponderosa*.

Zobel (1981) e Kramher (1986) caracterizaram a madeira juvenil e adulta baseados na evolução dos elementos anatômicos que as constituem; assim a madeira adulta refere-se ao lenho que apresenta traqueídeos estabilizados em crescimento. Para o *Pinus taeda*, com 30 anos de idade, essa estabilização foi encontrada a partir do 11º ao 13º anel de crescimento.

Bueur et al. (1994) estudando as características dos anéis anuais de *Pinus taeda*, concluíram que o lenho juvenil pode ser bem definido através do uso de técnicas de ultrassom. Lara Palma e Ballarin (2002), estudando a demarcação e densidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L., com 37 anos de idade, concluíram que a região compreendida entre o 14º e 18º anel de crescimento é considerada de transição, ficando definidas a região de madeira juvenil desde o centro até o 14º anel e a região de madeira adulta desde o anel 18 até o anel 37.

Peças estruturais que contenham uma determinada quantidade de lenho juvenil apresentam classes de resistências inferiores, sendo este o motivo pelo qual as diferenças entre as propriedades do lenho juvenil e adulto são importantes para a utilização da madeira (MCALISTER e CLARK, 1992; GEIMER et al., 1997).

Para entender melhor as mudanças das propriedades da madeira em relação à altura da árvore, vários autores têm sugerido estudar a tendência da madeira juvenil e adulta de forma separada. Quando isso não é feito, as diferentes proporções de madeira juvenil nas diferentes alturas poderão determinar estas tendências.



Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho mecânico da madeira de *Pinus taeda* L. considerando a diferenciação entre o lenho juvenil e adulto de maneira isolada ao longo do fuste no sentido base-topo, através do uso de técnicas não destrutivas utilizando o ultrassom.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As toras para determinação dos módulos de elasticidade longitudinal da madeira de *Pinus taeda* L., eram provenientes de plantios tecnicamente conduzidos da Estação Experimental de Itapeva – SP (latitude 24°02' sul, longitude 49°06' oeste e altitude de 750 m).

O plantio ocorreu em 1968, em um espaçamento inicial de 1,50 x 2,80 m, e desde essa data até o corte foram realizados 3 desbastes (sendo eles: 1979, 1989 e 1999) o que resultou em uma densidade de cerca de 162 árvores/ha.

Nessa região, o tipo climático é Cfb — temperatura moderada com chuva bem distribuída e verão brando, podendo ocorrer geadas, tanto no inverno como no outono. A temperatura média anual é de 18,5°C, sendo a precipitação média anual de 1250 mm.

Foram amostrados seis indivíduos arbóreos desta espécie, escolhidos ao acaso do talhão selecionado, dentre os que apresentavam maior retidão de fuste e melhores condições fitossanitárias.

De cada árvore selecionada foram efetuadas medidas de DAP – diâmetro à altura do peito, altura ao diâmetro comercial (15 cm) e altura total. As árvores foram então derrubadas, desganhadas e imediatamente traçadas, dividindo o fuste nas dimensões pré-estabelecidas. De cada árvore retiraram-se quatro toras, com cerca de 3,75 m de comprimento cada uma. As toras foram então encaminhadas para o Horto Florestal de Manduri, S.P., para que fossem desdobradas ainda com casca.

Para a obtenção dos módulos de elasticidade longitudinais as toras foram processadas mecanicamente com a retirada da prancha central de cada uma delas e posteriormente foram confeccionados corpos-de-prova para a avaliação não destrutiva com uso de ultrassom, e convencional destrutiva através de ensaios de compressão paralela às fibras.

De posse das pranchas já desdobradas, para que se garantisse que os corpos-de-prova pertencessem as regiões de interesse, ou seja, de madeira juvenil e de madeira adulta, optou-se por reduzir as dimensões nominais dos mesmos para 4cm x 4 cm x 45 cm (espessura x largura x comprimento), procurando fugir ao máximo da região de transição. Dessa forma, mapeou-se cada segmento da prancha anotando-se, a partir da medula, em qual anel efetivamente iniciava-se o corpo-de-prova de madeira adulta, deixando para tal um intervalo de 5 cm à partir da face externa. Os corpos-de-prova com madeira adulta foram retirados da região mais próxima à casca e os de madeira juvenil foram retirados próximos à região central da peça, excluindo-se a região da medula.

De cada segmento selecionado, foram obtidos dois corpos-de-prova longitudinais de madeira adulta e dois corpos-de-prova de madeira juvenil totalizando 8 corpos-de-prova longitudinais de cada prancha (Figura 1a).

O equipamento utilizado neste trabalho foi da marca Steinkamp, modelo BP-5 (Figura 1b), de fabricação alemã, e transdutores piezoelétricos de faces planas e frequência 45 kHz.

Os transdutores que se acoplam ao equipamento funcionam tanto como emissor quanto como receptor das ondas ultrassonoras.

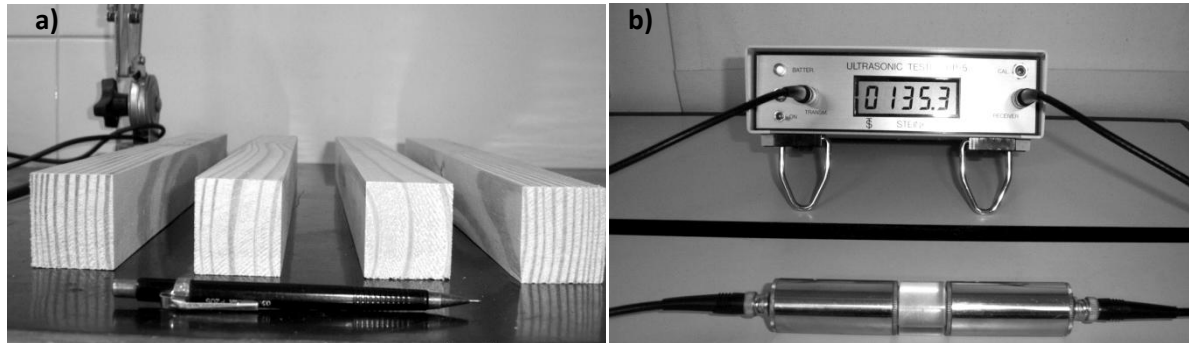


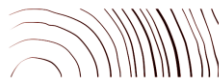
Figura 1. Corpos-de-prova para a avaliação não destrutiva da madeira de *Pinus taeda* L. a) diferenciação entre os corpos-de-prova de madeira adulta (extremidades) e juvenil (ao centro); b) equipamento de ultrassom Steinkamp BP-5.

Para avaliar a exatidão (acurácia) e a sensibilidade do método do ultrassom, todos os 192 corpos-de-prova foram posteriormente ensaiados destrutivamente, em ensaios de compressão, atendendo-se, no geral, às prescrições da norma NBR 7190 (ABNT, 1997). Os corpos-de-prova longitudinais, em específico, foram desdobrados, adequando-se seus comprimentos à prescrição normativa citada, para que fossem submetidos a ensaios de compressão paralela. As deformações específicas foram avaliadas com “clip-gage” com sensibilidade de 0,001mm, acoplado ao computador de controle da máquina de ensaio. Os ensaios destrutivos foram feitos com uso de máquina universal de ensaios servo-controlada EMIC DL 10.000 MF, como mostra a Figura 2.



Figura 2. Execução do ensaio de compressão paralela nos corpos-de-prova longitudinais. a) vista geral do equipamento; b) detalhe do acoplamento do clip-gage.

Após a realização dos ensaios, foi calculada a constante dinâmica C_{LL} , utilizando-se a equação (1).



$$C_{ii} = V_{ii}^2 \cdot \rho \quad , \quad \text{onde:} \quad (1)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, 6$$

V = velocidade de propagação da onda no material na direção ii

ρ = densidade do material

Partindo da premissa de que, no geral, haviam diferenças estatisticamente significativas entre os resultados (de ensaios destrutivos e não-destrutivos) para madeira juvenil e adulta, em todas as análises foi executado o teste de comparação de médias, com o auxílio do software ASSISTAT Versão 7.7 (2015). Os estudos eram apresentados considerando, a priori, o universo como uma única população. Se a análise revelasse que os dados provinham de duas populações distintas, complementarmente os resultados seriam processados considerando-se essas duas populações separadamente, adotando-se um nível de significância de 5%.

Para as variáveis físicas, elásticas e dinâmicas estudadas no programa experimental foi utilizada a diferenciação anatômica em madeira juvenil e adulta, e a análise de variância de um delineamento em parcelas sub-divididas (“split-plot”) em que as parcelas foram constituídas pelas diferentes alturas das toras ao longo do fuste das árvores e as sub-parcelas pelos diferentes tipos de lenhos (juvenil e adulto). O delineamento considerou cada árvore como um bloco, utilizando-se 4 repetições.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise global dos dados mostrou que haviam diferenças estatisticamente significativas entre as variáveis estudadas. Nesse sentido, as análises foram conduzidas considerando isoladamente os dados referentes a madeira juvenil e adulta da madeira de *Pinus taeda* na caracterização mecânica do lote.

A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios não destrutivos com a utilização de ultrassom nos corpos-de-prova e convencionais destrutivos de compressão paralela às fibras da madeira adulta de *Pinus taeda* L. e sua respectiva a análise de variância.

Da Tabela 1 observa-se que existe diferenciação entre as toras retiradas na base (1) e as retiradas no topo (4), quando a variável analisada é a velocidade de propagação da onda ultrassônica, a constante dinâmica e o módulo de elasticidade para a árvore 1. Essa diferenciação não foi verificada na árvore 4.

Analisando-se os valores referentes à constante dinâmica (C_{LL}) e o módulo de elasticidade (E_{c0}) observou-se que a primeira é sempre superior, o que nas duas primeiras toras, quando parâmetro é a velocidade de propagação das ondas de ultrassom.

Em todos os parâmetros analisados observou-se que existe a diferenciação de madeira adulta entre a primeira e a quarta tora.



Tabela 1. Valores de densidade aparente, velocidade de propagação das ondas de ultrassom, constante dinâmica (C_{LL}) e módulo de elasticidade (E_{c0}) obtidos através de ensaios convencionais de compressão paralela às fibras para a madeira adulta de *Pinus taeda* L. e análise de variância.

Árvore 1				
Tora	Densidade (g/cm ³)	Velocidade (m/s)	C_{LL} (MPa)	E_{c0} (MPa)
1	0,64509 a	6.147 a	24.375 a	16.548 a
2	0,60964 ab	6.234 a	23.694 a	16.209 a
3	0,58674 bc	6.130 a	22.051 a	14.980 a
4	0,56800 c	5.780 b	19.040 b	11.818 b
Árvore 2				
Tora	Densidade (g/cm ³)	Velocidade (m/s)	C_{LL} (MPa)	E_{c0} (MPa)
1	0,60456 a	5.957 a	21.484 a	13.205 a
2	0,57922 a	5.911 a	20.288 a	11.962 ab
3	0,58337 a	5.726 ab	19.130 ab	10.674 ab
4	0,56828 a	5.315 b	16.112 b	8.948 b
Árvore 3				
Tora	Densidade (g/cm ³)	Velocidade (m/s)	C_{LL} (MPa)	E_{c0} (MPa)
1	0,69734 a	6.186 a	26.679 a	19.557 a
2	0,63442 ab	6.025 ab	23.111 ab	15.034 b
3	0,62595 ab	6.023 ab	22.715 b	15.467 ab
4	0,61496 b	5.926 b	21.609 b	13.499 b
Árvore 4				
Tora	Densidade (g/cm ³)	Velocidade (m/s)	C_{LL} (MPa)	E_{c0} (MPa)
1	0,64181 a	5.876 a	22.155 a	12.905 a
2	0,60520 ab	5.780 a	20.265 a	16.930 a
3	0,59338 ab	5.451 a	17.913 a	9.539 a
4	0,55628 b	5.610 a	17.525 a	9.844 a
Árvore 5				
Tora	Densidade (g/cm ³)	Velocidade (m/s)	C_{LL} (MPa)	E_{c0} (MPa)
1	0,63259 a	6.076 a	23.352 a	17.303 a
2	0,56556 b	5.885 a	19.673 ab	14.091 ab
3	0,57227 b	5.982 a	20.535 ab	14.479 ab
4	0,53542 b	5.760 a	17.795 b	11.550 b
Árvore 6				
Tora	Densidade (g/cm ³)	Velocidade (m/s)	C_{LL} (MPa)	E_{c0} (MPa)
1	0,57989 a	5.971 a	20.686 a	15.021 a
2	0,54155 a	5.856 a	18.616 ab	13.264 a
3	0,55290 a	5.676 ab	17.855 ab	11.923 a
4	0,53479 a	5.420 b	15.738 b	10.269 a

Nota: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.



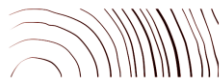
A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios não destrutivos com a utilização de ultrassom nos corpos-de-prova e convencionais destrutivos de compressão paralela às fibras da madeira juvenil de *Pinus taeda* L. e sua respectiva análise de variância.

Tabela 2. Valores de densidade aparente, velocidade de propagação das ondas de ultrassom, constante dinâmica (C_{LL}) e módulo de elasticidade (E_{c0}) obtidos através de ensaios convencionais de compressão paralela às fibras para a madeira juvenil de *Pinus taeda* L. e análise de variância.

Árvore 1				
Tora	Densidade (g/cm ³)	Velocidade (m/s)	C_{LL} (MPa)	E_{c0} (MPa)
1	0,51407 a	4.535 a	10.998 a	6.635 a
2	0,47576 a	5.404 a	13.954 a	8.385 a
3	0,50242 a	5.220 a	13.741 a	8.644 a
4	0,52413 a	5.310 a	14.857 a	8.815 a
Árvore 2				
Tora	Densidade (g/cm ³)	Velocidade (m/s)	C_{LL} (MPa)	E_{c0} (MPa)
1	0,44119 a	5.273 a	12.291 a	7.377 a
2	0,47714 a	5.338 a	13.779 a	8.457 a
3	0,47802 a	5.230 a	13.078 a	7.864 a
4	0,50959 a	5.308 a	14.473 a	8.606 a
Árvore 3				
Tora	Densidade (g/cm ³)	Velocidade (m/s)	C_{LL} (MPa)	E_{c0} (MPa)
1	0,44655 a	4.932 a	10.898 b	6.925 b
2	0,44983 a	5.037 a	11.482 ab	7.378 ab
3	0,47629 ab	5.261 a	13.213 ab	8.347 ab
4	0,49788 a	5.434 a	14.739 a	9.728 a
Árvore 4				
Tora	Densidade (g/cm ³)	Velocidade (m/s)	C_{LL} (MPa)	E_{c0} (MPa)
1	0,49363 a	5.093 a	12.804 a	8.046 a
2	0,50142 a	5.215 a	13.682 a	9.022 a
3	0,50980 a	5.258 a	14.138 a	8.364 a
4	0,51780 a	5.354 a	14.827 a	9.450 a
Árvore 5				
Tora	Densidade (g/cm ³)	Velocidade (m/s)	C_{LL} (MPa)	E_{c0} (MPa)
1	0,48321 ab	5.225 a	14.808 a	10.313 a
2	0,45321 b	5.355 a	13.058 a	8.673 a
3	0,47418 ab	5.674 a	15.271 a	10.477 a
4	0,48509 a	5.441 a	14.425 a	10.484 a
Árvore 6				
Tora	Densidade (g/cm ³)	Velocidade (m/s)	C_{LL} (MPa)	E_{c0} (MPa)
1	0,40326 b	4.349 b	7.633 b	4.921 b
2	0,43491 ab	5.079 a	11.226 a	8.170 a
3	0,47259 a	5.163 a	12.608 a	8.747 a
4	0,44188 ab	5.199 a	11.958 a	8.203 a

Nota: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A mesma análise, conduzida quando avaliada a madeira juvenil, observa-se da Tabela 2 que a diferenciação no que tange aos parâmetros estáticos e dinâmicos já não são tão perceptíveis, não apresentando diferenciação entre as toras da base e do topo no que diz



respeito ao comportamento mecânico, o que já era esperado uma vez que a região de madeira juvenil ocorre desde o topo até a base da árvore, sendo semelhante a um cilindro localizado no centro da árvore, em que a ponta do tronco é constituída principalmente de madeira juvenil e a base contendo maior porcentagem de madeira adulta.

Das Tabelas 1 e 2 pode-se verificar que os valores da constante dinâmica (C_{LL}) são sempre mais elevados que os valores dos módulos de elasticidade à compressão (E_{CO}), confirmando os resultados apresentados por Bodig e Jayne (1982), com valores de módulos de elasticidade dinâmicos de 5 a 15% superiores aos módulos de elasticidade estáticos.

O valor médio do módulo de elasticidade para a espécie de pinus apresentado pela NBR 7190 é 13.304 MPa. Nota-se, que no caso de madeira juvenil, quando tomada exclusivamente, sequer atinge esse valor, sendo 37% inferior ao valor de referência, mesmo tratando-se de uma amostragem com árvores de 34 anos. Já no caso de madeira adulta, a média aproxima-se muito do referencial teórico apresentado.

Numa análise global da variância, considerando-se os resultados dos ensaios não-destrutivos e convencionais estáticos, pode-se dizer que a diferenciação entre madeira juvenil e adulta é mais perceptível nas primeiras toras da árvore (1 a 3, normalmente), o que corresponde a aproximadamente 60% da altura comercial. Com o aumento da altura, a madeira adulta tende a apresentar resultados próximos daqueles da madeira juvenil, em termos de valores de suas propriedades físicas (densidade), elásticas (E_{CO}) e dinâmicas (v e C_{LL}).

4. CONCLUSÕES

Com os condicionantes assumidos neste estudo, as seguintes conclusões podem ser formalizadas:

- a velocidade de propagação de ondas em corpos-de-prova de madeira é influenciada pelo tipo de lenho (madeira juvenil e madeira adulta), sendo as velocidades superiores na madeira adulta e inferiores na madeira juvenil.
- o método do ultrassom é uma importante ferramenta na qualificação mecânica da madeira de *Pinus taeda* L., na diferenciação entre os lenhos juvenil e adulto.
- a madeira juvenil, presente em toda a extensão do fuste da árvore, apresentou valores de módulos de elasticidade cerca de 40 a 50% menores do que os valores avaliados na madeira adulta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projeto de estruturas de madeira* (NBR 7190). Rio de Janeiro: ABNT, 1997, 107 p.

BENDTSEN, B.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and Loblolly Pine. *Wood and Fiber Science*, v.18, n.1, p.21-38, 1986.

BODIG, J; JAYNE, B. A. *Mechanics of Wood and Wood Composites*. Van Nostrand Reinhold, New York. 1982.



BUEUR, V. ; HERBE, C.; NOSEI, G. Annual ring characteristics of *Pinus taeda* measured by ultrasonic and x-ray techniques. Iawa Journal. 1994. Disponível em: <http://webofscience.fapesp.br/CIW.cgi?2886_A6343255&Func=Abstract&doc=0/1>.

Acesso em: 01 de junho de 2015.

GEIMER, R.L.; HERIAN, V.L.; XU, D. Influence of juvenile wood on dimensional stability and tensile properties of flakeboard. Wood and Fiber Science, v.29, n.2, p.103-120. 1997.

KRAHMER, R. Fundamental Anatomy of Juvenile and Mature Wood. In: A TECHNICAL WORKSHOP: JUVENILE WOOD-WHAT DOES IT MEAN TO FOREST MANAGEMENT AND FOREST PRODUCTS, 1985, Washington. *Proceedings...*Madison: Forest Products Research Society. p.12-16. 1986.

LARA PALMA, H. A., BALLARIN, A. W. Demarcação e densidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L.. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 8, 2002, Uberlândia, MG. *Anais...*Florianópolis: IBRAMEM, 2002, 12p. (editado em CD-Rom)

LOO, J. A.; TAUER, C. C.; McNEW, R. N. Genetic variation in the time of transition from juvenile to mature wood in loblolly pine (*Pinus taeda*). *Silvae Genet*, n.34, p.14-19, 1985.

McALISTER, R.; CLARK, A. Shrinkage of juvenile and mature wood of loblolly pine from three locations. *Forest Prod. J.*, Madison, v. 42, n. 7/8, p.25-28. 1992.

McALISTER, R.; CLARK, A.; SAUCIER, J. Effect of initial spacing on mechanical properties of lumber sawn from unthinned slash pine at age 40. *Forest Prod. J.*, Madison, v. 47, n. 7/8, p.107-109, 1997.

ZOBEL, B. J. Wood quality from fast-grown plantations. *Tappi*, v. 64, n. 1, p.71-74, 1981.

ZOBEL, B. J. The changing quality of the world wood supply. *Wood Sci Technol*, n. 18, p. 1-17, 1984.

ZOBEL, B. J.; KELLISON, R. C. Wood – Where will it come from, where will it go? (A comparison of the Southern Unites States with South America). *Utiliz. Changing Wood Res South U.S.* Raleigh, North Carolina, 12 p. 1984.