

Lenho Juvenil e Adulto e as Propriedades da Madeira

Graziela Vidaurre¹, Lucas Recla Lombardi², José Tarcísio da Silva Oliveira¹,
Marina Donária Chaves Arantes¹

¹Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

²Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Departamento de Engenharia Florestal,
Universidade Federal de Viçosa – UFV

RESUMO

Durante o crescimento da árvore, é inevitável o desenvolvimento da madeira juvenil, bem como do lenho adulto; contudo, as diferenças entre esses tipos lenhosos proporcionam comportamentos distintos da madeira, quando submetida a processos de beneficiamento. Em espécies de rápido crescimento associadas com práticas silviculturais de ganho volumétrico intenso de madeira, a madeira juvenil é mais frequente; contudo, os índices para quantificar ou demarcar tal tecido lenhoso ainda são divergentes. Alterações são observadas em coníferas e folhosas, com destaque para as propriedades anatômicas, físicas, mecânicas e químicas; além disso, observa-se uma relação entre tais propriedades. Diferenças nas propriedades da madeira juvenil e adulta de folhosas são menos evidentes quando comparadas às coníferas.

Palavras-chave: coníferas, folhosas, características da madeira.

Juvenile and Mature Wood and the Properties of Wood

ABSTRACT

During tree growth, the development of juvenile wood as well as mature wood is inevitable, but differences between these timber types provide different behaviors when submitted to beneficiation processes. In fast growing species associated with silvicultural practices gain heavy volume of wood, juvenile wood is more common; however, the indices to quantify such mark or woody tissue are still divergent. Changes are observed in softwoods and hardwoods, with emphasis on the anatomical, physical, mechanical and chemical properties; in addition, there is a relationship between these properties. Differences in wood properties of juvenile and mature hardwoods are less evident when compared to softwoods.

Keywords: softwood, hardwood, wood characteristics.

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização, a madeira tem sido um material fundamental à existência do ser humano, seja na habitação, nas construções em geral, no mobiliário, nas embalagens, seja como fonte de energia. A madeira, embora seja considerada renovável, é um recurso finito e requer, para que sua perpetuidade seja garantida, uma utilização racional,

embasada no princípio do rendimento sustentável, ou seja, no uso racional da madeira com garantia de suprimento para as gerações futuras.

No passado, a maior parte da madeira provinha de árvores de grande porte, com excelentes propriedades tecnológicas, oriundas de florestas naturais. Atualmente, com o decréscimo constante

do suprimento de árvores adultas com grandes diâmetros, tornou-se oportuna a produção de árvores em ciclos curtos de corte por meio da adoção de espécies de rápido crescimento.

Mudanças nas práticas silviculturais das plantações, originadas pelas pressões crescentes na demanda de madeira, fizeram com que crescesse o interesse dos pesquisadores em relação às características da madeira juvenil e sua influência nas propriedades da madeira, uma vez que em tais rotações não estão se considerando as propriedades físicas e mecânicas da madeira (Lara Palma & Ballarin, 2003). Essa matéria-prima influencia o processo de transformação da madeira, pois suas propriedades tecnológicas também são afetadas, trazendo como resultado problemas na qualidade das fibras, na resistência mecânica e na durabilidade natural das peças em que se emprega esse tipo de matéria-prima (Brown & McWilliams, 1990).

Na medida em que a produção de madeira juvenil é o resultado do processo de crescimento fisiológico normal da árvore, não há muitas alternativas para os silvicultores (Passialis & Kiriazakos 2004). Dessa forma, a quantidade de madeira juvenil, que pode ser reduzida pela mudança no modelo de crescimento das árvores, é muito pequena. Quase todas as alternativas para conseguir maior crescimento nas árvores resultam em maiores quantidades de madeira juvenil. Por exemplo, quando árvores de *Pinus resinosa* são fertilizadas com nitrogênio, a região de madeira juvenil aumenta no tronco (Zobel & Buijtenen, 1989).

As características mecânicas e físicas da madeira do lenho juvenil são decisivas para a produção de madeira sólida e as características químicas afetam a produção de polpa e papel. As características anatômicas estão ligadas a todos os processos de beneficiamento da madeira.

Assim, definir a idade ou a distância da medula em que ocorre a transição da madeira juvenil para adulta é de grande importância, visto a elevada proporção de madeira juvenil no mercado que é oriunda, principalmente, de espécies de reflorestamento, como o eucalipto e o pinus. Essa informação permite estimar melhor o aproveitamento e a qualidade da madeira de crescimento rápido para as respectivas utilizações (Bendtsen & Senft, 1986).

Em face à importância do estudo do lenho juvenil e adulto, o presente trabalho trata de uma revisão bibliográfica acerca da influência da madeira juvenil nas propriedades da madeira.

2. MADEIRA JUVENIL E MADEIRA ADULTA

Madeira juvenil corresponde a uma região central na árvore de forma cilíndrica, com diâmetro parcialmente uniforme, estendendo-se desde a base até o topo e podendo formar parte do alburno ou do cerne no tronco, se este já estiver presente na árvore (Krahmer, 1986; Zobel & Buijtenen, 1989; Cown, 1992; Evans et al., 2000).

Ramay & Briggs (1986) definiram madeira juvenil como sendo o xilema secundário, formado durante a fase jovem do câmbio vascular da árvore, nos estágios iniciais da vida da árvore. Esse período varia conforme a espécie e pode ser afetado pelas condições ambientais. Caracteriza-se, ainda, anatomicamente por um progressivo acréscimo nas dimensões das células e por correspondentes alterações em sua forma, estrutura e disposição, em sucessivos anéis de crescimento, que se reflete nas propriedades da madeira. A variação radial que aparece ao longo do tronco pode ser explicada, além das mudanças nas dimensões dos traqueídes, em último caso, pelo crescimento e pela produção hormonal (Larson, 1973).

Apesar de a madeira juvenil ocorrer tanto nas coníferas como nas folhosas, nestas é menos evidente e também não se apresenta de forma muito apreciável em todas as espécies. A madeira juvenil é de grande interesse em coníferas de rápido crescimento, em especial em regiões tropicais, segundo Zobel & Buijtenen (1989) e Fernández-Golfín et al. (1999). O comportamento da madeira juvenil em coníferas é muito explorado em periódicos internacionais, visto a grande diversidade de espécies desse gênero ocorrentes na Europa e na América do Norte. Comparativamente, o comportamento da madeira juvenil em folhosas foi pouco estudado. Artigos que abordam o tema em madeira de folhosas mencionam a necessidade de se conhecerem as diferenças nas propriedades desses dois tipos de madeira presentes

em uma mesma árvore (Gatto et al., 2008; Lara Palma & Ballarin, 2003; Bhat et al., 2001; Silva, 2002).

O eucalipto se destaca como uma madeira de elevado potencial tecnológico para suprir as necessidades do mercado de madeira sólida. Em razão do seu rápido crescimento e do curto ciclo de corte, muitos estudos acerca das propriedades da madeira juvenil de eucalipto têm sido realizados. No entanto, a escassez de informações acerca das propriedades físicas, químicas, mecânicas e anatômicas da madeira adulta de eucalipto restringe sua utilização.

Segundo Zobel & Buijtenen (1989), nas florestas naturais de clima temperado, a madeira juvenil normalmente fica restrita a uma pequena proporção do volume total da árvore e, assim, é menor a influência na qualidade da madeira serrada comercializada. Nos reflorestamentos, a proporção de madeira juvenil é maior, especialmente naquelas árvores de fuste pequeno, provenientes dos primeiros desbastes ou de plantações cortadas mais cedo.

Ao se comparar a madeira juvenil com a madeira adulta, Bendtsen (1978) e Senft et al. (1985) afirmaram que os ângulos microfibrilares da camada S_2 , o diâmetro do lúmen, o conteúdo de lignina, o lenho de reação e a contração longitudinal são maiores na madeira juvenil. Por outro lado, a densidade, o comprimento de traqueídes, a espessura da parede celular, o conteúdo de celulose, a resistência e a rigidez são maiores na madeira adulta.

A localização exata do limite entre a madeira juvenil e a adulta é de alta dificuldade. A mudança de madeira juvenil para madeira adulta não se processa da mesma forma para as diferentes características e propriedades da madeira. Por exemplo, a estabilização e a mudança de densidade ocorrem de maneira mais rápida que o comprimento dos traqueídes. Essa demarcação entre lenho juvenil e adulto não é clara, por causa das 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 traqueídes pode atingir sua uniformidade antes da espessura da parede celular (Zobel & Buijtenen, 1989).

As propriedades da madeira não são uniformes no sentido medula-casca, pois nos primeiros anéis de crescimento a madeira apresenta menor densidade e

menor comprimento de fibra. Em anéis sucessivos, partindo do centro da árvore, verifica-se o aumento da densidade e das características anatômicas, como comprimento, diâmetro do lúmen e espessura da parede da fibra. A taxa de mudança na maioria das propriedades é muito rápida nos primeiros anéis de crescimento; os anéis posteriores vão assumindo gradualmente as características da madeira adulta (Bendtsen, 1978). Segundo Krahmer (1986), o comprimento dos traqueídes ou das fibras constitui a principal variável na definição do limite entre a madeira adulta e a juvenil. Os traqueídes são curtos na região de madeira juvenil, perto da medula, aumentando rapidamente em direção à casca, ainda no lenho juvenil. As mudanças no comprimento dos traqueídes na região adulta da árvore são pequenas.

Lara Palma & Ballarin (2003) afirmaram que a madeira juvenil, em função dos traqueídes curtos e das paredes finas, tem ângulo fibrilar maior que o da madeira adulta. A contração longitudinal pode chegar até 9% ou mais que isto, em relação à madeira adulta, o que pode afetar a estabilidade dimensional dos produtos com esse tipo de madeira. Se uma peça de madeira é cortada de tal forma que ela tenha uma porção de madeira juvenil e uma de madeira adulta, uma região contrairá mais que a outra durante a secagem, resultando em empenamentos, fendas e torções. Essa situação gera uma desvalorização do produto no mercado.

3. INFLUÊNCIA DA MADEIRA JUVENIL NOS ELEMENTOS ANATÔMICOS DA MADEIRA

O comprimento de fibra foi a característica que melhor definiu o ano de transição dos lenhos juvenil para adulto, estimado em 21 anos para a madeira de *Luehea divaricata* Mart (açoita-cavalo), de acordo com Gatto et al. (2008). Em seus estudos envolvendo as propriedades anatômicas da fibra, o diâmetro das fibras, o diâmetro do lúmen e a espessura da parede das fibras mostraram-se inadequados para a estimativa da idade de transição, por causa dos baixos coeficientes de determinação dos modelos estatísticos testados.

Para a madeira de *Populus hybridogenou*s estudada por Passialis & Kiriazakos (2004), a

transição ocorreu aos 27 anos, com base nos parâmetros de comprimento dos traqueídes. Lara Palma & Ballarin (2003) realizaram o mesmo estudo para a madeira de *Pinus taeda*, tendo os traqueídes crescimento acentuado e linear de 47% até o décimo segundo anel de crescimento. A partir do 12.º até o 20.º anel, o aumento no comprimento foi menor (18%), tendendo para um valor estável e quase constante a partir deste último anel. Os autores concluíram ainda que a madeira adulta começa a ser formada entre o 18.º e o 20.º anel.

Em estudo acerca da variação morfológica e química da madeira juvenil, adulta e da madeira de compressão de *Pinus taeda*, Yeh et al. (2006) concluíram que o comprimento das fibras, em lenho normal, é inferior para a madeira juvenil, enquanto que no lenho de compressão, não houve diferença para madeira juvenil e adulta. A madeira adulta normal tendeu a ter maior espessura da parede que a madeira juvenil, mas, para a madeira de compressão, foi o inverso.

A análise das propriedades da fibra da madeira para polpação e produção de papel é importante na qualidade da madeira industrial. De acordo com Foelkel (1997), “coarseness” é definida como peso por unidade de comprimento da fibra e expressa por miligramas por 100 m ($\text{mg} \cdot 100 \text{ m}^{-1}$ de fibras), sendo que tal propriedade influencia nas características estruturais, ópticas e de resistência do produto final.

Os valores de “coarseness” não foram significativos entre lenho juvenil e adulto, nas madeiras de compressão e normal para a madeira de *Pinus taeda*, segundo estudo realizado por Yeh et al. (2006). Observou-se que a madeira juvenil de compressão apresentou melhores valores que a madeira juvenil normal. A madeira adulta normal

da base da árvore possui também ligeiramente melhor “coarseness” do que a madeira juvenil normal, o que ocorre, aparentemente, por ser mais fina a parede celular da madeira juvenil. Os ângulos das microfibrilas apresentaram maiores valores para a madeira juvenil normal do que para a madeira adulta. Quando se comparam a madeira normal e a de compressão, os valores dos ângulos das microfibrilas foram sempre superiores para a madeira de compressão, e a diferença entre os valores dos ângulos também foi maior para a madeira de compressão quando comparada à madeira normal.

Conforme pode ser observado na Tabela 1, a maturação da madeira *Pinus caribaea* Morelet plantado na África ocorreu em torno dos 20 anos de idade, pois, a partir dos 15 anos, a variação no comprimento dos traqueídes e na densidade básica apresentou menores incrementos e o coeficiente de variação (CV) também foi reduzido (Oluwafemi, 2007).

A maturação ocorreu em diferentes épocas de acordo com o parâmetro analisado para a madeira de teca (*Tectona grandis* L.F.), plantada em três diferentes localizações em Kerala, Índia (Bhat et al., 2001). Além disso, os autores afirmam que as condições ambientais de crescimento também interferem nas propriedades de *Tectona grandis*. Ocorreu diferença de cinco anos entre os plantios para a estabilização do ângulo microfibrilar; além disso, fatores como diâmetro de vasos e comprimento das fibras também apresentaram diferenças significativas no tempo de maturação.

Em estudo com dez espécies de ocorrência na China – Common China-fir, Korean larch, Masson pine, Yunnan pine, Japanese larch, Loblolly pine, Slash pine, Lemon eucalipto, Lankao paulownia e Sambei

Tabela 1. Influência da idade nos parâmetros dos traqueídes de *Pinus caribaea*.

Table 1. Age influence of tracheid parameter of *Pinus caribaea*.

Idade (anos)	Db ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	C (mm)	D (μm)	d (μm)	e (μm)	Fl(%)	PC (%)
5	407 a	2,34	59,64	47,62	6,01	79	20
7	408 a	2,44	54,22	40,78	6,62	76	24
15	459 b	2,64	59,14	46,50	6,47	78	22
20	497 d	3,23	58,32	42,68	7,82	73	27
25	488 c	4,23	62,08	43,07	9,50	69	31

Db = densidade básica; C = comprimento do traqueíde; D = diâmetro; d = largura do lúmen; e = espessura da parede celular; Fl = flexibilidade; PC = percentual de parede celular. Valores com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Fonte: Adaptado de Oluwafemi (2007).

poplar –, Bao et al. (2001) avaliaram a diferença entre a madeira juvenil e a adulta. Foi encontrado um valor esperado, ou seja, os ângulos microfibrilares de todas as madeiras juvenis estudadas foram maiores que nas madeiras adultas, mas a diferença entre os valores foi menos significativa para a madeira de folhosas, ressaltando que, para essas espécies, a diferença entre lenhos é menos evidente. Observou-se também que a diferença entre o tamanho das fibras e dos traqueídes aumenta em proporções distintas para as folhosas e coníferas, da madeira juvenil para a madeira adulta, sendo tal diferença menor nas folhosas.

4. INFLUÊNCIA DA MADEIRA JUVENIL NA CONTRAÇÃO DA MADEIRA

No estudo relacionado às propriedades de contração da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda*, Lara Palma & Ballarin (2003) concluíram que menores contrações longitudinais ocorrem no lenho juvenil (Tabela 2). Observou-se que o valor médio da contração longitudinal na madeira juvenil foi inferior ao da madeira adulta, tendência contrária à apresentada na literatura. Os autores justificaram o fato mediante a afirmação de McAlister & Clark (1992) de que nem toda madeira juvenil das espécies do gênero *Pinus* tem contração longitudinal excessiva.

Silva (2002) avaliou a contração da madeira de *Eucalyptus grandis* plantado no Estado do Paraná e concluiu que existe uma forte tendência de aumento dos valores de contração da madeira em função da idade, mesmo no sentido longitudinal (Tabela 3).

Segundo Tsoumis (1991), Vital & Trugilho (1997) e Rocha (2000), a magnitude das variações dimensionais da madeira é normalmente maior para espécies de elevada densidade, em função da maior quantidade de madeira por unidade de volume. Além disso, madeiras de maior densidade, para um mesmo teor de umidade, contêm mais água na parede celular, contribuindo para tais variações dimensionais.

Maestri et al. (2004) encontraram em madeira de eucalipto, com idades entre dez e 21 anos, uma boa correlação entre o perfil da densidade no sentido medula-casca e os defeitos que na literatura geralmente são descritos como falhas na madeira juvenil. Independentemente da idade, do material genético e do nível de densidade encontrado, os defeitos da madeira serrada, como empenamento, trincas superficiais e rachaduras numa distância entre 7 e 9 cm da medula, eram bem mais frequentes. Os autores associaram isso com a ocorrência de madeira juvenil perto da medula. Os defeitos foram associados ao ponto de inversão das curvas, representando a densidade média medida nas respectivas árvores.

Tabela 2. Contrações médias da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda*.

Table 2. Average shrinkage of the juvenile and mature wood of *Pinus taeda*.

	Contrações médias (%)			
	Longitudinal	Radial	Tangencial	Volumétrica
Madeira juvenil	0,41 (41,6)*	4,8 (20,3)*	7,42 (10,6)*	12,26 (11,8)*
Madeira adulta	0,47 (26,2)*	6,43 (16,5)*	7,89 (9,5)*	14,20 (10,8)*

*Valores entre parênteses correspondem aos coeficientes de variação. Fonte: Lara Palma & Ballarin (2003).

Tabela 3. Contrações médias da madeira de *Eucalyptus grandis* em diferentes idades.

Table 3. Average shrinkage of *Eucalyptus grandis* wood at different ages.

Idade (anos)	Contrações médias (%)			
	Longitudinal	Radial	Tangencial	Volumétrica
10	0,35	3,35	8,85	15,91
14	0,38	6,29	10,66	18,68
20	0,32	6,72	13,14	19,61
25	0,73	6,00	9,90	18,25

Fonte: Silva (2002).

O fator anisotrópico de madeira juvenil oriunda de crescimento natural foi inferior ao da madeira juvenil provinda de plantações da China, assim como o valor inferior de absorção de água, justificando a influência silvicultural nas propriedades da madeira (Bao et al., 2001).

5. INFLUÊNCIA DA MADEIRA JUVENIL NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

Peças estruturais que contenham uma determinada quantidade de lenho juvenil apresentam classes de resistência inferiores, sendo este o motivo pelo qual o conhecimento das diferenças entre as propriedades do lenho juvenil e adulto é importante para a utilização da madeira processada mecanicamente. Outra questão está relacionada aos empenos e rachaduras, nos quais a madeira juvenil e a adulta se comportam, de forma geral, de maneira um pouco distinta.

Larson et al. (2001), Guler et al. (2007) e Passialis & Kiriazakos (2004) relataram que o módulo de elasticidade (MOE), a resistência à compressão paralela e normal, a flexão estática e a tração paralela são seriamente afetadas pela presença de madeira juvenil. Do mesmo modo, os módulos de elasticidade e de ruptura (MOR) da madeira são altamente correlacionados com a densidade, sendo estes, portanto, influenciados pela quantidade da madeira juvenil (Larson et al., 2001).

Segundo dados do Forest Products Laboratory (1974) e de Kollmann & Côté (1968), as propriedades mecânicas da madeira são fortemente influenciadas por fatores diversos, tais como a idade da árvore, o ângulo da grã, o teor de umidade, a temperatura, os constituintes químicos, a massa específica, a constituição anatômica, a duração da tensão e da

deformação, as falhas na madeira e a presença de nós; assim, a presença de lenho juvenil e adulto na madeira, em qualquer proporção, irá interferir nas propriedades mecânicas, visto que a presença desses lenhos influencia nas propriedades supracitadas.

A transição de madeira juvenil para madeira adulta ocorre em idades diferentes, dependendo das características ou propriedades determinadas, observaram Passialis e Kiriazakos (2004) para a madeira de *Populus hybridogenus* oriundo de florestas naturais da Grécia (Tabela 4). Observa-se pequena diferença entre os valores de MOR e MOE de cerne e alburno, quando comparados aos da madeira juvenil, apesar da composição distinta entre ambos. Esses autores mencionaram ainda que baixos valores das propriedades mecânicas da madeira juvenil estão relacionados ao menor comprimento dos traqueídes, assim como aos maiores ângulos das microfibrilas e maiores conteúdos de lignina e hemicelulose. Observa-se que o maior valor médio de densidade não foi encontrado para a madeira madura, apesar dos seus valores elevados quanto à resistência mecânica.

Avaliando-se as mesmas propriedades, MOE e MOR, mas no sentido medula-casca para a madeira de *Eucalyptus grandis* em quatro idades diferentes, Silva (2002) observou melhora nas propriedades nesse sentido e em função da idade. Porém, a idade de 20 anos mostrou-se sempre com valores mais elevados de resistência. Apesar de a amostragem do material de estudo ter sido realizada no mesmo local, o que variou foi a procedência da semente, ou seja, o material genético.

Nutto & Touza (2004) encontraram a mesma correlação entre a posição sentido medula-casca, densidade básica e MOE para *Eucalyptus globulus* da Espanha (Figura 1). Com maior distância da medula, a densidade aumentou de forma significativa, até

Tabela 4. Densidade, módulo de ruptura – MOR e módulo de elasticidade – MOE da madeira de *Populus hybridogenus*.
Table 4. Density, modulus of rupture - MOR and modulus of elasticity - MOE of *Populus hybridogenus* wood.

Propriedades	Madeira juvenil	Madeira adulta	
		Cerne	Alburno
Densidade (g.cm ⁻³)	0,42	0,41	0,40
MOR (N.mm ⁻²)	42,00	57,11	57,95
MOE (N.mm ⁻²)	6,15	8,54	8,11

Fonte: Passialis & Kiriazakos (2004).

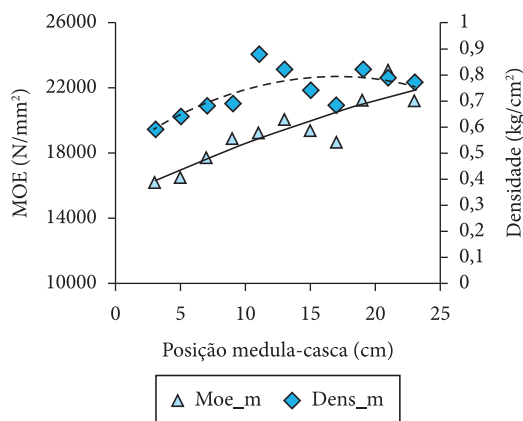


Figura 1. Densidade básica e módulo de elasticidade de *Eucalyptus globulus* da Espanha, sentido medula-casca.
Figure 1. Specific gravity and modulus of elasticity of *Eucalyptus globulus* from Spain, pith to bark.

que, no alburno, ocorreu uma pequena queda. O MOE, por outro lado, aumentou de forma contínua, afastando-se mais da medula.

Bhat et al. (2001) mencionaram que a madeira adulta de teca possui valores 20% superiores para MOR e MOE em relação à madeira juvenil, para árvores oriundas de reflorestamentos. Os mesmos autores, estudando sete espécies de coníferas e três espécies de folhosas da China, concluíram que as folhosas apresentaram menores diferenças nos valores das propriedades mecânicas entre a madeira juvenil e adulta, ressaltando o maior controle genético das folhosas sobre suas propriedades.

6. INFLUÊNCIA DA MADEIRA JUVENIL NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA

A madeira juvenil apresenta menor porcentagem de celulose, maiores teores de holocelulose, de extrativos e de lignina, quando comparada com a do lenho adulto (Bendtsen, 1978; Sjöström, 1981; Zobel & Van Buijtenen, 1989).

Trugilho et al. (1996), estudando a madeira de *Eucalyptus saligna*, concluíram que existe uma tendência de estabilização nos valores de extrativos totais, lignina e holocelulose com a idade. Isso demonstra que as características químicas estão sujeitas a variações iniciais na madeira juvenil,

tendendo a valores estáveis na madeira adulta, assim como as características anatômicas, físicas e mecânicas.

No estudo do efeito da idade da madeira juvenil nos parâmetros químicos da madeira de *E. camaldulensis* plantado na Tailândia, Pisuttipiched (2004) observou que a quantidade de lignina, holocelulose e cinzas apresentou-se quase que constante entre as idades de 4 e 8 anos, ao passo que as pentosanas e os extrativos apresentaram maiores diferenças entre os valores das idades estudadas.

Outros autores que também estudaram o efeito da idade na composição química da madeira foram Berrocal et al. (2004), com a madeira de *Pinus radiata* plantado no Chile. O teor de lignina reduziu até a idade de 20 anos e, após essa idade, aumentos foram observados. Os teores de extrativos não apresentaram uma sequência lógica (Tabela 5). Quanto aos carboidratos, observou-se que, para glicose e manose, o aumento da idade gerou maiores valores desses parâmetros químicos para a madeira de *P. radiata*. Já para a xilose, galactose e arabinose, conforme aumentou a idade da planta, reduziu-se a porcentagem desses açúcares na madeira.

Adamopoulos et al. (2005) estudaram a variação química da madeira de Black lacust (*Robinia pseudoacacia* L.) ao longo do tronco e as diferenças entre cerne e alburno. Embora os autores não tenham abordado as diferenças químicas entre madeira juvenil e adulta, eles citaram outros autores que o fizeram (Tabela 6).

Ressalta-se que, mesmo comparando a mesma espécie quanto à composição química da madeira (Tabela 6), os autores não mencionam o local de crescimento das árvores amostradas. Como os fatores silvicultural e ambiental exercem forte influência na composição química da madeira, torna-se difícil comparar idades diferentes com locais de crescimento também diferentes. Além disso, a procedência da semente interfere na qualidade da madeira, na medida em que espécies exóticas possuem características diferentes quando plantadas em ambientes naturais e submetidas à adubação, comparando-se a densidade básica da madeira.

Também estudando a madeira juvenil e adulta de *Robinia pseudoacacia*, Dunish et al. (2010) observaram que, por meio de análises químicas e

Tabela 5. Composição química da madeira de *Pinus radiata* (%).**Table 5.** Chemical composition of *Pinus radiata* wood - (%).

Idade (anos)	Celulose	Hemicelulose	Lignina	Extrativos
1-3	31,05	25,99	38,96	4,65
4-6	31,76	24,15	38,81	2,08
7-10	37,83	24,26	32,46	2,53
11-15	41,52	21,41	31,16	1,85
16-20	41,48	21,73	29,39	1,74
21-25	42,51	22,90	30,36	2,00
26-30	40,51	25,01	33,76	2,68
Maior 30	36,36	23,49	34,89	2,56

Fonte: Berrocal et al. (2004).

Tabela 6. Composição química da madeira de *Robinia pseudoacacia*.**Table 6.** Chemical composition of *Robinia pseudoacacia* wood.

Referências	Constituintes orgânicos (%)			Lignina (%)	Cinzas (%)
	Holo-celulose	Celulose	Hemi-celulose		
Madeira adulta					
Koloc (1953)	-	40,00	21,00	30,00	0,32
So et al. (1980) ¹	77,50	-	19,30	19,40	0,31
Lee (1983)	63,70	-	-	29,40	-
Fengel & Wegener (1984)	81,70	50,10	23,70	20,60	0,30
Molnar (1995)	72 - 76	-	-	20-25	-
Hart (1968)					
Alburno	-	-	-	-	0,60
Cerne	-	-	-	-	0,44
Kopitovic et al. (1989) ²	66,4 - 67,9	-	-	24,1-24,5	0,22-0,24
Alburno	-	-	-	21,4-22,2	0,28-0,30
Cerne	-	-	-	24,4-25	0,22-0,23
Madeira juvenil					
Ahn (1985) ³	64,3 - 65,3	-	-	22-22,4	0,64-0,65
Geyer & Walawender (1994) ⁴	-	50,90	20,90	17,70	0,37
Chow et al. (1996) ⁵	75,30	-	-	20,00	-
Stringer (1981) ⁶					
Alburno	-	-	-	-	0,62
Cerne	-	-	-	-	0,28
Stringer & Olson (1987) ⁷					
Base	-	-	-	-	0,56
Topo	-	-	-	-	0,87

¹Árvores de 42 anos; ²árvores de 26 anos; ³árvores de 9 a 11 anos; ⁴árvores de 7 anos; ⁵árvores de 10 anos; ⁶árvores de 2 a 10 anos; ⁷árvores de 10 a 12 anos. Fonte: Adaptada de Adamopoulos et al. (2005)

extrações em acetona e metanol, a madeira juvenil obteve menor conteúdo de extrativos fenólicos e compostos flavonoides, podendo este ser o motivo pelo qual apresenta menor durabilidade natural. Além disso, tanto o cerne quanto alburno oriundos de madeira adulta apresentaram maior conteúdo de lignina que a madeira juvenil.

Yeh et al. (2006) avaliaram as variações morfológica e química da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. A quantidade de extrativos da madeira juvenil (3,3%) foi superior a tal quantidade na madeira adulta (2,55%).

O estudo das propriedades químicas da madeira é fundamental na indústria de polpa celulósica e papel.

Dessa forma, Zobel (1970), Barefoot et al. (1970) e Foelkel (1972, 1976) observaram que a madeira juvenil produz celulose com menor rendimento (10 a 15%) e menor resistência ao rasgo, mas maiores resistências à tração e ao arrebentamento do que a madeira adulta. Tal fato pode ser justificado pela menor densidade da madeira, pelas fibras de menor comprimento e pelo maior teor de hemiceluloses na madeira juvenil.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O descompasso crescente entre a oferta e a demanda de madeira nos mercados interno e externo tende a favorecer o quadro de substituição das madeiras nativas pela madeira de reflorestamento. Assim, a utilização crescente de madeira de reflorestamento tem se tornado mais evidente nos últimos anos, sobretudo em razão dos questionamentos existentes em relação à exploração das florestas nativas, quer seja por razões ecológicas, quer seja pela elevação dos preços de suas madeiras. Nesse contexto, cresce também a necessidade de investimentos em florestas plantadas para a produção de madeira sólida, o que aumenta a necessidade de estudos da transição do lenho juvenil para o lenho adulto, uma vez que os mesmos apresentam propriedades da madeira diferentes.

A tecnologia de madeira no Brasil demanda estudos relacionados à maturação da madeira oriunda de reflorestamentos das diferentes espécies de eucalipto e pinus plantadas no País. Estes são os gêneros mais difundidos, como também as espécies nativas e exóticas que se adaptaram em solos brasileiros para a produção de madeira sólida, como a teca, o mogno africano, a acácia, o cedro australiano e o cinamomo, dentre outras.

Nos produtos à base de madeira, como a celulose e as chapas, pesquisas relacionadas à madeira juvenil e adulta também são importantes, mas em escala inferior, quando comparados a produtos sólidos. Isso se deve ao processo operacional, que permite alterações que compensem a deficiência em produtos à base de madeira.

O comprimento das fibras e dos traqueídeos são os parâmetros mais representativos na diferenciação

entre madeira juvenil e adulta, tendo o lenho juvenil comprimento de fibra inferior ao do lenho adulto para madeira normal. Além disso, o ângulo microfibrilar em madeira juvenil é maior do que em madeiras adultas, sendo tal diferença menos significativa em folhosas. A espessura da parede celular do lenho juvenil é menor do que a do lenho adulto; com isso, o aumento da densidade é observado com o aumento da idade.

Os estudos de contração da madeira destacam-se na análise das diferenças entre madeira juvenil e adulta. Pode-se afirmar que, em coníferas, a contração da madeira juvenil é menor; contudo, não se pode generalizar tal afirmação, visto que algumas espécies apresentam contrações longitudinais da madeira juvenil inferior às da madeira adulta. Em folhosas, mais estudos são necessários, principalmente aqueles relacionados à madeira adulta de eucalipto.

É fato que o comportamento mecânico de madeira juvenil e adulta é distinto. Os estudos direcionam-se para a correlação entre a densidade da madeira e a sua resistência mecânica, de modo que, quanto maior a densidade, maiores valores de resistência mecânica são obtidos. As diversas alterações anatômicas e químicas da madeira juvenil proporcionam profundas mudanças no comportamento mecânico da madeira, mas não se pode afirmar até que ponto a presença de madeira juvenil comprometerá a resistência mecânica da peça em uso.

Diferenças entre as propriedades químicas da madeira são encontradas entre a mesma espécie para árvores de mesma idade, mas oriundas de locais e tratamentos silviculturais distintos. Similarmente às propriedades anatômicas, físicas e mecânicas, grandes variações na constituição química da madeira juvenil são também observadas, tendendo a valores mais estabilizados em madeiras maduras. O teor de cinzas para madeira juvenil é maior.

Para a produção de polpa celulósica, o lenho juvenil confere maior resistência à tração e ao arrebentamento que a madeira adulta, mas pode gerar queda no rendimento e menor resistência ao rasgo.

As diferenças entre a madeira juvenil e adulta são menos evidentes em madeiras de folhosas, mas estão sempre presentes nas espécies estudadas. Além disso, as condições de crescimento, os tratos silviculturais e a origem genética influenciam diretamente nos lenhos juvenis e adultos, e, conseqüentemente, nas propriedades da madeira.

No Brasil, apesar do estudo intenso das propriedades da madeira de eucalipto, poucas são as pesquisas que abordam a transição entre o lenho juvenil e o adulto. A transição ocorre na mesma idade para as diversas espécies de eucalipto? Qual o melhor parâmetro para avaliar essa transição? Como é o comportamento da madeira juvenil e adulta para as diversas espécies de eucaliptos? Essas são perguntas ainda sem resposta para a madeira de eucalipto.

Portanto, consideráveis diferenças entre as propriedades de madeira adulta e madeira juvenil sugerem a realização de estudos que analisem o desenvolvimento do lenho juvenil em espécies de rápido crescimento amplamente difundidas em nosso país, buscando relacionar tal lenho com as práticas de manejo. Somente assim será possível alterar as condições do processo de desenvolvimento da madeira para uso múltiplo.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 25/08/2011

Aceito: 21/11/2011

Resumo publicado online: 01/12/2011

Artigo completo publicado: 22/12/2011

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Graziela Vidaurre

Departamento de Engenharia Florestal – DEF,
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES,
Av. Governador Lindenberg, 316,
CEP 29550-000, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil
e-mail: grazividaurre@gmail.com

Lucas Recla Lombardi

Departamento de Engenharia Florestal
Universidade Federal de Viçosa - UFV,
Av. Ph Rolfs, s.n., Centro,
CEP 36570-000, Viçosa, MG, Brasil
e-mail: lucasrecla@yahoo.com.br

REFERÊNCIAS

- Adamopoulos S, Voulgaridis E, Passialis C. Variation of certain chemical properties within the stemwood of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Holzforchung* 2005; 63:327-333.
- Bao FC, Jiang ZH, Jiang XM, Lu XX, Luo XQ, Zhang SY. Differences in Wood properties between juvenile Wood and mature wood in 10 species grown in China. *Wood Science and Technology* 2001; 35:363-375. <http://dx.doi.org/10.1007/s002260100099>
- Barefoot AC, Hitchings RG, Ellwood EL, Wilson E. *The relationship between loblolly pine fiber morphology and kraft paper properties*. Raleigh: North Carolina Agricultural Experiments Station; 1970. 89 p.
- Bendtsen BA. Properties of wood from improved and intensively managed trees. *Forest Products Journal* 1978; 28(10):61-71.
- Bendtsen BA, Senft J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown cottonwood and loblolly pine. *Wood Fiber Science* 1986; 18(1):23-28.
- Berroca A, Baeza J, Rodríguez J, Espinosa M, Freer J. Effect of tree age on variation of *Pinus radiata* D. Don chemical composition. *Journal of the Chilean Chemical Society* 2004; 49(3):251-256.
- Bhat KM, Priya PB, Rugmini P. Characterization of juvenile wood in teak. *Wood Science and Technology* 2001; 34:517-532. <http://dx.doi.org/10.1007/s002260000067>
- Brown MJ, McWilliams WH. Pine stands across the South - trends and projections. In: *Proceedings of the Southern Plantation Wood Quality Workshop*; 1989; Athens. Asheville: Southeastern Forest Experiment Station, United States Department of Agriculture; 1990. p. 1-15.
- Cown DJ. Corewood (Juvenile wood) in *Pinus radiata* - should we be concerned? *New Zealand Journal of forestry Science* 1992; 22(1):87-95.
- Dunish O, Richter HG, Koch G. Wood properties of juvenile and mature heartwood in *Robinia pseudoacacia* L. *Wood Science Technology* 2010; 44:301-313. <http://dx.doi.org/10.1007/s00226-009-0275-0>
- Evans JW, Senft JE, Green DW. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. *Forest Productions Journal* 2000; 50(7-8):75-87.

- Fernandez-Golfin JI, Gutiérrez AO, Boanza V, Díez R, Álvarez H, Rodríguez E. *Curso sobre metodologias de caracterización tecnológica de madeiras*. Antigua: Centro de Investigación Forestal. Inia; 1999. 256 p.
- Foelkel CEB, Barrichelo LEG, Garcia W, Brito JO. Celulose Kraft de madeira juvenil e adulta de *Pinus elliottii*. *Boletim Técnico IPEF* 1976; 12:127-142.
- Foelkel CEB. *Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel*. Eucalyptus online book; 1997. 11p.
- Foelkel CEB. *Unbleached kraft pulp properties of some, of the Brazilian and U. S. pines*. Syracuse: College of Environmental Science and Forestry; 1972. 192 p.
- Forest Products Laboratory. *Wood handbook: wood as engineering material*. Washington: U.S. Department of Agriculture; 1974. 521 p.
- Gatto DA, Haselein CR, Buligon EA, Calegar L, Stangerlin DM, Oliveira LS et al. Estimativa da idade de segregação do lenho juvenil e adulto por meio de parâmetros anatômicos para madeira de *Luehea divaricata* Mart. *Ciência Florestal* 2008; 18(4):535-540.
- Guler C, Copur Y, Akgul M, Buyuksari U. Some chemical, physical and mechanical properties of juvenile wood from Black pine (*Pinus nigra* Arnold) plantations. *Journal of Applied Sciences* 2007; 7(5):755-758. <http://dx.doi.org/10.3923/jas.2007.755.758>
- Kollmann FFP, Coté WA. *Principles of wood science and technology*. Berlin: Springer-Verlag; 1968. v. 1, 592 p.
- Krahmer R. Fundamental anatomy of juvenile and mature wood. In: *Proceedings of the a technical workshop: juvenile wood - what does mean to forest management and forest products*; 1986; Madison. Madison: Forest Products Reserch Society; 1986. p. 5-11.
- Lara Palma HA, Ballarin AW. Propriedades de contração na madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. *Scientia Forestali* 2003; (64):13-22.
- Larson PR, Kretschmann DE, Clark A, Isebrands JG. *Formation and properties of juvenil wood in southern pines*. Forest service; 2001. 46 p.
- Larson PR. The physiological basis for wood specific gravity in conifers. In: *Proceedings IUFRO Division 5 Meeting*; 1973; Stellenbosch. Stellenbosch: IUFRO; 1973. p. 672-680.
- Maestri R, Satori RC, Mattos JLM, Nutto L. Wood properties of fast grown plantation eucalypts in Brazil for high value timber production. In: *Proceedings IUFRO Conference "The Economics and Management of High Productivity Plantation"*; 2004; Lugo. Lugo; 2004. p. 1-15
- McAlister R, Clark A. Shinkage of juvenile and mature wood of loblolly pine from tree locations. *Forest Products Journal* 1992; 42(7-8):25-28.
- Nutto L, Touza MCV. High Quality Eucalypt Sawlog Production. In: *Proceedings Eucalyptus in a Changing World, International IUFRO Conference of the WP2.08.03 on Silviculture and Improvement of Eucalypts*; 2004; Aveiro. Aveiro; 2004. p. 658-666
- Oluwafemi OA. Wood properties and selection for rotation length in Caribbean Pine (*Pinus caribaea* Morelet) grown in Afaka, Nigeria. *American-Eurasian Journal Agriculture & Enviromental Science* 2007; 2(4):359-363.
- Passialis C, Kiriazakos A. Juvenile and mature Wood proprieties of naturally-grown fir trees. *Holtzforchung* 2004; 62:476-478.
- Pisuttipiched S. Effect of tree age on Wood properties of *Eucalyptus camaldulensis* in Thailand. *Thai Journal Forest* 2004; 23:152-160.
- Ramay W, Briggs D. Juvenile Wood: has it come of age? In: *Proceedings A technical workshop: juvenile wood - what does mean to forest management and forest products*; 1986; Madsion. Madison: Forest Products Reserch Society; 1986. p.5-11.
- Rocha MP. *Eucalyptus grandis Hill ex Maiden e Eucalyptus dunnii Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias* [tese]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2000.
- Senft JF, Bendtesen BA, Galligan WL. Weak wood. *Journal of forestry* 1985; (83):476-485.
- Silva JC. *Caracterização da madeira de Eucalyptus grandis Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira* [tese]. Curitiba: Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná; 2002.
- Sjöström E. *Wood chemistry*. Nova York: Academic Press; 1981. 223 p.
- Trugilho PF, Lima JT, Mendes LM. 1996. Influência da idade nas caracterís-ticas físico-mecânicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. *Cerne* 1996; 2(1):97-111.
- Tsoumis G. *Science and technology of wood: Structure, properties and utilization*. New York: Van Nastrnd Reinold; 1991. 494 p.
- Vital BR, Trugilho PF. Variação dimensional e uso da madeira de *Eucalyptus*. *Informe Agropecuário* 1997; 18(186):57-61.

Yeh T, Braun JL, Gldfarb B, Chang H, Kadla JF. Morfological and chemical variations between juvenile wood, mature wood and compression wood of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Holzforchung* 2006; 60:1-8. <http://dx.doi.org/10.1515/HF.2006.001>

Zobel BJ. Wood properties as affected by changes in the wood supply of southern pines. *Tappi* 1970; 53(12).

Zobel BJ, Van Buijtenen JP. *Wood variation: its causes and control*. New York: Springer-Verlag; 1989. 363 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-74069-5>