

Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil

Graziela Baptista Vidaurre
João Gabriel Missia da Silva
Jordão Cabral Moulin
Angélica de Cássia Oliveira Carneiro
(Organizadores)

Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil

Graziela Baptista Vidaurre
João Gabriel Missia da Silva
Jordão Cabral Moulin
Angélica de Cássia Oliveira Carneiro
(Organizadores)

 **EDUFES**

Vitória, 2020



**Universidade Federal
do Espírito Santo**



EDUFES
EDITORA

Editora Universitária – Edufes

Filiada à Associação Brasileira
das Editoras Universitárias (Abeu)

Av. Fernando Ferrari, 514
Campus de Goiabeiras
Vitória – ES · Brasil
CEP 29075-910

+55 (27) 4009-7852
edufes@ufes.br
www.edufes.ufes.br

Reitor

Paulo Sergio de Paula Vargas

Vice-reitor

Roney Pignaton da Silva

Chefe de Gabinete

Zenólia Christina Campos Figueiredo

Diretor da Edufes

Wilberth Salgueiro

Conselho Editorial

Carlos Roberto Vallim, Cleonara Maria Schwartz,
Eneida Maria Souza Mendonça, Fátima Maria
Silva, Giancarlo Guizzardi, Gilvan Ventura da Silva,
José Arminio Ferreira, Josevane Carvalho Castro,
Julio César Bentivoglio, Luis Fernando Tavares
de Menezes, Marcos Vogel, Rogério Borges de
Oliveira, Sandra Soares Della Fonte

Secretaria do Conselho Editorial

Douglas Salomão

Administrativo

Josias Bravim
Washington Romão dos Santos

Seção de Edição e Revisão de Textos

Fernanda Scopel, George Vianna,
Jussara Rodrigues, Roberta
Estefânia Soares

Seção de Design

Ana Elisa Poubel, Juliana Braga,
Samira Bolonha Gomes, Willi Piske Jr.

Seção de Livraria e Comercialização

Adriani Raimondi, Dominique Piazzarollo,
Marcos de Alarcão, Maria Augusta
Postinghel, Maria de Lourdes Zampier



Este trabalho atende às determinações do Repositório Institucional do Sistema Integrado de Bibliotecas da Ufes e está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.

Para ver uma cópia desta licença, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Preparação de texto

Jussara Rodrigues

Projeto gráfico, diagramação e capa

Samuelly Ribeiro Silva

Revisão de texto

Roberta Estefânia Soares

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Q1 Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil [recurso eletrônico] / Graziela Baptista Vidaurre ... [et al.], (Organizadores). - Dados eletrônicos. - Vitória : EDUFES, 2020.
221 p. : il.

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-65-88077-04-7

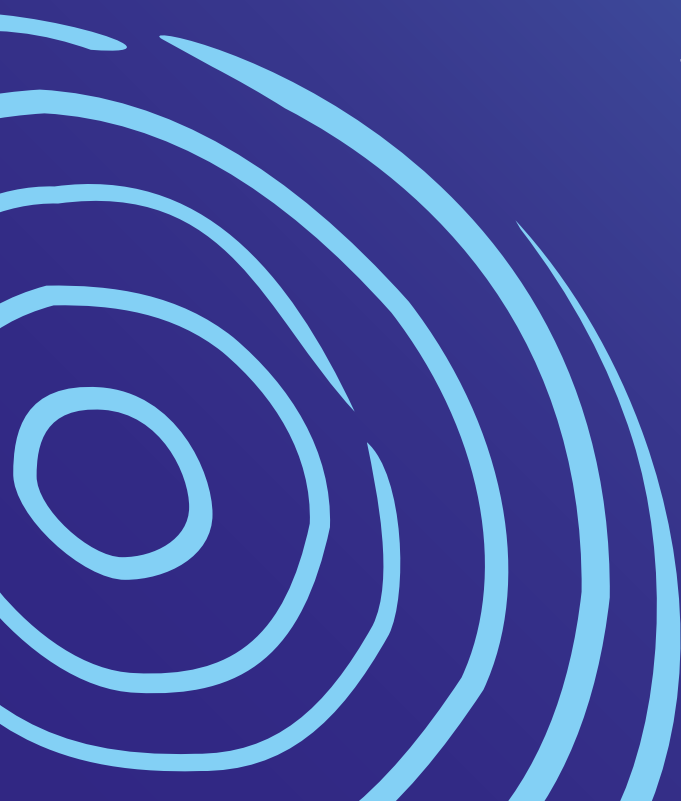
Modo de acesso: <<http://repositorio.ufes.br/handle/10/774>>

1. Ciências florestais. 2. Madeira – Qualidade. 3. Eucalipto – Brasil. I. Vidaurre, Graziela Baptista.

CDU: 582.883.4

Elaborado por Perla Rodrigues Lôbo – CRB-6 ES-000527/O

Esta obra foi composta com
a família tipográfica Crimson Text.

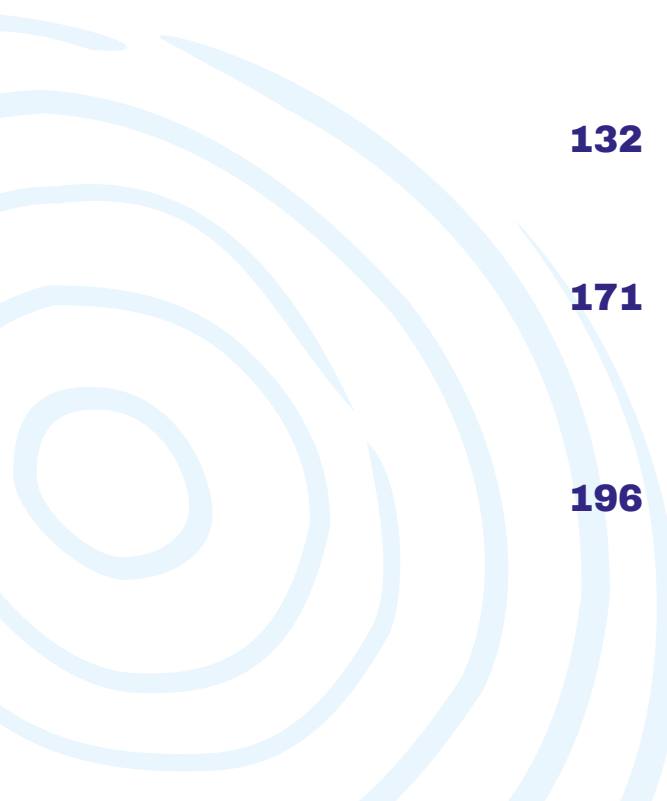


O livro *Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil* fornece uma base literária para estudantes da tecnologia e qualidade da madeira, professores, pesquisadores e profissionais das áreas industriais relacionadas. Os sete capítulos desta obra abordam temas importantes e sintetizam o conhecimento para as potenciais utilizações da madeira de eucalipto.



Ao José Tarcísio da Silva Oliveira,
pelos anos de contribuição à
Ciência da Madeira na Universidade
Federal do Espírito Santo.





9	Apresentação
12	Agradecimentos
13	Biografia
14	Capítulo 1 Demarcação e propriedades dos lenhos juvenil e adulto de eucalipto
47	Capítulo 2 Ocorrência e propriedades da madeira de reação em eucalipto
70	Capítulo 3 A relação cerne e alburno na madeira de eucalipto
103	Capítulo 4 Influência da idade nas propriedades da madeira de eucalipto
132	Capítulo 5 Densidade e sua variação na madeira de eucalipto
171	Capítulo 6 Influência do espaçamento de plantio nas propriedades da madeira de eucalipto
196	Capítulo 7 Efeitos da fertilização nas propriedades da madeira de eucalipto

Apresentação

A madeira é um material biológico complexo, heterogêneo, valioso, versátil e renovável. Ela está presente no cotidiano das pessoas, de forma seja evidente, nos móveis e estruturas, seja oculta, na fabricação de tecidos (viscose), fibras ópticas e cápsulas de medicamentos. As possibilidades de uso da madeira são inúmeras, e sua utilização pela humanidade é tradicional e futura, portanto não deve ser de maneira alguma minimizada.

A ameaça das mudanças climáticas fez com que muitos governos reorganizassem suas agendas políticas em relação ao meio ambiente, e, com o objetivo de combater as consequências negativas dos gases do efeito estufa (GEE), a produção de matérias-primas renováveis chegou a um novo nível de significância. Entre estas, a madeira tem um papel muito importante, já que armazena na sua produção o carbono do ar, um dos principais elementos químicos dos GEE. Dependendo da utilização da madeira, o armazenamento do carbono pode ser de longa duração, principalmente quando consideramos seu uso como produto sólido.

Por erros do passado, a exploração da madeira foi e é vinculada aos aspectos negativos do desmatamento. Para reduzir os impactos sobre o meio ambiente e preservar as florestas nativas e os ecossistemas, garantindo o atendimento à demanda e a geração de renda com a atividade madeireira, surgiram programas de reflorestamento e planos de manejo florestal sustentável.

No atual contexto de produção madeireira no Brasil, as espécies do gênero *Eucalyptus* são as mais importantes. O país é líder na produção de madeira de eucalipto para celulose e carvão vegetal, mas ainda faltam incentivos e experiências para os sistemas de manejo voltados à produção de madeira para produtos sólidos.

O livro *Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil* tem como objetivo fornecer uma base literária para estudantes de tecnologia e qualidade da madeira e profissionais das áreas industriais relacionadas. Os sete capítulos desta obra abordam temas importantes e contemporâneos e sintetizam o conhecimento para todas as potenciais utilizações da madeira de eucalipto.

A qualidade da madeira está relacionada a um somatório de características e propriedades desse material, que permite seu uso para determinados fins ou como matéria-prima para alguns produtos. Uma vez que a madeira é um material variável, até dentro de uma mesma árvore ou tora, em razão de sua localização, da floresta em que se encontra, de seu material genético e idade, a investigação de sua qualidade é complexa, mas fundamental para a avaliação de seu potencial econômico e seu uso racional.

O capítulo 1, “Demarcação e propriedades dos lenhos juvenil e adulto de eucalipto”, aborda os métodos para a identificação das regiões de segregação dos lenhos juvenil e adulto no tronco, registrando seus efeitos nas propriedades tecnológicas da madeira. No capítulo 2, “Ocorrência e propriedades da madeira de reação em eucalipto”, é demonstrado o impacto dos fatores externos e do crescimento das árvores sobre a formação de um lenho com funções específicas, o qual, dependendo de sua proporção, modifica a qualidade da madeira.

“A relação cerne e alburno na madeira de eucalipto” é uma reflexão do capítulo 3, tendo em vista que o cerne, cuja formação é um processo que ocorre normalmente no xilema secundário das árvores, apresenta diferenças marcantes em relação ao alburno, com variações e implicações para a utilização da madeira.

Os aspectos relevantes das alterações das propriedades da madeira de eucalipto com a idade das árvores são apresentados no capítulo 4, enquanto as informações da variabilidade da densidade da madeira, que ocorre de acordo com a altura e o diâmetro das árvores de diferentes espécies, híbridos e ambientes de crescimento, são compiladas no capítulo 5.

Nos capítulos 6 e 7, as relações entre o crescimento da árvore e a qualidade da madeira são apresentadas, evidenciando as possibilidades que o espaçamento de plantio e a fertilização oferecem para manipular as propriedades da madeira, de acordo com as metas de produção para distintas utilizações.

O livro é o resultado de intensos estudos realizados na Ufes na última década, junto com uma rede de pesquisadores e cientistas com sólida atuação e conhecimentos na área de qualidade da madeira. Ademais, o texto resume de forma didática e organizada os conhecimentos de mais de sessenta anos de pesquisa no Brasil sobre a madeira de eucalipto em função das práticas silviculturais e do manejo florestal, fornecendo uma base de informações única para estudantes e profissionais.

Leif Nutto

Engenheiro florestal

Doutor em Crescimento e Produção Florestal

Agradecimentos

Aos autores, pela dedicação e colaboração na escrita e revisão dos capítulos e por acreditarem na importância da divulgação do conhecimento.

Aos nossos estudantes de graduação e pós-graduação, o grande motivo deste trabalho.

À Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes), particularmente aos professores do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Campus Alegre.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Ufes, pelo apoio logístico.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (Fapes), pelos auxílios e financiamentos de pesquisa a organizadores e autores.

Ao Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Ipef).

Aos parceiros que possibilitaram a geração de informações técnicas presentes nos capítulos: empresas Suzano Papel e Celulose e Fibria, atualmente Suzano, Vale, Celulose Nipo-brasileira (Cenibra), Klabin, Veracel e Embrapa.

Ao engenheiro florestal Júpiter Israel Muro Abad, pelo incentivo na consolidação das pesquisas em qualidade da madeira da equipe da Ufes.

Aos engenheiros florestais Peter Rogers, Joao Leite de Souza e Leif Nutto.

À Professora Marina Donária Chaves Arantes (UFSJ), pela parceria e por toda a dedicação para o fortalecimento da Linha de Pesquisa em Produtos Florestais da Ufes.

Os organizadores

Biografia

Graziela Baptista Vidaurre

Engenheira Florestal pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2004), mestre (2006) e doutora (2010) em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). É professora desde 2010 do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), onde atua na área de Qualidade da Madeira.

João Gabriel Missia da Silva

Engenheiro Industrial Madeireiro (2011), mestre (2014) e doutor (2019) em Ciências Florestais pela UFES na área de Produtos Florestais.

Jordão Cabral Moulin

Engenheiro Industrial Madeireiro (2011) e mestre em Ciências Florestais (2013) pela UFES e doutor (2017) em Ciência e Tecnologia da Madeira pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). É professor do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da UFES.

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro

Engenheira Florestal (2000), mestre (2002) e doutora (2006) em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa. É professora do Departamento de Engenharia Florestal da UFV, onde atua na área de Energia da Biomassa e Tecnologia de Chapas e Adesivos.

Capítulo 1

Demarcação e propriedades dos lenhos juvenil e adulto de eucalipto

João Gabriel Missia da Silva

Graziela Baptista Vidaurre

Adriano Wagner Ballarin

José Tarcísio da Silva Oliveira



Lenhos juvenil e adulto

As rotações curtas com plantações de espécies de rápido crescimento, como o eucalipto, têm sido propostas em lugar das rotações tradicionais (cinquenta a sessenta anos), por razões mercadológicas (decréscimo da disponibilidade de árvores nativas adultas) e econômicas. Atualmente há escassez de plantações com idades avançadas e toras de classes diamétricas superiores, o que contribui para o uso cada vez mais frequente de toras advindas de plantações jovens de eucalipto como matéria-prima para o desdobra em serrarias.

Pesquisas pioneiras sobre a juvenilidade da madeira, realizadas desde a década de 80, já indicavam que a madeira de plantações de rápido crescimento tem potencialmente um maior conteúdo de lenho juvenil (PANSIN; DE ZEEUW, 1980; BALLARIN; LARA PALMA, 2003; BHAT; PRIYA; RUGMINI, 2001; BAO *et al.*, 2001; PETERSON; DIETTERICH; LACHENBRUCH, 2007; VIDAURRE *et al.*, 2011). Esse aspecto é bastante observável nas plantações do gênero *Eucalyptus* no Brasil, onde as árvores atingem rapidamente o padrão volumétrico comercial. As florestas de produção de eucalipto no país podem atingir incrementos médios anuais de 40 a 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, sobretudo em regiões sem estresse fisiológico ou outros elementos limitantes ao crescimento.

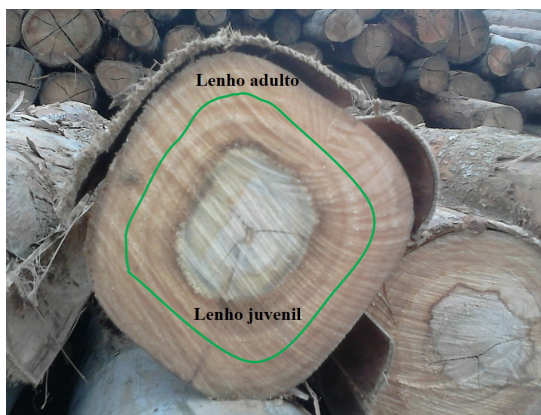
São, portanto, de grande importância as investigações sobre a variabilidade das propriedades dos lenhos juvenil e adulto, seus períodos de desenvolvimento, idades ou regiões de transição e sobre os papéis funcionais desses lenhos para a subsistência das árvores de espécies e híbridos de eucalipto utilizados na produção de produtos sólidos no Brasil. De fato, para muitas situações, os limites de formação e as funções precisas do lenho juvenil na árvore viva ainda não são totalmente compreendidos (WIEDENHOEFT, 2010).

A posse dessas informações possibilitará reproduzir de forma segura as características que aprimoram a qualidade da madeira sem alterar negativamente o desenvolvimento da árvore; programar a época de colheita que melhor atenda as diretrizes e o uso final de um determinado produto; e direcionar a implantação de programas de seleção e melhoramento genético, aumentando a eficiência do crescimento e gerando maiores volumes de lenho de qualidade (PETERSON; DIETTERICH; LACHENBRUCH, 2007; RAMOS *et al.*, 2011).

Os lenhos juvenil e adulto são considerados como duas populações distintas na mesma árvore de uma determinada espécie, o que determina a heterogeneidade nas propriedades da madeira, que ocorre da medula até a casca e ao longo do tronco (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; CALONEGO; SEVERO; ASSI, 2005). Para melhor compreender as propriedades da madeira de árvores de rápido e de lento crescimentos, é importante conhecer os efeitos da presença dos lenhos juvenil e adulto sobre as características da madeira e as diferenças entre esses lenhos (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000).

O lenho juvenil é a primeira madeira formada nos anéis de crescimento próximos da medula (Figura 1), na região central do diâmetro do fuste, aproximadamente uniforme ou variável, perfazendo-se desde a base até o topo e formando parte do albarno ou do cerne da árvore jovem (ZOBEL; VAN BUIJTENEN, 1989; WIEDENHOEFT, 2010). Fisiologicamente, o lenho juvenil corresponde ao xilema secundário desenvolvido durante a fase jovem do câmbio vascular nos estágios iniciais de vida da árvore e associa-se à influência prolongada do meristema apical (produção de auxinas) na região da copa ativa, por isso também é chamado de madeira de copa (JANKOWSKY, 1979).

Figura 1 - Demarcação das regiões dos lenhos juvenil e adulto no diâmetro de uma tora de eucalipto



Fonte: Elaboração dos autores.

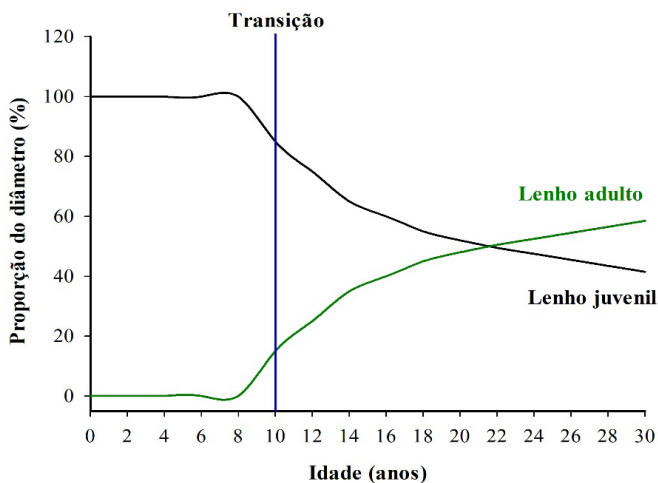
Esse lenho ocorre tanto nas coníferas como nas folhosas e caracteriza-se anatomicamente por um rápido e progressivo acréscimo nas dimensões das células e, consequentemente, por alterações na sua forma, estrutura e disposição em anéis de crescimento sucessivos à medula. Sua maior proporção está localizada no topo da árvore, e a menor, na base, fato relacionado à forma de crescimento do tronco (JANKOWSKY, 1979; GATTO *et al.*, 2008).

O lenho adulto, localizado nas proximidades da casca (Figura 1), possui células já nas dimensões máximas e de tamanhos relativamente constantes, padrão estrutural bem desenvolvido e comportamento físico estável. Este lenho tem atributos e propriedades considerados normais para a espécie (JANKOWSKY, 1979; PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; ZOBEL; VAN BUIJTENEN, 1989).

O termo lenho juvenil está relacionado à fase jovem do câmbio vascular, por isso, cronologicamente, é a madeira mais velha formada na árvore, na fase inicial do ciclo de rotação. Já o lenho adulto é formado em fases mais avançadas e contemporâneas da rotação. Esse contrassenso nos termos costuma causar certa confusão no entendimento do período de formação e da definição dos lenhos juvenil e adulto. De fato, o lenho juvenil é formado simultaneamente ao adulto. À medida que a árvore cresce em altura e se distancia da base, as células da porção inferior do fuste recebem um menor efeito do meristema apical, o que ocasiona o amadurecimento do câmbio vascular e inicia a formação do lenho adulto. Ao mesmo tempo, o lenho juvenil é formado no topo da árvore (ZOBEL; VAN BUIJTENEN, 1989).

A proporção do diâmetro do fuste tomada pelo lenho juvenil permanece praticamente constante até o início do período de transição. A partir desse ponto, ela vai diminuindo com o aumento da porção ocupada por lenho adulto ao longo dos anos. Ou seja, a presença desses lenhos tem um comportamento inversamente proporcional e variável. Essa tendência é geral para a maioria das espécies florestais (Figura 2).

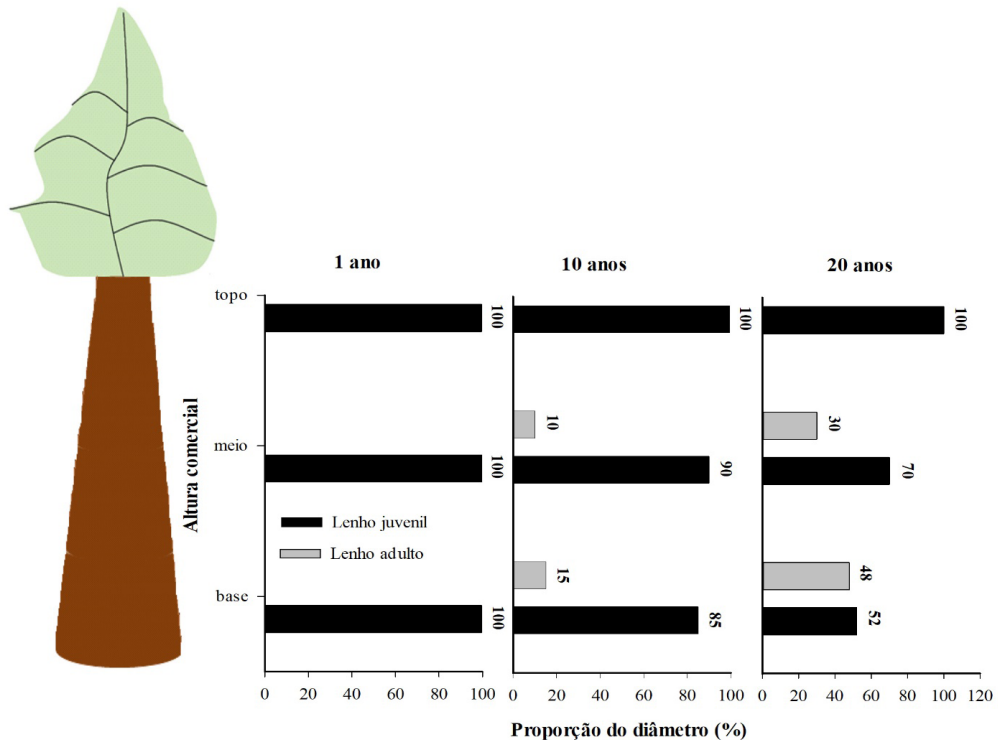
Figura 2 - Simulação da proporção de lenhos juvenil e adulto no diâmetro basal de uma árvore em função da idade



Fonte: Elaboração dos autores.

Assim como ocorre para o diâmetro, ao longo da altura do fuste comercial, as proporções tomadas pelos lenhos juvenil e adulto também variam em função da idade. Em idades mais jovens, o diâmetro ao longo da altura comercial do fuste é inteiramente (100 %) composto por lenho juvenil; após a maturação do câmbio ao longo dos anos, a proporção de lenho adulto vai aumentando gradativamente a partir da base e se aproximando do topo (Figura 3).

Figura 3 - Simulação da proporção de lenhos juvenil e adulto ao longo da altura comercial de uma árvore em função da idade



Fonte: Elaboração dos autores.

Demarcação dos lenhos juvenil e adulto

Para melhor quantificar os efeitos da presença de lenho juvenil na qualidade da madeira, é comum o estudo da proporção e do tamanho dessa região em árvores ou toras (PALERMO *et al.*, 2013). Esses estudos contemplam diferentes técnicas.

Amostragem e seleção do material

O método de amostragem é de extrema importância para a precisão dos resultados e é uma das etapas mais importantes no trabalho de demarcação ou segregação de lenho, por causa da variabilidade inerente, motivada por diversos fatores, como o material propagativo, a idade das árvores, os diferentes sítios, entre outros. O descuido com a amostragem é preocupante, pois as estimativas das propriedades da madeira podem ser extrapoladas para uma população inteira, gerando prejuízos econômicos de grandes proporções (PÁDUA, 2009).

Para um estudo completo é recomendável fazer a amostragem em diferentes alturas e posições no sentido medula-casca das árvores, pois, quanto maior o número de amostras, maior é a precisão. Todavia, nem sempre essa opção é possível, por ser muito onerosa e demandar tempo, ao passo que um número reduzido de amostras pode levar a grandes erros na estimativa da média real da população (PÁDUA, 2009; SILVA *et al.*, 2012). Por isso é fundamental o emprego de métodos de amostragem simples, contudo de boa precisão.

O número de amostras deve necessariamente responder ao objetivo da pesquisa ou análise. Não menos importante, considera-se a variabilidade do sítio, as dimensões das árvores e das parcelas, os tratamentos, o nível de significância e de precisão desejado, a normalização técnica adotada, a infraestrutura, os equipamentos e os recursos humanos, financeiros e logísticos exigidos e disponíveis, entre outros fatores. O mais apropriado é que a amostragem siga os critérios das normas técnicas vigentes, que dão um direcionamento para a padronização e precisão dos ensaios, mas que não substituam a experiência e o bom senso do pesquisador. Ademais, é essencial especificar no planejamento e na escrita da pesquisa ou do relatório, o método empregado e as adaptações realizadas, quando necessárias, pois a comparação de resultados obtidos com o uso de normas divergentes nem sempre é possível.

A formação de lenho adulto, em caráter conceitual, inicia-se após cerca de 10 a 20 anos de idade da árvore (PANSIN; DE ZEEUW, 1980) e varia de acordo com a espécie, sítio e propriedades da madeira, fato demonstrado posteriormente neste capítulo. Essa faixa de idade deve ser considerada como uma possível referência para o início dos trabalhos e a seleção do material para demarcação dos lenhos juvenil e adulto.

Quando o objetivo do pesquisador é apenas demarcar a região ou a idade de transição entre os lenhos juvenil e adulto de espécies de eucalipto, recomenda-se a avaliação de árvores com idade mínima de 15 anos, por ser este o padrão comercial de toras requisitado para a produção de madeira serrada. Todavia, se a finalidade é demarcar os tipos de lenho e verificar a variabilidade das propriedades da madeira entre eles, recomendam-se idades superiores a 20 anos, para que o volume ocupado pelo lenho adulto seja representativo do diâmetro e suficiente para uma amostragem completa dessa região.

Uma opção é realizar um inventário florestal representativo da área estudada e, a partir da distribuição diamétrica (DAP) obtida, eleger uma classe mediana para escolher as árvores, desconsiderando aquelas sob efeito de bordadura. Caso haja dados de inventário anuais da área estudada, a seleção das árvores é facilitada.

Agregando o número de árvores com a seleção por classe diamétrica média do povoamento, recomenda-se que, para cada tratamento, 60 % das árvores selecionadas tenham DAP igual ao diâmetro médio da população, 20 % tenham diâmetro inferior à média e 20 %, diâmetro superior (TRIANOSKI, 2012). Por exemplo, para um número de repetição igual a cinco árvores por tratamento, selecionam-se três com diâmetro médio da população, uma com diâmetro inferior e uma com diâmetro superior.

A sanidade, o aspecto visual do fuste (tronco cilíndrico, reto e sem bifurcações) e os defeitos que possam interferir nos resultados são critérios que devem ser adicionados à seleção. As árvores também podem ser selecionadas pela classe sociológica (extrato médio ou dominante), desde que existam observações periódicas do status de competição delas, ou seja, uma confirmação de que a árvore sempre pertenceu à classe social escolhida durante a rotação, pois, caso contrário, haverá uma fonte de variação não controlada entre os dados amostrados (PAULESKI, 2010).

O número de árvores a ser utilizado por tratamento pode ser estabelecido em função dos graus de liberdade do resíduo da análise de regressão, realizada para definir a idade ou região de transição dos lenhos juvenil e adulto. Quanto maior é o número de árvores, ou repetições, maiores serão os graus de liberdade do resíduo, o que aumenta a precisão da análise. A Tabela 1 exemplifica alguns casos adotados na literatura.

Tabela 1 - Número de repetições (árvores) e amostragem utilizada em pesquisas sobre propriedades dos lenhos juvenil e adulto de eucalipto

Espécie	Árvores		Parte do fuste amostrada	Amostragem	
	Nº	Seleção			
<i>C. citriodora</i> (<i>E. citriodora</i>)	4	Ao acaso	Discos a 0,3 m e a cada 4 m de altura	A cada 0,5 cm	(1)
<i>E. grandis</i>	3	Ao acaso	Tora basal	A cada 1 cm (30 repetições por posição)	(2)
<i>C. citriodora</i>	5	Forma do fuste, sanidade e DAP superior a 50 cm	Discos do DAP	A cada 1 cm (casca-casca)	(3)
	6	Ao acaso	Tora basal	4.000 leituras*	(4)
	3	Ao acaso	Tora basal	A cada 1 cm (30 repetições por posição)	(5)
<i>E. grandis</i>	3	NI	Discos do DAP	A cada 1 cm (30 repetições por posição)	(6)
<i>E. botryooides</i>	NI	Ao acaso, pela forma do fuste, evitando bordas	Tora na região do DAP	A cada 1 cm a partir da medula	(7)

Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Calonego, Severo e Assi (2005); (2) Leonello, Lara Palma e Ballarin (2008); (3) Lourençon e outros (2013); (4) Benjamin e Ballarin (2009); (5) Lara Palma, Leonello e Ballarin (2010); (6) Ramos e outros (2011); (7) Silva e outros (2011).

* 4.000 valores de densidade aparente (densitometria de raios X), no sentido medula-casca.

Legenda: NI = não informado.

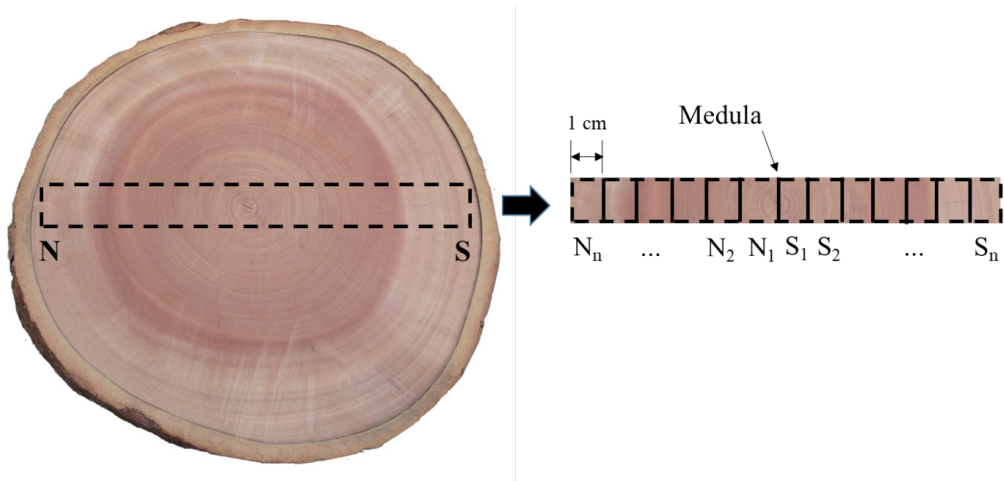
Ainda com as árvores em pé, deve-se marcar no tronco uma orientação (pontos cardeais) em função do local de plantio, para maior padronização da direção de retirada das amostras. Após a colheita, é feita uma cubagem rigorosa e são retirados discos e toras/toretas ao longo da altura comercial das árvores, determinada em função do diâmetro mínimo das toras para serraria. Um dos métodos mais utilizados é retirar discos a 0 %, do DAP (a 1,30 m do solo), a 25 %, 50 %, 75 % e 100 % da altura comercial da árvore e toras entre as seções. A espessura dos discos deve ser definida em função das dimensões dos corpos de prova a serem utilizados para as análises.

Uma forma econômica e simplificada de amostragem consiste em retirar discos e toras apenas da base das árvores, pois esta região representa toda a madeira formada ao longo da rotação.

Existe, por fim, a opção de amostragem não destrutiva na avaliação das propriedades da madeira, o que contribui para economia de tempo e de custos na aquisição e preparo das amostras, sem a necessidade do corte das árvores. O método mais utilizado nesse tipo de amostragem é a remoção de baguetas radiais de madeira com dez a vinte milímetros de diâmetro, com trado de incremento manual ou perfurador de madeira motorizado. Apesar da possibilidade de obtenção de maior número de amostras, os diâmetros das baguetas são limitados e, para a extração ao longo da altura do tronco das árvores, é necessário o uso de escadas, andaimes ou de outras técnicas específicas.

Para a demarcação da região de transição entre os lenhos, as propriedades da madeira devem ser determinadas a cada centímetro a partir da medula (Figura 4). Para as espécies com perfil medula-casca conhecido da propriedade avaliada, as amostras podem ser obtidas entre distâncias maiores.

Figura 4 - Amostragem no sentido casca a casca dos discos para demarcação dos lenhos juvenil e adulto



Fonte: Elaboração dos autores.

Legenda: N = ponto cardeal norte; S = ponto cardeal sul; $N_{1,2,...n}$ = amostras na direção norte; $S_{1,2,...n}$ = amostras na direção sul.

Quando o objetivo é determinar a idade de transição, a amostragem deve ser realizada em função dos anéis de crescimento, utilizando-se princípios dendrocronológicos para sua identificação, porém esta pode ser uma atividade complexa, visto que algumas espécies de eucalipto, em determinados sítios, não têm os anéis de crescimento demarcados nitidamente (RAMOS *et al.*, 2011).

Metodologias para demarcação dos lenhos

As características anatômicas mais comumente mensuradas quando da avaliação da transição entre os lenhos juvenil e adulto são: o comprimento das fibras, o ângulo microfibrilar, as proporções dos tipos de células, o diâmetro e a espessura da parede celular (JANKOWSKY, 1979; CALONEGO; SEVERO; ASSI, 2005). A densidade da madeira também está intimamente relacionada com esse fenômeno. As propriedades químicas

envolvidas na transição são os teores de holocelulose, de lignina e de extrativos totais (SEVERO; CALONEGO; SANSÍGOLO, 2006), todavia essas características podem alterar-se de acordo com a espécie, a localidade da plantação e demais fatores.

A maioria dos pesquisadores utiliza a variação medula-casca do comprimento das fibras como parâmetro para definir a transição entre os lenhos. Nesses estudos, são estimados modelos matemáticos por meio da análise de regressão e confeccionados gráficos de variação no sentido medula-casca dessa propriedade. Na demarcação da transição, também podem ser consideradas a porcentagem ou a taxa anual de incremento do comprimento das fibras (LARA PALMA; LEONELLO; BALLARIN, 2010).

A seleção dos melhores modelos pode ser feita pela simplicidade da equação ajustada, significância da análise de regressão e de todos os coeficientes do modelo; pelo erro padrão da estimativa e coeficientes de determinação e variação (medidas de precisão); e pela análise gráfica dos resíduos. Os principais métodos são descritos a seguir.

Método I: Análise de regressão em função da distância no sentido medula-casca ou da idade

Na região do lenho juvenil, as propriedades tecnológicas (variável dependente) têm um comportamento variável e podem aumentar ou diminuir em função da idade ou da posição no sentido medula-casca ou casca-casca (variável independente) até a região de transição. Já no lenho adulto, as propriedades tendem a estabilizar-se, o que permite identificar e demarcar os dois tipos de lenho.

Nesse método, para delinear a transição dos lenhos, é realizada uma análise de regressão linear, ajustando-se modelos polinomiais de ordem p . Certificadas a significância e a precisão desses modelos, são confeccionados os gráficos de dispersão da variação no sentido medula-casca ou casca-casca da propriedade avaliada e, por meio de uma análise visual, identifica-se a existência ou não de uma zona de estabilização, configurada como a região do lenho adulto (SILVA, 2014).

A região de transição é delimitada no gráfico, com a posição no sentido medula-casca ou a idade em que ocorre o início da estabilização (ponto de inflexão) e o menor desvio entre os valores da propriedade da madeira neste ponto e no subsequente (SILVA, 2014).

Em pesquisa para determinar o lenho juvenil em *Corymbia citriodora* (*Eucalyptus citriodora*), Calonego, Severo e Assi (2005) utilizaram duas equações de regressão: uma polinomial de terceiro grau; e uma linear resultante entre a medula e a região de transição, na parte crescente de comprimento das fibras, visualizada em um gráfico. A equação linear teve por finalidade complementar a análise visual da tendência dos dados como um modo de encontrar a transição aproximada entre os lenhos. Esta opção também foi utilizada por Ballarin e Lara Palma (2003), sendo ajustada uma equação polinomial de segundo grau e uma equação linear na parte crescente dos dados.

Os pontos de inflexão da curva obtida no ajuste dos dados por meio dos modelos polinomiais quadrático e cúbico foram utilizados para demarcar o momento em que a propriedade da madeira apresentava aumento linear, se estabilizava ou decrescia, traçando-se uma reta vertical. Esses pontos demarcaram as zonas de lenho juvenil, de transição e de lenho adulto (PALERMO *et al.*, 2013).

Método II: Interseção de duas retas de regressão linear simples

Esse método baseia-se no ajuste de duas equações de regressão linear simples, uma para a parte ascendente (lenho juvenil) e outra para a região constante ou decrescente dos dados (lenho adulto), esta última, a depender da propriedade da madeira analisada. Os limites entre as nuvens de pontos dessas regiões são definidos visualmente em um gráfico de variação no sentido medula-casca da propriedade, preliminarmente ao ajuste das equações. Ao igualar as duas equações lineares ajustadas, obtém-se o ponto comum (interseção) entre as duas retas.

O método foi utilizado na pesquisa da idade de segregação dos lenhos juvenil e adulto da madeira de *Pinus taeda* (PAULESKI, 2010), tendo o comprimento dos traqueídeos como variável dependente e a idade cambial como variável independente. Já Peres e outros (2012) utilizaram-no para determinar a região de segregação do lenho de açoita-cavalo (*Luehea divaricata*) pela variação da densidade básica no sentido medula-casca.

Uma reestruturação desse método foi realizada por Lourençon e outros (2014) na determinação da idade de transição, estimada pelo módulo de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR) em função dos anéis de crescimento, para as espécies de plátano (*Platanus x acerifolia*), nogueira-pecã (*Carya illinoensis*) e açoita-cavalo (*Luehea divaricata*).

A idade de transição entre os lenhos juvenil e adulto foi determinada por Siqueira (2004), que utilizou gráficos de variação no sentido medula-casca da densidade da madeira e considerou como determinante de lenho adulto a idade a partir da qual essa propriedade tendeu a ficar estável. Em seguida, foi feito o cálculo da densidade média do lenho adulto (chamada de Y) e traçada uma linha paralela ao eixo das idades (X). Foi estimada uma equação linear simples ($Y = \beta_0 + \beta_1 X \pm \epsilon$) da densidade no lenho juvenil. No ponto de intersecção entre a equação linear do lenho juvenil e a linha correspondente à densidade média do lenho adulto, foi determinada a idade de transição dos lenhos ($X = (Y - \beta_0) / \beta_1$) (LOUSADA, 2000 apud SIQUEIRA, 2004).

Método III: Análise de regressão segmentada

Análise de regressão segmentada para descrever a relação entre as propriedades da madeira (variáveis dependentes) de Teca e a idade cambial (variável independente) foi utilizada por Bhat, Priya e Rugmini (2001). Os modelos de regressão foram ajustados, alternando-se de equações lineares simples para exponencial, recíproca e quadrática. A idade crítica foi definida pela interpretação visual das equações de regressão significativas e da região nos gráficos em que a inclinação da curva se estabilizou para iniciar o platô da região adulta.

Transição entre os lenhos juvenil e adulto em espécies de eucalipto

A transição entre os lenhos juvenil e adulto não é abrupta, mas consequência da variação progressiva das características anatômicas e propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira em um período de vários anos (ZOBEL; VAN BUIJTENEN, 1989). Por essa razão, é difícil estimar a idade exata de início da formação do lenho adulto (PASSIALIS; KIRIAZAKOS, 2004).

Em algumas espécies e indivíduos, a formação de lenho juvenil estende-se por vários anos, enquanto em outras a formação de lenho adulto se inicia mais cedo (LARA PALMA; LEONELLO; BALLARIN, 2010). No geral, a maioria das alternativas para aumentar o crescimento das árvores resulta em maiores proporções de lenho juvenil (JANKOWSKY, 1979; CHIES, 2005; ZOBEL; VAN BUIJTENEN, 1989). Entre essas

alternativas, distinguem-se práticas silviculturais, como preparo de solo, fertilização, desbastes ou controle de competição e espaçamentos maiores de plantio.

Em alguns casos, existe o consenso sobre o rápido crescimento inicial das árvores estar diretamente relacionado com a formação do lenho juvenil. Mas o período de mudanças nas propriedades da madeira pode ser independente da velocidade do crescimento, ou seja, tanto no rápido quanto no lento crescimento, as dimensões e a morfologia dos elementos anatômicos, relacionadas às demais propriedades do lenho, alteram-se.

Em madeiras de eucalipto, os limites de formação de lenho juvenil ainda não estão claramente conhecidos e poucas comparações têm sido feitas entre as propriedades desse lenho e do adulto (HILLIS, 1978 apud CALONEGO; SEVERO; ASSI, 2005). Aponta-se uma influência do lenho juvenil sobre a qualidade da madeira, embora essa questão ainda não esteja completamente quantificada e diagnosticada (BENJAMIN, 2006).

A uniformidade das propriedades da madeira é uma característica positiva no momento do beneficiamento em novos produtos. Por isso a determinação do ponto de transição é uma ferramenta muito importante nos estudos de qualidade da madeira, ao permitir separar os lenhos de acordo com as características exigidas para cada produto e estabelecer um valor comercial justo (PALERMO *et al.*, 2013).

A Tabela 2 reporta alguns resultados de pesquisas sobre a distância no sentido medula-casca ou a idade em que ocorre a mudança entre os lenhos para algumas espécies de eucalipto.

Tabela 2 - Períodos ou regiões de transição entre os lenhos juvenil (LJ) e adulto (LA) e variáveis avaliadas para sua determinação em espécies de eucalipto

Espécie	Idade (anos)	Localidade	Transição LJ/LA	Variáveis avaliadas	
<i>E. saligna</i>	21	Rio Claro/SP	9 a 10 anos	CF e EP	(1)
<i>E. tereticornis</i>	NI	Pelotas/SP	9 anos	CF	(2)
<i>C. citriodora</i>	29	Anhembi/SP	9,8 cm* (43,2% do raio)	DA	(3)
			11cm (52% do raio)	CF	
	32	Manduri/SP	5,5cm (25,6% do raio)	CF	(4)
	37	Lavras/MG	19 anos/8cm	CF	(5)
	23	Barra do Pirai/ RJ	Entre 8 e 14 anos	CF	(6)
<i>E. grandis</i>	23	Rio Claro/RJ	5° e 11° ano de crescimento**	CF e AMF	(7)
	28	Anhembi/SP	15cm (57,7% do raio)	CF	(8)
<i>E. propinqua</i>	45	Buri/SP	17 anos/10,5cm	CF e CEV	(9)
			25 anos/14cm	DT	
<i>E. propinqua</i>	37	Lavras/MG	6cm (20,6% do raio)	CF	(10)
			10cm (32,7% do raio)		
<i>E. cloeziana</i>	37	Lavras/MG	12cm (54,2% do raio)	CF	(11)
			10cm (33,8% do raio)		

Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Santos e Nogueira (1971); (2) Santos e Santin (1984); (3) Benjamin e Ballarin (2009); (4) Lara Palma, Leonello e Ballarin (2010); (5) Calonego, Severo e Assi (2005); (6) Goulart e outros (2015); (7) Palermo (2010); (8) Ramos e outros (2011); (9) Leonello, Lara Palma e Ballarin (2008); (10) Longui e outros (2014); (11) Soares (2015).

* Os valores em centímetros são as posições a partir da medula em que ocorre a transição.

** Região em que fica compreendido o lenho de transição, demarcado conjuntamente pelo AMF e CF.

Legenda: CF = comprimento das fibras; EP = espessura da parede; NI = não informado; DA = densidade aparente; AMF = ângulo microfibrilar; CEV = comprimento dos elementos de vasos; DT = diâmetro tangencial dos vasos.

Em plantações comerciais na Austrália, o período de juvenilidade de algumas espécies do gênero *Eucalyptus* pode ser superior a vinte anos (JANKOWSKY, 1979). Contrariamente, o início da transição entre os lenhos juvenil e adulto foi caracterizado no perfil de variação da densidade aparente da madeira de *E. grandis*, avaliada por densitometria de raios X, proveniente de uma plantação em Itatinga/SP com 6 anos de idade (SETTE JUNIOR *et al.*, 2014).

Para a madeira de *C. citriodora* (29 anos), a transição ocorreu em cerca de 45 % do raio. A proporção aproximada de lenho juvenil em termos de volume dessas árvores seria de 20 %, valor superior ao reportado na literatura para árvores de idade semelhante (BENJAMIN; BALLARIN, 2009). Já para a madeira de *E. botryoides* de um povoamento homogêneo de Charqueadas/RS (50 anos), o lenho juvenil foi considerado nos primeiros sete centímetros próximos da medula, e o adulto, nos sete centímetros próximos da casca (SILVA *et al.*, 2011).

As informações da Tabela 2 confirmam a interpretação de que a transição entre os lenhos na madeira de eucalipto é muito variável, condicionada por múltiplos fatores, como a localidade, a idade, o potencial genético e as condições de crescimento.

Propriedades dos lenhos juvenil e adulto do eucalipto

A madeira serrada de eucalipto predominantemente juvenil apresenta propriedades inferiores à adulta, sendo utilizada em produtos de menor valor agregado ou que não possuam diretrizes de qualidade restritivas. Contudo, o uso irracional da madeira nessas condições pode resultar em danos e prejuízos, contribuir para a formação de opiniões errôneas sobre o potencial de uma determinada espécie e consequentemente dificultar sua comercialização para o uso em escala industrial, em produtos de maior relação benefício/custo. Na tentativa de amenizar o problema, são recomendáveis a seleção e a reprodução de árvores que tenham propriedades de lenho juvenil comparáveis às propriedades do lenho adulto (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000; TRIANOSKI, 2012).

A madeira de eucalipto advinda de plantações exploradas em rotações curtas não é muito desejada para a fabricação de produtos sólidos, porque é mais propensa a empenamentos e eventuais colapsos durante e após a secagem (ZOBEL; VAN BUIJTENEN, 1989). Somado a isso, o lenho juvenil é mais quebradiço (ruptura frágil) e não deve ser usado em situações em que essa característica possa oferecer riscos (SILVA, 2008). Essas opiniões configuram um grande desafio para os que trabalham com a madeira de eucalipto e a utilizam, sendo necessário, como mencionado, o uso de métodos e a tomada de decisões adequados para uma solução viável dessa problemática.

Nessa conjuntura, o conteúdo de lenho juvenil deve ser associado a outras características (cor, estabilidade dimensional, índices de rachaduras e empenamentos, ângulo da grã, entre outras) e propriedades físico-mecânicas que influenciam diretamente na qualidade e na utilização do produto final (LOURENÇON *et al.*, 2013). Uma melhor compreensão das diferenças intrínsecas entre os lenhos juvenil e adulto nas espécies de reflorestamento, como eucalipto, ajudará a gerenciar grandes povoamentos com alta qualidade de madeira, exigidos para diferentes usos (BAO *et al.*, 2001).

O lenho juvenil de eucalipto, quando comparado ao adulto, normalmente apresenta fibras mais curtas e delgadas; maior ângulo microfibrilar na camada S2 da parede celular (Tabela 3); maior largura dos anéis de crescimento; menor percentual de lenho tardio; baixa densidade; menores contrações nos planos tangencial e radial, e contrações longitudinais mais acentuadas; maior umidade; baixa resistência mecânica (Tabela 4); maior teor de lignina, o que suscita menor quantidade de holocelulose (Tabela 5); e maior proporção de lenho de reação (PANSIN; DE ZEEUW, 1980; ZOBEL; VAN BUIJTENEN, 1989; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1998; SEVERO; CALONEGO; SANSÍGOLO, 2006).

Tabela 3 - Características anatômicas dos lenhos juvenil (LJ) e adulto (LA) em espécies de eucalipto

Espécie	Idade (anos)	Propriedade	LJ	LA	Localidade
<i>C. citriodora</i>	26	CF (μm)	995**	1.224	Guangdong, China (1)
		EP (μm)	3,59***	3,73	
		AMF ($^{\circ}$)	12,17**	10,35	
		PF (%)	74,37***	72,18	
		PR (%)	8,75***	9,88	
		PCP (%)	5,97***	4,92	
		PV (%)	11,0***	13,0	
	29	CF (μm)	987	1.153	Anhembi/SP (2)
	32	CF (μm)	943 (base) 1.120 (topo)	1.267 (base) 1.186 (topo)	Manduri/SP (3)
	37	CF (μm)	1.011,07	1.096,77	Lavras/MG (4)
<i>E. grandis</i>	23	CF (μm)	950,53*	1.148,15	Rio Claro/RJ (5)
		EP (μm)	3,13*	4,31	
		DT (μm)	121,72***	133,47	
		AMF ($^{\circ}$)	30,24*	23,79	
	28	CF (μm)	1.009	1.145	Anhembi/SP (6)
NI	CF (μm)	794,8*	1.060,1	Turquia (7)	
<i>E. saligna</i>	37	CF (μm)	990*	1.290	Lavras/MG (8)
		EP (μm)	5,29*	6,23	
		CEV (μm)	417***	429	
		DT (μm)	80***	84	
		FV (vasos/ mm^2)	9,9*	6,75	
		DPRV (μm)	5,35***	5,58	
<i>E. cloeziana</i>	37	CF (μm)	1.080*	1.340	Lavras/MG (8)
		EP (μm)	5,76*	6,75	
		CEV (μm)	488***	492	
		DT (μm)	87*	99	
		FV (vasos/ mm^2)	7,15*	4,15	
		DPRV (μm)	7,03***	7,27	

Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Bao e outros (2001); (2) Lara Palma, Leonello e Ballarin (2010); (3) Calonego, Severo e Assi (2005); (4) Goulart e outros (2015); (5) Ramos e outros (2011); (6) Leonello, Lara Palma e Ballarin (2008), (7) Bal (2012); (8) Soares (2015).

Demarcação e propriedades dos lenhos juvenil e adulto de eucalipto

* Diferenças significativas entre os lenhos (LJ e LA) ao nível de 5 %.

** Diferenças significativas entre os lenhos (LJ e LA) ao nível de 1 %.

*** Diferenças não significativas.

Nota: Para as propriedades de lenho juvenil descritas sem indicação sobrescrita, não há análise estatística.

Legenda: CF = comprimento das fibras; EP = espessura da parede das fibras; AMF = ângulo das microfibrilas; PF = proporção de fibras; PR = proporção de raios; PCP = proporção de células de parênquima; PV = proporção de vasos; DT = diâmetro tangencial dos vasos; NI = não informado; CEV = comprimento dos elementos de vasos; FV = frequência vascular; DPRV = diâmetro das pontoações raio-vasculares.

Tabela 4 - Propriedades físico-mecânicas dos lenhos juvenil (LJ) e adulto (LA) em espécies de eucalipto (continua)

Espécie	Idade (anos)	Propriedade	LJ	LA	Localidade	
<i>C. citriodora</i>	26	DB (g cm ⁻³)	0,807*	0,893	Guangdong, China	(1)
		CR (%)	7,39*	8,70		
		CT (%)	10,06***	10,61		
		FA	1,36*	1,23		
		MOR (MPa)	146,0***	161,5		
		MOE (MPa)	28.050***	31.630		
		f _{c0} (MPa)	75,7***	80,1		
		f _{v0} (MPa)	16,8*	17,7		
		f _{s0} (N mm ⁻¹)	25,6***	26,5		
		f _{bw} (kJ m ⁻²)	48,3**	112,7		
	29	DA _{12%} (g cm ⁻³)	1,067*	1,262	Anhembi/SP	(2)
<i>E. botryoides</i>	50	DA _{12%} (g cm ⁻³)	0,70*	0,89	Charqueadas/RS	(3)
		MOEd (MPa)	17.274*	21.405,1		
		MOE (MPa)	10.025,1*	15.600,2		
		MOR (MPa)	54,59*	125,11		

Tabela 4 - Propriedades físico-mecânicas dos lenhos juvenil (LJ) e adulto (LA) em espécies de eucalipto (conclusão)

Espécie	Idade (anos)	Propriedade	LJ	LA	Localidade
<i>E. grandis</i>	30	DB (g cm ⁻³)	0,483*	0,611	Santa Bárbara d'Oeste/SP (4)
		DA _{12%} (g cm ⁻³)	0,607*	0,808	
		IV _{12%} (%)	6,91*	8,32	
		IT _{12%} (%)	3,71*	4,62	
		IR _{12%} (%)	2,92*	3,38	
		QT _{12%} (%/%)	0,34*	0,43	
		QR _{12%} (%/%)	0,26*	0,31	Manduri/SP (5)
		DA _{0%} (g cm ⁻³)	0,585*	0,778	
		IVm (%)	20,90*	29,04	
		IAm (%)	0,27*	0,30	
ITm (%)	11,84*	17,23			
IRm (%)	7,79*	9,74			
<i>E. saligna</i>	37	DB (g cm ⁻³)	0,636*	0,735	Lavras/MG (6)
		Ui (%)	84,21*	62,62	
<i>E. cloeziana</i>	37	DB (g cm ⁻³)	0,827***	0,849	
		Ui (%)	55,59***	51,87	

Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Bao e outros (2001); (2) Benjamin e Ballarin (2009); (3) Silva e outros (2011); (4) Pelozzi e outros (2012); (5) Calonego, Severo e Latorraca (2014); (6) Soares (2015).

* Diferenças significativas entre os lenhos (LJ e LA) ao nível de 5 %. ** Diferenças significativas entre os lenhos (LJ e LA) ao nível de 1 %. *** Diferenças não significativas.

Legenda: DB = densidade básica; CR = contração radial; CT = contração tangencial; FA = fator anisotrópico; MOR = módulo de ruptura; MOE = módulo de elasticidade; fc0 = compressão; fv0 = cisalhamento; fs0 = fendilhamento paralelo às fibras; fbw = resistência ao impacto à flexão; DA12 % = densidade aparente; MOEd = módulo de elasticidade dinâmico; IV12 % = inchamento volumétrico; IT12 % = inchamento tangencial; IR12 % = inchamento radial; QT12 % = coeficientes de retratibilidade tangencial; QR12 % = coeficientes de retratibilidade radial; DA0 % = densidade anidra; IVm = inchamento volumétrico (valor máximo); IAm = inchamento axial (valor máximo); ITm = inchamento tangencial (valor máximo); IRm = inchamento radial (valor máximo); Ui = umidade inicial.

Tabela 5 - Propriedades químicas dos lenhos juvenil (LJ) e adulto (LA) em espécies de eucalipto

Espécie	Idade (anos)	Propriedade	LJ	LA	Localidade
<i>C. citriodora</i>	26	HO (%)	73,89**	76,81	Guangdong, China (1)
		LIG (%)	20,06**	18,26	
		Ext.H20 (%)	6,05**	4,91	
	32	ET (%)	7,29**	7,26	Manduri/SP (2)
		LK (%)	23,31*	20,70	
		HO (%)	69,40*	72,04	

Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Bao e outros (2001); (2) Severo, Calonego e Sansígolo (2006).

* Diferenças significativas entre os lenhos (LJ e LA) ao nível de 5 %.

** Diferenças não significativas.

Legenda: HO = holocelulose; LIG = lignina; Ext.H20 = extrativo em água quente;

ET = extrativos totais; LK = lignina Klason.

O comprimento das fibras da madeira de *C. citriodora* (32 anos de idade) teve um aumento acentuado e praticamente linear até uma distância que variou de 4,5 a 5,5 cm (25,6 % do raio) em relação à medula, zona demarcada como lenho juvenil, nas diferentes alturas do fuste das árvores. A partir dessa distância até a periferia do tronco, a taxa de aumento no comprimento das fibras diminuiu, com tendência para um valor mais estável e quase constante, comum em regiões de lenho adulto (CALONEGO; SEVERO; ASSI, 2005).

Para a madeira de *E. gigantea*, o aumento do comprimento das fibras foi percebido a partir de 20 anos de idade (DADSWELL, 1958 apud ZOBEL; VAN BUIJTENEN, 1989), enquanto, para a madeira de *E. regnans*, houve aumento nos primeiros 10 a 20 anos de idade das árvores, o que corresponde ao período de juvenilidade nas condições em que elas se desenvolveram (BISSET; DASDWELL, 1949, 1950 apud SANTOS; NOGUEIRA, 1971).

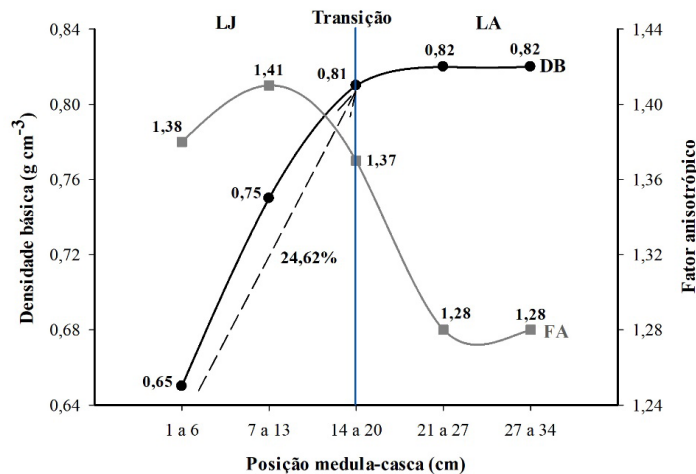
O comprimento das fibras da madeira de *C. citriodora*, com 37 anos de idade, plantada em Lavras/MG, foi menor na região próxima à medula e aumentou em direção

à casca. Essa propriedade foi mais variável no lenho juvenil (coeficiente de variação [CV] = 12,82 %) do que no adulto (CV = 4,29 %), o que indicou maior homogeneidade na região adulta. Já a espessura da parede das fibras não apresentou uma tendência radial clara, não sendo possível com a sua variação demarcar os lenhos juvenil e adulto (GOULART *et al.*, 2015). Essa mesma particularidade para o comprimento das fibras foi observada em *E. grandis*, aos 28 anos de idade, cujo lenho juvenil foi mais variável (18,26 %) em relação ao lenho adulto (5,60 %) (LEONELLO; LARA PALMA; BALLARIN, 2008). Comportamento igual foi observado para a madeira de *C. citriodora*, aos 29 anos (LARA PALMA; LEONELLO; BALLARIN, 2010).

Para a madeira de *E. grandis* (23 anos), observou-se que, na região próxima à medula, os ângulos das microfibrilas foram maiores, decrescendo até chegarem a valores constantes, à medida que se distanciaram da medula e se aproximaram da casca (RAMOS *et al.*, 2011). Essa mesma tendência foi observada em árvores de *E. pilularis* e *C. maculata*, aos 37 anos, plantadas em Lavras/MG (SOUZA *et al.*, 2015). Ramos e outros (2011) e Souza e outros (2015) discutem que o ângulo das microfibrilas tem relação com a idade da árvore, de modo que sua variação no sentido medula-casca pode ser um indicador da presença do lenho adulto.

Uma tendência comum descrita na literatura é a densidade da madeira aumentar rapidamente durante o período juvenil e crescer mais lentamente em idades intermediárias até tornar-se estável na fase da maturidade da árvore. Para a madeira de *C. citriodora* (60 anos), proveniente de povoamentos homogêneos do estado do Rio Grande do Sul, ocorreu um gradativo aumento (24,62 %) dos valores de densidade básica a partir da medula, até a posição entre quatorze e vinte centímetros do raio; após essa região, a densidade se estabilizou nas posições mais próximas à casca (LOURENÇON *et al.*, 2013). A estabilização do fator anisotrópico ocorreu em posições mais periféricas do tronco, quando comparada à densidade básica da madeira (Figura 5).

Figura 5 - Variação no sentido medula-casca da densidade básica (DB) e fator anisotrópico (FA) nas regiões de lenho juvenil (LJ) e adulto (LA) de *C. citriodora* (60 anos)



Fonte: Elaboração dos autores com base em Lourençon e outros (2013).

Uma tendência de estabilização da densidade básica foi encontrada a partir de sete centímetros da medula (correspondente a 21 anos) para a madeira de *E. globulus* (30 anos de idade), proveniente de plantações em Portugal. Esse dado indicou que a espécie formou lenho adulto anteriormente a *E. saligna* (43 anos de idade), também proveniente da região central de Portugal, cuja densidade básica ao longo do diâmetro não chegou a estabilizar-se (SANTOS, 2010).

De acordo com Benjamin e Ballarin (2009), os efeitos causados pelas diferenças entre os lenhos juvenil e adulto na densidade aparente da madeira de *C. citriodora* (29 anos), determinada por densitometria de raios X, são mais marcantes que aqueles promovidos pelas diferenças entre cerne e alburno.

As propriedades de contração e inchamento tangencial da madeira de *C. citriodora* (60 anos) foram maiores próximo à medula, onde há maior proporção de lenho juvenil, com decréscimo em direção à casca (LOURENÇON *et al.*, 2013). Somado a isso, o lenho adulto possui maior estabilidade dimensional, ou menor fator anisotrópico (Figura 5), quando comparado ao juvenil.

Na madeira de *E. grandis*, aos 15 anos de idade, verificou-se que, em amostras de lenho adulto, os valores da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas foram superiores aos do lenho juvenil em apenas 1,69 % (STANGERLIN *et al.*, 2008). Para essa mesma espécie, aos 21 anos de idade, tanto a resistência à compressão paralela às fibras, ao cisalhamento e à flexão estática quanto o módulo de elasticidade aumentaram significativamente no sentido medula-casca, muito provavelmente pelo aumento da proporção de lenho adulto em relação ao juvenil (LIMA; GARCIA, 2011).

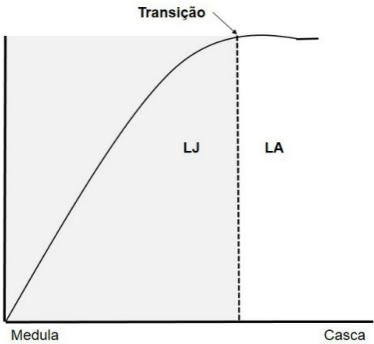
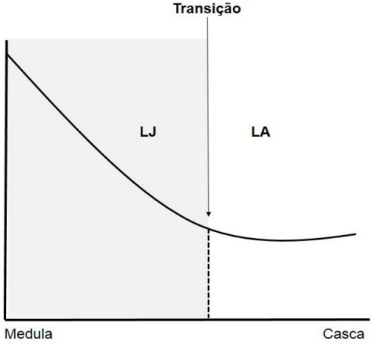
O lenho adulto, próximo à casca, apresenta maior percentual de lenho tardio, fibras mais espessas e menor diâmetro de lume e é, portanto, um meio mais contínuo para a propagação das ondas de tensão. O contrário ocorre para o lenho juvenil, próximo à medula (SHIMOYAMA, 2005).

A termorreificação da madeira de *E. grandis*, aos 30 anos de idade, reduziu as variações físicas entre os lenhos juvenil e adulto, o que causou uma maior uniformidade da madeira serrada (CALONEGO; SEVERO; LATORRACA, 2014). Esta técnica conferiu um excelente resultado, visto que a heterogeneidade das propriedades da madeira geralmente causa muitos entraves em seu beneficiamento e uso.

Os lenhos adultos de *E. saligna* e *E. cloeziana*, aos 37 anos de idade, necessitaram de um maior tempo para secagem (42 % e 26 %, respectivamente) em relação ao lenho juvenil (SOARES, 2015). Por outro lado, o lenho adulto apresentou menores incidências de rachaduras de topo nesse processo. A menor velocidade de secagem e os menores índices de defeitos do lenho adulto foram associados aos maiores comprimento e espessura da parede das fibras, às menores frequências vasculares e aos maiores diâmetros dos vasos.

O Quadro 1 lista as tendências de variações das propriedades da madeira entre os dois lenhos, após a transição. Percebe-se que, para a maioria das propriedades tecnológicas da madeira de eucalipto, ocorre um aumento em valores com a transição do lenho juvenil para o adulto. Situação contrária é observada para propriedades como o ângulo das microfibrilas, fator anisotrópico e umidade da madeira, bem como para o índice de rachaduras de topo de toras.

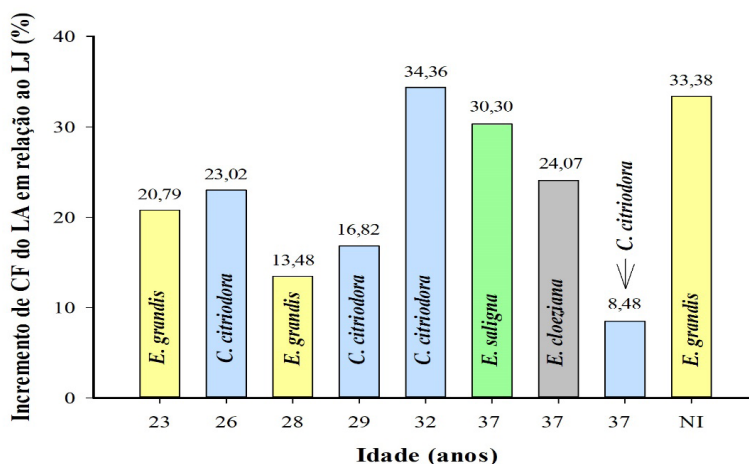
Quadro 1 - Variação das propriedades tecnológicas da madeira de eucalipto com a transição do lenho juvenil (LJ) para o adulto (LA)

	
AUMENTO	DIMINUIÇÃO
Comprimento das fibras	Ângulo das microfibrilas
Espessura da parede das fibras	Frequência vascular
Diâmetro tangencial dos vasos	Fator anisotrópico
Densidade básica	Umidade inicial
Densidade aparente	Teor de lignina Klason
Contrações lineares	Índice de rachaduras de topo
Inchamento volumétrico	Velocidade de secagem
Inchamento linear	
Coeficiente de retratibilidade tangencial	
Coeficiente de retratibilidade radial	
Resistência ao cisalhamento	
Resistência ao impacto à flexão	
Módulo de elasticidade dinâmico e estático	
Módulo de ruptura	
Teor de holocelulose	
Tempo de secagem da madeira	

Fonte: Elaboração dos autores.

Ao considerar que o comprimento das fibras da madeira de eucalipto é a propriedade mais avaliada, vale ilustrar o incremento que ocorre com a transição do lenho juvenil para o adulto, em função das espécies e idades (Figura 6).

Figura 6 - Incremento do comprimento das fibras (CF) com a transição do lenho juvenil (LJ) para o adulto (LA), por idade e espécies de *Eucalyptus*



Fonte: Elaboração dos autores.

Legenda: NI = não informado.

Considerações finais

Há ainda poucas pesquisas a respeito da transição entre os lenhos juvenil e adulto, em virtude das inúmeras variáveis que dificultam determinar de forma precisa em que idade ou região do diâmetro ocorre esse fenômeno para as espécies de eucalipto utilizadas na produção de madeira serrada. Uma delas é a escassez de plantações comerciais em idades avançadas. As estimativas da idade ou região de transição geram o conhecimento para a seleção e o melhoramento de materiais genéticos e para o ajuste e o controle da produção, permitindo segregar os lenhos conforme sua qualidade.

Apesar de possuir algumas propriedades tecnológicas inferiores ao lenho adulto, o lenho juvenil pode ser indicado para aplicações em que tais propriedades não sejam condicionantes do desempenho global. Este conceito deve ser sempre considerado, visto que, em árvores de eucalipto em idades avançadas, o lenho juvenil, mesmo que em menores proporções do diâmetro, sempre vai existir, confinado em regiões circunvizinhas à medula, sendo necessária sua caracterização.

Referências

BAL, B. C. Genç odun ve olgun odunun lif morfolojisindeki farklılıklar üzerine bir araştırma. **Ormancılık Dergisi**, Türkiye, v. 8, n. 2, p. 29-35, 2012.

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

BAO, F. C. *et al.* Differences in wood properties between juvenile wood and mature wood in 10 species grown in China. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 35, n. 4, p. 363-375, 2001.

BENJAMIN, C. A. Estudo da estrutura anatômica e das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *Eucalyptus grandis*. 2006. 180 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2006.

BENJAMIN, C. A.; BALLARIN, A. W. Variação radial da densidade aparente da madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* com 29 anos de idade. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 24, n. 2, p. 29-46, 2009.

BHAT, K. M.; PRIYA, P. B.; RUGMINI, P. Characterisation of juvenile wood in teak. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 34, n. 6, p. 517-532, 2001.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; ASSI, P. P. Mensuração do comprimento das fibras para a determinação da madeira juvenil em *Eucalyptus citriodora*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 68, p. 113-121, ago. 2005.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; LATORRACA, J. V. F. Effect of thermal modification on the physical properties of juvenile and mature woods of *Eucalyptus grandis*. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 21, n. 1, p. 108-113, 2014.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Properties of juvenile wood.** Madison: FPL, 1998. Disponível em: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/techline/properties-of-juvenile-wood.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2015.

GATTO, D. A. *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*, Santa Maria, v. 18, n. 4, p. 535-540, 2008.

GOULART, S. L. *et al.* Demarcação dos lenhos juvenil e adulto em *Corymbia citriodora*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 2., 2015, Belo Horizonte. *Anais* [...]. Belo Horizonte: SBCTEM, 2015. Anatomia, arquivo 6. Disponível em: <http://www.sbctem.org.br/pt/anais>. Acesso em: 14 mar. 2018.

JANKOWSKY, I. P. Madeira juvenil: formação e aproveitamento industrial. *Circular Técnica IPEF*. Piracicaba: IPEF, n. 81, dez. 1979. 15 p.

LARA PALMA, H. A.; LEONELLO, E. C.; BALLARIN, A. W. Demarcação da madeira juvenil e adulta de *Corymbia citriodora*. *Cerne*, Lavras, v. 16, n. 5, p. 141-148, 2010. Suplemento Ebramem.

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

LEONELLO, E. C.; LARA PALMA, H. A.; BALLARIN, A. W. Delimitação da madeira juvenil e adulta de *Eucalyptus grandis* em São Paulo, Brasil. **Revista Forestal Venezolana**, Mérida, v. 52, n. 1, p. 93-98, 2008.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Efeito da fertilização em propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 601-608, 2011.

LONGUI, E. L. *et al.* Radial variation of anatomical features, physicomechanical properties and chemical constituents and their potential influence on the wood quality of 45-year-old *Eucalyptus propinqua*. **Australian Forestry**, [s. l.], v. 77, n. 2, p. 78-85, 2014.

LOURENÇON, T. *et al.* Propriedades físicas da madeira de *Corymbia citriodora* no sentido radial. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 369-375, 2013.

LOURENÇON, T. V. *et al.* Determinação da idade de transição entre lenho juvenil e lenho adulto para três espécies florestais por meio de suas propriedades mecânicas. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 2, p. 251-260, 2014.

PÁDUA, F. A. **Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.** 2009. 99 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PALERMO, G. P. M. **Propriedades e comportamento tecnológico da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex-Maiden visando a sua utilização em produtos de maior valor agregado.** 2010. 249 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

PALERMO, G. P. M. *et al.* Delimitação entre os lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 37, n. 1, p. 191-200, 2013.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1980. 722 p.

PASSIALIS, C.; KIRIAZAKOS, A. Juvenile and mature wood properties of naturally-grown fir trees. **Holz Roh Werkst**, [s. l.], v. 62, n. 6, p. 476-478, 2004.

PAULESKI, D. T. **Influência do espaçamento sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L.** 2010. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PELOZZI, M. M. A. *et al.* Propriedades físicas dos lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* e de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 305-313, 2012.

PERES, M. L. *et al.* 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.

PETERSON, M. G.; DIETTERICH, H. R.; LACHENBRUCH, B. Do Douglas-fir branches and roots have juvenile wood? **Wood and Fiber Science**, United States, v. 39, n. 4, p. 651-660, 2007.

RAMOS, L. M. A. *et al.* 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, C. F. O.; NOGUEIRA, I. R. A idade adulta do *Eucalyptus saligna* Smith em, Rio Claro estado de São Paulo, determinada pelas dimensões das fibras. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 28, p. 165-175, 1971.

SANTOS, C. F. O.; SANTIN, D. A. Variações nas dimensões das fibras e dos vasos nos anéis de crescimento do *Eucalyptus tereticornis* Smith. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, v. 41, p. 221-241, 1984.

SANTOS, P. S. B. Determinação da massa específica e estudo da variação do comprimento de fibras da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith e *Eucalyptus globulus* Labill. 2010. 55 f. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

SETTE JUNIOR, C. R. *et al.* Alterações na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação mineral. *Cerne*, Lavras, v. 20, n. 2, p. 251-258, 2014.

SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W.; SANSÍGOLO, C. A. Composição química da madeira de *Eucalyptus citriodora* em função das direcções estruturais. *Silva Lusitana*, Lisboa, v. 14, n. 1, p. 113-126, 2006.

SHIMOYAMA, V. R. S. Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado. 2005. 163 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SILVA, D. A. *et al.* Ponto de amostragem ao longo do fuste para estimativa do poder calorífico da madeira. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1588-1595, 2012.

SILVA, J. C. A madeira de eucalipto como matéria-prima: mercados e oportunidades. *In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (org.). Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III*. Jerônimo Monteiro: Suprema, 2008. p. 98-123.

SILVA, J. G. M. Qualidade da madeira serrada e demarcação do lenho juvenil e adulto do mogno africano. 2014. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014.

SILVA, S. H. F. *et al.* Propriedades mecânicas da madeira de lenho juvenil e de lenho adulto de *Eucalyptus botryoides*. In: ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 15., 2011, Pelotas. *Anais* [...]. Pelotas: UFPEL, 2011.

SIQUEIRA, K. P. Variabilidade da massa específica de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de sítio. 2004. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SOARES, B. C. D. Desenvolvimento de programas de secagem para as madeiras juvenil e adulta de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana*. 2015. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

SOUZA, M. T. *et al.* Ângulo microfibrilar em árvores de *Eucalyptus pilularis* e *Corymbia maculata*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 2., 2015, Belo Horizonte. *Anais* [...]. Belo Horizonte: SBCTEM, 2015. Anatomia, arquivo 21.

STANGERLIN, D. M. *et al.* Determinação do módulo de elasticidade em madeiras por meio de métodos destrutivo e não-destrutivo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 3, n. 2, p. 145-150, 2008.

TRIANOSKI, R. Avaliação da qualidade da madeira de espécies de *Pinus* tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos. 2012. 554 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

VIDAURRE, G. *et al.* Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 18, n. 4, p. 469-480, 2011.

WIEDENHOEFT, A. Structure and function of wood. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY (org.). **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: Forest Products Laboratory, 2010. p. 62-79.

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. Berlin: Springer Verlag, 1989. 361 p.

Capítulo 2

Ocorrência e propriedades da madeira de reação em eucalipto

Walter Torezani Neto Boschetti

Graziela Baptista Vidaurre

Juarez Benigno Paes



Madeira de reação em folhosas

Considerada atípica, a madeira de reação em folhosas, também conhecida como madeira de tração ou madeira tracionada, está presente em galhos (ZOBEL; JETT, 1984), em árvores que se encontram em terrenos inclinados (FERREIRA, 2007; MONTEIRO *et al.*, 2010), em árvores sujeitas à ação de ventos (SOUSA, 2004; BOSCHETTI *et al.*, 2015a) e em árvores sob estresse de crescimento, que tendem a produzir este tipo de lenho em determinado momento do seu desenvolvimento (RUELLE; YAMAMOTO; THIBAUT, 2007; RODRIGUES, 2013).

A madeira de reação está associada ao fuste inclinado ou ao tronco tortuoso, sendo a excentricidade da medula a principal característica encontrada nestes fustes. Todavia, em algumas espécies, o lenho de reação pode ser formado em árvores com o fuste reto e, em alguns casos, com pouca evidência de excentricidade no tronco (TIMELL, 1986; BURGER; RICHTER, 1991).

É importante a designação correta da madeira de reação, em tracionada ou em oposta, uma vez que as propriedades deste tipo de lenho são distintas daquelas da madeira normal. Dependendo de sua proporção no tecido lenhoso, a madeira de tração modifica as propriedades do lenho por causa da presença de fibras gelatinosas, que na maioria dos casos apresentam espessura de parede, teor de celulose cristalina e diâmetro maiores e frequência e diâmetro dos vasos, teor de lignina e ângulo microfibrilar menores. Porém estudos encontraram exceções destas características anatômicas e químicas, principalmente entre as madeiras de tração e oposta, como os desenvolvidos com *Populus euramericana* (JOUREZ; RIBOUX; LECLERCQ, 2001), espécies tropicais (RUELLE *et al.*, 2006), *Eucalyptus globulus* (AGUAYO *et al.*, 2010) e com o híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* (BOSCHETTI *et al.*, 2015a).

Em plantações comerciais de *Eucalyptus*, é comum encontrar árvores inclinadas por ação de ventos, o que resulta em madeira de reação no fuste após a ocorrência do evento. Tal fenômeno pode afetar ou não o uso para que a madeira é destinada. Além disso, essas árvores apresentam menor produtividade no incremento de madeira no tronco, tanto em diâmetro quanto em altura (BRAZ, 2011; BOSCHETTI *et al.*, 2015a, 2015b).

O Brasil possui uma grande quantidade de terrenos com relevo inclinado destinados a plantações de eucalipto, mas não se sabe ao certo a intensidade de formação

da madeira de reação nas árvores desses locais. Assim o comportamento fisiológico da árvore de produzir esse tipo de lenho pode ser atribuído a outros fatores, uma vez que a distribuição de luz ocorre de forma desigual, provocando alterações de crescimento quanto à simetria de copa, massa de galhos, entre outros fatores que podem desencadear a formação de lenho de reação.

Definição e identificação da madeira de tração

Conforme descrito pelo Committee on Nomenclature (1964) da International Association of Wood Anatomists (IAWA), a madeira de tração é designada pela presença de camada gelatinosa no interior da parede das fibras, o que altera a composição química da madeira. A camada gelatinosa, ou camada G, é descrita como contendo maior teor de celulose cristalina e menor ângulo microfibrilar (WARDROP; DADSWELL, 1948, 1949).

A microscopia é o método mais confiável para detectar a presença de madeira de reação em folhosas. De modo geral, quando a madeira é recém-cortada, há uma tendência de o lenho de tração apresentar uma coloração mais clara e brilhante; além disto, a superfície da madeira pode variar de suave a felpuda (GROSSER, 1980).

Existem alguns métodos histoquímicos de detecção da madeira de tração que são mais rápidos e precisos para se verificar a presença de fibras gelatinosas. O mais comum é o emprego da mistura de reagente safranina, corante específico para material lignificado, e *alcian blue*, corante específico para carboidratos (SOUSA, 2004; BOSCHETTI *et al.*, 2015a). Por possuir maior teor de holocelulose, a madeira de tração se destaca pela coloração azulada (BOYD, 1980; DOĞU; GRABNER, 2010).

Outros reagentes são comumente utilizados, como safranina + *fast green* (RAO; DAYAL; SHARMA, 1983; BABA *et al.*, 1996), safranina + *light green* (WARDROP; DADSWELL, 1948, 1955) e o floroglucinol + etanol + ácido clorídrico (WHITE; BOBARDS, 1965; BLETCHLY, 1978; RAO; DAYAL; SHARMA, 1983). Todos eles agem com o mesmo princípio: têm um corante específico para destacar as fibras gelatinosas.

Outro método para identificar a madeira de tração baseia-se na elevada contração transversal, característica típica desse tipo de lenho (WASHUSEN; ADES; VINDEN, 2002).

Formação e distribuição da madeira de reação

Na busca por luz, as árvores tendem a assumir a posição vertical, por intuição fisiológica e por questões de sobrevivência. Assim, árvores inclinadas ou galhos tortuosos têm a capacidade de restaurar a formação retilínea, reduzindo a curvatura do tronco/galho por meio de assimetria biomecânica entre o lado inferior e o superior, o que acarreta uma madeira estressada. Esse material é chamado de madeira de reação (CLAIR *et al.*, 2006; BOWYER; SHMULSKY; HAYGREEN, 2007; FANG *et al.*, 2007; RUELLE *et al.*, 2007; AGUAYO *et al.*, 2010).

Nas árvores de folhosas inclinadas pela ação dos ventos em terreno plano, a madeira de reação é encontrada tanto na parte superior quanto na inferior da curvatura. Na parte superior, a madeira é exposta a um esforço altamente tracionado, denominando-se assim como madeira de tração (CÔTÊ JUNIOR; DAY; TIMELL, 1969; ARCHER, 1986; PILATE *et al.*, 2004; BOSCHETTI *et al.*, 2017). Por outro lado, na parte inferior da curvatura, há pouco incremento de madeira, que, em alguns casos, é considerada uma madeira anormal por possuir características tecnológicas – anatomia, composição química e densidade – diferentes daquelas da madeira normal, o que a tipifica como madeira oposta.

Em decorrência da diferença de crescimento entre a parte superior tracionada e a inferior suprimida da inclinação dos fustes, as seções transversais dos troncos com madeira de reação em folhosas são excêntricas, tanto por sua forma elíptica quanto pelos anéis de crescimento desorganizados. Desta forma, o raio maior se localiza na parte de cima da inclinação, onde se encontra a madeira de tração, e o menor raio, na parte inferior, onde se forma a madeira oposta, com crescimento suprimido.

A madeira de tração tem por função a manutenção do ângulo dos galhos e a correção da curvatura das árvores inclinadas (ZOBEL; JETT, 1984). Por outro lado, há algumas evidências de que a madeira de reação pode se formar em fustes não inclinados, apenas com o objetivo de a árvore se movimentar no espaço na busca por luz, o que ocorre principalmente em florestas tropicais densas. A formação da madeira de reação ocorre, portanto, quando a árvore se reorienta gradualmente seja para beneficiar-se de mudanças na luminosidade, seja para ocupar maior espaço no ambiente,

seja, até mesmo, em razão de sobrecarga da copa em árvores jovens com o fuste flexível (TIMELL, 1986; CLAIR *et al.*, 2006).

Em plantações comerciais de *E. globulus*, a manifestação de madeira de reação é comum em decorrência do espaçamento de plantio diferente entre as árvores. Além disto, a ação de ventos, mesmo quando não inclina o fuste, pode influenciar no estresse de crescimento da árvore e induzi-la a produzir este tipo de madeira (WASHUSEN, 2000).

Características anatômicas da madeira de reação em eucalipto

A madeira de reação em folhosas tem diferenças anatômicas consideráveis quando comparada à madeira normal (BOSCHETTI *et al.*, 2015a). Uma série de características anatômicas da madeira tracionada já tinha sido relatada, tal como menores frequência e diâmetro vascular, células de parênquima mais espaçadas, número de parênquimas vasicêntricos e de raios reduzido (HUGHES, 1965b). Porém, em alguns casos, essas características não são tão evidentes ao se compararem a madeira tracionada e a normal, com exemplo de *E. globulus*, que apresentou frequência de vasos e diâmetro semelhantes à da madeira normal (WASHUSEN, 2000).

A menor frequência dos vasos na madeira tracionada também foi constatada por Sousa (2004) em *E. grandis*, com uma redução de 25,3 %, se comparada à oposta, conforme a Tabela 1. Já na madeira de *E. globulus* com 8 anos de idade, não foi encontrada diferença na frequência vascular, todavia houve um aumento de 36,4 % no diâmetro da madeira tracionada (AGUAYO *et al.*, 2010). Por outro lado, no lenho oposto de *E. globulus* com 7 anos, foram observados vasos com frequência e diâmetro ligeiramente menores que os do lenho tracionado (RAMÍREZ *et al.*, 2009).

Em outro estudo com *E. globulus*, para cada 100 mil fibras presentes, a madeira tracionada teve 185 elementos de vasos, enquanto a madeira oposta teve 209, o que representa um incremento de 13 % na quantidade dessas células (AGUAYO *et al.*, 2012). Uma redução na frequência de vasos também pôde ser percebida na madeira tracionada de *E. camaldulensis* com 2 anos (BABA *et al.*, 1996).

Tabela 1 - Diâmetro e frequência dos elementos de vasos nas madeiras de reação e normal de eucalipto

Espécie	Idade (anos)	Diâmetro vascular (μm)		Frequência (vasos por mm^2)		
		MO	MT	MO	MT	
<i>E. grandis</i>	4,5	122	115	15	11,2	(1)
			→ -5,7%		→ -25,3%	
<i>E. globulus</i>	8	107	146	6	6	(2)
			→ +36,4%		↔ =	
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	6	111	107	12	9	(3)
		↖	↗	↖	↗	
		-11,2%	-3,6%	+20%	+33%	
		↙	↘	↙	↘	
		125*	107	10*	9	
		-14,4%		-10%		

Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Sousa (2004); (2) Aguayo e outros (2010); (3) Boschetti e outros (2015a).

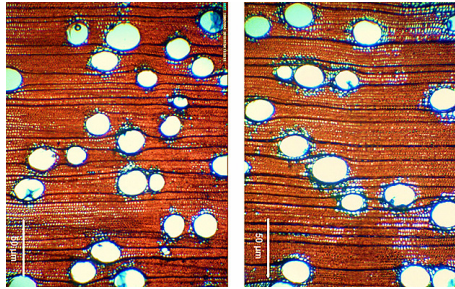
* Diâmetro vascular e frequência de vasos na madeira normal em árvores com o fuste reto provenientes da mesma plantação florestal da madeira de reação das árvores inclinadas.

Legenda: MT = madeira tracionada; MO = madeira oposta.

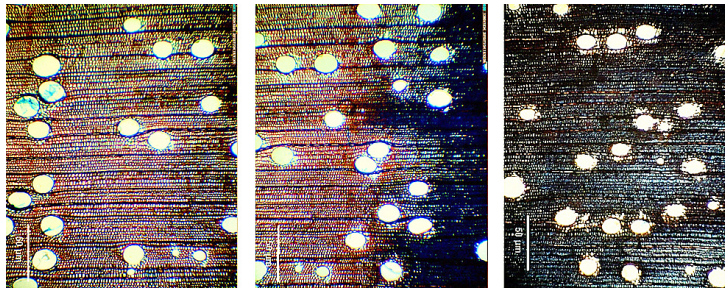
Comportamento distinto ao de *E. globulus* foi encontrado para o diâmetro vascular da madeira de árvores de *E. grandis* x *E. urophylla* inclinadas pela ação de ventos (BOSCHETTI *et al.*, 2015). A madeira tracionada do híbrido teve decréscimo no diâmetro dos vasos e na frequência vascular ao ser comparada à do lenho normal de árvores da mesma plantação florestal e sem inclinação do tronco (Tabela 1, Figuras 1A e 1B). Por outro lado, a madeira oposta teve maior frequência de vasos em relação à região tracionada (aumento de 33 %) e à madeira normal (aumento de 20 %) (Figura 1C).

Figura 1 - Distribuição e tamanho dos vasos de *E. grandis* x *E. urophylla* (6 anos)

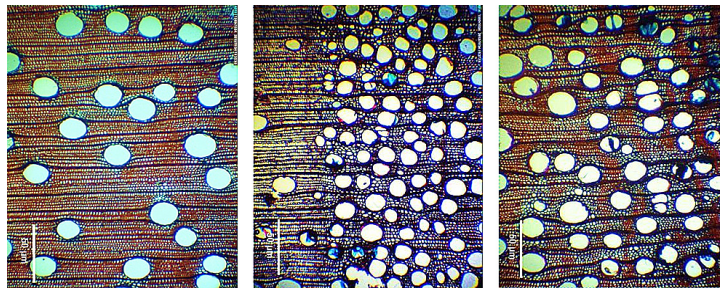
A. madeira normal



B. madeira tracionada de árvores inclinadas por ventos



C. madeira oposta de árvores inclinadas por ventos



Fonte: Boschetti e outros (2015a).

Além de comportamento vascular distinto anatomicamente, as fibras da madeira de reação também têm dimensões diferentes (BOSCHETTI *et al.*, 2015a). Na madeira de tração, as fibras são os componentes ativos do lenho tracionado, conhecidas como fibras gelatinosas, que são células especializadas esclerenquimáticas, caracterizadas pela sua forma alongada e pela presença de uma camada de parede no interior da célula, denominada camada-G, com alta contração durante a secagem (CLAIR; THIBAUT, 2001; CLAIR *et al.*, 2008).

Ao contrário das camadas da parede das células de fibras tradicionais, a camada gelatinosa não é lignificada e encontra-se na parte interna às camadas da parede celular secundária normal (BOWLING; VAUGHN, 2008, 2009). Todavia, a camada gelatinosa nem sempre está presente na madeira tracionada (CLAIR *et al.*, 2006). Alguns estudos mostram que a formação adicional da camada G não é constante nas fibras tracionadas. Onaka (1949) relatou que, para um total de 346 espécies, a camada G foi observada em apenas 39 % (136 espécies). Na madeira tracionada de galhos, Fisher e Stevenson (1981) demonstraram, para 122 espécies, que em apenas 46 % havia a presença da camada gelatinosa.

As fibras gelatinosas são mais longas, têm maior espessura de parede e, em alguns casos, são mais largas (HUGHES, 1965b). Na madeira de *E. camaldulensis* com 2 anos, fibras mais compridas na madeira tracionada foram encontradas em relação às fibras do lenho oposto (BABA *et al.*, 1996). Entretanto, na madeira de *E. globulus* com 11 anos de idade, não foi percebida diferença no comprimento das fibras do lenho tracionado em relação ao normal (WASHUSEN, 2000).

Dessa forma, cada espécie florestal possui características peculiares em relação às dimensões celulares, conforme a Tabela 2. Todavia, pode-se salientar que as três espécies de eucalipto destacadas tiveram em comum fibras com maior espessura de parede e maior comprimento no lenho tracionado.

Tabela 2 - Dimensões das fibras de eucalipto nas madeiras de reação e normal

Espécie	Idade (anos)	C (mm)		La (µm)		
		MO	MT	MO	MT	
<i>E. grandis</i>	4,5	0,8	0,86	14,4	13,9	(1)
		→ +7,5%		← =		
<i>E. globulus</i>	8	0,75	0,83	14,3	15,8	(2)
		→ +10,6%		→ +10,5%		
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	6	0,98	1,09	20,9	21	(3)
		→ +11,2%		← =		
		↑ -4,8%	↑ +6%	=		
		1,03*		20,1*		
<i>E. grandis</i>	4,5	3,35	3,76	7,71	6,45	(1)
		→ +12,2%		→ -16,3%		
<i>E. globulus</i>	8	3,02	3,52	8,3	8,8	(2)
		→ +16,5%		← =		
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	6	4,7	5,0	11	11,4	(3)
		→ +6,4%		← =		
		↑ +6,4%	↑ +6,4%	=		
		4,7*		10,5*		

Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Sousa (2004); (2) Aguayo e outros (2010, 2012); (3) Boschetti e outros (2015a).

* Dimensões das fibras na madeira normal em árvores com o fuste reto provenientes da mesma plantação florestal da madeira de reação das árvores inclinadas.

Legenda: C = comprimento; La = largura; E = espessura; DL = diâmetro do lúmen; MT = madeira tracionada; MO = madeira oposta.

Em madeira tracionada de árvores inclinadas de *E. grandis*, as fibras foram 7,5 % mais compridas que as da madeira oposta, com largura semelhante, diâmetro do lume 16 % menor e, conseqüentemente, parede celular 12,2 % mais espessa (SOUSA, 2004).

Na madeira de tração de *E. globulus*, as fibras foram 11 % mais longas quando comparadas às fibras da madeira oposta e 10,5 % mais largas, com lume semelhante e, conseqüentemente, fibras tracionadas com parede celular 16,5 % mais espessa (AGUAYO *et al.*, 2010, 2012).

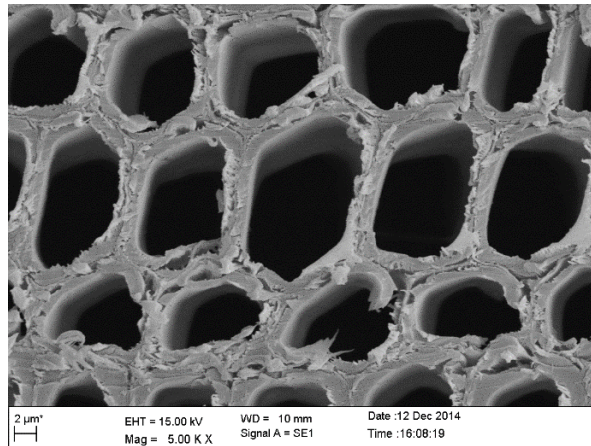
Comportamento semelhante ao da madeira de *E. grandis* e de *E. globulus* foi encontrado na madeira de tração de *E. grandis* x *E. urophylla*, em árvores inclinadas pela ação de ventos (BOSCHETTI *et al.*, 2015a). As fibras foram 11,2 % e 6 % mais longas se comparadas às da madeira oposta e às da normal, respectivamente. A largura e o lume foram semelhantes entre as madeiras normal, tracionada e oposta, contudo a parede celular foi 6 % mais espessa nas fibras tracionadas, se comparadas às da madeira normal e às da oposta.

Na madeira de reação em árvores de clones de *Eucalyptus* com 2 anos de idade, cultivadas em diferentes topografias, não foi observada diferença entre as dimensões das fibras do lenho de tração e as do lenho oposto, independentemente do grau de declividade do terreno (FERREIRA, 2007).

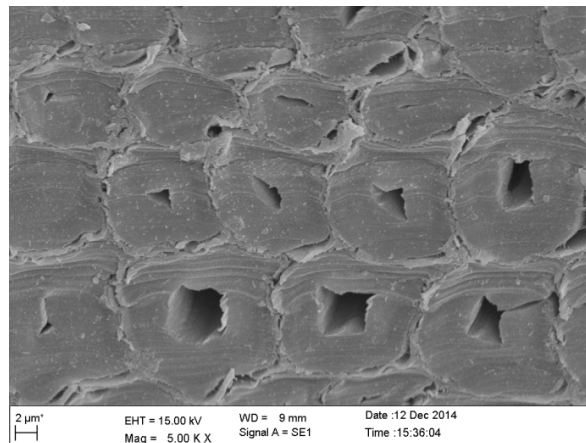
Nem toda a parte do lenho superior à inclinação do tronco é formada por madeira tracionada; parte desse lenho também é formada por madeira normal, sem a presença de camada gelatinosa nas fibras (WASHUSEN; ADES; VINDEN, 2002). As fibras da madeira tracionada de *E. grandis* x *E. urophylla*, em decorrência da camada G, tendeu a apresentar parede celular mais espessa e com lume pouco visível (Figura 2).

Figura 2 - Fotomicroscopia eletrônica de varredura da madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* com 6 anos

A. madeira normal



B. madeira tracionada



Fonte: Boschetti e outros (2017).

Na madeira de reação de árvores plantadas em encosta leve e forte, o ângulo microfibrilar aumentou do lenho oposto para o tracionado (FERREIRA, 2007). Por outro lado, a madeira tracionada de *E. camaldulensis* teve menor ângulo microfibrilar (BABA *et al.*, 1996).

Composição química da madeira de reação em eucalipto

Uma das características da madeira tracionada é seu maior teor de holocelulose, celulose e hemiceluloses e, conseqüentemente, o baixo conteúdo de lignina quando comparada à madeira normal. A presença de madeira de tração aumenta paralelamente à quantidade de celulose, e a lignina é praticamente ausente na camada gelatinosa em si (HUGHES, 1965). Análises químicas em fibras gelatinosas evidenciaram que a camada gelatinosa continha 98,5 % de celulose e 1,5 % de xilose, ou seja, estava isenta de lignina (TIMELL, 1969).

Ainda, a cristalinidade da camada G está associada com a alta contração volumétrica que a madeira de tração tende a apresentar (WASHUSEN; EVANS, 2001). Desta forma, a maior contração volumétrica, decorrente da elevada contração das fibras, associada ao baixo teor de lignina, confere à camada gelatinosa uma característica peculiar de desprendimento da parede primária ou da camada da parede secundária que a antecede.

Na madeira tracionada de *E. grandis*, a contração volumétrica teve aumento de 45,3 % se comparada à da madeira oposta nas mesmas árvores. Assim, a alta contração volumétrica da madeira tracionada pode limitar alguns usos, por exemplo, para a utilização de madeira sólida e a produção de lâminas (SOUSA, 2004).

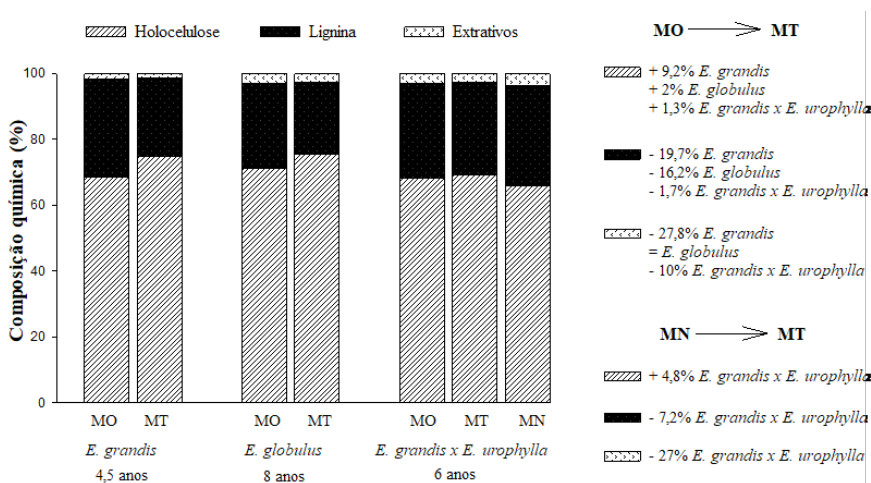
A madeira de reação, tanto tracionada quanto oposta, tende a apresentar menores teores de extrativos e lignina que a madeira normal (BOSCHETTI *et al.*, 2017). Além disto, a madeira tracionada de algumas espécies de eucalipto tem menores teores de extrativos e lignina que a madeira oposta (Figura 3). O teor de lignina na madeira tracionada foi 16,2 % menor em *E. globulus* e apresentou pouca diferença em *E. grandis* x *E. urophylla*, se comparado ao da madeira oposta. O teor de extrativos na madeira tracionada, comparada à madeira oposta, reduziu-se 27,8 % em *E. grandis* e 10 % em *E. grandis* x *E. urophylla*, e verificou-se pouca diferença em *E. globulus*. Comparando-se as características das madeiras tracionada e normal do híbrido de *E. grandis* x

E. urophylla, os teores de lignina e extrativos na madeira tracionada reduziram-se 7,2 % e 27 %, respectivamente.

O maior teor de holocelulose na madeira tracionada em alguns casos pode ser explicado pelo maior teor de hemiceluloses, especificamente as xilanas. Esta característica foi comprovada na madeira de *E. globulus*, cujas xilanas foram de 9 % a 34 % mais elevadas em madeira tracionada do que na oposta (AGUAYO *et al.*, 2012).

Comportamento de redução do teor de lignina na madeira tracionada também é válido em *E. camaldulensis*, em que houve uma redução de 70 % no teor de lignina da madeira tracionada em relação à normal (BABA *et al.*, 1996). Observaram-se resultados semelhantes na madeira de *E. grandis*, porém com menor magnitude: a madeira de tração teve queda de 19,7 % no teor de lignina, quando comparada à madeira oposta (SOUSA, 2004). Uma das diferenças químicas mais notáveis na lignina da madeira de tração é o baixo teor de lignina Klason, ou lignina insolúvel (BABA *et al.*, 1996; SOUSA, 2004).

Figura 3 - Composição química da madeira de reação em eucalipto



Fonte: Elaboração dos autores com base em Sousa (2004) para *Eucalyptus grandis*; Aguayo e outros (2010) para *E. globulus*; e Boschetti e outros (2017) para *E. grandis x E. urophylla*.

Legenda: MO = madeira oposta; MT = madeira tracionada; MN = madeira normal.

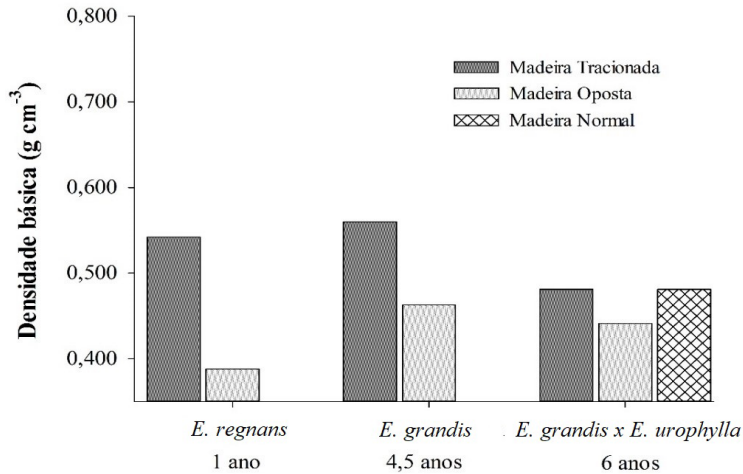
Estruturalmente, a lignina da madeira tracionada de *E. globulus* é menos condensada, se comparada com a da madeira oposta, apresentando maior quantidade de unidades siringilas (32 % a mais), o que favorece o aumento de quantidade de ligações β -O-4 (AGUAYO *et al.*, 2012). Tal característica é um fator positivo para a qualidade da madeira voltada à indústria de polpa celulósica no contexto de deslignificação, uma vez que este tipo de ligação e as unidades siringilas são mais instáveis e reativas ao álcali de cozimento e reagentes de branqueamento da polpa Kraft (PINTO, EVTUGUIN; PASCOAL NETO, 2005; GELLERSTEDT; HENRIKSSON, 2008).

O teor de extrativos também tende a diminuir na madeira tracionada. Esse fato foi relatado na madeira de *E. camaldulensis* (BABA *et al.*, 1996), em *E. globulus* (WASHUSEN *et al.*, 2001) e *E. grandis* (SOUSA, 2004). No híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, a madeira de reação teve menor teor de extrativos que a madeira normal e, além disto, a madeira tracionada apresentou menor teor que a oposta (BOSCHETTI *et al.*, 2017).

Densidade básica do lenho de reação em eucalipto

Alguns estudos demonstraram que a densidade na madeira tracionada é maior que na normal (HUGHES, 1965a; ALIPON; MARUZZO, 1992). Malan e Gerischer (1987) constataram este efeito em madeira de *E. grandis*. Dadswell e Wardrop (1949) ressaltaram que a proporção da densidade da madeira tracionada em relação à normal é da ordem de 4:3. Todavia, a densidade básica na madeira de tração nem sempre é maior.

Vários estudos em madeira de eucalipto demonstram que a densidade da madeira tracionada é maior que na oposta, porém não necessariamente maior que a da madeira normal, conforme a Figura 4. Na madeira de *E. grandis* foi encontrada uma densidade 21 % maior no lenho tracionado comparado ao oposto (SOUSA, 2004). Já na madeira de *E. regnans*, este aumento foi de maior magnitude: cerca de 40 % a mais na madeira tracionada quando comparada à oposta (CHAUHAN; WALKER, 2011).

Figura 4 - Densidade básica da madeira de reação em árvores de eucalipto inclinadas

Fonte: Elaboração dos autores com base em Chauhan e Walker (2011) para *E. regnans*; Sousa (2004) para *E. grandis*; Boschetti e outros (2017) para *E. grandis x E. urophylla*.

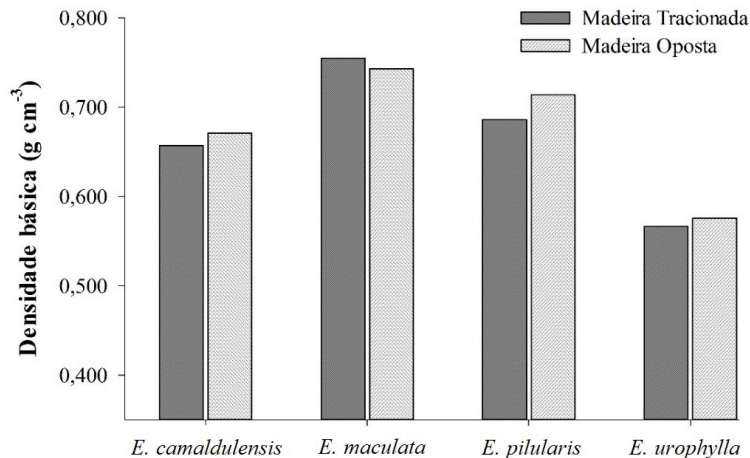
Entretanto, é importante advertir que idade, tratamento silvicultural e posição de amostragem no fuste são fatores que também afetam a variabilidade da madeira e podem ampliar ou diminuir a diferença de densidade entre as madeiras normal, tracionada e oposta. Em relação a árvores inclinadas, aparentemente, conforme menor a idade da árvore ou maior o tempo de inclinação do fuste, há uma tendência de aumento da diferença entre a densidade da madeira tracionada e a da oposta, uma vez que o lenho novo tende a responder mais intensamente à tentativa da árvore de recuperar a simetria do tronco, produzindo-se mais madeira de reação na parte tracionada. Desta forma, a maior densidade na madeira tracionada em árvores de *E. regnans* com 1 ano de idade foi atribuída às fibras mais espessas e com menor lume (CHAUHAN; WALKER, 2011).

A densidade da madeira tracionada comparada à da oposta foi maior nos estudos com *E. regnans* e *E. grandis* (SOUSA, 2004; CHAUHAN; WALKER, 2011). Todavia, no híbrido de *E. grandis x E. urophylla*, o comportamento da densidade na madeira de reação é diferente. Conforme se observa na Figura 4, a densidade da madeira tracionada é

semelhante à da madeira normal, porém ambas apresentam densidade superior, aproximadamente 11 % maior que a madeira oposta. Desta forma, o incremento da parede celular pela camada gelatinosa pode resultar em acréscimo de densidade na madeira tracionada, porém somente se a intensidade do lenho tracionado for suficiente para alterar a densidade básica da madeira (WASHUSEN; ADES; VINDEN, 2002).

Comportamento diferente de densidade, porém com magnitude muito baixa e sem diferença estatística, foi encontrado na madeira de reação em árvores de eucalipto plantadas em terrenos inclinados (MONTEIRO *et al.*, 2010). Espécies como *E. camaldulensis*, *E. pilularis* e *E. urophylla* tiveram densidade 2 %, 4 % e 1,6 % menor na madeira tracionada comparada à oposta, no diâmetro à altura do peito (DAP). Monteiro e outros (2010) encontraram uma reação diferente em *E. maculata*, cuja densidade foi 1,6 % superior na madeira tracionada. A baixa diferença de densidade entre a madeira tracionada e a oposta pode ter sido ocasionada pela idade das árvores (Figura 5).

Figura 5 - Densidade básica da madeira de reação em eucaliptos (32 anos) plantados em terreno inclinado



Fonte: Elaboração dos autores com base em Monteiro e outros (2010).

Considerações finais

Alguns autores citados neste capítulo denominam erroneamente a madeira oposta de normal. Entretanto, diante das diferenças entre as propriedades da madeira do lenho oposto e as do lenho normal, neste capítulo, distinguiu-se a madeira oposta da madeira normal, a qual é proveniente de árvores com tronco reto, plantadas em terreno plano.

A madeira de reação em eucalipto tende a apresentar comportamento anatômico distinto daquele da madeira normal: geralmente apresenta menor diâmetro e a frequência vascular alterada, que, em alguns casos, é maior e, em outros, menor. As dimensões das fibras também são modificadas; na madeira tracionada, elas tendem a ser mais compridas e, por vezes, a espessura de parede é maior em decorrência da presença da camada gelatinosa.

A maioria das espécies de eucalipto apresenta um comportamento químico semelhante, ou seja, a madeira de reação, tracionada e oposta, apresenta menor teor de extrativos e lignina que a madeira normal; tais diferenças são mais acentuadas entre a madeira tracionada e a normal.

De modo geral, a densidade básica da madeira tracionada em eucalipto tende a ser igual ou superior à da madeira normal, dependendo da proporção de madeira de reação. A madeira oposta tende a apresentar uma densidade inferior à da madeira normal e à da tracionada.

Referências

AGUAYO, M. G. *et al.* Chemical characteristics and Kraft pulping of tension wood from *Eucalyptus globulus* labill. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1163-1172, 2012.

AGUAYO, M. G. *et al.* Determination of differences in anatomical and chemical characteristics of tension and opposite wood of 8-year old *Eucalyptus globulus*. *Maderas: ciencia y tecnología*, Concepción, Chile, v. 12, n. 3, p. 241-251, 2010.

ALIPON, M. A.; MARUZZO, M. M. Tension wood and its effects on end-use properties of wood. *FPRDI Journal*, Philippines, v. 21, n. 4, p. 43-55, 1992.

ARCHER, R. R. **Growth stresses and strains in trees**. New York: Springer-Verlag, 1986. 240 p.

BABA, K. *et al.* Chemical and anatomical characterization of the tension wood of *Eucalyptus camaldulensis* L. **Mokuzai Gakkaishi**, [Japão], v. 42, n. 8, p. 795-798, 1996.

BLETCHLY, F. E. J. A study of reaction wood in European beech (*Fagus sylvatica* L.): variations in chemical composition around the outermost forty-seven growth rings of a branch. **Journal of the Institute of Wood Science**, [Londres], v. 8, n. 2, p. 76-80, 1978.

BOSCHETTI, W. T. N. *et al.* Características anatômicas do lenho de reação de árvores inclinadas de eucalipto, para produção de celulose. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 6, p. 459-467, 2015a.

BOSCHETTI, W. T. N. *et al.* Parâmetros dendrométricos e excentricidade da medula em árvores inclinadas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 781-789, 2015b.

BOSCHETTI, W. T. N. *et al.* Quality of reaction wood in *Eucalyptus* trees tilted by wind for pulp production. **Cerne**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 291-297, 2017.

BOSCHETTI, W. T. N. *et al.* The effect of reaction wood on bleached eucalypt kraft pulp production. Part I. **Nordic Pulp & Paper Research Journal**, Sweden, v. 32, n. 3, p. 421-427, 2017.

BOWLING, A. J.; VAUGHN, K. C. Gelatinous fibers are widespread in coiling tendrils and twining vines. **American Journal of Botany**, St. Louis, v. 96, n. 4, p. 719-727, 2009.

BOWLING, A. J.; VAUGHN, K. C. Immunocytochemical characterization of tension wood: gelatinous fibers contain more than just cellulose. **American Journal of Botany**, St. Louis, v. 95, n. 6, p. 655-663, 2008.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. H. **Forest products & wood science: an introduction**. 5. ed. Iowa: Blackwell Publishing, 2007. 674 p.

BOYD, J. D. Relationships between fibre morphology, growth strains and physical properties of wood. **Australian Forest Research**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 337-360, 1980.

BRAZ, R. L. **Caracterização do lenho de árvores de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em áreas sujeitas a danos por ventos**. 2011. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CHAUHAN, S. S.; WALKER, J. C. F. Wood quality in artificially inclined 1-year-old trees of *Eucalyptus regnans*: differences in tension wood and opposite wood properties. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 41, n. 5, p. 930-937, 2011.

CLAIR, B. *et al.* Characterization of a gel in the cell wall to elucidate the paradoxical shrinkage of tension wood. **Biomacromolecules**, United States, v. 9, n. 2, p. 494-498, 2008.

CLAIR, B. *et al.* Tension wood and opposite wood in 21 tropical rain forest species: occurrence and efficiency of the G-layer. **IAWA Journal**, Netherlands, v. 27, n. 3, p. 329-338, 2006.

CLAIR, B.; THIBAUT, B. Shrinkage of the gelatinous layer of poplar and beech tension wood. **IAWA Journal**, Netherlands, v. 22, n. 2, p. 121-131, 2001.

COMMITTEE ON NOMENCLATURE. International Association of Wood Anatomists (IAWA). **Multilingual glossary of terms used in wood anatomy**. Winterthur: Verlagsanstalt Buchdruckerei Konkordia, 1964. 185 p.

CÓTÊ JUNIOR, W. A.; DAY, A. C.; TIMELL, T. E. A contribution to the ultrastructure of tension wood fibers. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 3, n. 4, p. 257-271, 1969.

DADSWELL, H. E.; WARDROP, A. B. What is reaction wood? **Australian Forestry**, [s. l.], v. 13, p. 22-33, 1949.

DOĞU, A. D.; GRABNER, M. A staining method for determining severity of tension wood. **Turkish Journal of Agriculture & Forestry**, [Turquia], v. 34, n. 5, p. 381-392, 2010.

FANG, C. H. *et al.* G-layer transverse shrinkage and its consequences on shrinkage of poplar tension wood. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 41, n. 8, p. 659-671, 2007.

FERREIRA, S. **Lenho de tração em *Eucalyptus* spp. cultivados em diferentes topografias**. 2007. 170 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

FISHER, J. B.; STEVENSON, J. W. Occurrence of reaction wood in branches of dicotyledons and its role in tree architecture. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 142, p. 82-95, 1981.

GELLERSTEDT, G.; HENRIKSSON, G. Lignins: major sources, structure and properties. *In*: BELGACEM, M. N.; GANDINI, A. (org.). **Monomers, oligomers, polymers and composites from renewable resources**. Amsterdam: Elsevier, 2008. p. 201-224.

GROSSER, D. **Defeitos de madeira**. Curitiba: Fupef, 1980. 62 p. (Série Técnica, 2).

HUGHES, F. E. Tension wood: a review of literature. I. Occurrence and development of tension wood. **Forest Abstracts**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 1-9, 1965a.

HUGHES, F. E. Tension wood: a review of literature. II. The properties and use characteristics of tension wood. **Forest Abstracts**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 179-186, 1965b.

JOUREZ, B.; RIBOUX, A.; LECLERCQ, A. Anatomical characteristics of tension wood and opposite wood in young inclined stems of poplar (*Populus euramericana* cv "Ghoy"). **IAWA Journal**, Netherlands, v. 22, n. 2, p. 133-157, 2001.

MALAN, F. S.; GERISCHER, G. F. R. Wood property differences in South African grown *Eucalyptus grandis* trees of different growth stress intensity. **Holzforschung**, Germany, v. 41, n. 6, p. 331-335, 1987.

MONTEIRO, T. C. *et al.* Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* sp. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 1, n. 1, p. 6-11, 2010.

ONAKA, F. Studies on compression and tension wood. **Wood Research**, Bratislava, v. 1, p. 1-88, 1949.

PILATE, G. *et al.* Lignification and tension wood. **Comptes Rendus Biologies**, [s. l.], v. 327, n. 9, p. 889-901, 2004.

PINTO, P. C.; EVTUGUIN, D. V.; PASCOAL NETO, C. Effect of structural features of wood biopolymers on hardwood pulping and bleaching performance. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Washington, DC, v. 44, n. 26, p. 9777-9784, 2005.

RAMÍREZ, M. *et al.* Chemical composition and wood anatomy of *Eucalyptus globulus* clones: variations and relationships with pulpability and handsheet properties. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, United States, v. 29, n. 1, p. 43-58, 2009.

RAO, R. V.; DAYAL, R.; SHARMA, B. Studies on the nature and pattern of distribution of tension wood in *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. **Indian Forester**, [Índia], v. 109, n. 5, p. 286-291, 1983.

RODRIGUES, B. P. **Qualidade do lenho de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* sob estresse abiótico e o impacto na produção de celulose.** 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

RUELLE, J. *et al.* Comparison of physical and mechanical properties of tension and opposite wood from ten tropical rainforest trees from different species. **Annals of Forest Sciences**, [Alemanha], v. 64, n. 5, p. 503-510, 2007.

RUELLE, J. *et al.* Tension wood and opposite wood in 21 tropical rain forest species. 2. Comparison of some anatomical and ultrastructural criteria. **IAWA Journal**, Netherlands, v. 27, n. 4, p. 341-376, 2006.

RUELLE, J.; YAMAMOTO, H.; THIBAUT, B. Growth stresses and cellulose structural parameters in tension and normal wood from three tropical rainforest angiosperms species. **BioResources**, Raleigh, v. 2, n. 2, p. 235-251, 2007.

SOUSA, L. C. **Caracterização da madeira de tração em *Eucalyptus grandis* e sua influência na produção de polpa celulósica.** 2004. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

TIMELL, T. E. **Compression wood in gymnosperms.** New York: Springer-Verlag, 1986. 706 p.

TIMELL, T. E. The chemical composition of tension wood. **Svensk Papperstidning**, [Estocolmo], n. 72, p. 173-181, 1969.

WARDROP, A. B.; DADSWELL, H. E. The nature of reaction wood. IV. Variation in cell wall organization of tension wood fibres. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 3, n. 2, p. 177-189, 1955.

WARDROP, A. B.; DADSWELL, H. E. The nature of reaction wood. Part I. The structure and properties of tension woods fibres. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 1, n. 1, p. 3-16, 1948.

WARDROP, A. B.; DADSWELL, H. E. What is reaction wood? **Australian Forestry**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 22-33, 1949.

WASHUSEN, R. **The occurrence and characteristics of tension wood and associated wood properties in *Eucalyptus globulus* Labill.** 2000. 252 f. Thesis (Philosophy Doctor) – University of Melbourne, Melbourne, 2000.

WASHUSEN, R.; ADES, P.; VINDEN, P. Tension wood occurrence in *Eucalyptus globulus* Labill. 1. The spatial distribution of tension wood in one 11-year-old tree. **Australian Forestry**, [s. l.], v. 65, p. 120-126, 2002.

WASHUSEN, R. *et al.* Relationships between density, shrinkage, extractives content and microfibril angle in tension wood from three provenances of 10-year-old *Eucalyptus globulus* Labill. **Holzforschung**, Germany, v. 55, n. 2, p. 176-182, 2001.

WASHUSEN, R.; EVANS, R. The association between cellulose crystallite width and tension wood occurrence in *Eucalyptus globulus*. **IAWA Journal**, Netherlands, v. 22, p. 235-243, 2001.

WHITE, D. J. B.; BOBARDS, A. W. Gelatinous fibres in ash (*Fraxinus excelsior*). **Nature**, [Reino Unido], v. 205, p. 818, 1965.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. **Genetic of wood production.** Berlin: Springer-Verlag, 1984. 337 p.

Capítulo 3

A relação cerne e alburno na madeira de eucalipto

Ana Paula Câmara

Graziela Baptista Vidaurre

Jordão Cabral Moulin

Gabrielly dos Santos Bobadilha



Formação do cerne

A madeira é um material heterogêneo, que apresenta variações inter e intraespecíficas, com alterações nas composições químicas, físicas e anatômicas, atribuídas principalmente aos fatores genéticos e ambientais (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996).

A natureza das células é dependente da idade do tecido cambial, e, dessa forma, zonas distintas de madeira podem ser encontradas dentro da árvore (SILVA, 2002). A distinção entre cerne e alburno, respectivamente no interior e no exterior do tronco, ocorre em decorrência do processo de envelhecimento do vegetal, com morte celular e sinais hormonais desconhecidos.

De acordo com a Associação Internacional de Anatomistas de Madeira [International Association of Wood Anatomists (IAWA)], pode-se definir o cerne como a camada de madeira da árvore em crescimento cujo conteúdo de células vivas cessou e cujos materiais de reserva, como o amido, foram removidos ou convertidos em substâncias geralmente denominadas como extrativos (COMMITTEE ON NOMENCLATURE, 1964). A formação do cerne é um processo, conhecido como cernificação, que ocorre normalmente no xilema secundário das árvores.

Já o alburno é formado por células funcionais, que apresentam coloração normalmente mais clara e são responsáveis pela condução ascendente de água e dos solutos nela dissolvidos (PANSIN; DE ZEEUW, 1980; COSTA *et al.*, 2003). O alburno compreende a parte exterior do lenho que está fisiologicamente ativa, constituído pelas células mais recentes da formação do lenho (HILLIS, 1987).

O processo de formação do cerne ocorre para a regulação da quantidade de alburno a fim de manter um nível fisiológico adequado e promover o crescimento da árvore (BAMBER, 1987). Essa teoria foi comprovada em avaliação da variação interna do alburno, cuja largura radial permaneceu constante, independentemente das dimensões da árvore, com aumento apenas na porção superior do tronco (GOMINHO; KNAPIC; PEREIRA, 2005).

A transformação de alburno em cerne não acontece de forma abrupta. Autores afirmam que em algumas espécies é possível verificar a existência de uma zona de transição, uma faixa estreita de cor pálida que circunda algumas regiões do cerne, muitas vezes contendo células vivas e geralmente desprovidas de amido. O amido, presente no

parênquima axial da zona externa do alburno, diminui abruptamente perto da zona de transição cerne-alburno. Essa zona externa do cerne contém gotículas lipídicas, localizadas entre o parênquima e as células das fibras, que se tornarão cera, configurando a impermeabilidade do cerne a líquidos, na maioria das vezes (NOBUCHI; JANMAH-ASATIEN; SAKAI, 1996). Em algumas espécies, não é possível observar a presença da zona de transição (HILLIS, 1987).

Propriedades das madeiras do cerne e do alburno e suas implicações para diversos usos

O cerne, quando comparado ao alburno, apresenta diferenças marcantes, que podem ser vantajosas ou não, dependendo da utilização da madeira. Algumas das diferenças mais importantes são: o cerne contém mais compostos fenólicos e ácidos e menos amido que o alburno; a lignina do cerne apresenta-se mais condensada e com maior massa molecular; o cerne de coníferas contém mais extrativos e menos lignina e celulose. Em folhosas, essa última diferença não é consistente (BROWNING, 1963).

No que tange às propriedades da madeira de materiais melhorados, podem não haver contrastes evidentes entre as regiões de cerne e de alburno, a citar o estudo desenvolvido por Cherelli (2015), em que se verificou semelhança na densidade básica e no teor de extrativos entre o cerne e o alburno em material clonal de eucalipto. Esse resultado ressalta um comportamento diferente do observado em tempos passados e é consequência do melhoramento das espécies de eucalipto. Contudo, existem estudos cujos materiais com idade e localidade semelhantes formaram até cinco escalas comportamentais de relação cerne/alburno, indicativo de atuação genética (CARNEIRO, 2017).

A permeabilidade no cerne difere daquela no alburno. A menor permeabilidade no cerne deve-se a três características principais: i) as aspirações que ocorrem na árvore durante as mudanças fisiológicas da madeira; ii) a obstrução das pontoações, por gomas e resinas; e iii) a incrustação das membranas de pontoações por substâncias lignocelulósicas (SIAU, 1971).

No âmbito anatômico, durante a formação do cerne nas coníferas, ocorre aspiração dos torus nas pontoações areoladas e deposição de material no margo, enquanto nas folhosas há formação de tilos nos elementos de vasos (GOMINHO *et al.*, 2007).

O efeito da presença de tilos sobre a permeabilidade da madeira de eucalipto foi comprovado por Teixeira (2015), em avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes classes de diâmetro, em que a permeabilidade do cerne foi 64 vezes menor que a observada no alburno. Também Brito (2017) observou que o espaçamento de plantio não influenciou a permeabilidade do cerne e do alburno, embora tenha encontrado permeabilidade do cerne quatrocentas vezes menor que do alburno, o que sugere obstrução dos vasos por tilos ou outras substâncias. De modo geral, madeiras de maior diâmetro e menos permeáveis necessitam de mais tempo de secagem.

Como a formação do cerne está associada ao acúmulo de produtos fotossintetizados nos tecidos mais internos do tronco, isso torna o cerne menos permeável que o alburno e com concentração de extrativos. Assim, as proporções de cerne e de alburno nas árvores destinadas ao setor de celulose têm impacto econômico, uma vez que a maior quantidade de cerne exige alta carga alcalina em virtude dos teores de extrativos e lignina contidos nessa região. Em árvores de idade avançada, esse ponto negativo é mais acentuado, além da existência de outros, como as dificuldades na picagem dos cavacos e no branqueamento e a resistência físico-mecânica inferior do papel (GOMINHO; KNAPIC; PEREIRA, 2005; MIRANDA *et al.*, 2006; GOMINHO *et al.*, 2007).

A perda no rendimento em celulose Kraft foi observada em *E. grandis* por Sacco, Ferreira e Sansígolo (2002) e associada à maior relação cerne/alburno (C/A). Para a produção de celulose, a maior proporção de alburno contribui positivamente, uma vez que os cavacos oriundos desta porção têm maior permeabilidade e, por serem mais claros, são facilmente impregnados dos reagentes no digestor, o que facilita a polpação e o branqueamento (MIRANDA *et al.*, 2006).

Ocorre uma variabilidade no rendimento de polpa celulósica para *E. globulus* em regiões de cerne e de alburno (LOURENÇO, 2008). Os menores rendimentos no cerne ocorrem por ser uma região de difícil deslignificação, pela presença de lignina residual. Já as polpas oriundas do alburno podem ser mais leves, e as taxas de reação, mais rápidas, em comparação ao cerne.

No que se refere à produção de móveis e às aplicações na construção civil, a relação C/A alta pode ser indício de maior durabilidade. A madeira de cerne, pela sua coloração e propriedades específicas, como resistência aos agentes xilófagos, apresenta maior

valor tecnológico para usos em serraria e, por isso, tem sido alvo de interesse dos usuários de madeira para a construção civil (SILVA, 2002).

Já para a produção de carvão vegetal, a relação C/A alta afeta a etapa inicial do processo, caracterizada pela secagem da madeira. O processo tende a ser dificultado devido à obstrução dos vasos por tilos, que é desfavorável ao transporte de água da parte mais interna da madeira para a externa (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985). O mesmo acontece nas etapas subsequentes, em que ocorre a degradação dos constituintes químicos da madeira, principalmente hemiceluloses e celulose, gerando gases que precisam se deslocar do interior da peça que está sendo carbonizada. Logo, menores relações C/A são desejáveis para a produção de carvão vegetal, pois, caso ocorra uma taxa de aquecimento excessiva e altas temperaturas durante o processo, o carvão produzido será friável, ou seja, apresentará alta geração de finos (PEREIRA *et al.*, 2013).

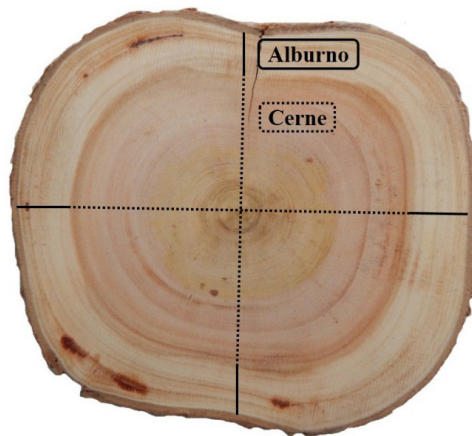
Pereira e outros (2013) identificou que menores relações C/A implicaram maior rendimento em carvão vegetal para madeira de *Eucalyptus*, contudo, ao considerarem as propriedades do carvão vegetal, maiores relações C/A proporcionaram menores teores de carbono fixo, cinzas e densidade aparente, além de maiores teores de materiais voláteis.

Métodos para determinar a relação cerne/alburno

Existem diferentes metodologias para a mensuração do cerne e do alburno de uma árvore. Para o emprego dos métodos, os discos devem ser analisados visualmente, de modo que a face com menos defeitos seja selecionada. Em seguida, são lixados, para um melhor acabamento e homogeneização da superfície, e, na sequência, limpos com fluxo de ar.

Inicialmente é feita a identificação nos discos da região do cerne periférico, limite entre o cerne e o alburno, com uma lupa com aumento de dez vezes. A distinção visual se dá pela alteração na cor do lenho, pelo tamanho dos poros e/ou pela ocorrência de poros obstruídos por tilos no cerne, característicos da madeira de eucalipto (EVANGELISTA, 2007). De uma extremidade à outra de cada disco, traçam-se duas retas perpendiculares que passam pelo centro da medula. Depois são feitas as medições do diâmetro total (marcado em preto tracejado e contínuo na Figura 1) e do diâmetro do cerne (marcado em preto tracejado na Figura 1) com uma régua. Com essas dimensões, estima-se a largura de alburno, as porcentagens de cerne e de alburno e a relação entre eles.

Figura 1 - Demarcação da região de cerne (linhas pretas) e alburno (linhas azuis) em *E. grandis* x *E. urophylla* aos 5 anos de idade



Fonte: Elaboração dos autores.

O procedimento de medições foi realizado em toras de clones de *E. camaldulensis* e *E. urophylla* para determinar a relação C/A (EVANGELISTA, 2007). Os diâmetros e largura de alburno foram mensurados na extremidade de cada tora (no plano transversal) com uma fita métrica de precisão de 0,1 cm. A partir dessas medições, determinaram-se o volume das toras individuais, as porcentagens de cerne e de alburno e a relação cerne/alburno das toras, utilizando-se as seguintes equações:

$$CRN = \pi * (D - 2A)^2 / 40.000$$

$$ALB = AS_m - CRN$$

$$ALB = ALB / AS_m * 100$$

$$\%CRN = 100 - \%ALB$$

$$C:A = \%CRN / \%ALB$$

Em que:

CRN = área ocupada por cerne, em cm²;

D = diâmetro médio da tora, em cm;

A = espessura do alburno, em cm;

ALB = área ocupada por alburno, em cm²;

AS_m = área seccional média da seção da tora sem casca, em cm²;

%ALB = porcentagem de alburno;

%CRN = porcentagem de cerne;

C:A = relação cerne:alburno.

As metodologias utilizadas por Castro (2011) e Evangelista (2007) são semelhantes e baseiam-se na medição do diâmetro (dados dendrométricos), seja de discos, seja de toras, sendo esta a forma mais comum e simples de determinação da relação C/A, utilizada por vários autores (ARANTES, 2009; BARBOSA, 2013; PEREIRA *et al.*, 2013; RODRIGUES, 2013).

Diferentemente de Evangelista (2007), Lopes e outros (2013) desenvolveram dois métodos digitais. No primeiro, os autores utilizaram o software AutoCAD®, para cuja interface as imagens obtidas do disco escaneado, com resolução de 2.400 dpi, foram importadas. Mediu-se então o diâmetro do disco com auxílio de uma régua, a fim de calibrar a escala do software. Para a medição da área, foi utilizado o comando *polyline*, circundando a área sem casca do disco e a área do cerne. No segundo método, foi utilizado o software Image-Pro Plus®, em que se analisaram as mesmas imagens da primeira metodologia. A partir da calibração do software, com o uso da escala digitalizada em 2.400 dpi, foi mensurada a área total do disco e a área do cerne utilizando-se o comando *polygon*.

Nos métodos digitais, os valores de área de cerne e de alburno, quando comparados aos obtidos pelo método manual, foram semelhantes. Por isso, confere ao pesquisador escolher o método mais adequado, visto que ambos possuem limitações. O manual, por exemplo, é mais simples, porém não é possível realizar o arquivamento de dados, enquanto os métodos digitais requerem escaneamento dos discos, mas, em compensação, estes podem ser medidos posteriormente.

Na determinação da quantidade de cerne, desconta-se o diâmetro da medula (MOYA; MUÑOZ, 2010). Para tanto, mede-se a área transversal da medula como círculo geométrico, quando esta for distinta.

Existem outros métodos de mensuração que podem ser utilizados, apesar de não serem tão comuns, por exemplo, os testes químicos que se baseiam na diferença entre o valor de pH do cerne e o do alburno e na presença de amido, utilizando-se diferentes possíveis corantes: clorito férrico, alaranjado de metilo, ácido sulfônico e nitrato de sódio, nitrato de sódio e o-anisidina, e iodo-iodeto de potássio. Para diferenciação colorimétrica do lenho, Castro (2014) utilizou solução de amarelo de metila (0,2 % em etanol) em discos da seção transversal do DAP em *E. grandis*, delimitando as regiões do xilema funcional (alburno) e do não funcional (cerne) em árvores submetidas a adubações com potássio e sódio e a restrições hídricas.

As avaliações nos dois primeiros anos de plantação permitiram constatar a inexistência ou a baixa quantidade de substâncias produzidas pelo cerne, diante da tonalidade amarelada adquirida pelo lenho submetido ao reagente. A formação de cerne foi observada no 36º mês nessas árvores submetidas a adubação potássica e redução de chuva, quando a coloração foi de vermelha a rósea na região interna do lenho (cerne), enquanto o alburno continuou apresentando tonalidade amarelada.

Na Figura 2, são apresentados discos de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 5 anos, atacados por *Gonipterus platensis* e coloridos com amarelo de metila para diferenciação de cerne e alburno.

Figura 2 - Análise de coloração com amarelo de metila em discos de árvores de eucalipto atacadas por inseto desfolhador

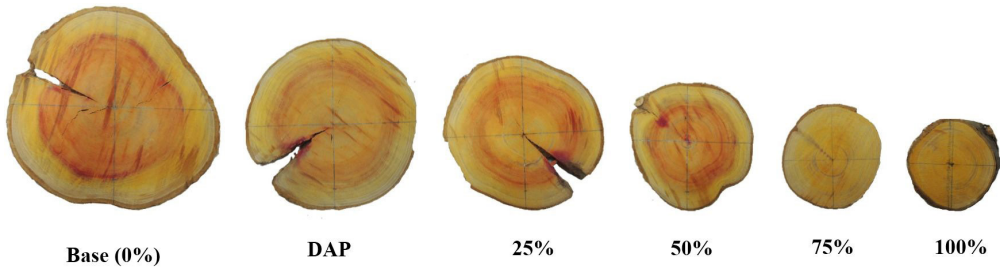


A. disco polido *in natura* B. disco polido e com corante indicador

Fonte: Elaboração dos autores.

O composto químico amarelo de metila reage em regiões de medula e na presença de nós. Este corante indicador é utilizado principalmente em posições nas quais a determinação da presença de cerne é difícil, em posições superiores a 50 % da altura comercial em árvores jovens de eucalipto (BRITO, 2017). Árvores jovens, provavelmente por estarem iniciando a formação de cerne, não apresentam distintas colorações entre cerne e alburno ou ainda não possuem cerne em regiões do topo (Figura 3).

Figura 3 - Coloração com amarelo de metila em discos de árvores de eucalipto aos 4 anos de idade, destacando-se a distinta coloração até a posição de 50 % de altura comercial (coloração avermelhada: cerne; coloração amarelada: alburno)



Fonte: Elaboração dos autores.

Como métodos, também podem ser utilizadas a diferença de permeabilidade entre o cerne e o alburno por imersão em água ou tratamento com vapor de água, técnicas de localização e quantificação do cerne no interior do tronco e varreduras com raios X, infravermelho e raios gama (GOMINHO; KNAPIC; PEREIRA, 2005).

Variação de cerne e alburno em função da idade da madeira de eucalipto

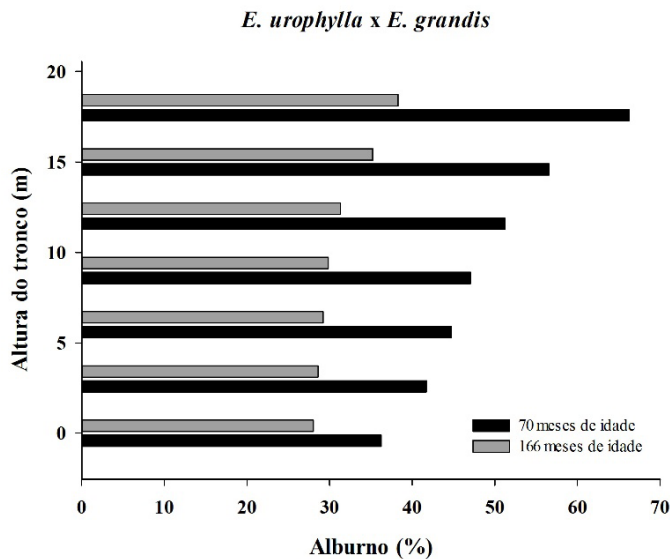
As proporções de cerne e de alburno da madeira, de modo geral, são extremamente influenciadas pela idade da árvore. Quanto menor a idade, maior será o percentual de alburno e assim menor a relação cerne/alburno na madeira (EVANGELISTA, 2007).

Alguns autores “datam” o início de formação do cerne entre o segundo e o sexto ano (HILLIS, 1971, 1987), outros propõem em torno do oitavo ano de idade da árvore (ELDRIDGE; CROMER, 1987 apud LIMA, 1996). Todavia, pesquisas realizadas no Brasil, onde o desenvolvimento de eucalipto é mais acelerado, verificaram que há formação de cerne a partir dos 2 anos (CHERELLI, 2015), 3 anos (CASTRO, 2014) e 4 anos (BRITO, 2017).

A maior proporção C/A em árvores velhas deve-se à redução da atividade das células de condução do alburno, que passam a compor o cerne e a ser utilizadas em sustentação (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 1996).

O percentual de alburno em diferentes idades (70 e 166 meses) na madeira de eucalipto foi avaliado em diferentes alturas do fuste por Gonçalves (2006). O maior percentual foi encontrado para a madeira na idade de 70 meses, ou seja, a idade mais jovem, em todas as alturas do tronco avaliadas, como pode ser visualizado na Figura 4.

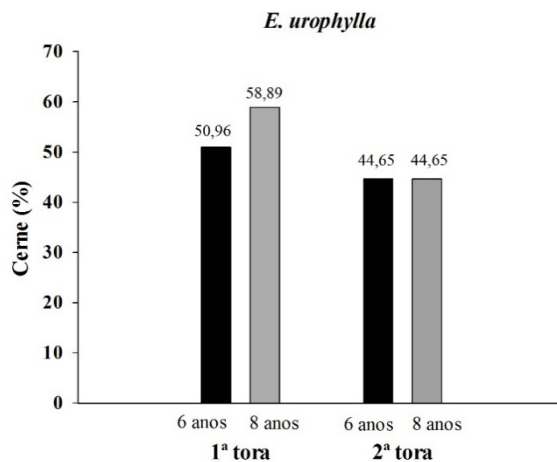
Figura 4 - Porcentagem de alburno do *E. urophylla* x *E. grandis* em duas idades e diferentes alturas do fuste



Fonte: Elaboração dos autores com base em Gonçalves (2006).

Já a quantidade de cerne tende a ser mais elevada em árvores mais velhas, como verificado na primeira tora (base) de árvores de *E. urophylla* (Figura 5). Entretanto, a tora acima da base não teve o mesmo comportamento (EVANGELISTA, 2007).

Figura 5 - Porcentagem de cerne do *E. urophylla* em duas idades e diferentes alturas do fuste



Fonte: Elaboração dos autores com base em Evangelista (2007).

Na Tabela 1 é apresentado o efeito da idade da árvore na relação cerne/albarno (C/A) da madeira de eucalipto observado por diferentes autores.

Tabela 1 - Efeito da idade da árvore na relação cerne/albarno (C/A) da madeira de eucalipto (continua)

Espécie	Idade (anos)	Relação C/A
	2	0,60
<i>E. grandis</i>	4	1,15 – 1,61
	6	1,66 – 1,79
		(1)
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	2	0,17 – 0,32
	4	0,84 – 0,96
	6	0,96 – 1,50
<i>E. urophylla</i>	6	0,80 – 1,10
	8	1,20 – 1,40
		(2)

Tabela 1 - Efeito da idade da árvore na relação cerne/alburno (C/A) da madeira de eucalipto (conclusão)

Espécie	Idade (anos)	Relação C/A	
<i>E. grandis</i>	10	2,55 – 2,67	(3)
	14	2,16 – 2,19	
	20	2,53 – 2,83	
	25	3,15 – 3,58	

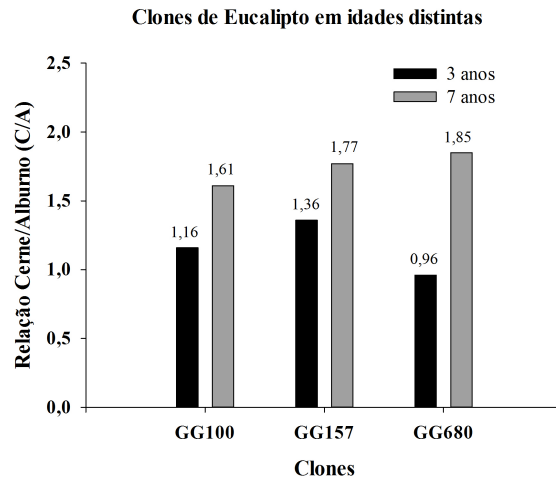
Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Cherelli (2015); (2) Evangelista (2007); (3) Silva (2002).

Nota-se que, independentemente das idades em comparação, a relação C/A aumenta com a idade da árvore. No entanto, para alguns materiais genéticos, essa relação tende a ser maior, evidenciando-se a herdabilidade dessa característica, além de sua reatividade aos tratamentos silviculturais.

Os estudos desta variável (C/A) também devem ser repassados aos programas de melhoramento florestal das empresas, pois o conhecimento da herdabilidade possibilita ao melhorista particionar o fenótipo em fração de origem genética e fração meramente de influência ambiental (FALCONER; MACKAY, 1996) e, assim, recorrer às melhores estratégias para obter sucesso na seleção direta de um material genético com relação cerne/alburno adequada a cada uso.

Conforme pode ser observado na Figura 6, clones expressam relações C/A distintas tanto entre si quanto em função do aumento da idade. Neste contexto, atenta-se para o fato de as proporções de cerne e de alburno também passarem por alterações dentro da própria espécie em função de idade, sítio, solo e clima (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980).

Figura 6 - Relação cerne/alburno da madeira em função de idade e clone (GG100 e GG157 = clones de *Eucalyptus urophylla*; GG680 = clone de *E. urophylla* x *E. grandis*)

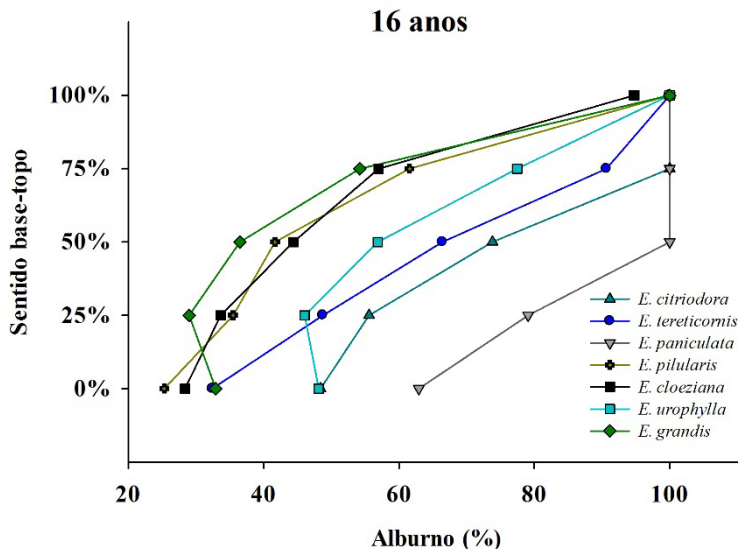


Fonte: Elaboração dos autores com base em Castro (2011).

Variações de cerne e de alburno no sentido base-topo da árvore

A variação da porcentagem de cerne ao longo do tronco do eucalipto é inversa à de alburno, ou seja, o cerne tende a diminuir da base até o topo da árvore. O decréscimo da relação cerne/alburno no sentido base-topo da árvore se deve também à participação das camadas recém-formadas na proporção total de madeira, que aumenta gradativamente da base para o topo do caule, devido à maior proporção de madeira juvenil nas posições mais altas da árvore. Vale a pena mencionar que esse resultado é comum para as principais espécies de eucalipto, independentemente da idade (OLIVEIRA *et al.*, 1999; GONÇALVES, 2006; EVANGELISTA, 2007; SÃO TEAGO, 2012; BARBOSA, 2013). A Figura 7 ilustra o aumento da proporção do alburno no sentido da base para o topo em sete espécies diferentes de eucalipto.

Figura 7 - Variação da porcentagem de alburno no sentido base-topo de espécies do gênero *Eucalyptus*

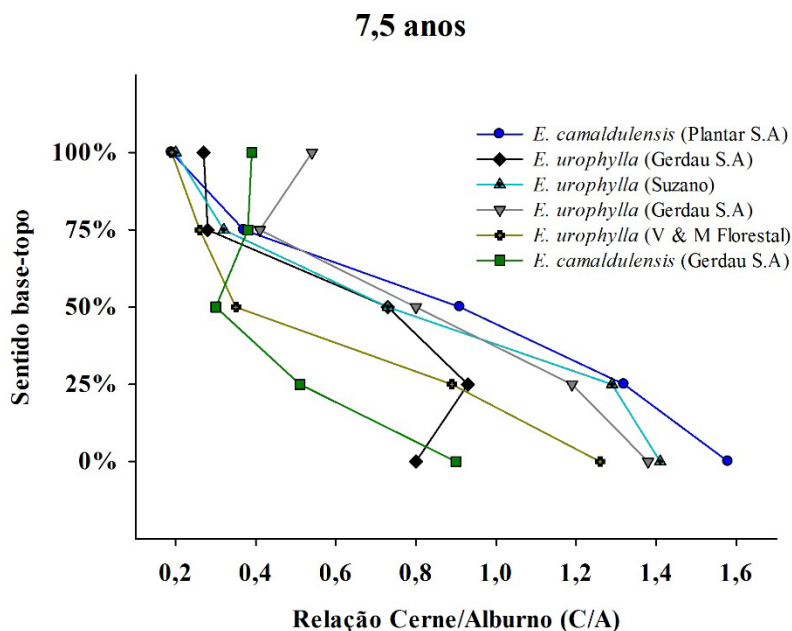


Fonte: Elaboração dos autores com base em Oliveira e outros (1999).

O aumento do teor de alburno no sentido da base ao topo do fuste foi encontrado para o híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* aos 77 e aos 166 meses. Nesse caso, a largura do alburno em centímetros foi a mesma em todas as posições estudadas, com exceção apenas da posição da base na idade de 166 meses (GONÇALVES, 2006).

Observou-se decréscimo da relação cerne e alburno no sentido base-topo em diferentes espécies de *Eucalyptus* (Figura 8). Esse decréscimo se deve às camadas recém-formadas pelo meristema apical, que aumentam a quantidade de lenho juvenil em relação ao adulto nas posições mais altas do fuste. E, como o desenvolvimento do cerne acompanha o avanço da idade da árvore, sua proporção é maior onde o lenho é mais velho, conseqüentemente na base da árvore (SANTOS; GARCIA; GERALDI, 2004; PEREIRA *et al.*, 2013).

Figura 8 - Relação cerne e alburno no sentido base-topo da árvore



Fonte: Elaboração dos autores com base em Pereira e outros (2013).

A relação cerne/alburno apresenta uma ligeira tendência em ser maior em clones de maiores produtividades volumétricas (IMA) e maiores diâmetros à altura do peito (DAP) (TEIXEIRA, 2015). Na Tabela 2 pode ser observada a relação C/A para diferentes clones comerciais de eucalipto.

Tabela 2 - Relação cerne/alburno (C/A) para madeira dos diferentes clones de *Eucalyptus* sp.

Clone	IMA (9 anos)	Sentido base-topo				
		0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
57	43,11	2,18 Ab	1,71 ABb	1,12 Ba	0,27 Ca	0,00 Ca
1213	50,37	1,86 Ab	1,47 ABb	1,18 BCa	0,60 CDa	0,00 Da
3335	60,53	2,07 Ab	1,89 ABb	1,33 BCa	0,81 Ca	0,00 Da
3336	70,23	3,34 Aa	2,63 Ba	1,56 Ca	0,96 Ca	0,00 Da
3487	77,52	2,10 Ab	1,74 ABb	1,30 BCa	0,68 Ca	0,00 Da
GG100	64,48	2,39 Ab	1,30 Bb	1,05 BCa	0,45 CDa	0,00 Da

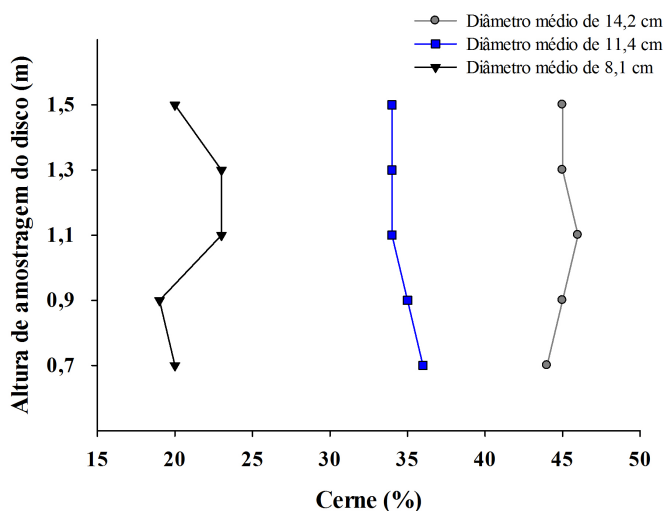
Fonte: Elaboração dos autores com base em Teixeira (2015).

Nota: Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas entre alturas e minúsculas entre clones não diferem entre si a 5 % de significância pelo teste de Tukey.

Variação dos percentuais de cerne e de alburno em relação ao diâmetro da árvore de eucalipto

Ocorre a ampliação da área da madeira constituída por cerne conforme o incremento do diâmetro das árvores (SANTOS; GARCIA; GERALDI, 2004). Essa afirmação foi comprovada por Arantes (2009), ao utilizar um clone de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6 anos de idade, do qual avaliou o percentual de madeira de cerne em diferentes alturas do tronco (Figura 9).

Figura 9 - Proporção de cerne na madeira do clone de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6 anos de idade com diferentes diâmetros

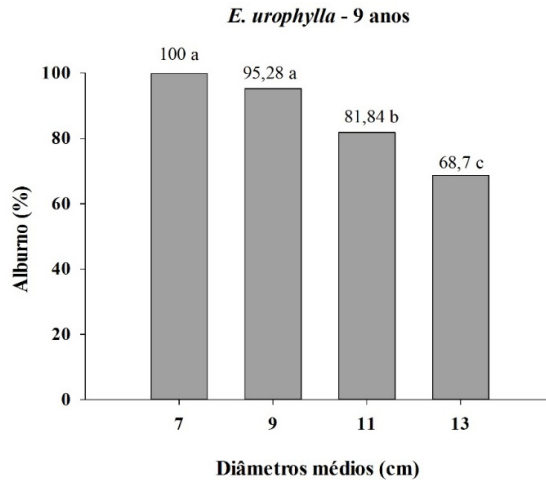


Fonte: Elaboração dos autores com base em Arantes (2009).

As árvores com diâmetro médio de 14,2 cm apresentaram maior porcentagem de cerne que as demais, uma vez que no diâmetro de 8,1 cm a média foi de 22 % de cerne, o que representa menos da metade do observado para a classe de maior diâmetro. Ao analisar a variação da proporção de cerne em relação aos diâmetros médios, nota-se que ela tende a aumentar juntamente com o incremento do diâmetro da árvore.

O percentual de alburno da madeira de *E. urophylla* aos 9 anos em diferentes classes de diâmetros apresentou redução de até 31 % com o incremento de seis centímetros no diâmetro da tora, como pode ser visualizado na Figura 10 (AMARAL, 2012).

Figura 10 - Percentual de albarno em diferentes classes de diâmetros médios de *E. urophylla* aos 9 anos



Fonte: Elaboração dos autores com base em Amaral (2012).

Nota: Médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5 % de significância.

As práticas silviculturais, como espaçamento de plantio, fertilização e irrigação, que favorecem o desenvolvimento em diâmetro das árvores podem contribuir para aumentar a relação C/A. Árvores de clones de *E. grandis* e do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 4 anos de idade demonstraram esse comportamento quando cultivadas em variação de espaçamento de plantio. O percentual de cerne aumentou para estes clones, respectivamente, 44,7 % e 58,3 % do espaçamento 3x1 para o 3x4 m (BRITO, 2017).

O efeito de podas intensivas também pode ser determinante nas produções de cerne e de albarno em árvores. Há relação entre folhagem e área de albarno, em que uma unidade de área foliar requer uma unidade correspondente de albarno para suporte. Essa relação tem como respaldo a teoria "Pipe Model" (SHINOZAKI *et al.*, 1964; MORA-TAYA *et al.*, 1999). Viquez e Pérez (2005) confirmaram que a redução significativa da área foliar de árvores por podas intensivas aumenta o volume de cerne e que árvores sem podas produzem grande volume de albarno.

Forte correlação entre o diâmetro e a área de cerne foi encontrada em árvores de *E. globulus* aos 18 anos submetidas a fertilização e irrigação, devido ao maior crescimento promovido pelas condições favoráveis de desenvolvimento (MIRANDA *et al.*, 2006). O conteúdo de cerne pode ter relação positiva com altura e diâmetro da árvore, ou seja, o percentual do cerne será maior em árvores de maiores altura e diâmetro.

Desta forma, verifica-se que o espaçamento como fator isolado não possui estreita relação com o percentual de cerne. Ele deve correlacionar-se com outros fatores que proporcionarão crescimento radial e, por consequência, aumentarão o conteúdo de cerne e a relação C/A.

Em situação conjunta de práticas silviculturais, a porcentagem do cerne foi geralmente maior no crescimento mais rápido, quando houve combinação de fertilização, controle de matocompetição e aplicação de herbicidas (WILKINS, 1991). Todavia, sob as mesmas condições, houve o aumento da área de alburno em decorrência do crescimento em diâmetro.

Efeito das condições de crescimento das árvores na relação C/A

O desenvolvimento do cerne, bem como a relação cerne/alburno, pode alterar-se em função das condições ambientais. Em árvores de eucalipto, até o momento, os estudos da relação C/A em função do ambiente são incipientes e algumas vezes inconsistentes, ou seja, ora se observa um efeito direto, ora não se encontram evidências. Árvores de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6,5 anos foram avaliadas em localidades dos estados do Espírito Santo e da Bahia, e constatou-se que os percentuais de cerne e de alburno não variaram com a influência do local de crescimento da árvore (FREITAS, 2015), o que é corroborado por Cherelli (2015), que relatou que o sítio de desenvolvimento não influenciou na formação de cerne em árvores jovens de eucalipto.

Em algumas espécies, o cerne pode aparecer nos ramos e nas raízes, bem como em resposta a um dano incidente sobre a árvore, designando-se nesse caso como cerne patológico (HILLIS, 1987).

Na busca de informações sobre a influência do local de crescimento na relação C/A, os autores deste capítulo desenvolveram estudos em árvores jovens. Todavia, cabe aqui demonstrar os resultados obtidos.

Em árvores de *E. urophylla* com 3 anos de idade que foram atacadas por *Leptocybe invasa* (inseto que provoca galhas em espécies e híbridos comerciais de eucalipto), cultivadas nos municípios de Darcinópolis/TO e Imperatriz/MA, verificou-se a maior formação de cerne para a madeira proveniente de Darcinópolis (Tabela 3), evidenciando-se o efeito do sítio na formação do cerne.

Tabela 3 - Valores médios dos volumes de alburno e de cerne, percentual de cerne e relação cerne e alburno (C/A) em clones de *E. urophylla* e *E. tereticornis* aos 3 anos, atacados por *Leptocybe invasa*

Espécie	Idade (anos)	Município	Alburno (m ³)	Cerne (m ³)	Cerne (%)	C/A
<i>E. urophylla</i>	3	Imperatriz/MA	0,0233 a*	0,0196 a	45,9 a	0,88 a
		Darcinópolis/TO	0,0201 a	0,0191 a	50,5 a	1,07 a
<i>E. tereticornis</i>	3	Imperatriz/MA	0,0153 a	0,0192 a	55,6 a	1,29 b
		Darcinópolis/TO	0,0066 a	0,0119 a	64,2 a	2,04 a

Fonte: Elaboração dos autores (dados não publicados).

* O percentual de cerne foi calculado com base no volume total sem casca.

Nota: Letras minúsculas diferentes em cada coluna, dentro de cada espécie, diferem entre si a 5 % de significância pelo teste Tukey.

Para a espécie de *E. tereticornis*, com mesma idade e iguais condições de crescimento de *E. urophylla*, também houve maior porcentagem de cerne nas árvores do município de Darcinópolis (TO). O desenvolvimento destas árvores no município de Darcinópolis (TO) foi inferior, o que comprometeu a geração de novas células que iriam compor o alburno e agregar-lhe volume; em contrapartida, parte do alburno já presente nas árvores passou pelo processo de cernificação, o que acarretou maior relação C/A.

Outros trabalhos mostram a resposta de ambientes de crescimento na relação C/A em *E. urophylla*. Locais com altitudes de mais de cem metros, menores precipitações e solo classificado como Cambissolo favoreceram o aumento da relação C/A, correspondente em média a 1,82. Esse resultado deve-se provavelmente à interação das condições ambientais (MORAIS; PEREIRA, 2012).

A ocorrência dos ventos bem como o ângulo de inclinação do tronco não influenciaram na relação cerne e alburno. Essa afirmação foi encontrada para quatro faixas de inclinação (variação de 0° a 50°, em ângulos de 15°) do fuste de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6 anos (BOSCHETTI *et al.*, 2015).

Todavia, há casos em que os fatores ambientais favorecem o aparecimento de anomalias e comprometem o desenvolvimento da cultura de eucalipto. Os chamados distúrbios abióticos, algumas vezes relatados como distúrbios fisiológicos, têm causas adversas e podem influenciar na produção e na qualidade do lenho formado.

A exemplo, tem-se o trabalho dos autores deste capítulo em árvores de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 7 anos de idade, cultivadas no estado do Maranhão. Elas apresentaram, aos 4 anos, sintomas de distúrbios fisiológicos e foram estudadas de acordo com a severidade destes. As plantas com menor nível de severidade (Nível I) tiveram o menor desenvolvimento, proporcionalmente menor formação do cerne e, em decorrência disso, a redução da relação C/A (Tabela 4).

Tabela 4 - Volumes de albarno e de cerne, percentual de cerne e relação cerne/albarno (C/A), em clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 7 anos, com sintomas de distúrbios fisiológicos

Distúrbio fisiológico	Albarno (m³)	Cerne (m³)	Cerne (%)	C/A
Nível I: sintomas brandos em árvores com lesão superficial deprimida, trincamento e ligeiro descolamento da casca no tronco e nos galhos, em área do município de Vila Nova dos Martírios, com precipitação de 1.400 a 1.650 mm e altitude de 240 m.	0,0396 b	0,0279 b	38,0 a	0,64 a
Nível II: sintomas intermediários do distúrbio, como queima do terço basal da copa, trincamento da casca e intumescimento em pontos específicos do caule ou dos ramos, em árvores localizadas em Imperatriz, com precipitação de 1.500 a 1.700 mm e altitude de 190 m.	0,0832 a	0,0634 a	43,3 a	0,77 a
Nível III: sintomas severos, com ocorrência de seca de ponteiros, perda de dominância apical, superbrotação, formação de casca e edemas foliares em árvores localizadas em Vila Nova dos Martírios, com precipitação de 1.600 a 1.800 mm e altitude de 155 m.	0,0874 a	0,0656 a	42,9 a	0,75 a

Fonte: Elaboração dos autores (dados não publicados).

Nota: Mesmas letras minúsculas em cada coluna não diferem entre si a 5 % de significância pelo teste Tukey. Para realização da relação C/A, utilizou-se os diâmetros médios dos discos das árvores.

Diferentemente dos resultados visualizados na Tabela 4, houve menor relação C/A no híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 57 meses plantado em locais com menor grau de estresse (RODRIGUES, 2013). Neste mesmo ambiente houve maior desenvolvimento das árvores, o que pode ocasionar a maior formação do cerne (GOMINHO; PEREIRA, 2007), porém somente isso não implica que a relação C/A será aumentada, pois o incremento em albarno durante o crescimento da árvore pode superar o processo de cernificação.

Influência do ataque de insetos desfolhadores em eucalipto na relação cerne e alburno

Fatores bióticos, como o ataque de pragas, podem interferir na qualidade da madeira de forma direta, por exemplo, com a presença de lesões no lenho resultantes da construção de galerias, ou de forma indireta, provocando a má formação do fuste. Ainda que algumas pragas ataquem somente as folhas, elas acarretam perdas no crescimento e na qualidade, debilitando a árvore e, conseqüentemente, favorecendo a entrada de outros organismos (PEÑA; MARTÍNEZ-ROJAS; PLAGARO, 2011).

Uma vez atacadas por insetos, as árvores tendem a alterar o metabolismo e podem retardar alguns processos importantes a fim de investir a “energia” em defesa. Nestes casos de ataque de pragas desfolhadoras, há alteração na proporção de cerne anos após a desfolha (KYTOË *et al.*, 1999).

Conforme já mencionado, o alburno é formado por células vivas com função de armazenar água e materiais de reserva, no entanto essas células, em resposta a algumas injúrias, podem produzir tecidos e compostos defensivos, que requerem elevada quantidade de energia. Com o avanço da injúria, e para minimizar o gasto de energia na produção de novas células, o excesso de alburno produzido é convertido em cerne (TAYLOR; GARTNER; MORELL, 2002). Essa teoria de maior produção de alburno em resposta à injúria foi verificada pelos autores deste capítulo, em avaliação das proporções de alburno e de cerne em árvores atacadas por *Gonipterus* sp., para as quais se obteve a relação C/A de 2:1.

Esse fato também pôde ser observado pelos mesmos autores para árvores de *E. grandis* x *E. urophylla* com idade de 5 anos, atacadas por insetos desfolhadores em Lençóis Paulista/SP. Foi verificado que não houve investimento de energia em cernificação e tal energia pode ter sido utilizada para aumentar o volume de alburno (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores médios dos volumes de alburno e de cerne, percentual de cerne e a relação cerne/alburno de clones de *E. grandis* x *E. urophylla* atacados por insetos desfolhadores

Fator biótico	Idade (anos)	Descrição	Alburno (m ³)	Cerne (m ³)	Cerne (%)	C/A
<i>G. platensis</i>	5	Sadio	0,0478 a	0,0460 a	47,78 a	0,94 a
		Atacado	0,0505 a	0,0260 a	35,59 b	0,56 b
<i>T. arnobia</i>	5	Sadio	0,0825 a	0,0572 a	41,7 a	0,73 a
		Atacado	0,0779 a	0,0437 a	36,6 b	0,58 b

Fonte: Elaboração dos autores (dados não publicados).

Nota: Mesmas letras minúsculas em cada coluna por fator biótico não diferem entre si a 5 % de significância pelo teste Tukey.

De acordo com os autores deste capítulo, o ataque das pragas desfolhadoras *Gonipterus* sp. e *Thyrinteina arnobia* em plantações de *E. grandis* x *E. urophylla* influenciou o percentual de cerne das árvores atacadas em comparação às amostras sadias, sendo a redução de cerne de 25 % para *Gonipterus* sp. e 12 % para *Thyrinteina arnobia*.

O ataque de pragas desfolhadoras, apesar de comprometer a área foliar das árvores, não influenciou no volume de alburno produzido, o que contradiz a teoria de proporcionalidade entre a área foliar e o alburno (SHINOZAKI *et al.*, 1964). Todavia, essa relação realmente não acontece de forma direta, uma vez que a desativação do alburno só ocorre após a morte do ramo, e não como consequência da diminuição da área foliar, o que explica a diferença entre o aumento de alburno e o aumento da biomassa (NIKINMAA, 1992 apud LOURENÇO, 2008).

Considerações finais

Ao passo que ocorrem as evoluções tecnológicas, há a necessidade de melhor compreender os processos de formação da madeira, bem como a influência de fatores inerentes ao ambiente, para a geração de produtos de qualidade satisfatória. Todavia, por se tratar de material biológico e heterogêneo, a madeira, principalmente em regiões tropicais, requer estudo contínuo e aprofundado.

Ultimamente, as proporções de cerne e de alburno, relatadas *a priori* em trabalhos de cunho científico, têm sido alvo de estudo dos setores produtivos, principalmente ligados ao setor energético, porque se percebe a capacidade de manipular a quantidade e a qualidade do cerne formado em árvores por meio dos programas de melhoramento genético, já que os tratamentos silviculturais que proporcionam maior crescimento da árvore de eucalipto também poderão ocasionar maior quantidade de cerne.

Um dos fatos que confirmam essa afirmativa é que as árvores de crescimento mais rápido, oriundas de sítios de melhor qualidade, possuem maior relação cerne/alburno em idade mais precoce se comparadas às árvores de mesma idade em sítios menos produtivos. Contudo, essa questão não está totalmente elucidada.

As diferentes respostas e proporções da relação C/A encontradas em eucalipto em função da posição base-topo do tronco, da idade, das condições ambientais, da incidência de pragas, do diâmetro da árvore, entre outros fatores, ressaltam a importância de melhor analisar essa “característica”, visto que os estudos focam em quantificação e não em formação destas duas regiões. Contudo, algumas considerações, mediante este capítulo, podem ser feitas:

- O teor de alburno da madeira de eucalipto aumenta no sentido da base ao topo do tronco, devido à maior porcentagem de células recém-formadas.
- As árvores de eucalipto com maior idade apresentam maior área de cerne e conseqüentemente maiores relações cerne/alburno, quando comparadas a árvores de menor idade.
- Fatores como qualidade do sítio e condições de crescimento, bem como a origem genética, influenciam o crescimento das árvores e o desenvolvimento do cerne e devem ser motivo de atenção em programas de melhoramento.

Referências

AMARAL, L. S. **Penetração e retenção do preservante em *Eucalyptus* com diferentes diâmetros.** 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

ARANTES, M. D. C. **Variação nas características da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.** 2009. 149 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

BAMBER, R. K. **Sapwood and heartwood.** Beecroft: Wood Technology and Forest Research Division, 1987. 7 p. (Technical Publication, n. 2)

BARBOSA, T. L. **Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* cultivados em cinco regiões do estado de Minas Gerais para produção de celulose.** 2013. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

BOSCHETTI, W. T. N. *et al.* **Parâmetros dendrométricos e excentricidade da medula em árvores inclinadas de eucalipto.** *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 781-789, 2015.

BRITO, A. S. **Efeito do espaçamento de plantio nas propriedades da madeira em árvores jovens de eucalipto.** 2017. 44 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2017.

BROWNING, B. L. **The chemistry of wood.** New York: John Wiley, 1963. 689 p.

CARNEIRO, M. F. **Qualidade da madeira de clones de eucalipto utilizados na produção de celulose.** 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2017.

CASTRO, A. F. N. M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal.** 2011. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

CASTRO, V. R. **Efeitos do potássio, sódio e da disponibilidade hídrica no crescimento e qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.** 2014. 141 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

CHERELLI, S. G. **Cerne e albarno em eucaliptos: influência da espécie e da idade nas propriedades tecnológicas.** 2015. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2015.

COMMITTEE ON NOMENCLATURE. International Association of Wood Anatomists (IAWA). **Multilingual glossary of terms used in wood anatomy.** Winterthur: Verlagsanstalt Buchdruckerei Konkordia, 1964. 185 p.

COSTA, C. G. *et al.* Xilema. *In:* APPEZZATO-DA-GLORIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (org.). **Anatomia vegetal.** Viçosa, MG: UFV, 2003. p. 129-154.

EVANGELISTA, W. V. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, oriunda de consórcio agrossilvipastoril.** 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics.** 4. ed. Edinburgh: Longman Group Limited, 1996. 464 p.

FREITAS, T. P. **Avaliação do crescimento e da qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em dois ambientes para produção de celulose.** 2015. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2015.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111 p.

GOMINHO, J. *et al.* Within-tree variation of heartwood, extractives and wood density in the eucalypt hybrid urograndis (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*). **Wood and Fiber Science**, United States, v. 33, n. 1, p. 3-8, 2007.

GOMINHO, J.; KNAPIC, S.; PEREIRA, H. Cerne e borne: factores de variação da qualidade tecnológica das árvores. *In*: CONGRESSO FLORESTAL NACIONAL, 5., 2005, Viseu. **Congresso Florestal Nacional: a floresta e as gentes: actas das comunicações**. Lisboa: SPCF, 2005. (Comunicações em Conferências).

GOMINHO, J.; PEREIRA, H. The influence of tree spacing in heartwood content in *Eucalyptus globulus* Labill. **Wood and Fiber Science**, United States, v. 37, n. 4, p. 582-590, 2007.

GONÇALVES, F. G. **Avaliação da qualidade da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* para produtos sólidos**. 2006. 154 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

HILLIS, W. E. Distribution, properties and formation of some wood extractives. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 5, n. 4, p. 272-289, 1971.

HILLIS, W. E. **Heartwood and tree exudates**. Berlin: Springer-Verlag, 1987. 268 p. (Springer Series in Wood Science, 4).

KNAPIC, S.; PEREIRA, H. Within-tree variation of heartwood and ring width in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v. 210, n. 1, p. 81-89, 2005.

KYTOË, M. *et al.* Effects of forest fertilization on the radial growth and resin exudation of insect-defoliated Scots pines. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 36, p. 763-769, 1999.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996. 301 p.

LOPES, D. J. V. *et al.* Metodologias para determinação de cerne e alburno. *In*: CONGRESSO FLORESTAL NO CERRADO & III SIMPÓSIO SOBRE EUCALIPTOCULTURA, 2013, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: UFG, 2013. v. 1, p. 442-443.

LOURENÇO, A. C. S. **The influence of *Eucalyptus globulus* heartwood in pulp production**. 2008. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal e Recursos Florestais) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

MIRANDA, I. *et al.* The influence of irrigation and fertilization on heartwood and sapwood contents in 18-year-old *Eucalyptus globulus* trees. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 36, n. 10, p. 2675-2683, 2006.

MORAIS, M. S. M.; PEREIRA, H. Variation of extractives content in heartwood and sapwood of *Eucalyptus globulus* trees. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 46, n. 4, p. 709-719, 2012.

MORATAYA, R. Foliage biomass-sapwood (area and volume) relationships of *Tectona grandis* L. F. and *Gmelina arborea* Roxb.: silvicultural implications. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v. 113, n. 2, p. 231-239, 1999.

MOYA, R.; BOND, B.; QUESADA, H. A review of heartwood properties of *Tectona grandis* trees from fast-growth plantations. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 48, n. 2, p. 411-433, 2014.

MOYA, R.; MUÑOZ, F. Physical and mechanical properties of eight fast-growing plantation species in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science*, [Malásia], v. 22, n. 3, p. 317-328, 2010.

NOBUCHI, T.; JANMAHASATIEN, S.; SAKAI, M. Seasonal changes of wood formation and some characteristics of heartwood formation in teak (*Tectona grandis* L.) plantation. *Kasetsart Journal (Natural Sciences)*, [Tailândia], v. 30, p. 254-263, 1996.

OLIVEIRA, J. T. S. *et al.* Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: avaliações dendrométricas das árvores. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 56, p. 113-124, 1999.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. *Textbook of wood technology*. 4. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1980. 722 p.

PEÑA, S. V.; MARTÍNEZ-ROJAS, I.; PLAGARO, A. V. La silvicultura como primera operación de transformación de la madera. *Ciencia Forestal en México*, Distrito Federal, México, v. 2, n. 4, p. 7-14, 2011.

PEREIRA, B. L. C. *et al.* Correlações entre a relação cerne/alburno da madeira de eucalipto, rendimento e propriedades do carvão vegetal. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 217-225, 2013.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. *Biologia vegetal*. 5. ed. Rio Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 738 p.

RODRIGUES, B. P. *Qualidade do lenho de árvores de clone de Eucalyptus grandis x E. urophylla sob estresse abiótico e o impacto na produção de celulose*. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

SACCO, M. P. R.; FERREIRA, C. S. R.; SANSÍGOLO, C. A. Efeito do cerne e alburno na produção de celulose Kraft em cavacos de *Eucalyptus grandis*. In: REUNIÃO CIENTÍFICA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO LAGEADO, 9., 2002, Botucatu. Anais [...]. Botucatu: Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, 2002.

SANTOS, P. E. T.; GARCIA, J. N.; GERALDI, I. O. Posição da tora na árvore e sua relação com a qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 66, p. 142-151, 2004.

SÃO TEAGO, G. B. **Qualidade das madeiras de acácia e eucalipto provenientes de cultivo misto visando a produção de celulose**. 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012.

SHINOZAKI, K. *et al.* A quantitative analysis of plant form: the pipe model theory I: basic analyses. *Japanese Journal of Ecology*, [Japão], v. 14, n. 3, p. 97-105, 1964.

SIAU, J. F. **Flow in wood**. Syracuse: Syracuse University Press, 1971. 131 p.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

TAYLOR, A. M.; GARTNER, B. L.; MORELL, J. J. Heartwood formation and natural durability: a review. *Wood and Fiber Science*, United States, v. 34, n. 4, p. 587-611, 2002.

TEIXEIRA, R. U. **Efeito da produtividade florestal e permeabilidade da madeira de *Eucalyptus* spp. na velocidade de secagem**. 2015. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. *Cerne*, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

VÍQUEZ, E.; PÉREZ, D. Effect of pruning on tree growth, yield, and wood properties of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Silva Fennica*, [Finlândia], v. 39, n. 3, p. 381-390, 2005.

WILKINS, A. P. Sapwood, heartwood and bark thickness of silviculturally treated *Eucalyptus grandis*. *Wood Science and Technology*, Berlin, v. 25, n. 6, p. 415-423, 1991.

Capítulo 4

Influência da idade nas propriedades da madeira de eucalipto

Alice Soares Brito

João Gabriel Missia da Silva

Graziela Baptista Vidaurre

Paulo Fernando Trugilho



A idade da árvore para a utilização da madeira

São vários os fatores influenciadores das propriedades da madeira, entre eles: a idade, o material genético, a procedência, as condições ambientais, os tratamentos silviculturais, os locais de plantio e o controle de pragas e doenças (SILVA, 2002). Portanto, a dinâmica e a condução da floresta, bem como a interação entre elas, interferem de forma decisiva na qualidade da madeira.

Neste capítulo, será abordado o efeito da idade das árvores sobre as propriedades físicas, anatômicas, químicas e energéticas da madeira, visto que esse é um fator que modifica consideravelmente as propriedades do material de origem, em função das alterações marcantes que ocorrem na madeira ao longo dos anos, até atingir sua maturidade (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996; CASTRO, 2011; CARNEIRO *et al.*, 2014).

O crescimento das árvores ocorre mediante sucessivas divisões celulares nos meristemas apical e cambial. O meristema apical, ou primário, tem a função primordial do crescimento em altura, enquanto o câmbio, ou meristema secundário, responde pelo crescimento em diâmetro da árvore. O câmbio está localizado entre o lenho e a casca e consiste em dois sistemas de células que se interpenetram, as iniciais fusiformes (eixo longitudinal) e as iniciais radiais (eixo transversal) (THOMAS, 1991). À medida que os anos avançam e o crescimento das árvores progride, modificações ocorrem na porcentagem de madeira juvenil presente no lenho, o que interfere incontestável e diretamente nas propriedades da madeira (ZOBEL; VAN BUIJTENEN, 1989).

De maneira geral, as empresas de base florestal estipulam uma idade de corte com base na produtividade volumétrica do povoamento, desconsiderando a variação da qualidade da madeira que ocorre também em função da idade da floresta (CARNEIRO *et al.*, 2014). Portanto, vale ressaltar que o conhecimento aprofundado sobre o efeito da idade nas propriedades da madeira de eucalipto torna possível determinar a época ideal de corte, com base nas características e na qualidade desejada para o uso ao qual será destinada a madeira colhida.

Fatores relevantes no estudo da influência da idade nas propriedades da madeira

Pesquisar o efeito da idade nas propriedades da madeira é uma experiência desafiadora. O desafio começa em campo, na condução das parcelas experimentais. Ressalta-se a importância de manter os mesmos critérios, protocolos e metodologias no que diz respeito tanto ao manejo em campo quanto às análises das amostras de madeira nas diferentes idades. Os critérios de seleção das árvores em campo, a coleta desses indivíduos e a identificação das amostras são pontos relevantes para esse tipo de estudo. Algumas questões devem ser consideradas: a mesma equipe conduziu as avaliações durante todos os anos? Os critérios de condução das árvores em campo foram modificados? A amostragem das árvores foi igual? A evolução dos dados de altura e diâmetro das árvores é plausível entre as idades?

O planejamento a longo prazo é imprescindível no estudo da influência da idade nas propriedades da madeira. Na maioria dos casos, são as empresas privadas que detêm as parcelas experimentais e que fornecem o material para pesquisa. Porém, muitas vezes, as prioridades das empresas são alteradas, o que interfere na alocação de recursos para manutenção dos experimentos e conseqüentemente na disponibilidade de amostras para as análises, o que pode alterar o objetivo final da pesquisa.

Desta forma, o ideal é iniciar o estudo e as análises do material apenas quando as amostras de todas as idades estiverem coletadas e disponíveis e utilizar sempre a mesma forma de amostragem. As tensões de crescimento e de secagem da madeira de eucalipto podem provocar rachaduras e outros defeitos nas amostras, e isso tem que ser considerado na definição da melhor forma de estocagem do material.

Outro desafio é a reduzida quantidade de informações disponíveis a respeito das mudanças nas propriedades da madeira de eucalipto de idade mais avançada plantado no Brasil, uma vez que o melhoramento genético das espécies está focado nos setores de celulose e carvão vegetal, que utilizam a madeira oriunda de plantações de curta rotação. O setor de madeira serrada, que emprega madeira de eucalipto para produtos sólidos, é carente de pesquisas, o que dificulta a disponibilidade de informações da influência da idade nas propriedades da madeira de eucalipto em idades superiores a 10 anos.

Influência da idade da árvore na densidade básica da madeira de eucalipto

A densidade básica, resultante da interação entre características anatômicas e propriedades químicas da madeira, é uma propriedade física frequentemente estudada (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; BARBOSA, 2013), por ter efeito direto sobre o desempenho operacional e financeiro de produção fabril e sobre o consumo específico de madeira, por responder às práticas de manejo, tratamentos silviculturais e condições ambientais e por correlacionar-se com outras propriedades da madeira (PÁDUA, 2009; BATISTA; KLITZKE; SANTOS, 2010; COUTO *et al.*, 2012; FOELKEL, 2015).

A densidade da madeira apresenta incremento quantitativo ao longo dos anos. Tal propriedade é influenciada pelo número e tamanho de células diversas, pela espessura da parede celular, bem como pela quantidade de extrativos presentes na madeira. O progredir dos anos traz como consequência à madeira o aumento do comprimento e da espessura da parede das fibras, além do acúmulo de substâncias extratáveis no lume e nas paredes celulares, o que contribui para o incremento nos valores de densidade da madeira de eucalipto (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; ZOBEL; VAN BUIJTENEN, 1989).

Para uma melhor explicação e interpretação dos efeitos da idade na densidade básica da madeira de eucalipto, serão abordados nesta seção alguns exemplos de várias espécies e híbridos do gênero *Eucalyptus*, plantados em diversos locais do Brasil.

Um acréscimo de 50,1 % na densidade da madeira de *Eucalyptus saligna* entre as idades de 1 e 4 anos (Tabela 1) foi observado por Trugilho, Lima e Mendes (1996). Sette Junior e outros (2012) também verificaram um incremento na densidade da madeira de *E. grandis* entre as idades de 2 e 6 anos equivalente a aproximadamente 7 % (Tabela 1). Para efeito de comparação de valores entre os dois estudos mencionados, vale lembrar que os valores de densidade também variam entre as espécies. Nesse caso, a densidade da madeira de *E. grandis* apresentou acréscimo menos expressivo com a idade quando comparada a de *E. saligna*.

Tabela 1 - Influência da idade da árvore na densidade básica (g cm^{-3}) da madeira de eucalipto

Espécie ou clone	Localidade	Idade (meses)																
		6	12	24	34	36	48	55	60	61	67	72	74	77	84	85		
<i>E. saligna</i>	Bom	← +50,1% →														(1)		
	Despacho/ MG	0,345 → 0,436		0,500 → 0,518														
GG100	Bom Sucesso/ MG	0,365 → 0,423 +15,9%														(2)		
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	São Bento Abade/ MG	0,438 → 0,450 +2,7%																
<i>E. grandis</i>	Itatinga/ SP	← +7,0% →														(3)		
		0,430 → 0,440		0,440 → 0,460														
GG100	Montes Claros/ MG	← +5,3% →														(4)		
	<i>E. urophylla</i>																	
3334	Bom	0,427 → 0,466 +9,1%														(5)		
	Jardim de Minas/ MG	0,487 → 0,454 -6,8%																
<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	Itamarandiba/ MG	← +5,9% →														(6)		
		0,510 → 0,520		0,520 → 0,530		0,530 → 0,540												
Clone A	Aracruz/ ES	0,374 → 0,378 +2,1%														(7)		
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>		0,352 → 0,350 -0,57%																
Clone B																		
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>																		

Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Trugilho, Lima e Mendes (1996); (2) Santana (2009); (3) Sette Junior e outros (2012); (4) Meneses (2013); (5) Neves e outros (2013); (6) Rocha e outros (2015); (7) Moulin e outros (2017).

Ao determinar a densidade em função da idade (5, 6 e 7 anos) do clone GG100, um híbrido natural de *E. urophylla*, implantado na cidade de Montes Claros/MG, Menezes (2013) constatou incremento de 7 % do quinto para o sexto ano e redução de 1,5 % do sexto para o sétimo ano. Já em João Pinheiro/MG, o autor avaliou um clone igual, aos 4, 5 e 6 anos de idade, e observou acréscimo de 8 % na densidade do quarto para o sexto ano (Tabela 1). Logo, a densidade básica desse clone foi influenciada pela idade, capacidade produtiva do sítio e pela interação entre esses fatores. O local de melhor característica ambiental e conseqüentemente maior produtividade teve influência negativa na densidade.

Neves e outros (2013), ao estudarem a madeira de quatro clones de *Eucalyptus* spp. em duas idades (4 anos e 7 meses; 5 anos e 7 meses), verificaram que, no intervalo de tempo de um ano, a densidade da madeira de apenas dois clones diferiu estatisticamente com o aumento da idade. Os autores observaram incremento de 9,1 % (clone 3335) e redução de 6,8 % (clone 3334) nos valores dessa propriedade (Tabela 1).

Aumento significativo da densidade básica com o incremento da idade (3, 4, 5 e 7 anos) foi observado para a madeira dos clones GG100 e GG680 (*E. urophylla* x *E. grandis*) e GG157 (*E. urophylla*), provenientes de plantações comerciais, no município de Lassance/MG (CARNEIRO *et al.*, 2014). Contudo, somente aos 7 anos foram observados valores ideais de densidade para produção de carvão vegetal, o que demonstra o efeito da idade sobre a qualidade da madeira e, conseqüentemente, do produto produzido.

Aproximadamente 15,9 % de aumento no valor da densidade foi encontrado para o clone GG100 do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* (SANTANA, 2009). Esse foi o acréscimo de maior intensidade entre as localidades e idades avaliadas. O mesmo ocorreu em árvores de Bom Sucesso/MG, entre as idades de 2 anos e 10 meses e 4 anos (Tabela 1).

Não se observou estatisticamente efeito da idade (6 e 12 meses) na densidade básica da madeira de dois clones de *E. grandis* x *E. urophylla* implantados em área irrigada e não irrigada, em diferentes espaçamentos de plantio, no município de Aracruz/ES (Tabela 1) (MOULIN *et al.*, 2017). A não observância de alteração entre os valores pode ser em parte atribuída à reduzida idade de avaliação do material, bem como ao pequeno intervalo entre as idades estudadas.

Os valores de densidade da madeira do clone de *E. grandis* x *E. camaldulensis* diferiram estatisticamente apenas nos espaçamentos de plantio mais adensados (3x0,5 e

3x1 m) e na maior idade avaliada (7 anos e 1 mês). Ou seja, nesse trabalho, nos maiores espaçamentos de plantio (3x1,5, 3x2 e 3x3 m), a idade das árvores não influenciou a densidade da madeira. Este fato pode estar relacionado à maior competição por nutrientes e radiação solar entre as árvores nos menores espaçamentos, e, por elas estarem em uma idade mais avançada, possivelmente houve uma estagnação do crescimento que comprometeu o ganho em densidade (Tabela 1) (ROCHA *et al.*, 2015).

Percebe-se na Tabela 1 que, por uma série de fatores, como disponibilidade de material e períodos de avaliação, entre outros, não há uma consistência nas idades avaliadas pelos autores, o que dificulta traçar um paralelo do comportamento da densidade básica da madeira das diversas espécies, plantadas em locais diferentes, ao longo dos anos. A idade comum entre as literaturas abordadas nesta seção foi de 48 meses (4 anos), com exceção do estudo de Moulin e outros (2017), realizado em Aracruz/ES, que avaliou a densidade em árvores de 6 e 12 meses. Foi possível observar, portanto, o efeito na densidade básica da madeira de eucalipto em espécies plantadas em vários municípios mineiros.

É esperado que a densidade básica da madeira aumente com maior intensidade nas fases mais jovens do material genético, enquanto os menores incrementos serão alcançados em idades superiores aos 4 ou 5 anos, e tenda à estabilização em idades mais avançadas.

Influência da idade da árvore na morfologia das fibras e dos vasos da madeira de eucalipto

Em razão da associação dos elementos anatômicos a outras propriedades da madeira, o conhecimento da forma, da dimensão e da organização das células que compõem o lenho é fundamental na definição do uso específico do material (OLIVEIRA, 1997). Tratando-se da madeira de folhosas, este entendimento torna-se ainda mais básico, vistas a diversidade e a complexidade de sua estrutura.

Comprimento de fibras e espessura da parede celular

A maior porção do lenho é constituída por fibras, que são responsáveis pela rigidez e pela resistência da madeira. A morfologia desse elemento anatômico varia tanto entre as árvores quanto dentro delas e pode ser influenciada por fatores genéticos e silviculturais, bem como pela idade de corte da madeira (ZOBEL; VAN BUIJTENEN, 1989).

No decorrer da vida da árvore, as fibras da madeira se alongam em consequência do aumento do comprimento das células que as originam, denominadas iniciais fusiformes. Contudo, este comprimento se manterá constante após as células do câmbio atingirem o incremento máximo, o que corresponde ao início da formação do lenho adulto (TOMAZELLO FILHO, 1987).

A espessura da parede celular, por sua vez, está ligada a fatores genéticos e ambientais, assim como à idade da árvore e à densidade da madeira. Quanto maior a espessura da parede celular das fibras, maior também será a densidade, em função dos menores espaços vazios na estrutura da madeira (SILVA *et al.*, 2007).

Aumentos de 42,2 % no comprimento das fibras e de 29,7 % na espessura da parede celular foram observados para a madeira de *E. saligna*, proveniente de Bom Despacho/MG (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996). O aumento mencionado ocorreu em um intervalo de crescimento das árvores equivalente a três anos, de 1 a 4 anos de idade (Tabela 2).

Ao trabalhar com a madeira de *E. grandis* x *E. urophylla*, Carvalho (1997) comprovou um incremento no comprimento e na espessura da parede celular das fibras equivalente a 12,8 % e 37,5 %, respectivamente, entre 4 e 9 anos (Tabela 2).

O efeito significativo da idade (10, 14, 20 e 25 anos) na variação do comprimento das fibras da madeira de *E. grandis* foi constatado por Silva e outros (2007), que observaram um incremento de 16,7 % entre o décimo e o vigésimo quinto ano. O mesmo comportamento foi observado para a espessura da parede das fibras, com incremento, no período mencionado, de aproximadamente 20,6 % (Tabela 2).

No estudo de Sette Junior e outros (2012), o maior acréscimo no comprimento das fibras da madeira de *E. grandis* (15,8 %) ocorreu entre o segundo e terceiro ano de idade da árvore, ou seja, durante um ano de crescimento, enquanto, para a espessura da parede das fibras, o maior aumento (59,1 %) ocorreu entre o terceiro e sexto ano (Tabela 2).

Tabela 2 - Influência da idade da árvore no comprimento e espessura da parede celular das fibras (μm) da madeira de eucalipto

Espécie ou clone	Localidade	Idade (anos)												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	14	20	25
<i>E. saligna</i>	Bom Despacho/MG	$\xrightarrow{+42,2\%}$ 647 \rightarrow 800 \rightarrow 883 \rightarrow 920 +23,6% +10,4% +4,2%												(1)
		$\xrightarrow{+29,7\%}$ 3,7 \rightarrow 4,1 \rightarrow 4,3 \rightarrow 4,8 +10,8% +4,9% +11,6%												
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Mogi Guaçu e Brotas/SP	$\xrightarrow{+12,8\%}$ 1.090 \rightarrow 1.170 \rightarrow 1.230 +7,3% +5,1%												(2)
		$\xrightarrow{+37,5\%}$ 4,0 \rightarrow 4,3 \rightarrow 5,5 +7,5% +27,9%												
<i>E. grandis</i>	Telêmaco Borba/PR	$\xrightarrow{+16,7\%}$ 1.020 \rightarrow 1.100 \rightarrow 1.150 \rightarrow 1.190 +8,8% +3,6% +3,5%												(3)
		$\xrightarrow{+16,7\%}$ 3,4 \rightarrow 3,8 \rightarrow 3,9 \rightarrow 4,1 +11,8% +2,6% +5,1%												
<i>E. grandis</i>	Itatinga/SP	$\xrightarrow{+22,1\%}$ 748 \rightarrow 866 \rightarrow 913 +15,8% +5,4%												(4)
		$\xrightarrow{+75,0\%}$ 2,0 \rightarrow 2,2 \rightarrow 3,5 +10,0% +59,1%												

Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Trugilho, Lima e Mendes (1996); (2) Carvalho (1997); (3) Silva e outros (2007); (4) Sette Junior e outros (2012). * Espessura da parede das fibras (μm).

Percebe-se certa carência de trabalhos publicados em periódicos científicos que abordem a influência de idades superiores a 10 anos nos parâmetros anatômicos da madeira de eucalipto plantado no Brasil. Este fato se justifica pela idade média de corte

ser igual a 7 anos na maioria das plantações destinadas a produções de energia e de celulose, principais segmentos a que se destina a madeira do gênero.

Diâmetro e frequência de vasos

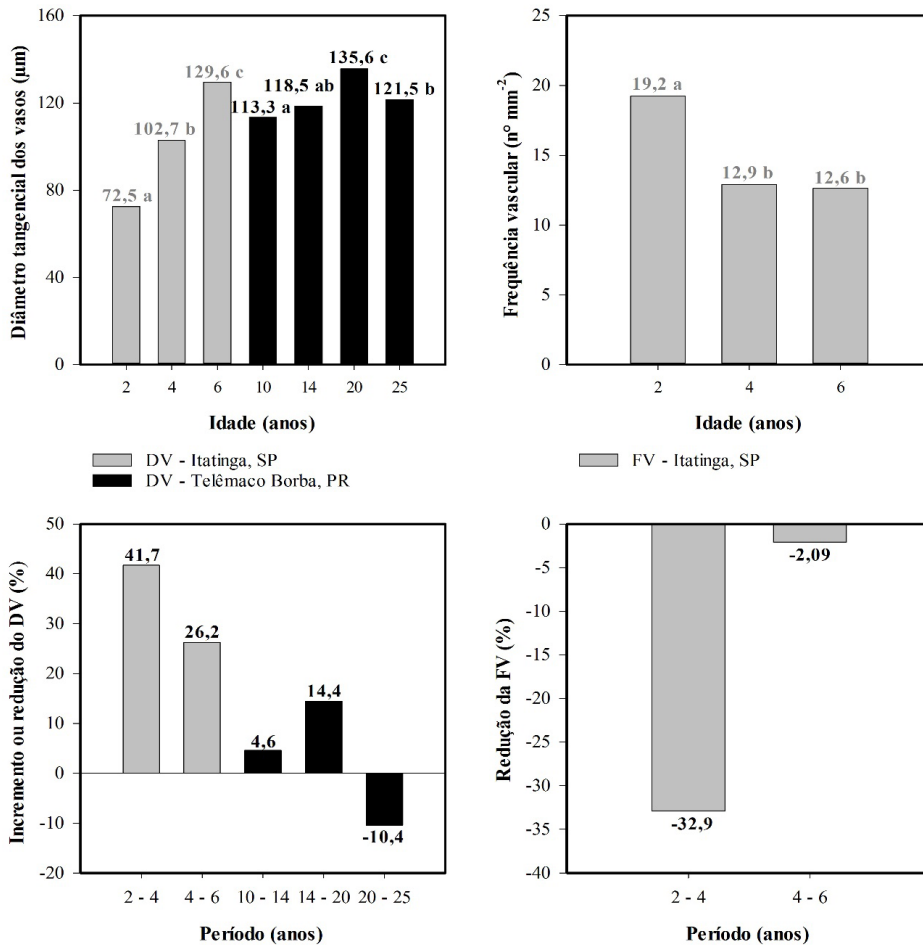
Os vasos correspondem à soma de vários elementos de 0,02 a 0,5 milímetros (OLIVEIRA, 1997). Assim como as fibras, eles compõem as principais células que formam a madeira, sendo responsáveis pelo transporte de água e nutrientes na árvore. As dimensões e frequência dessas células são, em geral, influenciadas por idade, material genético e local de crescimento (MOREIRA, 1999).

As características anatômicas dos vasos no lenho das árvores de eucalipto influenciam diretamente os processos fisiológicos de transporte de seiva e as propriedades da madeira, o que afeta sua aplicabilidade nos diversos ramos da indústria, como no da produção de polpa celulósica e papel, em que exercem expressiva importância no processo de penetração do licor, na densidade e na qualidade final dos papéis de impressão (CHEN; EVANS, 2004), além de no setor de preservação de madeira, em que as dimensões e a ausência de obstruções nos vasos são fundamentais para a penetração dos produtos químicos.

Ao se considerar o aspecto fisiológico, as alterações no diâmetro e na frequência dos vasos ocorrem devido à necessidade das plantas de aumentarem sua capacidade de condução de água e sais minerais de acordo com seu crescimento. Em relação ao aspecto tecnológico, essas modificações interferem nas propriedades físico-mecânicas, na secagem e no processo de polpação e preservação da madeira, por exemplo (TOMAZELLO FILHO, 1987).

O diâmetro vascular variou em relação às idades (10, 14, 20 e 25 anos), com maior incremento do décimo quarto para o vigésimo ano da madeira de *E. grandis* (14,4 %), proveniente de Telêmaco Borba/PR, conforme verificado por Silva e outros (2007) (Figura 1). Em árvores de *E. grandis* com idades mais jovens que as reportadas pelos autores supracitados, Sette Junior e outros (2012) observaram um incremento do diâmetro tangencial (78,8 %) e a redução da frequência dos vasos (34,4 %) com avanço da idade de 2 para 6 anos, em plantações localizadas em Itatinga/SP (Figura 1).

Figura 1 - Efeito da idade da árvore na morfologia dos vasos da madeira de *E. grandis*



Fonte: Elaboração dos autores com base em Silva e outros (2007) e Sette Junior e outros (2012).

Legenda: DV = diâmetro vascular; FV = freqüência vascular.

Mediante as diferenças de idade entre os estudos supracitados, pode-se inferir que, nas idades mais jovens, a variação das dimensões dos vasos é maior e tende a diminuir com o decorrer dos anos, devido à estabilização dos elementos anatômicos da madeira na fase adulta (Figura 1). Ou seja, em idades mais jovens, com predomínio de lenho

juvenil no diâmetro das árvores, os vasos são mais frequentes e com menores diâmetros tangenciais, e, à medida que a idade avança e ocorre o incremento diamétrico, uma rápida redução da frequência e o aumento proporcional do diâmetro dos vasos podem ser percebidos até a idade ou a região de transição, o que causa uma alta variação nos valores dessas características. Após a transição do lenho juvenil para o adulto, ocorre uma estabilização na frequência e no diâmetro tangencial dos vasos, que agora são menor e maior, respectivamente, em relação ao lenho mais próximo da medula da árvore. Porém, as variações com a idade, após a transição, são diminuídas.

Influência da idade da árvore nas propriedades químicas da madeira de eucalipto

A madeira apresenta uma composição química complexa, caracterizada pela presença dos componentes elementares (carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio), macromoleculares (holocelulose e lignina) e acidentais (extrativos e cinzas). A concentração desses componentes químicos também é influenciada pela idade das árvores.

Teor de lignina da madeira

A lignina é o segundo constituinte mais abundante nas plantas e desempenha um importante papel no suporte mecânico (resistência e rigidez) e na defesa contra microrganismos. Este polímero confere, ainda, hidrofobicidade às paredes celulares, o que auxilia na redução das alterações dimensionais da madeira (CHABANNES *et al.*, 2001).

A deposição da lignina na parede celular é regulada de forma espaçotemporal (GRABBER *et al.*, 2004) e pode ser desencadeada tanto por estresses bióticos quanto abióticos (MOURA *et al.*, 2010).

Para a indústria de polpa celulósica e papel, a lignina é o componente presente na madeira menos desejável, visto que seu alto teor implica um maior gasto de reagentes (GOMIDE, 2006). Já para a produção de energia e carvão vegetal, a lignina, por apresentar alto poder calorífico e resistência à degradação térmica, contribui significativa e positivamente (PEREIRA *et al.*, 2012).

Redução (9,2 %) e aumento (8,7 %) pouco expressivos no teor de lignina da menor para a maior idade foram observados por Morais (2008) na madeira de clones de *E. grandis* (clone A) e *E. grandis* x *E. urophylla* (clone B), em intervalos de seis e de sete anos, respectivamente (Tabela 3). O comportamento de redução no teor de lignina foi observado por Santana (2009) na madeira de um clone de *E. grandis* x *E. urophylla* em Bom Sucesso/MG (4,7 %) e São Bento Abade/MG (2,3 %), em intervalo de aproximadamente um ano de crescimento das árvores (Tabela 3). Segundo Vital e outros (1984) e Trugilho, Lima e Mendes (1996), as árvores em idades mais jovens possuem maior proporção de lenho juvenil, que é mais rico em lignina.

Um incremento no teor de lignina da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. equivalente a 12,1 %, em apenas um ano de crescimento das árvores (4 anos e 7 meses a 5 anos e 7 meses) foi constatado por Neves e outros (2013). Comportamento similar, porém menos expressivo, foi encontrado por Castro e outros (2016) para os clones GG100, GG157 e GG680 implantados no município de Lassance/MG, com aumentos correspondentes a 2,0 %, 1,6 % e 5,6 % entre o terceiro e o sétimo ano de idade, respectivamente (Tabela 3). Vale ressaltar que, apesar de o clone GG157 apresentar o mesmo comportamento dos demais clones, seus teores de lignina não diferiram significativamente com a idade.

Em idades de avaliação superiores às dos trabalhos anteriormente citados, Silva e outros (2005) encontraram um acréscimo no teor de lignina da madeira de *E. grandis* com a idade (10, 14, 20 e 25 anos). A maior alteração dos valores de lignina ocorreu entre as madeiras de 10 e 14 anos e foi equivalente a 6,2 % (Tabela 3). O aumento do teor de lignina com a maturidade das árvores ocorre pela incorporação de unidades hidroxifenila e guaiacila nas fases de deposição (GRABBER *et al.*, 2004), entretanto outros autores não observaram diferenças significativas nos teores de lignina com a idade na madeira de árvores jovens (3, 4, 5, 6, 7 e 9 anos) do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*. Esse resultado foi observado por Carvalho (1997), Silva (2011) e Soares e outros (2015) (Tabela 3). Foi observada ainda redução da relação siringila/guaiacila, o que significa aumento na quantidade do grupo guaiacil da lignina com o avanço da idade (SOARES *et al.*, 2015).

Tabela 3 - Influência da idade da árvore no teor de lignina (%) da madeira de eucalipto (continua)

Espécie ou clone	Localidade	Idade (anos)													
		1	3	4	5	6	7	8	9	10	14	20	25		
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Mogi Guaçu e Brotas/SP	← +2,4% →													
		29,20	→	30,40	→	29,90						(1)			
<i>E. grandis</i>	Telémaco Borba/PR	← +4,1% →													
												+1,6%	(2)		
Clone A <i>E. grandis</i>	Sabinópolis e Virginópolis/ MG	← -9,2% →													
		31,60	→	31,10	→	30,85	→	30,10	→	28,70				(3)	
Clone B <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Bom Sucesso/MG São Bento Abade/MG	← -1,6% -0,8% -2,4% -4,7% →													
		31,60	→	30,10	→	30,20	→	28,70	→	28,80				(4)	
GG100 <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Almeirim/PA	← -4,7% -0,3% -5,0% -0,3% →													
		29,60	→	28,20								29,83	→	29,13	
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (BP)	Almeirim/PA	← -2,3% →													
												+0,2%	(5)		
		← -1,0% +0,1% +1,1% →													
												+6,2%	+4,3%	-1,2%	(5)
												+16,7%	(5)		

Tabela 3 - Influência da idade da árvore no teor de lignina (%) da madeira de eucalipto (conclusão)

Espécie ou clone	Localidade	Idade (anos)												
		1	3	4	5	6	7	8	9	10	14	20	25	
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (AP)	Almeirim/PA	← -1,3% →												
		29,90 → 29,60 → 29,26 → 29,50 -1,0% -1,1% +0,8%												
(5)														
<i>Eucalyptus</i> sp.	Bom Jardim de Minas/ MG	← +2,1% →												
		25,94 → 29,09 * +12,1%												
(6)														
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Estado de São Paulo	← +2,1% →												
		21,52 → 21,52 → 21,97 0 +2,1%												
(7)														
GG100		← +2,0% →												
		32,23 → 31,46 → 30,82 → 32,86 -2,4% -2,0% +6,6%												
GG157	Lassance/ MG	← +1,6% →												
		31,20 → 30,72 → 32,11 → 30,82 -1,5% +4,5% -1,3%												
(8)														
GG680		← +1,6% →												
		32,04 → 31,63 → 31,32 → 33,82 -1,3% -1,0% +8,0%												

Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Carvalho (1997); (2) Silva e outros (2005); (3) Moraes (2008); (4) Santana (2009); (5) Silva (2011); (6) Neves e outros (2013); (7) Soares e outros (2015); (8) Castro e outros (2016). * Idades aproximadas. Legenda: BP = sítio de baixa produtividade (17 m³/ha/ano); AP = sítio de alta produtividade (33 m³/ha/ano).

A variabilidade de uma característica da madeira, como a retratada anteriormente para a lignina, pode derivar de outros fatores que não apenas a idade. Os fatores genéticos, as características do local onde o povoamento foi instalado, os tratamentos silviculturais adotados, bem como a amostragem utilizada no estudo, de um modo geral, também interferem no resultado final da propriedade (ZOBEL; VAN BUIJTENEN, 1989; PEREIRA *et al.*, 2012). Em outras palavras, alguns fatores que atuam conjuntamente com a idade podem mascarar o efeito dela e, nos casos em que não for possível isolá-los, levar a conclusões conflitantes.

Teor de extrativos da madeira

Os extrativos, também conhecidos como componentes acidentais, secundários e/ou estranhos da madeira, estão presentes em pequena quantidade e não integram a parte estrutural da parede celular ou lamela média (SJÖSTRÖM, 1992). Resultantes das alterações que ocorreram com os carboidratos durante o processo fisiológico da árvore, os extrativos influenciam na densidade básica da madeira, como também nas propriedades energéticas, na durabilidade, cor e permeabilidade, e podem variar em quantidade e composição, dependendo dos fatores: espécie, localidade e idade da árvore (KLOCK *et al.*, 2005).

O elevado teor de extrativos na madeira é indesejável para a produção tanto de carvão vegetal quanto de celulose. A degradação dos extrativos acontece ainda em baixas temperaturas de carbonização, reduzindo assim o rendimento gravimétrico do carvão (CASTRO, 2011). A presença dessas substâncias pode também potencializar a formação de aglomerados de *pitch* nos equipamentos da indústria de polpa celulósica e papel, além de exigir maiores quantidades de reagentes químicos durante o processo de cozimento e afetar o potencial de absorção de líquidos do papel (CARVALHO, 1997).

Acréscimos nos valores de extrativos da menor para a maior idade da madeira de clones de *E. grandis* (clone A) e *E. grandis* x *E. urophylla* (clone B) foram constatados por Moraes (2008). O aumento no teor de extrativos foi igual a 163,3 % para o clone A (de 1 para 7 anos), e para o clone B essa variação foi menor, correspondendo a 78,5 % do primeiro ao oitavo ano (Tabela 4). O processo da cernificação (deposição de extrativos

com a consequente formação do cerne) se intensificou a partir dos 5 anos, em ambos os casos.

Um clone de baixa e outro de alta produtividade de *E. grandis* x *E. urophylla* apresentaram incrementos de 30,8 % e 28,9 %, respectivamente, na quantidade de extrativos da idade de 4 para 7 anos (SILVA, 2011). O mesmo comportamento foi observado por Soares (2015), da idade de 3 para 7 anos, com o acréscimo de 14,2 %. Em um menor tempo de crescimento, aproximadamente um ano, Santana (2009) constatou aumentos de 5,5 % (Bom Sucesso/MG) e 1,7 % (São Bento Abade/MG) (Tabela 4).

Tabela 4 - Influência da idade da árvore no teor de extrativos (%) da madeira de eucalipto (continua)

Espécie ou clone	Localidade	Idade (anos)																								
		1	3	4	5	6	7	8	9	10	14	20	25													
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Mogi Guacu e Brotas/SP					29,20	→ +4,1%	30,40	→ -1,6%	29,90																(1)
<i>E. grandis</i>	Telêmaco Borba/PR																									(2)
Clone A <i>E. grandis</i>	Sabinópolis e Virgíniópolis/ MG																									(3)
Clone B <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Bom Sucesso/ MG																									(4)
GG100 <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	São Bento Abade/MG																									(5)
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (BP)	Almeirim/PA																									(5)

Tabela 4 - Influência da idade da árvore no teor de extrativos (%) da madeira de eucalipto (conclusão)

Espécie ou clone	Localidade	Idade (anos)												
		1	3	4	5	6	7	8	9	10	14	20	25	
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (AP)	Almeirim/PA	↔ +28,9 %												
		4,23 → 4,45 → 4,29 → 5,45 +5,2 % -3,6 % +27,0 %												
<i>Eucalyptus</i> sp.	Bom Jardim de Minas/MG	↔												
		3,08 → 3,38 +9,7 %												
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Estado de São Paulo	↔ +14,2 %												
		8,26 → 9,44 → 9,43 +14,3 % -0,1 %												
GG100		↔ +97,5 %												
		2,37 → 4,08 → 3,90 → 4,68 +72,2 % -4,4 % +20,0 %												
GG157	Lassance/MG	↔ +14,4 %												
		2,91 → 3,04 → 3,94 → 3,33 +4,5 % +29,6 % -15,5 %												
GG680		↔ +7,2 %												
		4,02 → 3,50 → 3,44 → 4,31 -12,9 % -1,7 % +25,3 %												

Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Carvalho (1997); (2) Silva e outros (2005); (3) Moraes (2008); (4) Santana (2009); (5) Silva (2011); (6) Neves e outros (2013); (7) Soares e outros (2015); (8) Castro e outros (2016). * Idades aproximadas. Legenda: BP: sítio de baixa produtividade (17 m³/ha/ano); AP: sítio de alta produtividade (33 m³/ha/ano).

O aumento no teor de extrativos da madeira com a idade das árvores também foi observado para três clones: um de *E. urophylla* x *E. grandis* (GG680) e dois de *E. urophylla* (GG100 e GG157) nas idades de 3, 4, 5 e 7 anos, provenientes de plantações no município de Lassance/MG. Incrementos de 97,5 %, 14,4 % e de 7,2 % foram encontrados para os clones GG100, GG157 e GG680, em ordem, ao comparar os valores de extrativos da menor para a maior idade (CASTRO, 2011) (Tabela 4).

Aumento no teor de extrativos da madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* equivalente a 30,7 % entre 4 e 7 anos de idade foi comprovado por Carvalho (1997). Posteriormente, até atingir o nono ano, houve um decréscimo de 18,8 %. Acréscimo de 9,7 % no teor de extrativos foi observado para a madeira de quatro clones de *Eucalyptus* sp. em um ano de crescimento, ou seja, de 4 anos e 7 meses para 5 anos e 7 meses (Tabela 4) (NEVES *et al.*, 2013).

As árvores mais jovens tendem a apresentar menores teores de extrativos, o que está relacionado diretamente às mudanças fisiológicas durante a formação do cerne e pode ser dependente do material genético e do local de crescimento. Essa proposição é confirmada por Silva e outros (2005), que verificaram um acréscimo de 30,8 % no teor de extrativo da madeira do décimo para o vigésimo ano (Tabela 4).

Teor de cinzas da madeira

A madeira possui ainda pequenas quantidades de minerais (inferiores a 1 %), comumente conhecidas como cinzas. Elas contribuem negativamente para o poder calorífico, além de causarem trincas e fissuras no ferro-gusa, bem como incrustações nos equipamentos, sendo assim sua presença desinteressante para a produção de carvão e geração de energia (CASTRO, 2011).

Redução na quantidade de cinzas com o aumento da idade foi encontrada por Carvalho (1997), Morais (2008) e Soares e outros (2015), ao avaliarem clones de *E. grandis* x *E. urophylla*. Todos os autores citados comprovaram redução no teor de cinzas de 28,6 % (cinco anos de crescimento), 72 % (seis anos de crescimento) e 56,1 % (quatro anos de crescimento), respectivamente, ao compararem a menor com a maior idade (Tabela 5).

Uma tendência igual foi observada para o mesmo híbrido estudado por Santana (2009). Em aproximadamente um ano de crescimento das árvores, o teor de cinzas

decreceu 33,3 % (Bom Sucesso/MG) e 62,5 % (São Bento Abade/MG), o que corrobora o conceito do decréscimo do teor de cinzas com a maturidade das árvores.

Esse mesmo comportamento foi observado por Neves e outros (2013) para a madeira de quatro clones de *Eucalyptus* sp. com idades aproximadas de 5 e 6 anos, com redução de 44,7 % no teor de cinzas (Tabela 5).

Tabela 5 - Influência da idade da árvore no teor de cinzas (%) da madeira de eucalipto

Espécie ou clone	Localidade	Idade (anos)								
		1	3	4	5	6	7	8	9	
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Mogi Guaçu e Brotas/SP									(1)
Clone A <i>E. grandis</i>	Sabinópolis e Varginópolis/ MG									(2)
Clone B <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>										
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Bom Sucesso/ MG									(3)
	São Bento Abade/MG									
<i>Eucalyptus</i> sp.	Bom Jardim de Minas/MG									(4)
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Estado de São Paulo									(5)

Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Carvalho (1997); (2) Moraes (2008); (3) Santana (2009); (4) Neves e outros (2009); (5) Soares e outros (2015).

Dessa forma, pode-se concluir que as árvores mais jovens demandam maiores quantidades de minerais, já que o metabolismo delas nesta fase é mais acelerado, o que contribui para os maiores teores de cinzas da madeira (MORAIS, 2008).

Influência da idade da árvore no poder calorífico da madeira de eucalipto

O poder calorífico (PC) representa a quantidade de energia liberada por massa de madeira durante a combustão. A análise dessa propriedade possibilita que deduções sejam feitas quanto à capacidade energética de uma determinada espécie. É, portanto, uma importante variável a ser analisada quando a madeira se destina à geração de energia (SANTANA, 2009; SANTOS, 2010).

Altos teores de cinzas tendem a reduzir o PC, uma vez que a fração inorgânica não é energética (BRAND, 2010). Ao contrário, a presença de lignina e de extrativos influi de forma positiva no valor calórico.

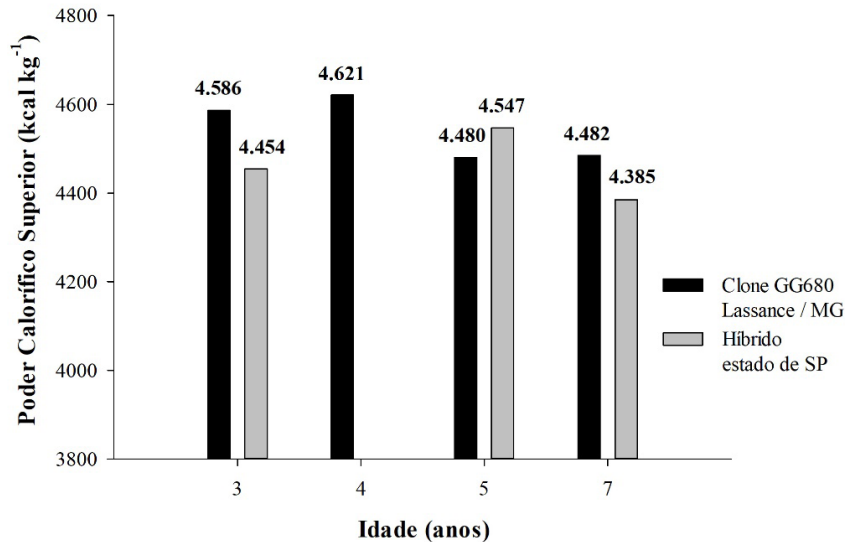
Madeiras do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, implantadas no estado de São Paulo, foram investigadas por Soares e outros (2015) em três diferentes idades (3, 5 e 7 anos). Os autores averiguaram que o PC aumentou 2,1 % de 3 para 5 anos e, em seguida, decresceu 3,6 % até a idade de 7 anos (Figura 2).

Ao avaliar o potencial energético da madeira de três clones de *Eucalyptus* (GG100, GG157 e GG680) em função da idade (3, 4, 5 e 7 anos), Castro e outros (2016) notaram diferenças significativas. O PC do clone GG100 aumentou progressivamente até a idade de 5 anos, enquanto, para os clones GG157 e GG680, o PC aumentou somente até o quarto ano (Figura 2). Todos os clones apresentaram decréscimo, de 0,8 %, 2,2 % e 3,0 % respectivamente, ao passarem da idade de 4 para 7 anos.

O efeito da idade foi significativo no PC da madeira dos clones comerciais de *Eucalyptus* I220 e I144, materiais genéticos amplamente utilizados no Brasil. No período de um ano de crescimento das árvores (4 anos e 1 mês a 5 anos e 1 mês), o PC da madeira decresceu 1,7 % (PROTÁSIO *et al.*, 2014). Esse mesmo comportamento foi observado por Santana (2009) para a madeira de um clone de *E. grandis* x *E. urophylla*, cujo PC diminuiu 1,1 % de 34 para 48 meses de idade para o material procedente de Bom Sucesso/MG e 0,4 % de 61 para 74 meses para o da localidade de São Bento Abade/MG. Segundo Vital e outros (1984), o PC correlaciona-se positivamente com o teor de

lignina, o qual tende a diminuir com o aumento da idade da árvore, tendo em vista que a proporção de lenho juvenil diminui.

Figura 2 - Poder calorífico da madeira de clones do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*



Fonte: Elaboração dos autores com base em Soares e outros (2015) e Castro e outros (2016).

Ao trabalhar com a madeira do híbrido de *E. grandis* x *E. camaldulensis*, Rocha e outros (2015) não encontraram tendência definida do PC em relação às seguintes idades: 4 anos, 5 anos e 1 mês, 6 anos e 4 meses e 7 anos e 1 mês.

Considerações finais

A densidade básica da madeira tem um incremento expressivo com o passar dos anos, uma vez que os parâmetros anatômicos são significativamente influenciados pela idade da árvore. Ao avançarem os anos, há um aumento no comprimento e na espessura da parede das fibras, bem como no diâmetro dos vasos. A frequência de vasos, por sua

vez, diminui com o aumento da idade. Ressalta-se que o ritmo de crescimento morfológico das fibras e vasos é mais pronunciado nas idades mais jovens.

Percebe-se que os estudos são controversos ao tentar associar o teor de lignina com o aumento da idade. O teor de extrativos, entretanto, geralmente aumenta à medida que a idade avança, fato este relacionado ao processo de cernificação da madeira. Verifica-se ainda que o incremento de extrativos é mais acentuado nas idades mais jovens (1 a 7 anos). Em relação ao teor de cinzas, observa-se uma tendência de redução dos valores com o avanço da idade, justificada pelo fato de as árvores mais jovens demandarem maior quantidade de minerais, em função do metabolismo mais acelerado nesta fase.

O poder calorífico é pouco influenciado pela idade e decresce após o quarto e/ou quinto ano da idade. O teor de cinzas da madeira foi a característica mais influenciada pela idade, enquanto o poder calorífico foi a que menos variou.

De um modo geral, as características da madeira estão sujeitas a grandes variações em idades mais jovens, tendendo a uma provável estabilização em idades mais avançadas. Por vezes, as pressões econômicas para o corte das árvores em ciclos curtos contribuem para uma maior quantidade de lenho juvenil no mercado.

Referências

BARBOSA, T. L. *Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* cultivados em cinco regiões do estado de Minas Gerais para produção de celulose*. 2013. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.

BRAND, M. A. *Energia da biomassa florestal*. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p.

CARNEIRO, A. C. O. *et al.* Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 38, n. 2, p. 375-381, 2014.

CARVALHO, H. G. Efeito da idade de corte da madeira e de variáveis de refino nas propriedades da celulose Kraft branqueada de eucalipto. 1997. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.

CASTRO, A. F. N. M. Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal. 2011. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

CASTRO, A. F. N. M. *et al.* Correlations between age, wood quality and charcoal quality of *eucalyptus* clones. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 40, n. 3, p. 551-560, 2016.

CHABANNES, M. *et al.* In situ analysis of lignins in transgenic tobacco reveals a differential impact of individual transformations on the spatial patterns of lignin deposition at the cellular and subcellular levels. *The Plant Journal*, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 271-282, 2001.

CHEN, F.; EVANS, R. A robust approach for vessel identification and quantification in eucalypt pulpwoods. *In: APPITA ANNUAL CONFERENCE, 2., 2004, Canberra. Proceedings [...]*. Canberra: Appita, 2004. p. 543-550.

COUTO, A. M. *et al.* Amostragens longitudinais alternativas para a determinação da densidade básica em clones de *Eucalyptus* sp. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 19, n. 2, p. 184-193, 2012.

FOELKEL, C. **Qualidade da madeira do eucalipto**: reflexões acerca da utilização da densidade básica como indicador de qualidade da madeira no setor de base florestal. [S. l.]: Eucalyptus Online Book & Newsletter, 2015. Capítulo 41, 199 p. Disponível em:

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT41_Densidade_Basica_Madeira.pdf. Acesso em: 17 mar. 2016.

GOMIDE, J. L. **Tecnologia e química da produção de celulose**. Viçosa, MG: Laboratório de Celulose e Papel/Universidade Federal de Viçosa, 2006. 235 p.

GRABBER, J. H. *et al.* Genetic and molecular basis of grass cell-wall degradability. I. Lignin-cell wall matrix interactions. **Comptes Rendus Biologies**, [s. l.], v. 327, p. 455-465, 2004.

KLOCK, U. *et al.* **Química da madeira**. 3. ed. Curitiba: UFPR, 2005. 86 p. Apostila.

MENESES, V. A. **Efeito da idade e sítio na densidade básica e produção de massa seca de madeira em clone do *E. urophylla***. 2013. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

MORAIS, P. H. D. **Efeito da idade da madeira de eucalipto na sua química e polpabilidade, e branqueabilidade e propriedades físicas da polpa**. 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 1999. 107 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

MOULIN, J. C. *et al.* Efeito do espaçamento, idade e irrigação no volume e densidade básica do eucalipto. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, p. 1-10, 2017.

MOURA, J. C. M. S. *et al.* Abiotic and biotic stresses and changes in the lignin content and composition in plants. **Journal of Integrative Plant Biology**, [s. l.], v. 52, n. 4, p. 360-376, 2010.

NEVES, T. A. *et al.* Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em diferentes idades para a produção de bioenergia. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 56, n. 2, p. 139-148, 2013.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 2 v. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

PÁDUA, F. A. **Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. 2009. 99 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1980. 722 p.

PEREIRA, B. L. C. *et al.* Quality of wood and charcoal from *Eucalyptus* clones for ironmaster use. **International Journal of Forestry Research**, [s. l.], v. 2012, Article ID 523025, 2012.

PROTÁSIO, T. P. *et al.* Clones comerciais de *Eucalyptus* de diferentes idades para o uso bioenergético da madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 113-127, 2014.

ROCHA, M. F. V. *et al.* Interface of different conditions of growth and cutting age in estimating dry mass, mass of carbon and energy per hectare of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* clones. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, [Jordânia], v. 9, n. 23, p. 175-178, 2015.

SANTANA, W. M. S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* com enfoque energético**. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010. 173 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SETTE JUNIOR, C. R. *et al.* Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, 2012.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, J. C. *et al.* Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 455-460, 2005.

SILVA, J. C. *et al.* Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *E. grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1081-1090, 2007.

SILVA, M. G. S. **Produtividade, idade e qualidade de madeira de *Eucalyptus* destinada à produção de polpa celulósica branqueada**. 2011. 94 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications**. San Diego: Academic Press, 1992. 293 p.

SOARES, V. C. *et al.* Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 2, p. 191-197, 2015.

THOMAS, R. J. Wood: formation and morphology. *In*: LEWIN, M.; GOLDSTEIN, I. S. (org.). **Wood structure and composition**. Nova York: Marcel Dekker Inc., 1991. p. 7-47.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. **Revista IPEF** (atual *Scientia Forestalis*), Piracicaba, v. 36, p. 35-42, 1987.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

VITAL, B. R. *et al.* Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado na região de cerrado de Minas Gerais. **Boletim Técnico - IBDF**, Viçosa, n. 8, p. 49-52, 1984.

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 418 p.

Capítulo 5

Densidade e sua variação na madeira de eucalipto

Walter Torezani Neto Boschetti

Graziela Baptista Vidaurre

João Gabriel Missia da Silva



Densidade da madeira e suas aplicações

A densidade da madeira expressa a quantidade de massa lenhosa que constitui um determinado volume, sendo parâmetro importante na avaliação da qualidade para diversas utilizações.

Como já mencionado no capítulo anterior, entre todas as propriedades e características intrínsecas do lenho, a densidade é a mais utilizada e pesquisada pelo seu efeito direto sobre o desempenho operacional e financeiro da indústria e sobre o consumo específico de madeira na produção de polpa celulósica; por responder às práticas de manejo, tratamentos silviculturais e condições ambientais; e pelas correlações com propriedades físico-mecânicas e características anatômicas do lenho, que impactam sobre a qualidade dos produtos (PÁDUA, 2009; BATISTA; KLITZKE; SANTOS, 2010; COUTO *et al.*, 2012; FOELKEL, 2015).

Todavia, é necessária uma certa cautela com a avaliação da densidade da madeira. É importante estudar e utilizar os melhores métodos de amostragem, dada a variabilidade intrínseca da madeira, buscar a precisão e confiabilidade das análises e não considerar a densidade como o único critério para inferir a qualidade da madeira. A compreensão das causas de variação das propriedades da madeira é fundamental para a mitigação dos danos decorrentes disso a fim de evitar ao máximo os entraves.

A densidade pode ser obtida por métodos destrutivos, como os descritos em normas técnicas – por exemplo, TAPPI 258 om-94 (TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY, 1994), D 2395 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1999), NBR 1194 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), entre outras –, e também por métodos não destrutivos, com o emprego de resistógrafo, *pilodyn*, densitometria de raios X e espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) (PÁDUA, 2009; DIAS, 2011; GOUVÊA *et al.*, 2011; ARANTES *et al.*, 2016). Cada método é muito característico, e este capítulo não tem a intenção de descrevê-los, apenas de referenciar seus resultados.

De modo geral, o incremento de densidade da madeira pode ser decorrência do aumento da espessura da parede celular das fibras ou de um acréscimo na proporção das fibras em relação aos vasos, por exemplo. De maneira inversa, um aumento na proporção de vasos, com ou sem decréscimo na espessura da parede celular, leva à redução

da densidade, por causa da grande quantidade de vazios presentes na estrutura celular (OLIVEIRA; SILVA, 2003).

A proporção de raios, o diâmetro do lume, o comprimento das fibras e a composição das células de parênquima também são características do lenho que afetam a densidade. Alguns autores relacionam a variabilidade da densidade com a composição química do lenho, por exemplo, a quantidade de extrativos. Entretanto, a característica-chave é a espessura da parede das fibras, sendo a densidade da madeira de espécies de porosidade difusa, como o eucalipto, menos dependente dos raios e vasos (ZOBEL; JETT, 1995).

A densidade é influenciada principalmente pela genética da espécie, o ambiente e a interação entre esses dois fatores (RUY, 1998). Ao mencionar o ambiente, sintetiza-se uma série de variáveis, como: clima, solo, disponibilidade hídrica, radiação solar, ventos, relevo e localização geográfica. A densidade da madeira de eucalipto também pode variar entre espécies, materiais genéticos e árvores (altura e diâmetro). Ressalta-se ainda o efeito da taxa de crescimento, que ainda requer maiores investigações, da idade de corte (Capítulo 4), dos tratamentos silviculturais (Capítulos 6 e 7) e da ocorrência de estresses durante o crescimento das árvores.

Quando o crescimento das árvores é alterado, ocorrem mudanças no tamanho e na espessura da parede das células e então na densidade do lenho. Alguns desses fatores que modificam a densidade atuam em combinação, sendo complexo separar os efeitos nitidamente (SHMULSKY; JONES, 2011). Por conseguinte, a variabilidade da densidade torna complexos os estudos genéticos da madeira e dificulta a elaboração de conclusões claras sobre padrões de herdabilidade (ZOBEL; JETT, 1995).

A combinação de fatores pode alterar tanto a produtividade quanto as propriedades da madeira, o que vai refletir na seleção do material (espécies puras, clones e híbridos) para os diferentes usos, tais como produção de polpa e papel, de energia, de painéis e uso de madeira sólida (OLIVEIRA; HELLMMEISTER; TOMAZELLO FILHO, 2005).

A densidade está diretamente relacionada com a maior produtividade do processo de polpação, tendo em vista a produção de polpa celulósica por volume no digestor (MOKFIENSKI, 2004). Entretanto, madeiras mais densas requerem cozimentos mais drásticos, em termos de temperatura e carga de álcali, o que pode causar uma redução no rendimento da polpação.

Deste modo, os projetos de melhoramento florestal alinhados aos requisitos da área industrial visam obter madeira com densidade básica superior a $0,50 \text{ g cm}^{-3}$, valor que, a depender da espécie ou híbrido, pode ser alcançado aos 6 anos. Por outro lado, dada a variabilidade da densidade da madeira de eucalipto, a indústria de polpa celulósica tem usado materiais com valores entre $0,40$ e $0,55 \text{ g cm}^{-3}$.

A densidade é um parâmetro referencial também para o uso energético da madeira. Na produção de carvão vegetal, são recomendáveis valores de densidade básica da madeira acima de $0,54 \text{ g cm}^{-3}$, alinhados a outras características, como teor de umidade, composição química, poder calorífico superior e o rendimento gravimétrico na conversão. Quando a madeira é degradada termicamente, cerca de 60 % da sua massa é perdida, e, conseqüentemente, quanto maior a densidade, maior a massa de carvão vegetal produzido para um determinado volume, o que aumenta a produtividade dos fornos. De tal modo, a densidade relativa aparente do carvão vegetal tem uma relação direta com a densidade da madeira de origem (BRITO *et al.*, 1983; SANTOS, 2010; CASTRO, 2011; CARNEIRO *et al.*, 2014; ARANTES *et al.*, 2016).

O estudo da densidade permite uma preliminar e temporal avaliação da qualidade da madeira das espécies de eucalipto para um determinado uso, que, alinhado aos critérios de produtividade florestal, contribui para a definição da idade de corte. Por exemplo, para a madeira do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, plantada no estado de Minas Gerais, ocorreu um incremento de 25 % da densidade dos 3 aos 7 anos, porém ainda com um baixo valor ($0,45 \text{ g cm}^{-3}$) para uso energético (SANTANA *et al.*, 2012). A madeira das espécies de *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. urophylla* plantadas em Lassance/MG e avaliadas nas idades de 3, 4, 5 e 7 anos só atingiu valores de densidade aceitáveis para uso energético aos 7 anos (CASTRO, 2011). Já em árvores de *E. pellita* plantadas em Martinho Campo/MG, valores ótimos de densidade básica ($0,56 \text{ g cm}^{-3}$) para a produção de carvão vegetal foram determinados aos 5 anos de idade (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

No geral, quanto mais homogênea a densidade no interior do tronco, melhor o comportamento da madeira nas operações de processamento mecânico e de secagem. As peças serradas de madeira com menor variação de densidade são mais apropriadas para utilizações que requerem um material mais uniforme quanto às propriedades físico-mecânicas (OLIVEIRA; HELLMEISTER; TOMAZELLO FILHO, 2005). A densidade também tem efeito na usinagem, preservação e acabamento da madeira. Apesar

do pouco conhecimento sobre a genética de defeitos em árvores, toras e peças serradas de eucalipto, como as tensões de crescimento e rachaduras, acredita-se que eles podem estar relacionados com a densidade da madeira (ZOBEL; JETT, 1995).

A densidade básica da madeira também é considerada uma questão importante na logística, uma vez que, em madeiras mais densas, maior quantidade de massa seca será transportada por metro cúbico e, portanto, o número de viagens para atender a uma quantidade “x” de toneladas de madeira seca será menor, o que reduz os custos de transporte. É importante considerar essa relação, pois as despesas com transporte podem inviabilizar um empreendimento, dada sua participação significativa nos custos da matéria-prima.

Dentro de uma mesma árvore, os valores de densidade tendem ao máximo próximo à casca e à base e decrescem com a aproximação à medula e à copa (DOWNES *et al.*, 1997; OLIVEIRA; SILVA, 2003; CHIMÉLO, 2007; KLITZKE, 2007). É possível, contudo, encontrar tendências distintas de variação da densidade da madeira no sentido medula-casca e base-topo das árvores de eucalipto, e por isso há uma dificuldade na estimação precisa dessa propriedade (PÁDUA, 2009). O conhecimento e a descrição da variabilidade dessa propriedade no interior das árvores de eucalipto podem contribuir para a seleção de materiais e realização de testes clonais, manejo da floresta, ajuste de processos industriais e melhora da classificação e destinação da madeira.

Varição medula-casca da densidade da madeira de eucalipto

A variabilidade da densidade encontrada dentro de uma árvore individual ocorre, possivelmente, devido às mudanças do câmbio durante o seu envelhecimento e às modificações impostas pelas condições ambientais. A proporção de lenho juvenil no tronco é o fator determinante da extensão da variação da densidade básica no sentido medula-casca, em razão de alterações nas características anatômicas, principalmente as dimensões das fibras, a organização da parede celular e a frequência e o diâmetro vascular. Porém, com o passar do tempo, o gradiente de variação das características anatômicas da madeira dentro da zona juvenil tende a diminuir, dando origem à formação do lenho adulto (GONÇALVES *et al.*, 2007; VIDAURRE *et al.*, 2011). As propriedades dos lenhos juvenil e adulto da madeira de eucalipto são detalhadas no Capítulo 1.

As variações de densidade no sentido medula-casca ou casca-casca podem ocorrer devido às fibras de parede espessa do lenho tardio nas camadas de crescimento e às mudanças na morfologia dos vasos (diâmetro e frequência) causadas pela atividade do câmbio e pela maturação das células (TOMAZELLO FILHO *et al.*, 2008). Por isso, a variação da densidade da madeira é uma resposta da variabilidade da disposição e das dimensões dos elementos anatômicos.

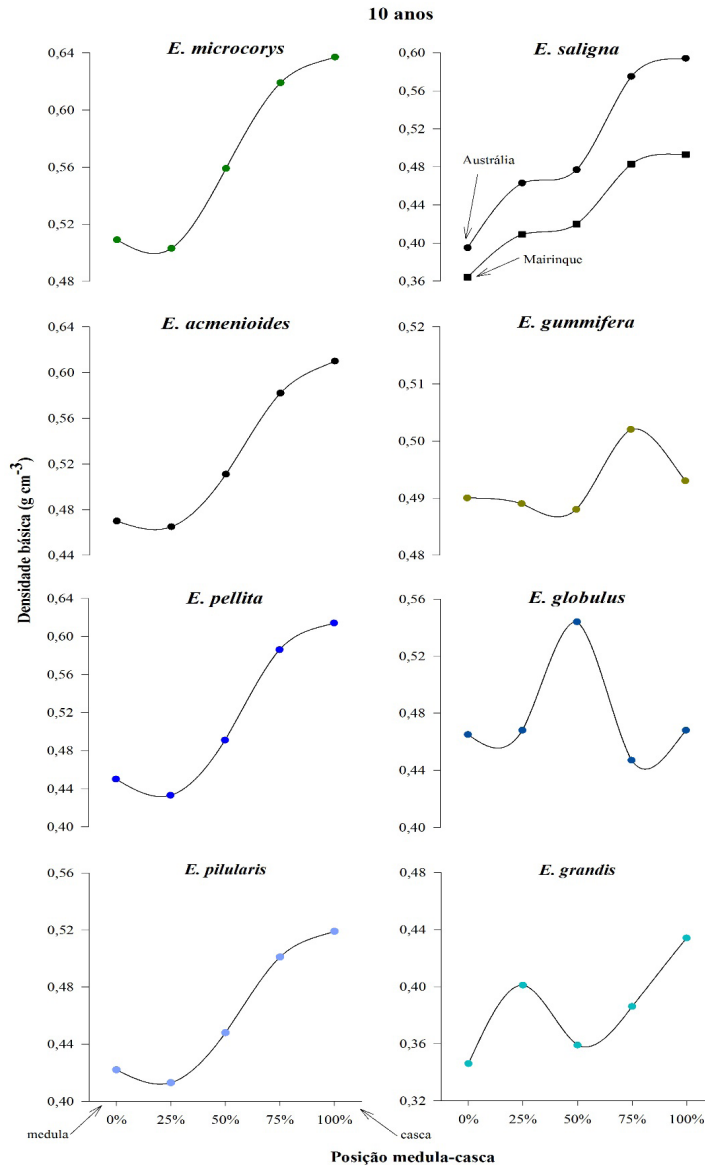
A amostragem utilizada para avaliar a variabilidade medula-casca da densidade da madeira de eucalipto é coletada: de distâncias fixadas a partir da medula, a cada meio, um ou dois centímetros; de posições relativas da distância, por exemplo, 0 % (próximo à medula), 33 % e 100 % (próximo à casca), do raio; a partir da segregação qualitativa das regiões, retirando-se amostras das posições denominadas como medula, intermediária e casca; ou dos tecidos formados na árvore (cerne interno, cerne externo e alburno). Todos esses tipos de amostragem podem ser utilizados para avaliação diametral (casca-casca) da densidade, porém o deslocamento da medula é uma variável a ser considerada.

A amostragem por anéis de crescimento, ou seja, pela idade ou estações do desenvolvimento, não é muito comum pela dificuldade de marcação e de visibilidade desses caracteres em espécies de eucalipto plantadas em algumas regiões do Brasil. A formação e a marcação dos anéis são dependentes de condições climáticas caracterizadas pelo contraste da variação da disponibilidade hídrica ao longo das estações do ano, que cessa a atividade cambial (ALMONACID, 2013).

Já na madeira do gênero *Eucalyptus*, o comportamento da densidade ao longo do diâmetro pode variar entre espécies e de acordo com a idade da árvore, porém a tendência principal da densidade é aumentar no sentido da medula para a casca das árvores.

Em espécies de eucalipto aos 10 anos de idade, provenientes de uma plantação experimental de Salesópolis/SP, a densidade da madeira teve uma tendência crescente da medula para casca (TOMAZELLO FILHO, 1985a; 1985b; 1987). Para a espécie *E. gummifera*, a densidade é praticamente constante nesse sentido, com uma variação máxima de $0,01 \text{ g cm}^{-3}$ (Figura 1). Em outras, como *E. microcorys*, *E. acmenioides*, *E. pellita* e *E. pilularis*, os valores de densidade aumentam no sentido medula-casca e formam curvas com padrão de variação semelhante, com uma queda aos 25 % do raio.

Figura 1 - Comportamento da densidade básica da madeira no sentido medula-casca em espécies de *Eucalyptus* aos 10 anos de idade



Fonte: Elaboração dos autores com base em Tomazello Filho (1985a; 1985b; 1987).

Já a densidade da madeira de *E. globulus* aumenta até a posição de 50 %, diminui até 75 % e, depois, aumenta ligeiramente em direção à casca (Figura 1). Para duas procedências de sementes da espécie *E. saligna*, a densidade da madeira teve comportamento semelhante da medula para a casca, com estabilização entre 25 % e 50 % do raio, porém com menores valores na procedência de Mairinque/SP. A espécie *E. grandis* teve um comportamento inerente e divergente das demais, tendo um pico de densidade aos 25 % do raio, queda aos 50 %, com posterior aumento até a casca. Esses picos e quedas de densidade da medula para a casca podem representar períodos de incremento ou decréscimo nos caracteres ou elementos do lenho que possuem relação com a densidade.

Comportamento crescente da densidade da madeira no sentido medula-casca foi encontrado para o *E. camaldulensis* aos 10 anos de idade, proveniente de Vazante/MG (EVANGELISTA, 2007). A densidade permaneceu constante até a posição de 33 % do raio e teve um aumento significativo, de 52 %, até a região próxima à casca.

Em árvores com 18 anos, plantadas em Anhembi/SP, a densidade aumentou gradativamente no sentido medula-casca, com incremento de 42 % e 30 % para *E. grandis* e *E. dunnii*, respectivamente. Já na madeira de *E. urophylla*, com a mesma idade e plantada no mesmo local, ocorreu incremento de 55 % da densidade até a posição de 66 % do raio e, em seguida, um decréscimo de 7 % até a região próxima à casca (LOPES *et al.*, 2011). Mesmo com idade e tratos silviculturais semelhantes e o mesmo local de plantio, o comportamento medula-casca da densidade da madeira é muito característico e dependente da espécie de eucalipto.

Modelos de variação crescente da densidade da madeira no sentido medula-casca de diferentes espécies de eucalipto são amplamente retratados por inúmeros pesquisadores (HILLIS; BROWN, 1984; SHIMOYAMA; BARRICHELLO, 1991; SILVA *et al.*, 2004; GONÇALEZ *et al.*, 2006). No trabalho de Oliveira, Hellmeister e Tomazello Filho (2005), verificou-se o comportamento crescente da densidade da madeira no sentido medula-casca de sete espécies de eucalipto, *E. cloeziana*, *E. urophylla*, *E. grandis*, *E. citriodora*, *E. tereticornis*, *E. paniculata*, *E. pilularis*, plantadas em Anhembi/SP, com aproximadamente 16 anos de idade, contudo cada espécie teve um perfil de variação distinto.

A densidade do lenho também pode variar ao longo do diâmetro (sentido casca-casca) em uma mesma altura do tronco da árvore, tendo perfil de variação distinto a depender do raio considerado, o que pode ser visualizado com maior facilidade pela

densitometria de raios X. Nessa conjuntura, a densitometria é uma importante ferramenta para fornecer informações da produção anual de massa lenhosa de acordo com a estrutura anatômica da madeira (MOTHE *et al.*, 1998).

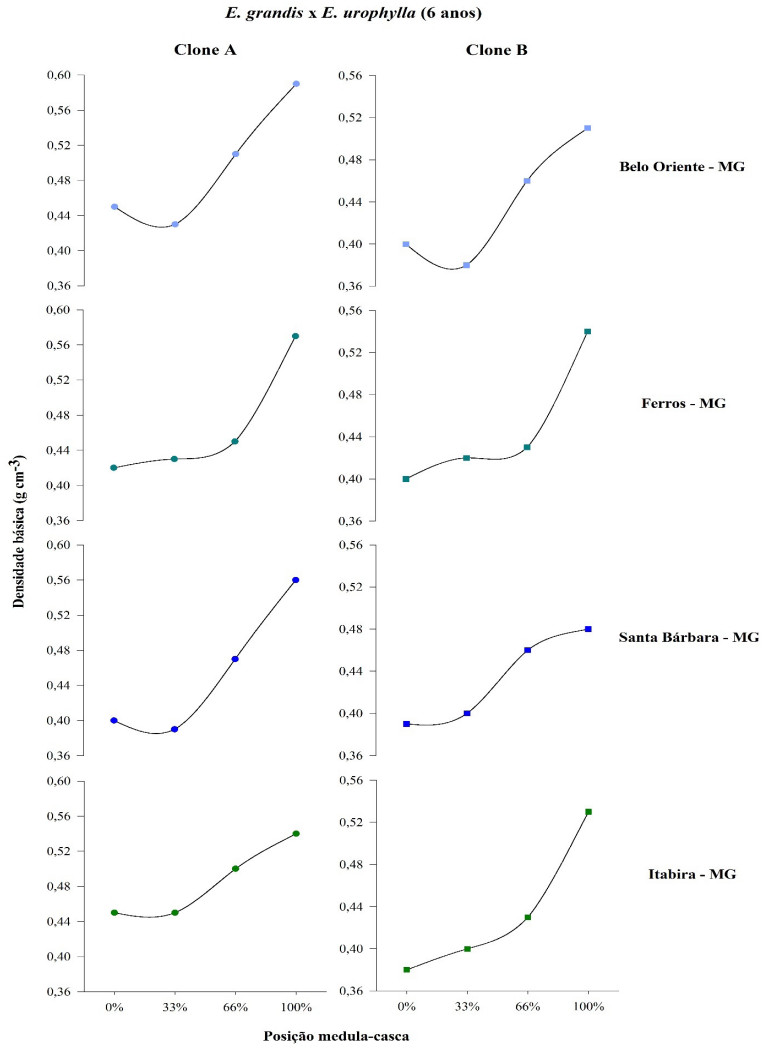
De modo geral, os menores valores de densidade aparente ocorrem na região central do fuste, com aumento gradativo em direção à casca, porém com picos de densidade distintos nos raios opostos, principalmente na região mais externa, como o observado em árvores do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* (BARBOSA, 2013; ARANTES *et al.*, 2016).

Em árvores de *E. urophylla* e *E. tereticornis* com 3 anos, coletadas em Imperatriz/MA e Darcinópolis/TO, atacadas pela vespa-da-galha (*Leptocybe invasa*) no primeiro ano, ocorreram divergências na variabilidade casca-casca da densidade. A madeira de *E. urophylla* apresentou os maiores valores de densidade aparente ao longo do diâmetro, enquanto a madeira de *E. tereticornis* teve uma menor variação de densidade, com picos na região correspondente à medula. As variações da densidade das duas espécies foram influenciadas pelas condições ambientais dos dois locais de crescimento, nos quais ocorreu o ataque da vespa-da-galha (BOBADILHA, 2016).

Para árvores de *E. grandis* x *E. urophylla*, aos 7 anos, que cresceram sob três níveis de distúrbios abióticos (sintomas brandos, intermediários e severos) em Vila Nova dos Martírios e Imperatriz/MA, ocorreram tendências divergentes de densidade aparente da madeira ao longo do diâmetro para os níveis de distúrbio. Um acréscimo de densidade ocorreu na região de quatro centímetros do raio, para todos os níveis. Para os níveis de distúrbio de maior severidade, também foram percebidos acréscimos de densidade na região da medula, o que provavelmente é uma implicação da presença de substâncias de reserva (carboidratos) nas células do parênquima (SILVA, 2016).

A densidade da madeira também pode ser influenciada pelas condições dos locais de crescimento das árvores. Por exemplo, em clones de *E. grandis* x *E. urophylla* e *E. grandis* (3 anos), a densidade básica média foi diferente em cinco locais avaliados, porém o local de crescimento não influenciou o comportamento da densidade no sentido medula-casca (GOUVÊA *et al.*, 2011). Já para clones iguais de *E. grandis* x *E. urophylla* (6 anos), diferentes locais de plantio não tiveram efeito na densidade da madeira, e o comportamento da densidade no sentido medula-casca foi crescente em todos os casos (Figura 2) (BARBOSA, 2013).

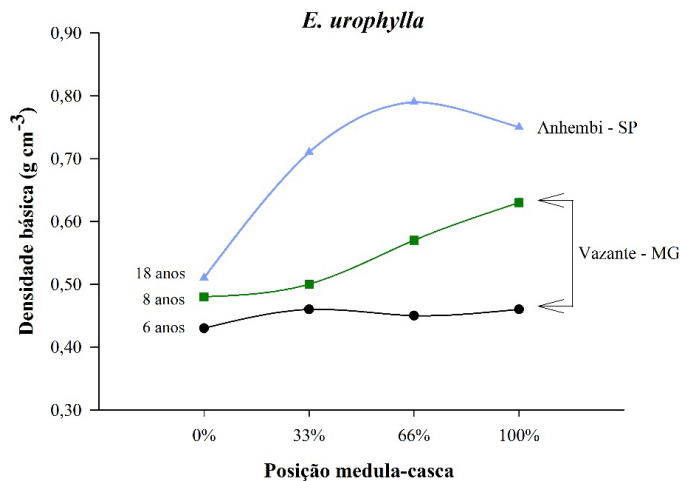
Figura 2 - Densidade básica média no sentido medula-casca do fuste de dois clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, aos 6 anos de idade, em diferentes locais de crescimento



Fonte: Elaboração dos autores com base em Barbosa (2013).

Para uma mesma espécie, diferentes condições de crescimento, idade e material genético resultam em comportamentos distintos da densidade no sentido medula-casca. Como exemplo, em uma plantação no sistema agrossilvipastoril em Vazante/MG, dois materiais genéticos de *E. urophylla* apresentaram aumento da densidade no sentido medula-casca, havendo, em uma mesma posição, valores mais expressivos nas árvores do clone de 8 anos (Figura 3). O clone de 6 anos, por sua vez, teve uma maior uniformidade da densidade ao longo do diâmetro (EVANGELISTA, 2007). Em árvores com 18 anos, de plantação homogênea em Anhembi/SP, ocorreu um outro comportamento, em que a densidade aumentou até 66 % do raio e posteriormente diminuiu em direção à casca, mas permanecendo com valores superiores ao de posições mais internas do fuste (LOPES *et al.*, 2011).

Figura 3 - Variação medula-casca da densidade básica na madeira de *E. urophylla* em diferentes idades



Fonte: Elaboração dos autores com base em Evangelista (2007) e Lopes e outros (2011).

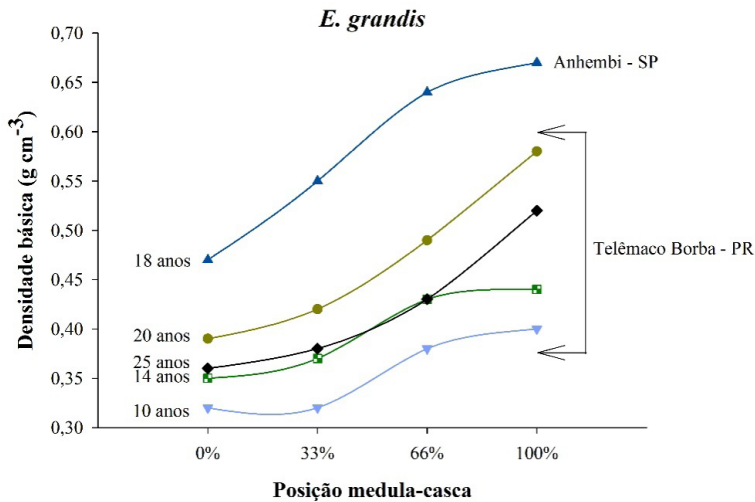
As curvas da Figura 3 possibilitam o entendimento de que, independentemente do material genético, local de plantio e condição de crescimento, a relação da idade com os valores de densidade é positiva, com o lenho mais denso em maiores idades. Não

ocorre, contudo, um padrão de variação da densidade no sentido medula-casca que seja dependente dos outros fatores mencionados anteriormente.

Os estudos da variação da densidade em função da condição de crescimento por vezes se tornam complexos dada a inexistência de um planejamento do experimento. Isto ocorre em plantações comerciais, onde a área é toda destinada a um certo sistema (consórcio de espécies ou integração lavoura, pecuária e floresta), sem que seja montada uma contraprova, em outras palavras, uma área-testemunha ou área-controle. O sistema, visualmente, pode demonstrar o grau de desenvolvimento, mas as decisões de sustentá-lo ou suprimi-lo serão tomadas às cegas, sem informações precisas de produtividade, qualidade da madeira e demais componentes, sejam eles agrícolas, sejam animais.

Na madeira de *E. grandis* com idades diferentes, em uma mesma posição no sentido medula-casca, a densidade pode variar em até $0,27 \text{ g cm}^{-3}$, como é possível observar em regiões mais próximas da casca (Figura 4). Essa diferença é explicada pelo tipo de lenho formado com a idade da árvore e amostrado dentro de cada posição medula-casca. Ou seja, as posições mais próximas da casca em árvores de 10 e 14 anos podem ter o mesmo tipo de lenho que está compreendido nas posições mais internas (50 % e 75 %) do fuste de árvores mais velhas, com 20 e 25 anos. Dessa madeira, em estudos de variação medula-casca ou casca-casca da densidade, é sempre importante considerar, além da idade das árvores, as classes diamétricas, para que a amostragem em cada posição corresponda ao mesmo tipo de lenho.

Figura 4 - Variação medula-casca da densidade básica da madeira de *E. grandis* em diferentes idades



Fonte: Elaboração dos autores com base em Silva (2002) e Lopes e outros (2011).

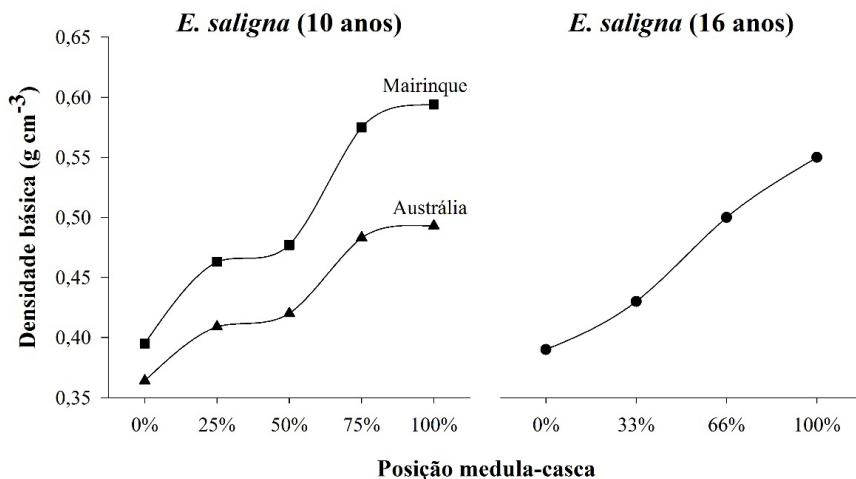
Os valores de densidade básica no sentido medula-casca de *E. grandis* aumentam em média 16 % em árvores com 14 anos, podendo chegar até 42 % e 45 %, como encontrado em árvores de 18 e 25 anos (SILVA, 2002; LOPES *et al.*, 2011). Essas variações podem ser explicadas pela transição de lenho juvenil para adulto, pois árvores mais velhas e com maior diâmetro proporcionam um maior incremento dos valores de densidade.

De modo geral, a variabilidade no sentido medula-casca da densidade básica de *E. grandis* segue um determinado padrão entre árvores de 7 a 25 anos, ou seja, aumenta de forma gradativa da medula até a região próxima ao câmbio vascular (Figura 4). Essa tendência também foi observada para outras árvores de *E. grandis*, avaliadas em diversos trabalhos (BAMBER; FLOYD; HUMPHREYS, 1969; FERREIRA, 1972; HANS; BURLEY; WILLIAMSON, 1972; FERNANDES *et al.*, 1989).

Como ocorre para a espécie *E. grandis*, a densidade da madeira de *E. saligna* possui tendência crescente no sentido medula-casca, porém com variações mais bruscas da medula à casca, com incremento de até 50 % (Figura 5). Para duas progêneses dessa

espécie, aos 10 anos, plantadas em Salesópolis/SP, tendência semelhante de variação no sentido medula-casca foi observada. A madeira de *E. saligna* com 16 anos, plantada em Anhembi/SP teve um perfil de densidade crescente, porém bem mais linear que o das árvores plantadas em Salesópolis/SP (TOMAZELLO FILHO, 1985b; OLIVEIRA; SILVA, 2003).

Figura 5 - Variação medula-casca da densidade básica na madeira de *Eucalyptus saligna* em diferentes idades



Fonte: Elaboração dos autores com base em Tomazello Filho (1985b) e Oliveira e Silva (2003).

Entre as espécies de eucalipto citadas nesta seção, pode-se afirmar que:

1. *E. camaldulensis*, aos 10 anos de idade, apresentou a maior variação no sentido medula-casca, com incremento de cerca de 52 % na densidade básica.
2. *E. saligna* (10 anos) e *E. urophylla* (18 anos) tiveram incremento em torno de 50 %.
3. *E. dunnii*, aos 18 anos, foi a espécie com menor incremento (30 %) de densidade no sentido medula-casca.

Varição base-topo da densidade básica na madeira de eucalipto

Em comparação ao diâmetro, ao longo da altura da árvore pode ocorrer uma maior variação da densidade básica da madeira de eucalipto. Em pesquisas de variabilidade da densidade básica de acordo com a altura do fuste, são relatados padrões diversos, que podem ocorrer em função da espécie ou material genético, da idade em que a árvore foi avaliada e de fatores ambientais e de ordem prática, como a amostragem e o método de determinação utilizado.

A amostragem no sentido base-topo das árvores é feita em alturas fixadas (exemplo: 0,10 m, 3 m, 6 m; ou 0,10 m, 1,30 m e a cada 1 m a partir desse ponto), em posições determinadas em relação à altura (exemplo: 0 %, 25 %, 50 %, 75 % e 100 %) ou em regiões qualitativas, como base, meio e topo, ou tora 1, 2 e 3.

De modo geral, os perfis de variação da densidade no sentido base-topo das árvores são dependentes da espécie e, portanto, serão descritos em seções distintas.

Eucalyptus grandis x *Eucalyptus urophylla*

E. grandis x *E. urophylla* é um híbrido muito utilizado pelas indústrias de polpa celulósica e papel, pois as árvores possuem bom crescimento em campo – característica de *E. grandis* –, associado à ligeira elevação da densidade da madeira, ao aumento do rendimento depurado e outras propriedades físicas adequadas à celulose, derivadas de *E. urophylla* (CARVALHO; NAHUZ, 2001; MAURI, 2010). Desta forma, vários estudos foram desenvolvidos com este híbrido na intenção de aprimorar sua produtividade e suas características tecnológicas para a produção de polpa celulósica.

Em árvores desse híbrido, aos 8 anos de idade, a densidade básica aumentou com a altura e, quando comparadas a *E. grandis* e *E. saligna*, apresentaram maiores valores de densidade básica na maioria das posições no sentido base-topo, com exceção da base (0 %) e no diâmetro à altura do peito (DAP) (ALZATE; TOMAZELLO FILHO; PIEDADE, 2005). Em árvores aos 6 anos, plantadas em Ipaba/MG e sem inclinação do fuste por ação dos ventos, o modelo de variação da densidade básica foi decrescente ao longo da altura comercial (BOSCHETTI, 2014).

Em uma plantação clonal em Itamarandiba/MG, com árvores de 5 e 6 anos de idade, ocorreu um decréscimo da densidade até a região do DAP (1,30 m do solo), seguido de um incremento até 75 % da altura do fuste e decréscimo na região mais próxima ao topo das árvores do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* (MOUTINHO, 2013).

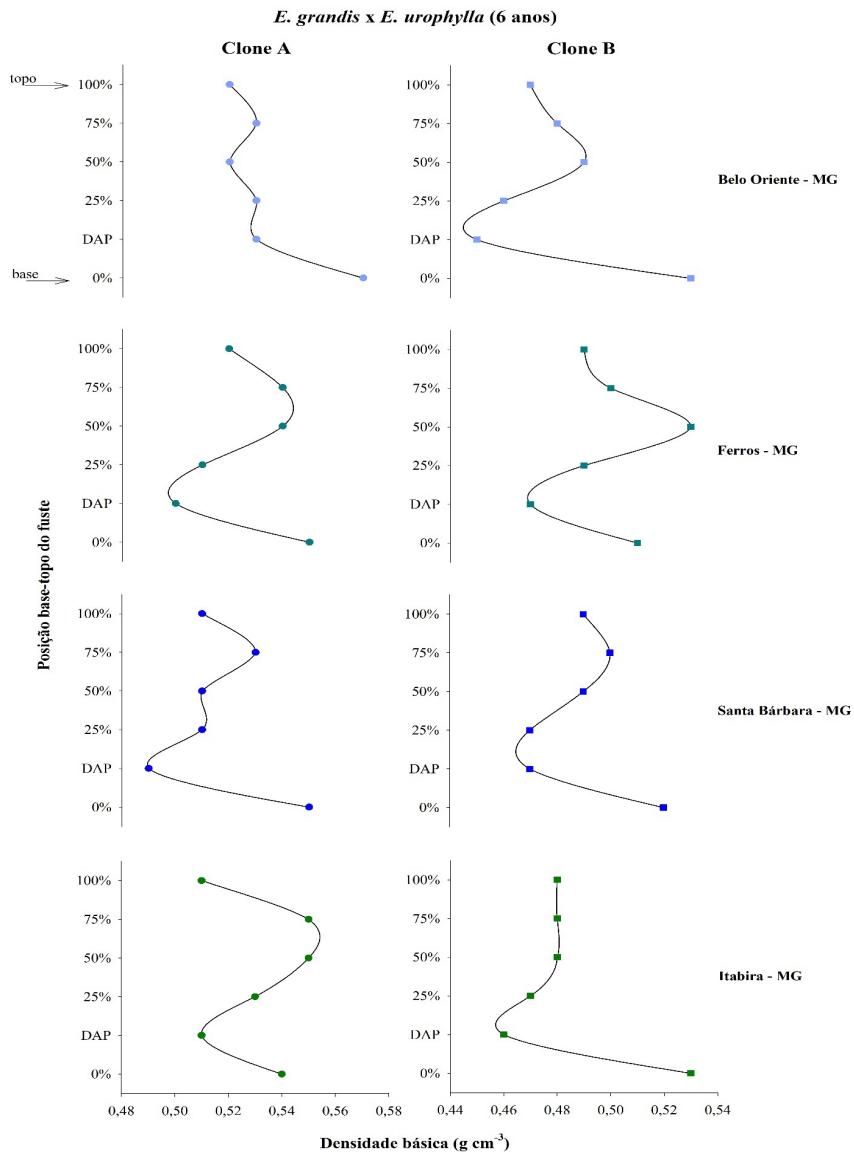
Para um mesmo clone desse híbrido (6 anos), o perfil de densidade no sentido base-topo teve alterações de acordo com o local de crescimento (Figura 6), porém foi possível resumir os padrões de variação em: a) densidade decrescente até o DAP, 25 ou 50 %, com posterior incremento até 50 ou 75 %, seguido de diminuição até 100 %; e b) densidade decrescente até o DAP, com posterior incremento até 100 % da altura comercial.

Na Figura 6 é possível perceber que o clone B teve maior queda de densidade no DAP em comparação ao clone A, para os diferentes locais de crescimento (BARBOSA, 2013). No clone B plantado em Ferros/MG, houve um pico de densidade na posição de 50 % da altura, superior ao observado na base das árvores. Uma possível explicação é a ocorrência de ventos em certo período do crescimento, o que contribuiu para a formação de lenho de reação nessa região do fuste.

Para doze clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, aos 6 anos de idade, provenientes de teste clonal em Aracruz/ES, seis modelos distintos de variação da densidade básica foram determinados:

1. diminuição da base até o DAP, seguida de aumento até 50 % e diminuição até o topo;
2. aumento da base até 75 %, seguido por queda até o topo;
3. diminuição da base até 25 %, seguida de aumento até o topo;
4. diminuição da base até o DAP, seguida por aumento até 50 %, diminuindo novamente até 75 % e aumentando no topo;
5. diminuição da base até o DAP, seguida por incremento até o topo; e
6. diminuição da base até o DAP, seguida por incremento até 75 % e queda no topo (CARNEIRO, 2017).

Figura 6 - Densidade básica média no sentido base-topo do fuste de clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, aos 6 anos de idade, em diferentes locais de crescimento no estado de Minas Gerais

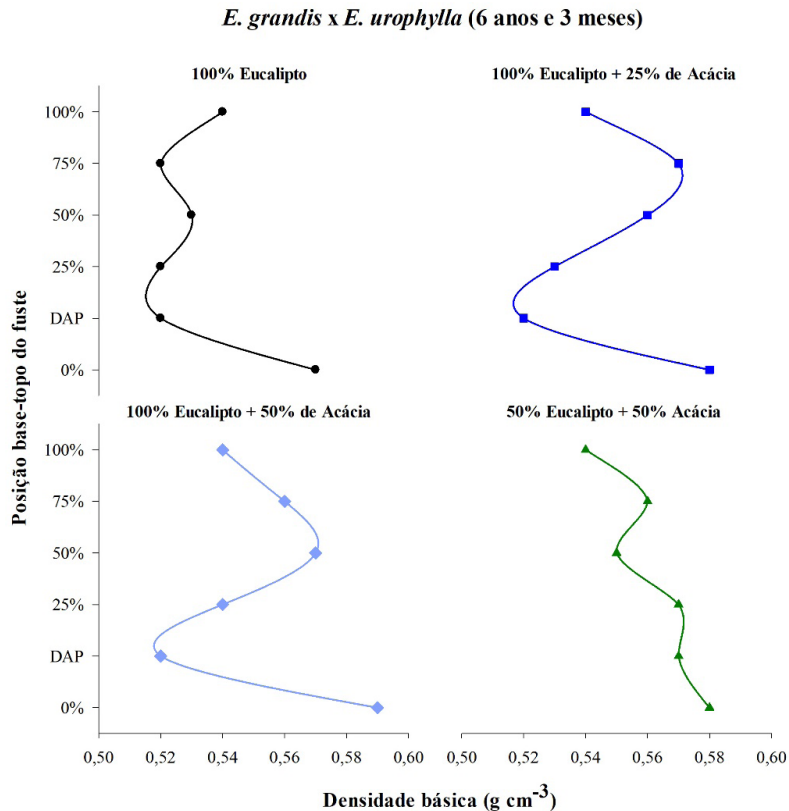


Fonte: Elaboração dos autores com base em Barbosa (2013).

Em um mesmo local de crescimento e em iguais idades, o material genético tem efeito direto sobre o comportamento da densidade no sentido base-topo do fuste do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*.

As propriedades da madeira proveniente de plantação em cultivo misto de *E. grandis* x *E. urophylla* com acácia, 6 anos de idade, foram estudadas por São Teago (2012). Para as árvores da parcela com 100 % de eucalipto (plantação pura), a densidade da madeira decresceu até o DAP e depois aumentou até regiões próximas à copa. Os valores médios de densidade básica dentro das posições base-topo das árvores foram significativamente influenciados pelo cultivo misto, sendo a madeira mais densa e uniforme observada na plantação com 50 % de eucalipto e 50 % de acácia (Figura 7). Os regimes de cultivo de eucalipto (100 %) com 25 % e 50 % de acácia apresentaram comportamento de densidade semelhante ao longo do tronco, com maior queda dessa propriedade na região do DAP. As modalidades de plantação mista com a acácia foram possíveis por uma compensação na área útil dos espaçamentos, em que se mantém o mesmo número de árvores de eucalipto da modalidade de plantação pura, com acréscimo de 25 % e 50 % deste número de árvores de acácia.

Figura 7 - Densidade básica média no sentido base-topo do fuste de *E. grandis* x *E. urophylla* plantado em consórcio com acácia



Fonte: Elaboração dos autores com base em São Teago (2012).

Como pode ser observado, para uma mesma espécie e igual método de amostragem, modelos diferentes de densidade no sentido base-topo são comumente encontrados.

Eucalyptus saligna

Diferentes comportamentos da densidade no sentido base-topo das árvores de cinco clones de *E. saligna* aos 8 anos, plantados em São Miguel Arcanjo/SP, foram descritos por Alzate, Tomazello Filho e Piedade (2005). Foi possível sintetizar quatro modelos distintos de variação (Figura 8), que foram dependentes do material genético:

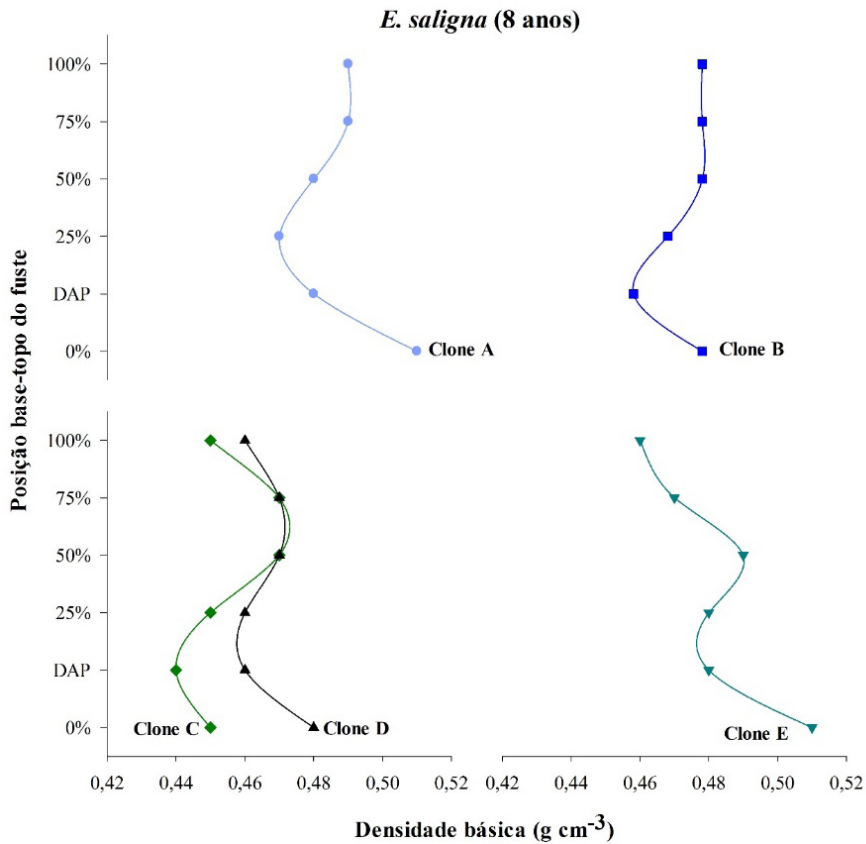
1. A densidade básica da madeira do clone A diminui até 25 % da altura, com posterior incremento até a posição de 75 %, permanecendo constante até o ápice. O lenho mais denso foi encontrado na base das árvores.

2. A densidade do clone B diminui da base ao DAP, com posterior incremento até 50 % da altura e, a partir desse ponto, ela permanece constante até o ápice. Para esse material genético, a densidade da base foi semelhante à observada nas posições de 50 %, 75 % e 100 % da altura.

3. Nos clones C e D, a densidade diminui da base ao DAP, com posterior incremento até o ponto de 50 %, voltando a diminuir até a proximidade da copa das árvores. O clone C formou o lenho mais denso entre as posições de 50 % e 75 % da altura.

4. Na madeira do clone E, a densidade diminui ao longo do tronco, com leve incremento na posição de 50 %, porém com densidade ainda inferior à observada na base.

Figura 8 - Perfis de densidade básica no sentido base-topo do fuste de *E. saligna* aos 8 anos de idade



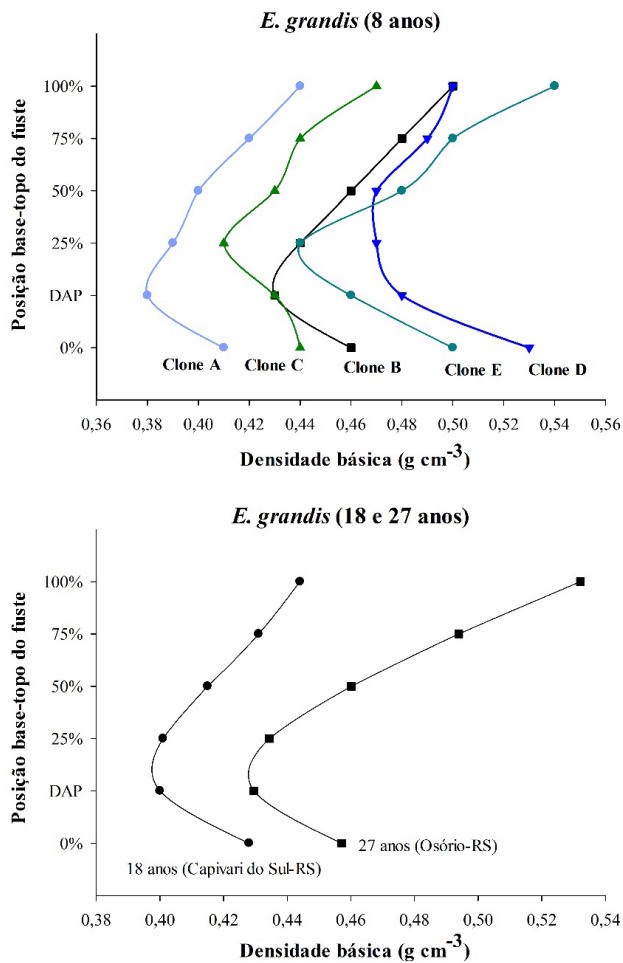
Fonte: Elaboração dos autores com base em Alzate, Tomazello Filho e Piedade (2005).

Eucalyptus grandis

Em árvores de *E. grandis*, aos 8 anos, plantadas em São Miguel Arcanjo/SP, ocorreu um só modelo de variação base-DAP da densidade básica para diferentes clones (a densidade decresceu), com posterior variação de incremento ou redução até 100 % da altura comercial (Figura 9) (ALZATE; TOMAZELLO FILHO; PIEDADE, 2005). Em árvores

mais velhas (27 anos) dessa espécie, plantadas em Osório/RS, verificou-se uma tendência decrescente da densidade ao nível do DAP, seguida de um incremento até as proximidades da copa das árvores (HASELEIN *et al.*, 2004).

Figura 9 - Perfil de densidade básica no sentido base-topo do fuste de *E. grandis* em diferentes idades



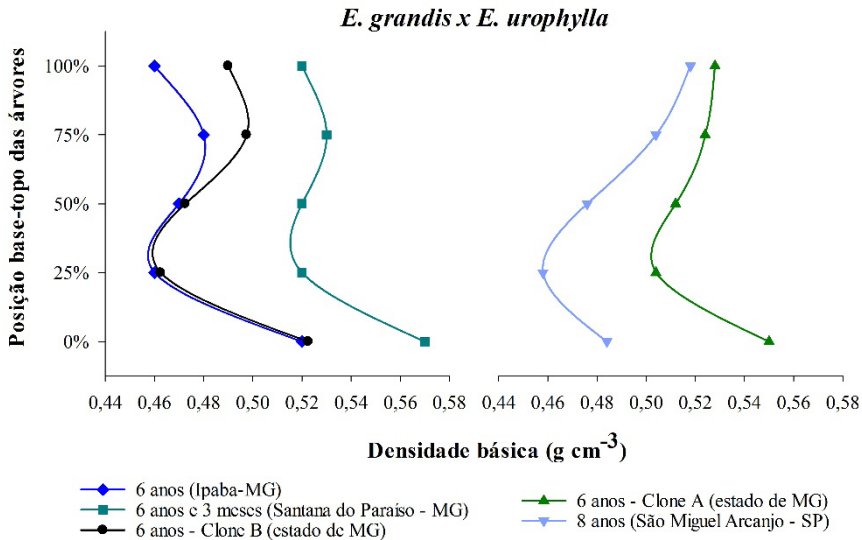
Fonte: Elaboração dos autores com base em Haselein e outros (2004), Alzate, Tomazello Filho e Piedade (2005) e Trevisan e outros (2012).

No sentido base-topo do tronco das árvores de *E. grandis*, independentemente da idade, o comportamento da densidade se caracteriza em geral por ser decréscimo até a altura do DAP e crescimento gradativo até 100 % da altura comercial da árvore (Figura 9). O perfil de decréscimo até certa altura do tronco e depois aumento em direção à copa em árvores de *E. grandis* também foi descrito por Manfredi (1985), Wilkins (1990), Wilkins e Horne (1991), Lima, Rosado e Oliveira (1992), Malan e Hoon (1992) e Oliveira, Hellmeister e Tomazello Filho (2005).

Outro perfil de variação base-topo da densidade de *E. grandis* foi registrado por Ferreira (1972), que observou o incremento da densidade com a altura.

No contexto da seleção de características de duas espécies em um mesmo material, para o melhoramento genético, a densidade básica da madeira do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* segue o perfil de densidade de *E. grandis*, entretanto alguns clones possuem a característica de decréscimo até 25 % da altura, aumentando até 75 % e diminuindo novamente até a região mais próxima à copa (Figura 10). Tendências de variação de densidade semelhantes à descrita anteriormente foram obtidas em clones de *E. grandis* x *E. urophylla* com 6 anos por Queiroz e outros (2004), Mauri (2010) e Arantes (2016) e em clones aos 7 anos por Carvalho e Nahuz (2001).

Figura 10 - Variação base-topo da densidade básica da madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* em diferentes idades

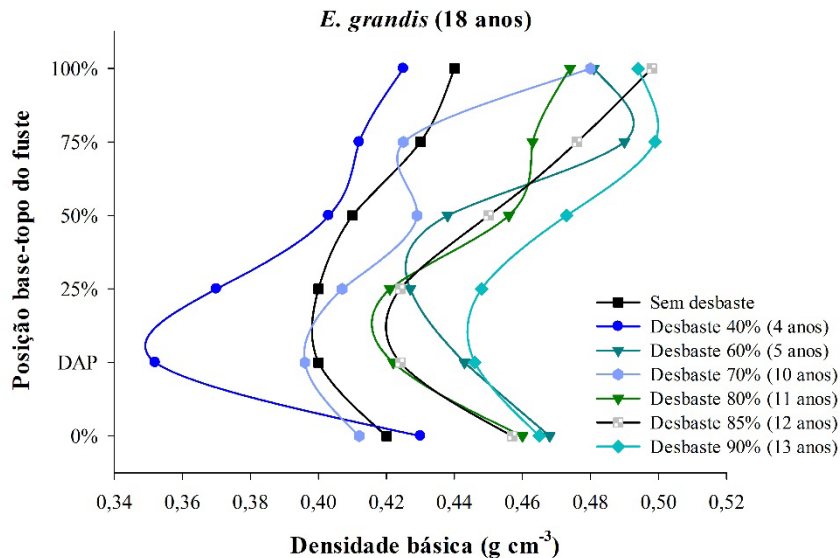


Fonte: Elaboração dos autores com base em Alzate, Tomazello Filho e Piedade (2005), São Teago (2012), Barbosa (2013) e Boschetti (2014).

A competição por luz é um fator que influencia o crescimento das árvores e, conseqüentemente, a produtividade e a qualidade da madeira. Nesse cenário, a prática de desbastes contribui para a redução da competição e promove o incremento de madeira no tronco, porém ela pode resultar em aumento da área de lenho juvenil, com menor densidade e fibras mais curtas (MALAN, 1995).

Nas árvores de *E. grandis*, plantadas em Capivari do Sul/RS, o desbaste até os 18 anos influenciou a variação base-topo da densidade básica (Figura 11), porém não houve um comportamento sistemático de acréscimo ou decréscimo de acordo com o espaço vital proporcionado pelo desbaste. Assim, as alterações na taxa de crescimento não afetaram a densidade de maneira uniforme (TREVISAN *et al.*, 2012).

Figura 11 - Variação base-topo da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis*, aos 18 anos de idade, por intensidade e época de desbaste



Fonte: Elaboração dos autores com base em Trevisan e outros (2012).

Eucalyptus urophylla

Para a madeira de *E. urophylla* podemos destacar três modelos de variação da densidade no sentido base-topo:

1. incremento com a altura do fuste, observado por Pádua, Trugilho e Lima (2006);
2. decréscimo até o DAP (1,30 m do solo), seguido da tendência de aumento até o topo da árvore (GOMINHO; FIGUEIRA; PEREIRA, 2001; PÁDUA; TRUGILHO; LIMA, 2006; MOUTINHO, 2013); e
3. aumento até certa altura do tronco, com posterior diminuição até a copa da árvore (OLIVEIRA; HELLMEISTER; TOMAZELLO FILHO, 2005).

Este último modelo de variação foi observado em *E. urophylla*, aos 12 anos de idade, em Guanhães/MG, todavia a diminuição da densidade da posição de 25 % até a proximidade da copa das árvores ocorreu de forma menos acentuada (MEDEIROS NETO, 2017).

A espécie *E. urophylla*, aos 8 anos e plantada em teste de progênie (26 ao todo) em Itamarandiba/MG, apresentou um modelo de variação caracterizado, de modo geral, por diminuição da base ao DAP, seguida de um aumento até 75 % e posterior diminuição a 100 % do fuste das árvores (ALMONACID, 2013).

Outras espécies de Eucalyptus plantadas no Brasil

Para a madeira de *E. benthamii*, aos 6 anos de idade, em Guarapuava/PR, a densidade básica foi decrescente com o aumento da altura da árvore. A base da árvore apresentou o maior valor de densidade básica, seguida pelas amostras da altura do DAP, e o menor valor foi a 75 % da altura total (BENIN; WATZLAWICK; HILLIG, 2017). Comportamento semelhante foi observado para árvores da mesma espécie, aos 7 anos, plantadas em Colombo/PR, nas quais ocorreu uma tendência de redução da densidade básica no sentido base-topo do fuste (PEREIRA, SCHAITZA, SHIMIZU, 2001).

A densidade básica da madeira não teve variação significativa ao longo da altura do tronco das árvores das espécies *E. dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*, todas com 18 anos, plantadas em Anhembi/SP (LOPES *et al.*, 2011). Esse resultado pode ter sido determinado pela metodologia de amostragem, na qual foram utilizados discos do lenho da base, a 50 % e a 100 % de altura do tronco das árvores. O número de posições utilizado não foi suficiente para amostrar regiões de decréscimo ou acréscimo da densidade ao longo do tronco.

Tendências de aumento da densidade básica ao longo do tronco foram observadas para a madeira de *E. dunnii*, aos 20 anos de idade, em Telêmaco Borba/PR (CALORI; KIKUTI, 1997). Aos 4 anos e 6 meses, árvores da mesma espécie de três procedências, plantadas em Colombo/PR, foram avaliadas quanto à variação base-topo da densidade. Observaram-se, para as procedências de Moleton e Dorrigio (Austrália), tendências decrescentes de densidade da base até a posição relativa a 25 % da altura comercial e, posteriormente, crescentes até o topo. Para a procedência de Urbenville, na Austrália,

a densidade básica decresceu até a posição de 50 %, atingiu o nível máximo a 75 % e voltou a decrescer (PEREIRA *et al.*, 1986).

Considerações sobre a variabilidade base-topo da densidade

Entre as espécies de eucalipto mencionadas nesta seção, a madeira de *E. grandis* foi a que gerou maior consenso entre os trabalhos publicados na literatura quanto aos modelos de variação da densidade no sentido base-topo das árvores. O comportamento comum, independentemente da idade, é o decréscimo da densidade até uma determinada altura, com um posterior e gradativo incremento até as proximidades da copa das árvores. O híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* apresentou maior tendência de variação da densidade básica no sentido base-topo.

No geral, é admissível considerarmos três tendências de variação da densidade ao longo da altura das árvores de eucalipto, sendo elas:

1. A densidade aumenta ou diminui com a altura.
2. A densidade aumenta até certa altura do tronco e depois diminui até a copa.
3. A densidade diminui até certa altura do tronco e depois aumenta em direção à copa.

Na Tabela 1, encontra-se um resumo dos valores médios e da tendência de variação da densidade básica da madeira no sentido base-topo.

Tabela 1 - Valores médios e perfis de variação da densidade básica da madeira de eucalipto no sentido base-topo, por espécie e idade

Espécie/ Híbrido	Idade (anos)	Densidade básica (g cm ⁻³)	Descrição do perfil de densidade	
<i>E. grandis</i>	8	0,46	Diferente para clones distintos	(1)
	18	0,41	Decrescente até o DAP, aumentando até a copa	(2)
	27	0,46	Decrescente ao nível do DAP e de 25 %, tornando-se crescente até 100 % da altura comercial	(3)
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	6	0,48	Decrescente até 25 %, aumento até 75 % e redução até o topo	(4)
		0,47	Decrescente até o DAP, seguindo a tendência de aumento até o topo	
<i>E. urophylla</i>	6	0,49	Decrescente até o DAP, aumentando até o topo	
		0,52	Decrescente até o DAP, aumento até 50 % e decrescente até o topo	(5)
		0,44	Decrescente até o DAP, aumento até 75 % do tronco e decrescente novamente até o topo	
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	6	0,43	Decrescente até o DAP, aumentando até o topo	

Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Alzate, Tomazello Filho e Piedade (2005); (2) Trevisan e outros (2012); (3) Haselein e outros (2004); (4) Boschetti (2014); (5) Moutinho (2013).

Um dos problemas em trabalhos de qualidade da madeira é saber o ponto de amostragem na árvore. A amostragem completa da altura do fuste nem sempre é viável, pelos custos financeiros envolvidos, pelo volume e massa de material gerado em métodos não destrutivos, em que as leituras ficam restritas a pontos mais próximos do solo, e, também, pela utilização pretendida para as árvores. Para esta última situação, um exemplo são as árvores destinadas à produção de serrados, em que as dimensões nominais das toras têm efeito na relação benefício/custo, o que impossibilita a retirada de amostras em algumas posições do fuste, como o DAP.

Comumente, uma amostragem simplificada é realizada à altura do peito (130 cm do solo) devido à facilidade laboral, mas, como descrito neste capítulo, para algumas espécies, ocorre uma queda de densidade no DAP, o que pode ocasionar um resultado subestimado do valor médio dessa propriedade para a árvore inteira. Em contrapartida, é possível encontrar divergências na literatura a respeito da estipulação do DAP como ponto ideal de amostragem.

A literatura sobre padrões de variação na densidade é bastante confusa, uma vez que os padrões observados derivam de uma ampla gama de técnicas de amostragem, o que dificulta chegar a uma conclusão clara sobre eles (DOWNES *et al.*, 1997). Nessa conjuntura, ainda não há consenso sobre quais as melhores posições de amostragem para estimar a densidade média das árvores pelo uso de técnicas sejam destrutivas, sejam não destrutivas (COUTO *et al.*, 2012).

Considerações finais

Existem diferentes tendências de variação da densidade na madeira de eucalipto, que são dependentes da espécie ou híbrido considerados, das diferentes condições e locais de crescimento, dos tratamentos silviculturais aplicados e do método de amostragem utilizado.

De modo geral, a densidade apresenta um comportamento padrão no sentido base-topo da árvore, de maiores valores na base, redução no DAP e aumento ou redução até a copa. Já no sentido medula-casca, geralmente ocorre um incremento nos valores de densidade.

É importante lembrar que a variabilidade da densidade na madeira de eucalipto deve ser considerada para facilitar e melhorar seu beneficiamento. Para tal, materiais de diferentes procedências devem ser analisados, com a mesma metodologia de amostragem, de forma a se permitir uma maior homogeneidade e melhor classificação deles para um uso racional.

Referências

ALMONACID, M. A. A. Avaliação do crescimento e da qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus urophylla*, de 8 anos, de teste de progênies, visando a produção de carvão vegetal. 2013. 161 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

ALZATE, S. B. A; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 68, p. 87-95, ago. 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). D 2395-93: standard test methods for specific gravity of wood and wood-based materials. Philadelphia, 1999. 8 p.

ARANTES, M. D. C. *et al.* Densitometria de raios X na madeira e carvão de clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 40, n. 1, p. 155-162, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 1194: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

BAMBER, R. K.; FLOYD, A. G.; HUMPHREYS, F. R. Wood properties of flooded gum. *Australian Forestry*, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 3-12, 1969.

BARBOSA, T. L. Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* cultivados em cinco regiões do estado de Minas Gerais para produção de celulose. 2013. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.

BENIN, C. C.; WATZLAWICK, L. F.; HILLIG, E. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* sob efeito do espaçamento de plantio. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1375-1384, 2017.

BOBADILHA, G. S. **Qualidade da madeira de árvores de eucalipto atacadas por *Leptocybe invasa*, *Gonipterus platensis* e *Thyrinteina arnobia***. 2016. 45 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2016.

BOSCHETTI, W. T. N. **Qualidade da madeira de árvores do híbrido clonal *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* inclinadas por ação de ventos para produção de celulose**. 2014. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014.

BRITO, J. O. *et al.* Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de eucalipto. *Revista IPEF* (atual *Scientia Forestalis*), Piracicaba, n. 23, p. 53-56, 1983.

CALORI, J. V.; KIKUTI, P. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 20 anos de idade. *In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT ON EUCALYPTS*, 1997, Salvador. **Proceedings** [...]. Salvador: Embrapa, 1997. p. 321-326.

CARNEIRO, A. C. O. *et al.* Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 38, n. 2, p. 375-381, 2014.

CARNEIRO, M. F. **Qualidade da madeira de clones de eucalipto utilizados na produção de celulose**. 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2017.

CARVALHO, A. M.; NAHUZ, M. A. R. Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 59, p. 61-76, 2001.

CASTRO, A. F. N. M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal**. 2011. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

CHIMELO, J. Anatomia e propriedades gerais da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (org.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro II**. Jerônimo Monteiro: Suprema, 2007. p. 107-124.

COUTO, A. M. *et al.* Amostragens longitudinais alternativas para a determinação da densidade básica em clones de *Eucalyptus* sp. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 19, n. 2, p. 184-193, 2012.

DIAS, D. C. **Uso da resistografia na modelagem da densidade básica de clones de eucalipto**. 2011. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

DOWNES, G. M. *et al.* **Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties**. Collingwood: CSIRO Publishing, 1997. 132 p.

EVANGELISTA, W. V. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, oriunda de consórcio agrossilvipastoril**. 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

FERNANDES, P. S. *et al.* Tensões de crescimento em procedências de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e suas relações com as características das fibras e densidade básica. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 215-234, 1989.

FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira em povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos. **Revista IPEF** (atual Scientia Forestalis), Piracicaba, v. 4, p. 65-89, 1972.

FOELKEL, C. **Qualidade da madeira do eucalipto**: reflexões acerca da utilização da densidade básica como indicador de qualidade da madeira no setor de base florestal. [S. l.]: Eucalyptus Online Book & Newsletter, 2015. Capítulo 41, 199 p. Disponível em: http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT41_Densidade_Basica_Madeira.pdf. Acesso em: 17 mar. 2016.

GOMINHO, J.; FIGUEIRA, J.; PEREIRA, H. Within-tree variation of heartwood, extractives and wood density in eucalypt hybrid urograndis (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*). **Wood and Fiber Science**, United States, v. 33, n. 1, p. 3-8, 2001.

GONÇALEZ, J. C. *et al.* Características tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341, 2006.

GONÇALVES, M. P. M. *et al.* Variação radial da densidade básica e comprimento das fibras da madeira de *Tectona grandis* L. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 14, n. 1, p. 70-75, 2007.

GOUVÊA, A. F. G. *et al.* Determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 3, n. 2, p. 349-358, 2011.

HANS, A. S.; BURLEY, J.; WILLIAMSON, P. Wood quality in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, grown in Zambia. **Holzforschung**, Germany, v. 26, p. 138-141, 1972.

HASELEIN, C. R. *et al.* Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 145-155, 2004.

HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. *Eucalypts for wood production*. 2. ed. Melbourne: CSIRO Academic Press, 1984. 434 p.

KLITZKE, R. J. Secagem de madeira. *In*: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (org.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro II**. Jerônimo Monteiro: Suprema, 2007. p. 271-341.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Influência do desbaste em propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 151-160, 2005.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Variação da densidade aparente e resistência à compressão paralela às fibras em função da intensidade de desbaste, adubação e posição radial em *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 3, p. 551-559, 2010.

LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; OLIVEIRA, A. D. Variação da densidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus camaldulensis* no sentido longitudinal dos caules. **Ciência e Prática**, Bebedouro, v. 16, n. 1, p. 123-127, 1992.

LOPES, C. S. D. *et al.* Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 315-322, 2011.

MALAN, F. A. *Eucalyptus* improvement for lumber production. *In*: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1., 1995, São Paulo. **Anais [...]**. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 1-19.

MALAN, F. S.; HOON, M. Effect of initial spacing and thinning on some wood properties of *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, [África do Sul], n. 163, p. 13-20, 1992.

MANFREDI, V. **Variações no rendimento da polpa sulfato ao longo do tronco de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus saligna* Smith.** 1985. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

MAURI, R. **Anatomia e densidade do lenho de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, com variação de altitude e de topografia, no estado de Minas Gerais.** 2010. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

MEDEIROS NETO, P. N. **Resistência natural da madeira de sete espécies de *Eucalyptus* a agentes xilófagos.** 2017. 123 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2017.

MOKFIENSKI, A. **Importância relativa da densidade básica e da constituição química de madeira de *Eucalyptus* spp. no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa Kraft.** 2004. 153 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

MOTHE, F. *et al.* Localisation de la transition bois initial – bois final dans un cerne de chêne par analyse microdensitométrique. **Annales des Sciences Forestières**, [França], v. 4, n. 55, p. 437-449, 1998.

MOUTINHO, V. H. P. **Influência da variabilidade dimensional e da densidade da madeira de *Eucalyptus* sp. e *Corymbia* sp. na qualidade do carvão.** 2013. 164 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

OLIVEIRA, A. C. *et al.* Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variation of the moisture content and specific gravity in the wood of seven eucalypt species. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 115-127, 2005.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003.

PÁDUA, F. A. Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. 2009. 87 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PÁDUA, F. A.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T. Amostragem da madeira para a avaliação da densidade básica em *Eucalyptus*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 10., 2006, São Pedro. **Anais [...]**. São Pedro: IBRAMEM, 2006.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 722 p.

PEREIRA, J. C. D. *et al.* Comparação da qualidade da madeira de três procedências de *Eucalyptus dunnii* Maiden, para fins energéticos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 13, p. 9-16, 1986.

PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; SHIMIZU, J. Y. Características físicas, químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 4 p. (Circular Técnica, 50).

QUEIROZ, S. C. S. *et al.* Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa Kraft de clones híbridos de *E. grandis* W. Hill ex Maiden x *E. urophylla* S. T. Blake. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 901-909, 2004.

RODRIGUES, B. P. **Qualidade do lenho de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* sob estresse abiótico e o impacto na produção de celulose.** 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia.** 1998. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SANTANA, W. M. S. *et al.* Effect of age and diameter class on the properties of wood from clonal *Eucalyptus*. *Cerne*, Lavras, v. 18, n. 1, p. 1-8, 2012.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto.** 2010. 173 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SÃO TEAGO, G. B. **Qualidade das madeiras de acácia e eucalipto provenientes de cultivo misto visando a produção de celulose.** 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012.

SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELLO, L. E. G. Influência de características anatómicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp. *In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL*, 24., 1991, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: ABTCP, 1991. p. 178-183.

SHMULSKY, R.; JONES, P. D. **Forest products and wood science: an introduction.** 6. ed. Iowa: Wiley-Blackwell, 2011. 483 p.

SILVA, A. P. C. **Influência de distúrbios abióticos na qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose.** 2016. 45 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2016.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira.** 2002. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, J. C. *et al.* Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Floresta**, [Curitiba], v. 34, n. 1, p. 13-22, 2004.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). **Basic density and moisture content of pulpwood: test method T 258 om-16.** Atlanta, 1994. 6 p.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. **Revista IPEF (atual Scientia Forestalis)**, Piracicaba, v. 36, p. 35-42, 1987.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus gummifera*, *E. microcorys* e *E. pilularis*. **Revista IPEF (atual Scientia Forestalis)**, Piracicaba, v. 30, p. 45-54, 1985a.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **Revista IPEF (atual Scientia Forestalis)**, Piracicaba, v. 29, p. 37-45, 1985b.

TOMAZELLO FILHO, M. *et al.* Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of Eucalypt wood. **Maderas: ciencia y tecnología**, Concepción, Chile, v. 10, n. 2, p. 139-149, 2008.

TREVISAN, R. *et al.* Axial variation and effect of thinning on basic density of central trees of *Eucalyptus grandis*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 2, p. 312-318, 2012.

VIDAURRE, G. B. *et al.* Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 4, p. 10-18, 2011.

WILKINS, A. P. Influence of silvicultural treatment on growth and wood density of *Eucalyptus grandis* growth on a previous pasture site. **Australian Forestry**, [s. l.], v. 53, n. 3, p. 168-172, 1990.

WILKINS, A. P.; HORNE, R. Wood-density variation of young plantation grown *Eucalyptus grandis* in response to silvicultural treatments. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v. 40, n. 1, p. 39-50, 1991.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. **Genetics of wood production**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 350 p.

Capítulo 6

Influência do espaçamento de plantio nas propriedades da madeira de eucalipto

Jordão Cabral Moulin

Sérgio Ricardo Silva

Leif Nutto

Graziela Baptista Vidaurre



Espaçamento de plantio

O melhoramento genético e o manejo florestal influenciam a resistência mecânica, a massa específica e a estabilidade dimensional da madeira (HAYGREEN; BOWYER, 1989). A escolha do espaçamento tem como objetivo proporcionar espaço suficiente para as árvores se desenvolverem adequadamente, com a melhor qualidade possível e menor custo. A mudança de manejo para utilização de diferentes espaçamentos de plantas ocorreu no final da década de 70 e início da década de 80, com tendência de serem utilizados espaçamentos reduzidos nas áreas florestais do Brasil (MÜLLER; COUTO, 2006).

A definição do espaçamento ocorre em função do uso final da madeira e de critérios ambientais e econômicos. O espaçamento influi na taxa de crescimento das árvores, em seu ciclo ou rotação, na qualidade da madeira, nos tratamentos silviculturais, no planejamento e na colheita florestal.

O espaçamento é definido a partir da quantidade de plantas por área, que são arranjadas em linhas. O aumento da distância entre linhas às vezes é desejável, pois implica a redução dos custos de implantação e a melhoria ao acesso no interior da área plantada (GERRAND; NEILSEN, 2000).

O rendimento de madeira está associado não apenas ao número de plantas por área, mas também ao arranjo do espaçamento, que influencia principalmente o crescimento em diâmetro da árvore (SILVA; BELLOTE; FERREIRA, 2003). São mais comuns formatos quadrados ou retangulares, com áreas de 3x3 e 3x2 m, fazendo-se a opção pelo modelo de espaçamento a ser utilizado em função da finalidade da plantação. Ademais, devem ser considerados os potenciais “subprodutos” durante o ciclo de produção, pois geralmente são feitos desbastes para reduzir o número de árvores com regularidade. O volume e a dimensão da madeira colhida nos desbastes dependem do espaçamento inicial e interferem nos custos da colheita. Se existe um mercado para estes subprodutos, eles podem ter uma influência positiva no fluxo de caixa, caso contrário contribuem de forma negativa, e um manejo que gere menos subprodutos pode ser mais favorável.

A escolha do espaçamento é realizada muitas vezes de maneira empírica com base em práticas comuns das regiões. Constatou-se que, em alguns casos, o espaçamento não é empregado em conformidade com o uso final da madeira (BERGER, 2000). Para a implantação de uma floresta com as características requeridas para atender

um determinado mercado madeireiro, é necessário analisar qual espaçamento deve ser empregado, de modo que a madeira produzida atenda as exigências do mercado consumidor.

Influência do espaçamento de plantio no crescimento do eucalipto

O silvicultor tem um papel importante na qualidade da madeira produzida, pois o manejo do espaçamento modifica o diâmetro da árvore e outras características de desenvolvimento do eucalipto – como a dimensão do crescimento da área basal – que determinam o aumento volumétrico da árvore. Além disso, o espaçamento influencia a qualidade da madeira, a idade de corte e, conseqüentemente, os custos de produção (SCHÖNAU; COETZEE, 1989; SILVA; BELLOTE; FERREIRA, 2003).

As árvores respondem de modo distinto à disposição das plantas na área de plantio (HAYGREEN; BOWYER, 1989). Em espaçamentos menos densos, elas apresentam troncos com maiores diâmetro, volume e conicidade, galhos mais grossos e copas mais extensas do que em espaçamentos mais densos (RIBASKI, 2003). Contudo, o crescimento da árvore em altura é influenciado principalmente pela qualidade do sítio, o que abrange clima, precipitação, temperatura, fertilizante e subsolagem.

Os espaçamentos amplos beneficiam o manejo florestal e o desenvolvimento das árvores, ao facilitarem o acesso de máquinas ao interior dos povoamentos florestais para realização dos tratos culturais e da extração madeireira. Contudo, nestes espaçamentos há necessidade de maior quantidade de tratos culturais e ocorre menor desrama natural (RIBASKI, 2003).

Florestas com espaçamentos densos produzem maior volume de madeira por área em ciclos mais curtos, porém o volume individual por árvore é menor. Nesses casos, ocorre rápido fechamento do dossel, e as árvores necessitam de menos tratos culturais, embora sejam exigidos desbastes precoces, o que origina árvores com fustes cilíndricos (HAYGREEN; BOWYER, 1989).

Em três diferentes espaçamentos de plantio (3x2; 3x3; 3x4 m), o volume comercial (sem casca) por área de *E. saligna* com idades de 3 a 10 anos foi maior para os espaçamentos menos densos (BERGER *et al.*, 2002). Este resultado é corroborado por Müller e Couto (2006). Em um ensaio com híbrido de *E. grandis* x *E. camaldulensis*, a área basal

e o volume total por área decresceram com o aumento do espaçamento entre as plantas, porém o diâmetro do tronco foi maior no espaçamento mais largo.

O espaçamento entre árvores determina o grau de competição por luz, água e nutrientes. Como espaçamentos mais densos possuem maior número de plantas por área, ocorre maior competição entre as plantas e, conseqüentemente, maior taxa de mortalidade das árvores. Morais (2006) avaliou a taxa de sobrevivência de *Eucalyptus* sp. nas idades de 1 a 7 anos, nos espaçamentos 3x2, 6x2, 6x3, 6x4 e 12x2,5 m. Em espaçamentos mais densos, houve maior taxa de mortalidade, em conseqüência da maior competitividade entre plantas por nutrientes, água e luz.

Influência do espaçamento de plantio na qualidade da madeira de eucalipto

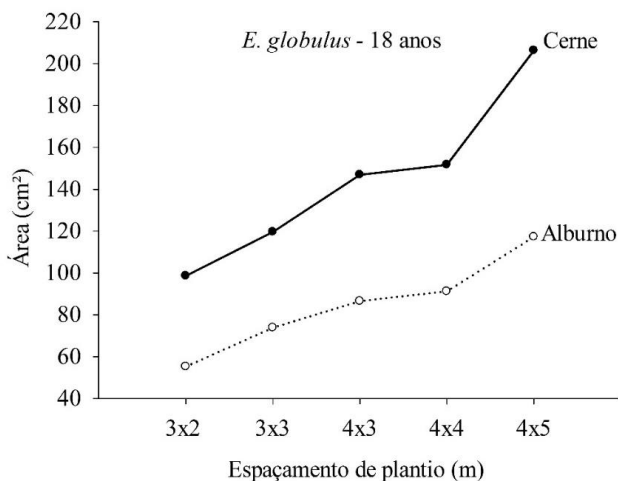
O planejamento para implantação de um produto florestal contempla a necessidade de atendimento às demandas do mercado por madeira com determinadas características tecnológicas. Esta pode ser obtida com material genético apropriado associado à silvicultura e ao manejo das florestas, sendo determinante o papel do espaçamento no alcance deste propósito.

O espaçamento influencia a produção de madeira juvenil/adulta em relação à área basal. É desejável que a transição entre os lenhos juvenil e adulto ocorra em idades mais jovens, pois, assim, tem-se maior porcentagem de madeira adulta no final do ciclo de corte. O conhecimento da magnitude desse efeito pode ser a chave para a tomada de decisões dos silvicultores. Entretanto, a redução da produção de madeira juvenil não se justifica se o crescimento em diâmetro não for satisfatório, ou seja, almeja-se qualidade tecnológica associada com diâmetro de fuste adequado. Desta forma, é importante conhecer como o espaçamento interfere na transição do lenho juvenil para o lenho adulto e a proporção de madeira adulta presente nas árvores. De acordo com Oliveira e outros (2010), a madeira juvenil possui características distintas da madeira adulta, como menor densidade, maior porcentagem de nós, maior ângulo microfibrilar e menor resistência mecânica.

As plantas de rápido crescimento em diâmetro produzem madeira adulta em idades mais jovens, e as árvores de plantações com espaçamentos mais amplos apresentam maior crescimento em diâmetro.

O espaçamento está indiretamente associado à formação de cerne e de albúrneo da madeira, a proporção cerne/albúrneo depende do diâmetro e da idade da planta. Essa proporção aumenta com o crescimento em diâmetro da árvore, como visualizado na Figura 1.

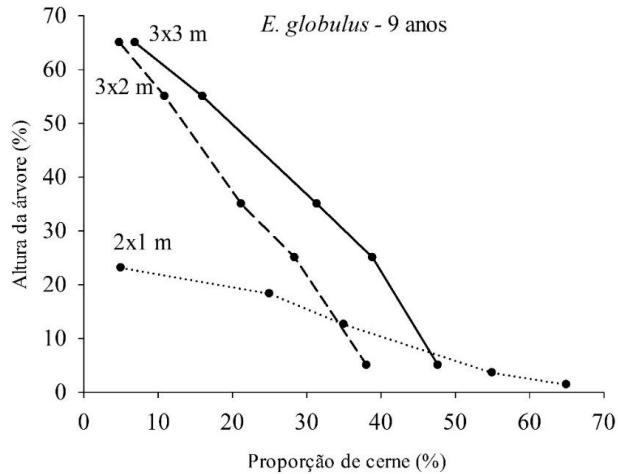
Figura 1 - Influência do espaçamento na área de cerne e de albúrneo



Fonte: Elaboração dos autores com base em Miranda, Tomé e Pereira (2003).

Espaçamentos mais amplos proporcionam maior crescimento em diâmetro e formação antecipada de cerne, porém a deposição dos extrativos está vinculada com o processo de envelhecimento da planta. Considerando o mesmo diâmetro, uma árvore de crescimento mais rápido possui menos extrativos, o que impacta a durabilidade natural da madeira. A quantidade de cerne diminui com o aumento da posição em altura da árvore, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Variação da proporção cerne/alburno no sentido base-topo em diferentes espaçamentos



Fonte: Elaboração dos autores com base em Gominho e Pereira (2005).

Outra influência do espaçamento sobre a qualidade da madeira é na formação do lenho de reação, que geralmente decorre de forças externas atuantes sobre a árvore, como terrenos acidentados ou ventos predominantes. O espaçamento influencia a formação de copas simétricas ou assimétricas, e copas assimétricas geram forças heterogêneas dentro da árvore, o que muitas vezes resulta na formação do lenho de reação. Espaçamentos heterogêneos também aumentam a possibilidade de formação de lenho de reação. A presença de lenho de reação causa problemas na secagem, como o aumento da chance de surgimento de rachaduras e de empenamentos.

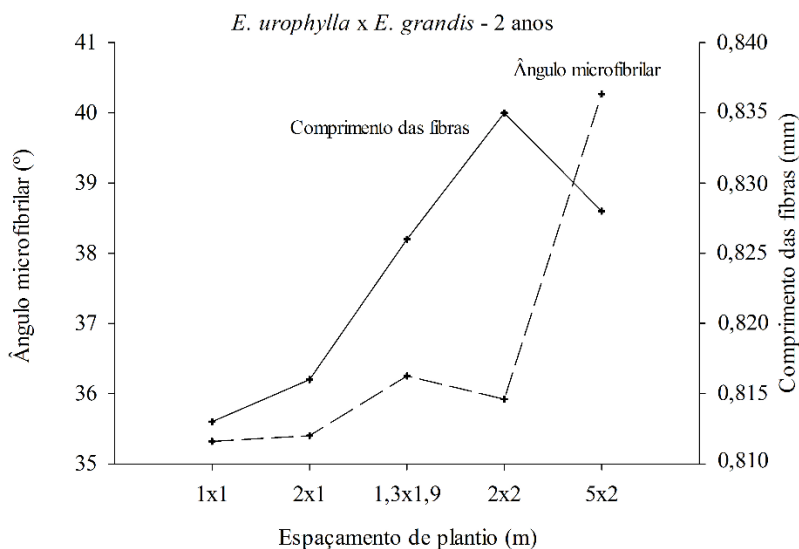
As mudanças nas práticas silviculturais e os avanços tecnológicos nas últimas décadas resultaram no aumento da taxa de crescimento das árvores e na diminuição do tempo de rotação da cultura, mas favoreceram o aumento da proporção de lenho juvenil da árvore e a redução da resistência e rigidez da madeira (TIENNE *et al.*, 2009).

Há uma nova demanda por estudos sobre espaçamento em plantios de eucalipto com a finalidade de atender mercados consumidores que necessitam de madeira que suporte esforços mecânicos. Em árvores de *E. saligna* com 10 anos plantadas nos

espaçamentos de 3x2, 3x3 e 3x4 m, a propriedade de flexão (módulo de ruptura e módulo de elasticidade) aumentou na madeira úmida nos maiores espaçamentos (HASELEIN *et al.*, 2002).

O comportamento da madeira (em relação a secagem, colagem de peças, trabalhabilidade, etc.) está intimamente associado a sua estrutura celular. O espaçamento de plantio pode ser utilizado como estratégia de manejo para produzir madeira com pequeno ângulo microfibrilar. Maiores espaçamentos de plantio proporcionaram maior ângulo microfibrilar e comprimento de fibras (Figura 3) na madeira do clone de *E. urophylla* x *E. grandis* aos 2 anos de idade (TIENNE *et al.*, 2009).

Figura 3 - Ângulo microfibrilar e comprimento das fibras em função do espaçamento entre árvores

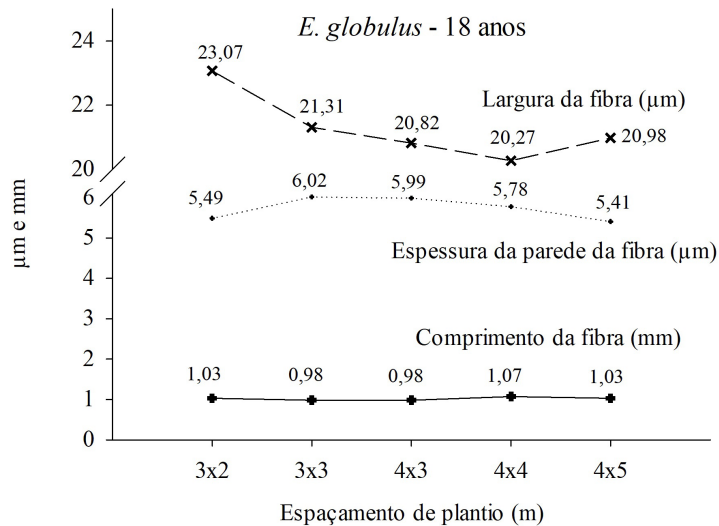


Fonte: Elaboração dos autores com base em Tienne e outros (2009).

O comprimento, a largura e a espessura da parede celular das fibras da madeira de *E. globulus* aos 18 anos não variaram (Figura 4) entre árvores plantadas em diferentes espaçamentos (MIRANDA; TOMÉ; PEREIRA, 2003). Já o comprimento das fibras de dois clones do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, aos 6 e 12 meses, aumentou com

a ampliação do espaçamento de plantio. As idades podem ter influenciado tais resultados (MOULIN, 2013).

Figura 4 - Influência do espaçamento na largura, espessura e comprimento da fibra de *E. globulus*



Fonte: Elaboração dos autores com base em Miranda, Tomé e Pereira (2003).

A espessura de parede das fibras da madeira reduziu com a ampliação do espaçamento de plantio em apenas um dos dois clones de *E. grandis* (4 anos) estudados por Brito (2017); no outro clone e em *E. grandis* x *E. urophylla*, também com 4 anos, a espessura da parede da fibra da madeira não foi influenciada pelo espaçamento de plantio.

Influência do espaçamento de plantio na densidade da madeira de eucalipto

A densidade é uma das principais propriedades da madeira e de mais fácil mensuração. Ela relaciona-se com importantes aspectos tecnológicos e econômicos, como a contração e o inchamento, a resistência mecânica das peças, o rendimento e a qualidade da

polpa celulósica, a produção e a qualidade do carvão vegetal e os custos operacionais ligados ao transporte e ao armazenamento (PEREYRA *et al.*, 2006).

O espaçamento de plantio pode influenciar na densidade da madeira, portanto é preciso atentar-se ao planejamento no manejo da floresta, no intuito de adequar o espaçamento à utilização final da madeira.

O efeito do espaçamento de plantio nas propriedades da madeira de coníferas é distinto daquele observado em folhosas. Para algumas folhosas, a tendência é que a densidade aumente em maior espaçamento – embora ainda haja necessidade de mais pesquisas para reforçar tal afirmação –, enquanto, nas coníferas (*Pinus radiata*), a densidade é menor em espaçamentos maiores. Coníferas plantadas em amplos espaçamentos e com desbastes têm um rápido crescimento e madeira de baixa densidade (HAYGREEN; BOWYER, 1989). A madeira das folhosas apresenta caracterização anatômica complexa e heterogênea. Folhosas de porosidade anelar, plantadas em espaçamentos amplos e com desbaste, têm rápido crescimento e apresentam densidade mais elevada. Por sua vez, as folhosas de porosidade difusa, cultivadas em iguais condições, apresentam rápido crescimento e sua densidade não é influenciada de forma significativa (FLORENCE, 1996).

A influência do espaçamento de plantio sobre a densidade da madeira de eucalipto foi investigada por vários pesquisadores em árvores de diferentes espécies e idades (Tabela 1). Na maioria das pesquisas foi verificado o aumento da densidade com a ampliação do espaçamento. Os maiores incrementos de densidade foram constatados por Moulin e outros (2017) e Rocha (2011), cujos valores foram 11,7 % e 9,8 %, respectivamente. Em plantações de eucaliptos de mesma espécie e em condições semelhantes de desenvolvimento – manejo, solo, clima e idade –, mas com espaçamentos de plantio diversos, ainda podem ocorrer variações na composição da madeira em razão de diferenças genéticas, que ocasionam pequenas variações de densidade.

Tabela 1 - Influência do espaçamento na densidade básica (g cm^{-3}) da madeira de eucalipto (continua)

Espécie	Idade (meses)	Espaçamento (m)											
		2x1	2x2	2,8x2,8	3x0,5	3x1	3x1,5	3x2	3x2,5	3x3	3x4	4x4	
Clone A <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	6												
Clone B <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	6												
Clone A <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	12												
Clone B <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	12												
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	48												
<i>E. dunnii</i>	72												
<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	85												

(1)

(2)

(3)

(4)

Tabela 1 - Influência do espaçamento na densidade básica (g cm⁻³) da madeira de eucalipto (conclusão)

Espécie	Idade (meses)	Espaçamento (m)										
		2x1	2x2	2,8x2,8	3x0,5	3x1	3x1,5	3x2	3x2,5	3x3	3x4	4x4
<i>E. urophylla</i>	108	$0,560 \xrightarrow{+2,5\%} 0,574 \xrightarrow{-5,4\%} 0,559 \xrightarrow{-2,9\%} 0,543$										(5)
		$0,501 \xrightarrow{-0,6\%} 0,498 \xrightarrow{+0,6\%} 0,501 \xrightarrow{0,0\%} 0,501$										(6)
Clone A <i>E. grandis</i>	48	$0,460 \xrightarrow{+5,9\%} 0,487 \xrightarrow{+3,5\%} 0,504 \xrightarrow{-7,3\%} 0,467$										(2)
		$0,432 \xrightarrow{+2,5\%} 0,443 \xrightarrow{+4,5\%} 0,463 \xrightarrow{-0,9\%} 0,459$										(2)
<i>E. grandis</i>	120	$0,488 \xrightarrow{-2,3\%} 0,477 \xrightarrow{+3,1\%} 0,492 \xrightarrow{-0,8\%} 0,488$										(7)
		$0,515 \xrightarrow{+1,0\%} 0,520 \xrightarrow{+1,0\%} 0,525 \xrightarrow{+1,5\%} 0,533$										(7)
<i>E. saligna</i>	180	$0,376 \xrightarrow{+5,1\%} 0,395 \xrightarrow{+1,8\%} 0,402$										(8)
		$0,515 \xrightarrow{+1,0\%} 0,520 \xrightarrow{+1,0\%} 0,525 \xrightarrow{+1,5\%} 0,533$										(7)

Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Moulin e outros (2017); (2) Brito (2017); (3) Ferreira e outros (1997); (4) Rocha (2011); (5) Migliorini, Brito e Barrichelo (1980); (6) Benin (2014); (7) Garcia, Corradine e Alvarenga (1991); (8) DeBell (2001).

Influência do espaçamento de plantio na utilização da madeira para produtos sólidos

A produção de madeira serrada de eucalipto com qualidade satisfatória está associada a técnicas de manejo, como espaçamentos de plantios mais amplos e ciclos de cortes mais longos, o que exige adaptações do manejo das florestas (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

As informações sobre os efeitos do espaçamento de plantio na qualidade da madeira para produtos sólidos ainda são escassas. Diferentemente das plantações visando a maximização do volume por unidade de área produtiva, o foco para a produção de toras para serraria ou laminação é concentrar o incremento potencial da área em um reduzido número de árvores individuais de boa qualidade para essa finalidade. Nesse contexto, o diâmetro do tronco é o critério mais importante para o aproveitamento e rendimento final da tora. De outro lado, existe a pressão econômica para produzir o diâmetro meta (nesse caso, diâmetros grossos) em ciclos não muito prolongados, para que se obtenha retorno do investimento dentro de prazos aceitáveis economicamente (MORAIS, 2006; BRASIL; FERREIRA, 1971).

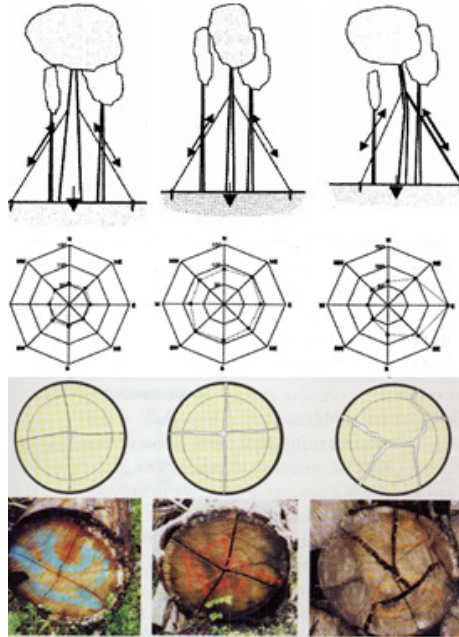
O crescimento elevado em diâmetro, exigido para esta finalidade, pode ser conseguido por meio de espaçamento de plantio mais amplo na implantação da floresta, associado com desbastes frequentes, assegurando-se o incremento contínuo de diâmetro ao longo de todo o ciclo de rotação, devido à redução da competição entre as árvores. Entretanto, tal prática proporciona redução do crescimento volumétrico, pois os desbastes geram espaços vazios, sem ocupação pelas copas das árvores, o que desperdiça área produtiva por um tempo pré-determinado. Em experimentos com espécies de folhosas, observou-se que esta forma de manejo não leva a perdas volumétricas grandes, pois o incremento acelerado das árvores individuais é capaz de compensar, parcialmente, o efeito de perda de crescimento volumétrico das árvores desbastadas (ABETZ, 1977; KLÄDTKE, 2002).

Efeito negativo do manejo para produtos sólidos é o aumento do desenvolvimento das copas e, conseqüentemente, do diâmetro dos galhos. As toras de eucalipto em plantações de rápido crescimento podem obter alto valor agregado quando se realiza a poda de galhos vivos para controlar o crescimento do núcleo nodoso (NUTTO; TOUZA VÁZQUEZ, 2006; SCHÖNAU, 1974).

As plantações de eucalipto são implantadas no Brasil geralmente com o objetivo de produzir árvores de rápido crescimento por meio de espaçamentos mais densos. Em povoamentos de desenvolvimento acelerado, a tensão de crescimento é mais elevada do que em florestas cujas árvores têm incremento lenhoso mais lento (YANG; WAUGH, 2001), e isso é considerado um dos principais fatores limitantes do uso dessa madeira para produção de madeira serrada. As toras com menor diâmetro apresentam maior gradiente de tensão, assim, quando são serradas longitudinalmente, essa tensão é parcialmente liberada. Elevados gradientes de tensão residual longitudinal causam alguns danos indesejáveis, como rachaduras, imprecisão no desdobro, arqueamento na borda da prancha ou sua curvatura. O dano causado varia de acordo com o tipo de corte da prancha: tangencial ou radial.

Correlação positiva entre a área da copa e as tensões de crescimento foram observadas para árvores de *E. nitens* no Chile (BIECHELE; NUTTO; BECKER, 2009). Ainda existe a hipótese de que as tensões de crescimento estejam vinculadas com a forma e o tamanho da copa da árvore; copas grandes, diâmetro grande do fuste e alturas reduzidas da árvore geram menos tensões de crescimento (NUTTO; TOUZA VÁZQUEZ, 2006) (Figura 5).

Figura 5 - Interações entre forma e tamanho da copa, diâmetro, altura e as tensões de crescimento que causam rachaduras de topo em toras e madeira serrada



Fonte: Elaboração dos autores.

Plantações de eucalipto destinadas à produção de madeira serrada devem apresentar espaçamento adequado, que forneça espaço suficiente para as árvores crescerem em diâmetro e que evite grandes tensões de crescimento, obtendo-se maior rendimento durante o desdobro da madeira e um produto final com melhor qualidade.

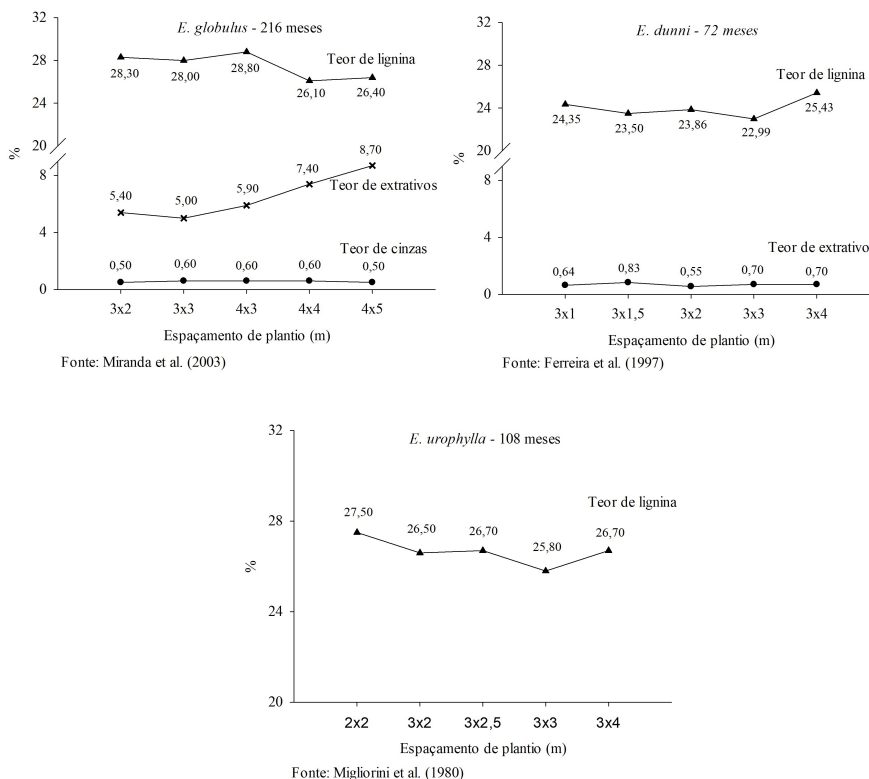
Influência do espaçamento de plantio na utilização da madeira para produção de energia

O ciclo de corte das florestas plantadas de eucalipto para fornecer matéria-prima para produção de carvão vegetal é geralmente de seis anos, com espaçamentos de plantio que proporcionem de seis a nove metros quadrados para cada árvore. As variações de espaçamento entre as plantas são planejadas a fim de facilitar os tratos silviculturais mecanizados (JOAQUIM, 2009).

A utilização da madeira para produção de energia depende de algumas características, como o teor de lignina e a densidade (TRUGILHO, 1995). A lignina possui alto poder calorífico, portanto a madeira com alto teor de lignina apresentará boa qualidade energética (BARCELLOS *et al.*, 2005).

O incremento do teor de lignina em resposta ao aumento do espaçamento de plantio foi observado por Rocha (2011) em experimento no qual utilizou o híbrido de *E. grandis* x *E. camaldulensis*, aos 7 anos. Baixa variação do teor de lignina foi encontrada no estudo de Migliorini, Brito e Barrichelo (1980) com *E. urophylla* aos 108 meses, Ferreira e outros (1997) com *E. dunnii* aos 72 meses e Miranda, Tomé e Pereira (2003) com *E. globulus* aos 216 meses. A Figura 6 ilustra a influência do espaçamento de plantio sobre o teor de lignina, extrativos e cinzas.

Figura 6 - Influência do espaçamento sobre o teor de lignina, extrativos e cinzas

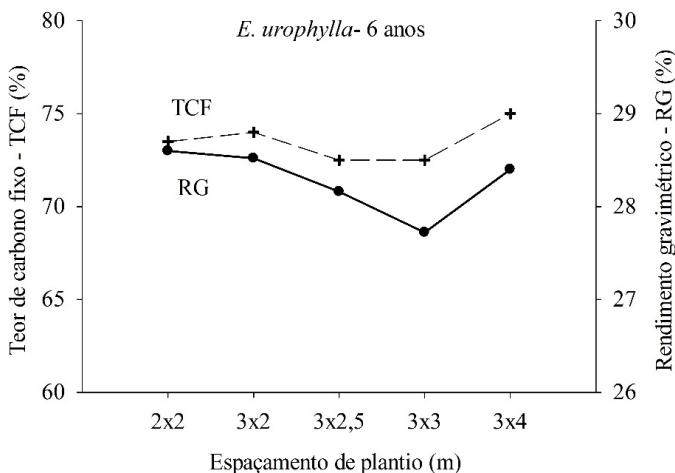


Fonte: Elaboração dos autores com base em Miranda, Tomé e Pereira (2003), Ferreira e outros (1997) e Migliorini, Brito e Barrichelo (1980).

O teor de extrativos na madeira de eucalipto aumentou nas árvores que cresceram nos espaçamentos mais amplos (MIRANDA; TOMÉ; PEREIRA, 2003), devido ao maior desenvolvimento do cerne (MIRANDA; TOMÉ; PEREIRA, 2003). Pouca variação do teor de cinzas em função do espaçamento de plantio foi verificada por Ferreira e outros (1997) e Miranda, Tomé e Pereira (2003).

Migliorini, Brito e Barrichelo (1980) observaram que o rendimento gravimétrico de carvão vegetal e o teor de carbono fixo não apresentaram padrão de variação com o aumento do espaçamento de plantio para a madeira de *E. urophylla* aos 6 anos de idade (Figura 7).

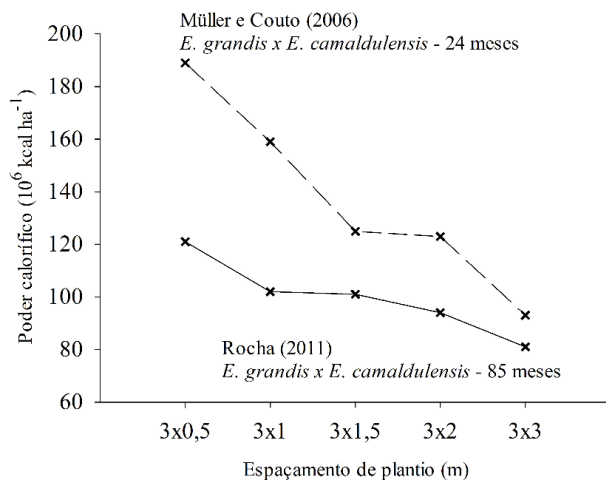
Figura 7 - Influência do espaçamento no rendimento gravimétrico (RG) e teor de carbono fixo (TCF)



Fonte: Elaboração dos autores com base em Migliorini, Brito e Barrichelo (1980).

O efeito do espaçamento de plantio sobre a produção energética da madeira foi avaliado por Müller e Couto (2006) e Rocha (2011), e, em ambos os trabalhos, houve tendência de redução do poder calorífico por hectare com o aumento do espaçamento (Figura 8). Todavia, ao analisar indivíduos separados de dois clones de *E. grandis* e um clone de *E. grandis* x *E. urophylla*, Brito (2017) não encontrou influência dos espaçamentos de plantio de 3x1, 3x2, 3x3 e 3x4 m sobre o poder calorífico da madeira.

Figura 8 - Poder calorífico de madeira de eucalipto em função do espaçamento



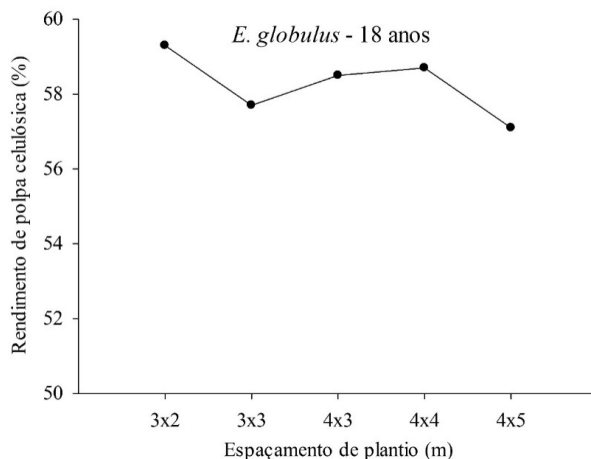
Fonte: Elaboração dos autores com base em Müller e Couto (2006) e Rocha (2011).

O diâmetro da tora possui relação direta com o tempo necessário para a secagem da madeira e sua carbonização, com o rendimento gravimétrico, a friabilidade e a granulometria do carvão produzido e o esforço físico despendido pelo carbonizador na carga do forno. Recomenda-se a utilização de toras com seis a dezoito centímetros de diâmetro (CARNEIRO *et al.*, 2012).

Influência do espaçamento de plantio na utilização da madeira para produção de celulose

A influência de cinco espaçamentos de plantio (3x1; 3x1,5; 3x2; 3x3; 3x4 m) foi avaliada para a madeira de *E. dunnii* para produção de celulose. A maior produção de celulose por hectare ocorreu nos espaçamentos 3x1 e 3x3 m, e o maior consumo de álcali ativo (20,5 %) ocorreu com uso de madeira proveniente do espaçamento de 3x4 m (FERREIRA *et al.*, 1997). O maior rendimento de polpa foi obtido em árvores de *E. globulus* aos 18 anos provenientes de espaçamento mais denso (3x2 m) (MIRANDA; TOMÉ; PEREIRA, 2003) (Figura 9).

Figura 9 - Influência do espaçamento de plantio no rendimento de polpa celulósica



Fonte: Elaboração dos autores com base em Miranda, Tomé e Pereira (2003).

Em estudo da viabilidade econômica de dois espaçamentos de plantio (3x2 e 3x3 m) de árvores de *E. grandis* para a produção de celulose, o espaçamento mais denso (3x2 m) foi mais rentável, o que foi atribuído ao fato de esse espaçamento acarretar maior volume de madeira por hectare (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

O espaçamento de plantio interfere pouco nas principais características da madeira de eucalipto que definem sua qualidade para a produção de celulose. Por outro lado, tem um efeito indireto na qualidade da madeira, pois pode implicar idades de corte diferenciadas, as quais possuem relação direta com densidade, fibras/grama, tamanho da fibra e composição química da madeira. Dessa forma, verifica-se a importância de conhecer os efeitos que o espaçamento de plantio pode causar na madeira de eucalipto que posteriormente será utilizada para a produção de celulose.

Considerações finais

A crescente demanda de diversos setores madeireiros por madeira de eucalipto está sendo acompanhada por investimentos realizados pelas empresas florestais com o objetivo de melhorar o rendimento de seus processos e a qualidade do produto final. Parte desses investimentos é destinada à pesquisa, que inclui a análise da influência direta de diferentes espaçamentos de plantio no crescimento e na qualidade da árvore.

O espaçamento de plantio influencia o diâmetro das toras e, conseqüentemente, as tensões de crescimento e rachaduras da madeira. Assim, deve ser utilizada a disposição espacial adequada das árvores para obtenção de resultados satisfatórios para cada produto madeireiro. Espaçamentos mais densos produzem árvores com menores diâmetro e conicidade, copas estreitas, menor volume individual por fuste, maior taxa de mortalidade, galhos mais finos e estimulam a formação de nós com menor diâmetro, porém são recomendados para florestas energéticas, uma vez que a produção de energia por unidade de área é otimizada.

Em pesquisas referentes à influência do espaçamento de plantio sobre a qualidade da madeira, a densidade básica é a principal variável avaliada, por ser um índice de fácil mensuração e estar correlacionada com algumas propriedades da madeira e seu rendimento em processos, entretanto é necessário conhecer os efeitos do espaçamento de plantio sobre outras propriedades e parâmetros de qualidade de madeiras para propósitos específicos. Há uma lacuna, por exemplo, no conhecimento quanto aos efeitos da interação da idade da árvore com os tipos de espaçamento de plantio sobre a produção e a qualidade da madeira. Além disso, as espécies de eucalipto se comportam de maneira distinta em diferentes espaçamentos estabelecidos. Portanto, pesquisas adicionais contemplando a avaliação do comportamento de espécies de eucaliptos com distintos espaçamentos e idades de corte são de grande proveito.

Existe ainda uma carência de informações relacionadas à interação de espaçamentos de plantio com outras práticas de manejo, como desbaste e desrama, o que aponta para a necessidade de trabalhos para avaliação simultânea de várias práticas silviculturais e seus efeitos sobre as propriedades da madeira requerida para diferentes usos comerciais.

Referências

ABETZ, P. **Der europäische Stammzahlversuch in Fichte (*Picea abies* Karst.)**. Freiburg: IUFRO, 1977. 80 p. (Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, n. 80).

BARCELLOS, D. C. *et al.* O estado da arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: um foco nos tratamentos silviculturais. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 2, n. 2, p. 141-158, 2005.

BENIN, C. C. **Efeito do espaçamento na produção, variáveis dendrométricas e propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii***. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2014.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. 2000. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

BERGER, R. *et al.* Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002.

BIECHELE, T.; NUTTO, L.; BECKER, G. Growth strain in *Eucalyptus nitens* at different stages of development. **Silva Fennica**, [Finlândia], v. 43, n. 4, p. 669-679, 2009.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw, *E. saligna* Smith e *E. grandis* Hill Ex-Maiden aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. **Revista IPEF (atual Scientia Forestalis)**, Piracicaba, n. 2 e 3, p. 129-149, 1971.

BRITO, A. S. **Efeito do espaçamento de plantio nas propriedades da madeira em árvores jovens de eucalipto**. 2017. 44 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2017.

CARNEIRO, A. C. O. *et al.* **Treinamento carvão vegetal**: apostila teórica e prática. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012.

DEBELL, D. S.; KEYES, C. R.; GARTNER, B. L. Wood density of *Eucalyptus saligna* grown in Hawaiian plantations: effects of silvicultural practices and relation to growth rate. **Australian Forestry**, [s. l.], v. 64, n. 2, p. 106-110, 2001.

FERREIRA, G. W. *et al.* Qualidade da celulose Kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* plantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 41-63, 1997.

FLORENCE, R. G. **Ecology and silviculture of eucalypt forests**. The Australian National University: Department of Forestry, 1996. 413 p.

GARCIA, C. H.; CORRADINE, L.; ALVARENGA, S. F. **Comportamento florestal do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, 1991. 10 p. (Circular Técnica, n. 179).

GERRAND, A. M.; NEILSEN, W. A. Comparing square and rectangular spacings in *Eucalyptus nitens* using a Scotch plaid design. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v. 129, p. 1-6, 2000.

GOMINHO, J.; PEREIRA, H. The influence of tree spacing in heartwood content in *Eucalyptus globulus* Labill. **Wood and Fiber Science**, United States, v. 37, n. 4, p. 582-590, 2005.

HASELEIN, C. R. *et al.* 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 aducação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 147-152, 2002.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. **Forest products and wood science**. 2. ed. Ames: Iowa State University, 1989. 516 p.

JOAQUIM, M. S. **Carvão vegetal: uma alternativa para os produtos rurais do sudoeste goiano**. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

KLÄDTKE, J. Wachstum großkroniger Buchen und waldbauliche Konsequenzen. *Fors-tarchiv*, Germany, v. 73, n. 6, p. 211-217, 2002.

MIGLIORINI, A. J.; BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Influência das práticas silviculturais na produção de carvão vegetal**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 1980. 5 p. (Circular Técnica, n. 104).

MIRANDA, M. J. A. C.; TOMÉ, M.; PEREIRA, H. The influence of spacing on wood properties for *Eucalyptus globulus* Labill pulpwood. *Appita*, [Austrália], v. 56, n. 2, p. 140-144, 2003.

MORAIS, V. M. **Dinâmica de crescimento de eucalipto clonal sob diferentes espaçamentos, na região noroeste do Estado de Minas Gerais**. 2006. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

MOULIN, J. C. **Produção de madeira de eucalipto de curta rotação em povoamentos adensados para energia**. 2013. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

MOULIN, J. C. *et al.* Efeito do espaçamento, idade e irrigação no volume e densidade básica do eucalipto. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 24, p. 1-10, 2017.

MÜLLER, M. D.; COUTO, L. **Avaliação de densidades de plantio e rotação de plantações de rápido crescimento para produção de biomassa**. Viçosa, MG: Rede Nacional de Biomassa para Energia, 2006. 65 p. (Documento Técnico, v. 2).

NUTTO, L.; TOUZA VÁZQUEZ, M. C. Modelos de producción de madera sólida en plantaciones de *Eucalyptus globulus* de Galicia. **Boletín del CIDEU**, Huelva, v. 2, p. 37-50, 2006.

OLIVEIRA, A. D. *et al.* Avaliação econômica de plantios de *Eucalyptus grandis* para a produção de celulose. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 82-91, 2008.

OLIVEIRA, J. T. S. *et al.* Ações de ventos em povoamentos florestais. *In*: CHICHORRO, J. F. *et al.* (org.). **Tópicos em Ciências Florestais**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2010. p. 443-476.

OLIVEIRA, T. K. *et al.* Desempenho silvicultural e produtivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 60, p. 1-9, 2009.

PEREYRA, O. *et al.* Estudio de las propiedades físico-mecánicas y comportamiento em procesos industriales de la madera de Kiri, Grevillea, Paraíso y Toona. **Floresta**, [Curitiba], v. 36, n. 2, p. 213-223, 2006.

RIBASKI, J. Sistemas agroflorestais. *In*: EMBRAPA FLORESTAS. **Cultivo do eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 12 out. 2012.

ROCHA, M. F. V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

SCHÖNAU, A. P. G. The effect of planting espacement and pruning on growth, yield and timber density of *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, África do Sul, v. 88, n. 1, p. 16-23, 1974.

SCHÖNAU, A. P. G.; COETZEE, J. Initial spacing, stand density and thinning in eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v. 29, n. 4, p. 245-266, 1989.

SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A. Sistema de plantio. *In*: EMBRAPA FLORESTAS. **Cultivo do eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 11 out. 2014.

TIENNE, D. L. C. *et al.* Influência do espaçamento no ângulo das microfibrilas e comprimento de fibras de clone de eucalipto. **Revista Forestal Latinoamericana**, [Venezuela], v. 24, n. 1, p. 67-83, 2009.

TRUGILHO, P. F. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus***. 1995. 160 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

YANG, J.; WAUGH, G. Growth stress, its measurement and effects. **Australian Forestry**, [s. l.], v. 64, n. 2, p. 127-135, 2001.

Capítulo 7

Efeitos da fertilização nas propriedades da madeira de eucalipto

Jordão Cabral Moulin

Sérgio Ricardo Silva

Graziela Baptista Vidaurre



A importância da fertilização nas florestas plantadas de eucalipto

As propriedades da madeira estão vinculadas às características genéticas, ao local de crescimento das árvores e às práticas de manejo adotadas no povoamento florestal. Essas atividades de manejo tanto na instalação quanto na condução de florestas plantadas podem afetar a qualidade da madeira em decorrência do seu efeito sobre os padrões de crescimento das árvores.

O crescimento das árvores depende de processos de fotossíntese e respiração, que interagem com diferentes fatores, como hormônios, nutrientes, solo e ambiente. São diversos os nutrientes disponíveis na natureza que são absorvidos pelas árvores, desempenhando diferentes funções (GONÇALVES *et al.*, 2010).

A fertilização de plantações florestais aumenta a disponibilidade de nutrientes, principalmente na fase inicial de desenvolvimento das plantas, constituindo-se um importante fator para o crescimento das árvores e a sustentabilidade do ecossistema florestal ao longo dos ciclos e rotações, pois repõe os nutrientes exportados na biomassa colhida. Portanto, a adubação é um elemento-chave no manejo silvicultural, especialmente em florestas de rápido crescimento, que apresentam melhor resposta à fertilização em ciclos mais curtos.

O emprego de fertilizantes minerais é um dos principais meios para incrementar a produtividade florestal, pois altera os níveis de fertilidade do solo de acordo com as exigências nutricionais da espécie arbórea a ser cultivada. Para ganhos em produtividade, são indispensáveis as aplicações de macronutrientes, como nitrogênio, potássio e fósforo, e de alguns micronutrientes, como boro, zinco, manganês e enxofre (BARROS; NOVAIS, 1996; LANA; NEVES, 1994; ROCHA, 2000). Os fertilizantes são ainda mais importantes para as florestas plantadas brasileiras, em razão de o solo ser, de maneira geral, intensamente intemperizado, logo, pobre em nutrientes (GONÇALVES *et al.*, 2010), principalmente quando se trata de potássio e boro (SILVEIRA *et al.*, 1998). Os povoamentos de eucalipto, por sua vez, respondem melhor aos nutrientes fósforo (P), potássio (K), nitrogênio (N) e cálcio (Ca); outros nutrientes são requeridos em menores quantidades.

Além de garantir o bom estabelecimento, rápido desenvolvimento e a qualidade da madeira em plantações florestais, a adubação é importante no sentido de repor nutrientes para garantir longevidade de exploração dos povoamentos florestais (COSTA;

TONINI; SCHWENGBER, 2007). Se a adubação não for realizada, ocorrerá a diminuição da produtividade, uma vez que só haverá a exportação dos nutrientes. Os efeitos do uso de fertilizantes dependem da idade das árvores, tipo de fertilizante, época e frequência de aplicação, quantidade aplicada, entre outros elementos.

A maioria dos trabalhos sobre o assunto discorre acerca da qualidade da madeira de coníferas de clima temperado (SHEPARD; SHOTTAFER, 1979; EKLUND; ELIAS-SON, 1990; DÜNISCH *et al.*, 1998). Poucas são as pesquisas que avaliam os efeitos da fertilização sobre a qualidade da madeira de espécies folhosas (HIGGS; RUDMAN, 1973; BAMBER; HORNE; GRAHAM-HIGGS, 1982; ANDRADE *et al.*, 1994; LIMA, 2005), havendo, portanto, pouca informação disponível para espécies do gênero *Eucalyptus*; a maior parte dos estudos verificou apenas o efeito da aplicação conjunta de N, P e K ou de fertilizantes nitrogenados, não se preocupando com os efeitos isolados dos nutrientes e suas interações com atributos da madeira. Além disso, as pesquisas sobre o efeito da fertilização na qualidade da madeira não trazem resultados homogêneos em razão das variações das características genéticas das árvores e das diferentes condições ambientais dos locais onde são plantadas (GONÇALVES *et al.*, 2010).

Lima (2005) foi um dos autores que estudou a influência dos fertilizantes na qualidade da madeira de eucalipto. Ele observou os efeitos da adubação no deslocamento da medula, conicidade e rachaduras nas extremidades das toras de *E. grandis* com 21 anos. Suas plantações foram submetidas a quantidades de 222 kg ha⁻¹ de NPK 6-30-6, distribuídas nos sulcos de plantios. As árvores foram plantadas em 1982 e desbastes de 37 %, 50 % e 75 % do tipo seletivo foram iniciados em 1987. Após o desbaste foi feita a adubação com 1.000 kg de NPK 12-6-12 e 100 kg de lama de cal por hectare. Constatou-se que a adubação não influenciou na excentricidade da medula nem em sua conicidade, já o índice médio de rachadura de topo foi de 0,89 % nas toras provenientes de plantações adubadas, enquanto, nas toras de plantações não adubadas, foi em média de 0,72 %.

Efeito da fertilização na densidade da madeira de eucalipto

A fertilização ocasiona redução, aumento ou nenhuma alteração na densidade da madeira. Em folhosas que apresentam anéis porosos, o rápido crescimento decorrente de fertilização em geral aumenta a densidade da madeira, mas outras espécies podem sofrer efeitos diferentes (HAYGREEN; BROWYER, 1989). Se houver diminuição da densidade, a massa de madeira produzida por hectare poderá ser maior devido ao incremento do crescimento volumétrico (VITAL, 1990). Em resultado experimental, foi demonstrado que a fertilização reduziu a densidade da madeira de *E. grandis* e aumentou o volume de madeira por unidade de área, havendo, portanto, um efeito de compensação (PAES *et al.*, 2007)

Existem também efeitos específicos de alguns nutrientes sobre a madeira de folhosas, como o aumento da densidade causado pela limitação de cálcio ou fósforo ou a redução da densidade devido à escassez de manganês. Ainda se relata que o nitrogênio reduz o tamanho da célula, a espessura da parede celular e a densidade da madeira (GONÇALVES *et al.*, 2010).

O aumento da densidade da madeira decorrente da aceleração do ritmo de crescimento graças à fertilização também é ressaltado por Downes e outros (1997), mas, na maioria das pesquisas, não foram observadas influências da adubação na densidade da madeira (Tabela 1). Somente Lima e Garcia (2011) e Wilkins e Horne (1991) constataram aumento na densidade, e a redução dessa propriedade foi encontrada por Barbosa e outros (2014) e Castro (2014).

Tabela 1 - Efeito da adubação na densidade da madeira de eucalipto (continua)

Espécie	Idade (anos)	Adubação	Tendência da densidade básica
		140 kg ha ⁻¹ de K na forma de K ₂ O (aplicação no plantio, aos 6 e aos 12 meses)	=
		174,4 kg ha ⁻¹ de Na na forma de NaCl (aplicação no plantio, aos 6 e aos 12 meses)	= (1)
	2	80 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ , 45 kg ha ⁻¹ de N(NH ₄ (SO ₄) ₂) e 45 kg ha ⁻¹ de FTE (aplicação no plantio, aos 6 e aos 12 meses)	=
	4-5	Fertilização básica (75 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ , 80 kg ha ⁻¹ de N(NH ₄ (SO ₄) ₂) e 20 kg ha ⁻¹ de FTE) + 4,5 kmol ha ⁻¹ de Na na forma de NaCl	< (2)
		Fertilização básica (75 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ , 80 kg ha ⁻¹ de N(NH ₄ (SO ₄) ₂) e 20 kg ha ⁻¹ de FTE) + 4,5 kmol ha ⁻¹ de K na forma de KCl	<
<i>E. grandis</i>		1,5 ton ha ⁻¹ de calcário dolomítico, 110 kg ha ⁻¹ de superfosfato triplo (45 % de P ₂ O ₅) (aplicação no sulco de plantio), 150 kg ha ⁻¹ de NPK 10-20-10 (sulco de plantio), 80 kg ha ⁻¹ de NPK 20-00-20 (aplicados 45 dias após o plantio), 180 kg ha ⁻¹ de NPK 16-00-32 + 0,3 % de B + 0,5 % de Zn (aplicação doze meses após o plantio)	= (3)
		68,5 kg ha ⁻¹ de Na na forma de NaCl (três aplicações no primeiro ano: 1/3 no plantio, 1/3 aos 6 meses e 1/3 aos 12 meses)	=
		116 kg ha ⁻¹ de K(K ₂ O) (três aplicações no primeiro ano: 1/3 no plantio, 1/3 aos 6 meses e 1/3 aos 12 meses)	= (4)
	6	86 kg ha ⁻¹ de N, 40 kg ha ⁻¹ de P, 171 kg ha ⁻¹ de K, 705 kg ha ⁻¹ de Ca, 120 kg ha ⁻¹ de Mg e 3 kg ha ⁻¹ de Bo (aplicação de três doses por ano para os primeiros três anos)	< (5)

Tabela 1 - Efeito da adubação na densidade da madeira de eucalipto (continua)

Espécie	Idade (anos)	Adubação	Tendência da densidade básica
<i>E. grandis</i>	9,5	NPKS 12-10-8-11 (aplicação, por árvore, de 60 g inicialmente, 120 g após o primeiro mês, 500 g aos 3, 6 e 12 meses e 1 kg três vezes por ano até a idade de 6 anos)	> (6)
		222 kg ha ⁻¹ de NPK 6-30-6 (aplicação nos sulcos de plantio).	
	21	As árvores foram plantadas em 1982, e os desbastes do tipo seletivo, nas intensidades de 37 %, 50 % e 75 %, foram iniciados em 1987. Após os desbastes, foi feita a adubação com 1.000 kg ha ⁻¹ de NPK 12 6 12 e 100 kg ha ⁻¹ de lama de cal	> (7)
<i>E. saligna</i>	1	4,5 kmol ha ⁻¹ na forma de KCl (aplicação três meses após o plantio)	=
		4,5 kmol ha ⁻¹ na forma de NaCl (aplicação três meses após o plantio)	<
	2	4,5 kmol ha ⁻¹ na forma de KCl (aplicação três meses após o plantio)	< (8)
		4,5 kmol ha ⁻¹ na forma de NaCl (aplicação três meses após o plantio)	<
	3	4,5 kmol ha ⁻¹ na forma de KCl (aplicação três meses após o plantio)	<
		4,5 kmol ha ⁻¹ na forma de NaCl (aplicação três meses após o plantio)	<
	-	Sulfato de amônia (20 % de N [0 kg ha ⁻¹ , 30 kg ha ⁻¹ e 60 kg ha ⁻¹]), superfosfato simples (0 kg ha ⁻¹ , 40 kg ha ⁻¹ e 80 kg ha ⁻¹), cloreto de potássio (0 kg ha ⁻¹ , 50 kg ha ⁻¹ e 100 kg ha ⁻¹) e calcário	= (9)
	15	40 kg ha ⁻¹ de N, 18 kg ha ⁻¹ de P e 33 kg ha ⁻¹ de K (aplicação quatro e oito meses após o plantio)	= (10)

Tabela 1 - Efeito da adubação na densidade da madeira de eucalipto (continua)

Espécie	Idade (anos)	Adubação	Tendência da densidade básica
<i>E. urophylla</i>	4,5	187,92 kg ha ⁻¹ de N; 31,15 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 173,21 kg ha ⁻¹ de KCl; 803,47 kg ha ⁻¹ de Ca; 188,35 kg ha ⁻¹ de Mg; 454,16 kg ha ⁻¹ de S; 5,61 kg ha ⁻¹ de B; 1,66 kg ha ⁻¹ de Cu; 3,18 kg ha ⁻¹ de Zn; 44,76 kg ha ⁻¹ de Fe; 6,87 kg ha ⁻¹ de Mn e 0,17 kg ha ⁻¹ de Mo. Seis e doze meses após a adubação de implantação do experimento, foram conduzidas novas adubações com a mistura de NPK nas seguintes doses em kg ha ⁻¹ : 185,61 de N; 123,74 de P ₂ O ₅ e 185,61 de KCl	<
	5,5	187,92 kg ha ⁻¹ de N; 31,15 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 173,21 kg ha ⁻¹ de KCl; 803,47 kg ha ⁻¹ de Ca; 188,35 kg ha ⁻¹ de Mg; 454,16 kg ha ⁻¹ de S; 5,61 kg ha ⁻¹ de B; 1,66 kg ha ⁻¹ de Cu; 3,18 kg ha ⁻¹ de Zn; 44,76 kg ha ⁻¹ de Fe; 6,87 kg ha ⁻¹ de Mn e 0,17 kg ha ⁻¹ de Mo. Seis e doze meses após a adubação de implantação do experimento, foram conduzidas novas adubações com a mistura de NPK nas seguintes doses em kg ha ⁻¹ : 185,61 de N; 123,74 de P ₂ O ₅ e 185,61 de KCl	< (11)
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	4,5	187,92 kg ha ⁻¹ de N; 31,15 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 173,21 kg ha ⁻¹ de KCl; 803,47 kg ha ⁻¹ de Ca; 188,35 kg ha ⁻¹ de Mg; 454,16 kg ha ⁻¹ de S; 5,61 kg ha ⁻¹ de B; 1,66 kg ha ⁻¹ de Cu; 3,18 kg ha ⁻¹ de Zn; 44,76 kg ha ⁻¹ de Fe; 6,87 kg ha ⁻¹ de Mn e 0,17 kg ha ⁻¹ de Mo. Seis e doze meses após a adubação de implantação do experimento, foram conduzidas novas adubações com a mistura de NPK nas seguintes doses em kg ha ⁻¹ : 185,61 de N; 123,74 de P ₂ O ₅ e 185,61 de KCl	<

Tabela 1 - Efeito da adubação na densidade da madeira de eucalipto (conclusão)

Espécie	Idade (anos)	Adubação	Tendência da densidade básica
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	5,5	187,92 kg ha ⁻¹ de N; 31,15 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 173,21 kg ha ⁻¹ de KCl; 803,47 kg ha ⁻¹ de Ca; 188,35 kg ha ⁻¹ de Mg; 454,16 kg ha ⁻¹ de S; 5,61 kg ha ⁻¹ de B; 1,66 kg ha ⁻¹ de Cu; 3,18 kg ha ⁻¹ de Zn; 44,76 kg ha ⁻¹ de Fe; 6,87 kg ha ⁻¹ de Mn e 0,17 kg ha ⁻¹ de Mo. Seis e doze meses após a adubação de implantação do experimento, foram conduzidas novas adubações com a mistura de NPK nas seguintes doses em kg ha ⁻¹ : 185,61 de N; 123,74 de P ₂ O ₅ e 185,61 de KCl	<
	6	86 kg ha ⁻¹ de N, 40 kg ha ⁻¹ de P, 171 kg ha ⁻¹ de K, 705 kg ha ⁻¹ de Ca, 120 kg ha ⁻¹ de Mg e 3 kg ha ⁻¹ de Bo (aplicados em três doses por ano para os três primeiros anos)	=
<i>E. globulus</i>		200 kg ha ⁻¹ de K ao final de 26 meses de plantação*	=
		400 kg ha ⁻¹ de N ao final de 26 meses de plantação*	=
		200 kg ha ⁻¹ de K ao final de 26 meses de plantação**	<
	8	400 kg ha ⁻¹ de N ao final de 26 meses de plantação**	=
		200 kg ha ⁻¹ de K ao final de 26 meses de plantação***	=
	400 kg ha ⁻¹ de N ao final de 26 meses de plantação***	<	

Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Sette Junior e outros (2009); (2) Legoas (2016); (3) Barreiros e outros (2007); (4) Sette Junior e outros (2014); (5) Barbosa e outros (2014); (6) Wilkins e Horne (1991); (7) Lima e Garcia (2011); (8) Castro e outros (2017); (9) Mello (1968); (10) Debell, Keyes e Gartner (2001); (11) Maia (2014); (12) Raymond e Muneri (2000). * Local: Sítio Boola, estado Victoria, Austrália. ** Local: Sítio Maryvale, estado Victoria, Austrália. *** Local: Sítio Glencoe, estado Victoria, Austrália. (=); não houve efeito da fertilização na densidade da madeira; (<): a densidade da madeira diminuiu em resposta à utilização de fertilizantes na plantação; (>): a densidade da madeira aumentou em resposta à utilização de fertilizantes na plantação.

Mesmo não havendo grandes variações na densidade da madeira, ressalta-se que a fertilização afeta as propriedades da madeira de forma indireta com a indução do crescimento da árvore (VITAL, 1990). Isto ocorre em consequência de alterações em fatores como o ciclo de corte, relacionando-se com a idade da árvore, que está associada a propriedades da madeira, como a densidade.

Efeito da fertilização nas fibras da madeira de eucalipto

A teoria absoluta sobre a influência da adubação na espessura da parede celular ainda não é clara (ROQUE, 2000). Em alguns casos, a variação desta espessura depende do tipo de adubo aplicado e do crescimento inicial da árvore antes da adubação (KLEM, 1968).

O aumento do vigor da árvore causado pela adubação pode aumentar o número de células com parede celular mais espessa, resultado de maior proporção de lamela média e parede primária em relação à parede secundária (BRAZIER, 1977). Já deficiências de cálcio podem causar alterações na composição da estrutura da lamela média, bem como o enfraquecimento da parede celular (GAUCH, 1972). A lamela média é rica em cálcio, que, como nutriente estrutural, é responsável pelo aumento da rigidez da parede celular, dificultando o aumento do volume da célula. A deficiência desse elemento provoca alteração na composição química e na estrutura da lamela média, bem como aumenta a permeabilidade da membrana celular da madeira em geral (MALAVOLTA, 1980).

Não há consenso na literatura sobre a variação do comprimento das fibras da madeira de eucalipto em função da fertilização (SETTE JUNIOR *et al.*, 2014). Contudo, alguns autores verificaram o aumento do comprimento da fibra da madeira quando os eucaliptos foram adubados com sódio e potássio, e, em alguns casos, o efeito inverso para a espessura de parede da fibra da madeira eucalipto (Tabela 2).

As dimensões das fibras da madeira são resultantes do processo fisiológico que forma o lenho da planta. Este processo depende da pressão de turgescência no interior da célula e das auxinas produzidas nas copas das árvores. Então, maiores pressões de turgescência e concentração de auxinas induzem a formação de células com maiores dimensões na fase de divisão das células iniciais do câmbio. E as pressões de turgescência e concentração de auxinas podem ser reduzidas ou aumentadas com a aplicação de fertilizantes (ZOBEL; VAN BUIJTENEN, 1989). Mas nem sempre a fertilização causa

algum efeito na fibra da madeira de eucalipto, como constatado nos estudos de alguns autores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Efeito da adubação nas fibras da madeira de eucalipto

Espécie	Idade (meses)	Adubação	Fibras		
			Comprimento	Espessura de parede	
<i>E. grandis</i>	24	sódio	=	=	(1)
		potássio	+ 13 %	=	
<i>E. grandis</i>	72	sódio	=	-10 %	(2)
		potássio	=	=	
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	6	nitrogênio	=	=	(3)
		fósforo	=	=	
	8	nitrogênio	=	=	
		fósforo	=	=	
17	nitrogênio	=	=		
	fósforo	=	=		
<i>E. grandis</i>	12	sódio	+4 %	-7 %	(4)
		potássio	+8 %	-1 %	
	24	sódio	+3 %	=	
		potássio	+9 %	=	
	36	sódio	+12 %	=	
		potássio	+17 %	-5 %	
101	sódio	+9 %	=	(5)	
	potássio	+15 %	-34 %		
48-60	sódio	+7 %	-2 %	(6)	
	potássio	+6 %	=		

Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Sette Junior e outros (2009); (2) Sette Júnior e outros (2014); (3) Assis (2013); (4) Castro (2014); (5) Franco (2014); (6) Legoas (2016).

(=) não influenciou;

(+): houve efeito de aumento;

(-): houve efeito de redução.

Efeito da fertilização na composição química da madeira

A Tabela 3 apresenta resultados de vários estudos referentes aos efeitos da adubação nas propriedades químicas da madeira de eucalipto. Verifica-se que a adubação não teve efeito sobre os teores de lignina e de celulose nesta madeira. No entanto, Haygreen e Browyer (1989) observaram ligeira diminuição do teor de holocelulose em madeira de conífera em resposta à aplicação de fertilizantes.

O teor de cinzas em madeira de conífera geralmente não é afetado pela adubação (LARSON, 1968). Este resultado também foi observado para a madeira de eucalipto por Assis (2013), Garcia (2013) e Barbosa e outros (2014). O estudo de Barreiros e outros (2007), em que foi verificado aumento no teor de cinzas ocasionado pela adubação, é uma exceção.

Em síntese, foi verificada pouca influência da adubação nas propriedades químicas da madeira de eucalipto, sendo constatada discreta variação dos teores de hemiceluloses, lignina, extrativos e cinzas e nenhuma variação do teor de celulose.

Tabela 3 - Efeito da adubação sobre os teores de celulose (Cel), hemiceluloses (Hemi), holocelulose (Holo), lignina (Lig), extrativos (Ext) e cinzas (Cz) (continua)

Espécie	Idade (Anos)	Adubação	Tendência					
			Cel	Hemi	Holo	Lig	Ext Cz	
<i>E. grandis</i>	5	1,5 ton ha ⁻¹ de calcário dolomítico, 110 kg ha ⁻¹ de superfosfato triplo (45 % de P ₂ O ₅) (aplicação no sulco de plantio), 150 kg ha ⁻¹ de NPK 10-20-10 (sulco de plantio), 80 kg ha ⁻¹ de NPK 20-00-20 (aplicação 45 dias após o plantio), 180 kg ha ⁻¹ de NPK 16-00-32 + 0,3 % de B + 0,5 % de Zn (aplicação doze meses após o plantio)	=	>	=	=	>	(1)
	6	86 kg ha ⁻¹ de N, 40 kg ha ⁻¹ de P, 171 kg ha ⁻¹ de K, 705 kg ha ⁻¹ de Ca, 120 kg ha ⁻¹ de Mg e 3 kg ha ⁻¹ de Bo (aplicação de três doses por ano para os primeiros três anos)	=	=	=	=	=	(2)
<i>E. saligna</i>	8,3	Aplicação de 3 kmol ha ⁻¹ de K (116 kg ha ⁻¹ de K na forma de K ₂ O) 3 kmol ha ⁻¹ de Na (68,5 kg ha ⁻¹ de Na na forma de NaCl) (aplicação em três diferentes momentos ao longo do primeiro ano: 1/3 no plantio, 1/3 aos 6 meses e 1/3 aos 12 meses)	=	>	>	<	<	=
	3	4,5 kmol ha ⁻¹ na forma de KCl (aplicação três meses após o plantio) 4,5 kmol ha ⁻¹ na forma de NaCl (aplicação três meses após o plantio)	=	=	=	=	=	(4)

Tabela 3 - Efeito da adubação sobre os teores de celulose (Cel), hemiceluloses (Hemi), holocelulose (Holo), lignina (Lig), extrativos (Ext) e cinzas (Cz) (continua)

Espécie	Idade (Anos)	Adubação	Tendência				
			Cel	Hemi	Holo	Lig	Ext Cz
<i>E. Urophylla</i>	4,5	187,92 kg ha ⁻¹ de N; 31,15 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ;					
		173,21 kg ha ⁻¹ de KCl; 803,47 kg ha ⁻¹ de Ca; 188,35 kg ha ⁻¹ de Mg; 454,16 kg ha ⁻¹ de S; 5,61 kg ha ⁻¹ de B; 1,66 kg ha ⁻¹ de Cu; 3,18 kg ha ⁻¹ de Zn; 44,76 kg ha ⁻¹ de Fe; 6,87 kg ha ⁻¹ de Mn e 0,17 kg ha ⁻¹ de Mo. Seis e doze meses após a adubação de implantação do experimento, foram conduzidas novas adubações com a mistura de NPK nas seguintes doses em kg ha ⁻¹ : 185,61 de N; 123,74 de P ₂ O ₅ e 185,61 de KCl			<	>	=
<i>E. Urophylla</i>	5,5	187,92 kg ha ⁻¹ de N; 31,15 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ;					
		173,21 kg ha ⁻¹ de KCl; 803,47 kg ha ⁻¹ de Ca; 188,35 kg ha ⁻¹ de Mg; 454,16 kg ha ⁻¹ de S; 5,61 kg ha ⁻¹ de B; 1,66 kg ha ⁻¹ de Cu; 3,18 kg ha ⁻¹ de Zn; 44,76 kg ha ⁻¹ de Fe; 6,87 kg ha ⁻¹ de Mn e 0,17 kg ha ⁻¹ de Mo. Seis e doze meses após a adubação de implantação do experimento, foram conduzidas novas adubações com a mistura de NPK nas seguintes doses em kg ha ⁻¹ : 185,61 de N; 123,74 de P ₂ O ₅ e 185,61 de KCl			<	>	=

(5)

Tabela 3 - Efeito da adubação sobre os teores de celulose (Cel), hemiceluloses (Hemi), holocelulose (Holo), lignina (Lig), extrativos (Ext) e cinzas (Cz) (continua)

Espécie	Idade (Anos)	Adubação	Tendência				
			Cel	Hemi	Holo	Lig	Ext Cz
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	4,5	187,92 kg ha ⁻¹ de N; 31,15 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 173,21 kg ha ⁻¹ de KCl; 803,47 kg ha ⁻¹ de Ca; 188,35 kg ha ⁻¹ de Mg; 454,16 kg ha ⁻¹ de S; 5,61 kg ha ⁻¹ de B; 1,66 kg ha ⁻¹ de Cu; 3,18 kg ha ⁻¹ de Zn; 44,76 kg ha ⁻¹ de Fe; 6,87 kg ha ⁻¹ de Mn e 0,17 kg ha ⁻¹ de Mo. Seis e doze meses após a adubação de implantação do experimento, foram conduzidas novas adubações com a mistura de NPK nas seguintes doses em kg ha ⁻¹ : 185,61 de N; 123,74 de P ₂ O ₅ e 185,61 de KCl	<	>	=	>	
		187,92 kg ha ⁻¹ de N; 31,15 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 173,21 kg ha ⁻¹ de KCl; 803,47 kg ha ⁻¹ de Ca; 188,35 kg ha ⁻¹ de Mg; 454,16 kg ha ⁻¹ de S; 5,61 kg ha ⁻¹ de B; 1,66 kg ha ⁻¹ de Cu; 3,18 kg ha ⁻¹ de Zn; 44,76 kg ha ⁻¹ de Fe; 6,87 kg ha ⁻¹ de Mn e 0,17 kg ha ⁻¹ de Mo. Seis e doze meses após a adubação de implantação do experimento, foram conduzidas novas adubações com a mistura de NPK nas seguintes doses em kg ha ⁻¹ : 185,61 de N; 123,74 de P ₂ O ₅ e 185,61 de KCl	<	>	=	>	
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	5,5	187,92 kg ha ⁻¹ de N; 31,15 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 173,21 kg ha ⁻¹ de KCl; 803,47 kg ha ⁻¹ de Ca; 188,35 kg ha ⁻¹ de Mg; 454,16 kg ha ⁻¹ de S; 5,61 kg ha ⁻¹ de B; 1,66 kg ha ⁻¹ de Cu; 3,18 kg ha ⁻¹ de Zn; 44,76 kg ha ⁻¹ de Fe; 6,87 kg ha ⁻¹ de Mn e 0,17 kg ha ⁻¹ de Mo. Seis e doze meses após a adubação de implantação do experimento, foram conduzidas novas adubações com a mistura de NPK nas seguintes doses em kg ha ⁻¹ : 185,61 de N; 123,74 de P ₂ O ₅ e 185,61 de KCl	<	>	=	>	
		187,92 kg ha ⁻¹ de N; 31,15 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 173,21 kg ha ⁻¹ de KCl; 803,47 kg ha ⁻¹ de Ca; 188,35 kg ha ⁻¹ de Mg; 454,16 kg ha ⁻¹ de S; 5,61 kg ha ⁻¹ de B; 1,66 kg ha ⁻¹ de Cu; 3,18 kg ha ⁻¹ de Zn; 44,76 kg ha ⁻¹ de Fe; 6,87 kg ha ⁻¹ de Mn e 0,17 kg ha ⁻¹ de Mo. Seis e doze meses após a adubação de implantação do experimento, foram conduzidas novas adubações com a mistura de NPK nas seguintes doses em kg ha ⁻¹ : 185,61 de N; 123,74 de P ₂ O ₅ e 185,61 de KCl	<	>	=	>	

(5)

Tabela 3 - Efeito da adubação sobre os teores de celulose (Cel), hemiceluloses (Hemi), holocelulose (Holo), lignina (Lig), extrativos (Ext) e cinzas (Cz) (conclusão)

Espécie	Idade (Anos)	Adubação	Tendência			
			Cel	Hemi	Holo	Lig Ext Cz
E. grandis x E. urophylla	1,5;	Três experimentos com diferentes níveis de NPK (6-30-6); na cobertura, a adubação foi feita com NPK (20-0-20) adicionados os micronutrientes Zn (0,5 %) e B (0,3 %) (aplicação aos 60, 140 e 360 dias de idade)	=	=	=	=
	2 e		=	=	=	=
	2,5		=	=	=	=
	6	Fertilização nitrogenada (realização no plantio, sete, nove e dezessete meses após o plantio)	=	=	=	=
		Fertilização fosfatada (realização no plantio, seis, oito e dezessete meses após o plantio)	=	=	=	=
		86 kg ha ⁻¹ de N, 40 kg ha ⁻¹ de P, 171 kg ha ⁻¹ de K, 705 kg ha ⁻¹ de Ca, 120 kg ha ⁻¹ de Mg e 3 kg ha ⁻¹ de Bo (aplicação de três doses por ano para os primeiros três anos)	=	=	=	=

Fonte: Elaboração dos autores com base em (1) Barreiros e outros (2007); (2) Barbosa e outros (2014); (3) Franco (2014);

(4) Castro (2014); (5) Maia (2014); (6) Garcia (2013); (7) Assis (2013).

(=): não houve efeito da fertilização na densidade da madeira;

(<): a densidade da madeira diminuiu em resposta da utilização de fertilizantes na plantação;

(>): a densidade da madeira aumentou em resposta da utilização de fertilizantes na plantação.

Efeito da fertilização no poder calorífico

O poder calorífico expressa a capacidade de geração de energia de um combustível durante sua combustão. A unidade de medida correspondente é kcal/kg ou cal/g de combustível. A adubação aumenta o vigor das árvores, modificando a qualidade da madeira pelo aumento do número de células, que poderão apresentar paredes mais espessas. O aumento dos teores de lignina e extrativos eleva o poder calorífico (VITAL, 1990; GUO *et al.*, 2010; TELMO; LOUSADA; MOREIRA, 2010).

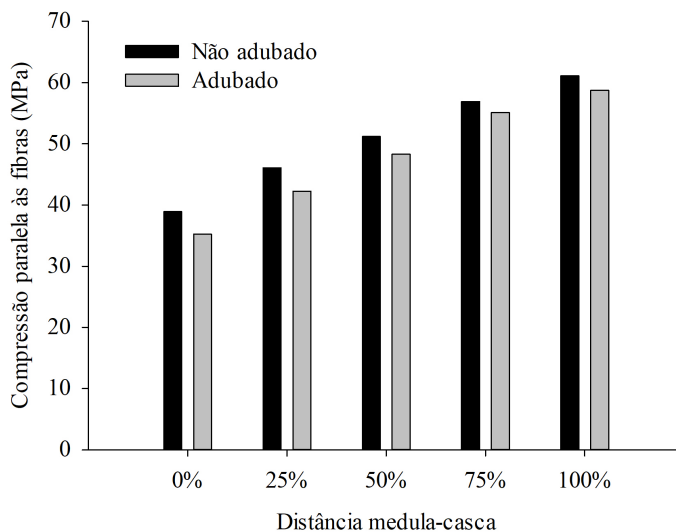
Não foi encontrada influência da adubação no poder calorífico de *E. grandis* aos 7 anos de idade, mas houve aumento da massa seca do lenho da árvore quando submetida à adubação fosfatada e, conseqüentemente, maior produção de energia por unidade de área para os tratamentos com adubação fosfatada (VALE *et al.*, 2000). Ao analisar a influência de fertilizante proveniente do lodo de esgoto sobre o poder calorífico de *E. saligna* (5 anos), também não se verificou efeito significativo, embora tenha havido maior energia por unidade de área em função do maior crescimento das árvores (BARREIROS *et al.*, 2007). Igualmente, Garcia e outros (2011) não observaram variação do poder calorífico da madeira de híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* com 1 ano e 6 meses que recebeu adubação de acordo com o que foi relatado na Tabela 3.

O aumento do poder calorífico superior causado pelos fertilizantes foi constatado para *E. urophylla* e *E. grandis* x *E. urophylla* nas idades de 4,5 e 5,5 anos por Maia (2014). As aplicações de fertilizantes foram realizadas em três misturas diferentes: NPKS + micronutrientes; calcário RIMA + óxido de magnésio; e gesso. As doses estão descritas na Tabela 3.

Efeito da fertilização nas propriedades mecânicas da madeira

A influência da adubação NPK sobre a resistência à compressão paralela às fibras da madeira de *E. grandis* com 21 anos foi estudada por Lima e Garcia (2011). Eles verificaram que a resistência, mensurada em diferentes posições do sentido medula-casca, foi reduzida com a aplicação do fertilizante (Figura 1).

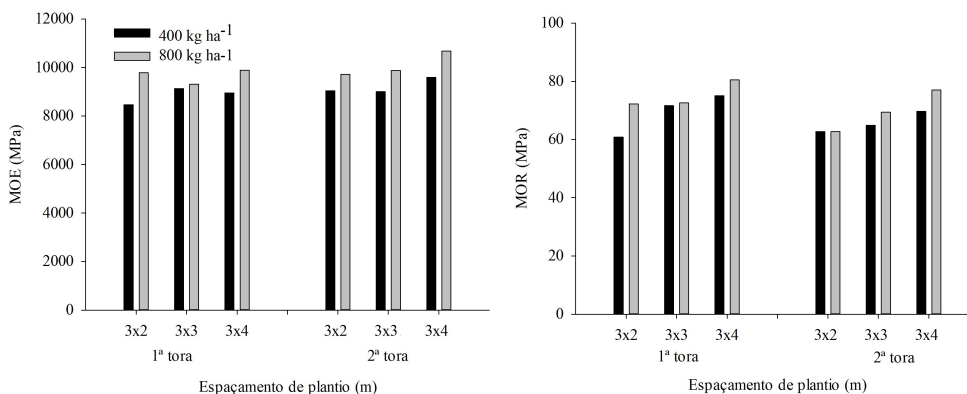
Figura 1 - Efeito da adubação NPK na compressão paralela às fibras de *E. grandis* aos 21 anos



Fonte: Elaboração dos autores com base em Lima e Garcia (2011).

Ao analisar o efeito de diferentes doses do fertilizante fosfato natural reativo (FOSNAP) em *E. saligna* aos 10 anos e 6 meses, Berger (2000) obteve maior módulo de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) na madeira que recebeu maior dose do fertilizante (Figura 2).

Figura 2 - Influência de doses de fosfato natural ativo no módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) da madeira de *E. saligna* com 10 anos e 6 meses



Fonte: Elaboração dos autores com base em Berger (2000).

Franco (2014) encontrou aumento na resistência à compressão paralela às fibras, para a madeira de *E. grandis* aos 101 meses, quando aplicou o potássio como fertilizante em seu plantio; já a utilização do sódio não surtiu nenhum efeito.

Ao observar as pesquisas dos autores sobre os efeitos da fertilização na resistência mecânica da madeira de eucalipto, verificam-se variados resultados, implicando a necessidade de mais estudos para confirmar a real influência da fertilização, como também seu efeito na resistência da madeira de eucalipto nos mais diferentes esforços mecânicos a que ela é sujeita.

Considerações finais

A utilização de adubo em plantações de eucaliptos possui o objetivo de desenvolvimento da floresta, corrigindo deficiências existentes no solo ou na planta, porém pouco é conhecido sobre seus reflexos na qualidade da madeira. Neste capítulo, verifica-se que há influência da adubação em algumas propriedades da madeira de eucalipto, como densidade e propriedades mecânicas. No entanto, ainda é necessário melhor entendimento da influência da adubação na formação do lenho.

Os efeitos da fertilização sobre a qualidade da madeira têm sido contraditórios, não sendo possível prever as alterações que cada nutriente poderá acarretar, ao interagir com outras variáveis, como a idade e a espécie de eucalipto. Além disso, nos trabalhos levantados, observa-se que é comum a prática de aplicação conjunta de nutrientes, principalmente de fertilizantes formulados do tipo NPK.

A anatomia da madeira de eucalipto pode ser alterada pela aplicação de fertilizantes, principalmente em árvores mais jovens. Considerando que cada componente da fibra é afetado por diferentes nutrientes, é necessário realizar estudos específicos para verificar como diferentes elementos do fertilizante afetam os parâmetros das fibras e qual sua interação com a idade da árvore.

Foi constatada pouca influência dos fertilizantes sobre a composição química e poder calorífico da madeira de eucalipto.

Existem poucos trabalhos para verificar a influência da adubação na resistência mecânica da madeira, embora as pesquisas citadas neste capítulo verifiquem que a resistência paralela à fibra diminui como resultado da fertilização. No entanto, é preciso realizar ensaios com fertilizantes para avaliar seus efeitos sobre outras características mecânicas da madeira.

O efeito da adubação sobre o crescimento e a produtividade do eucalipto já é bem conhecido pela comunidade científica e pelas empresas florestais. Portanto, atenção especial deve ser dada aos efeitos dos fertilizantes sobre a qualidade da madeira de eucalipto, considerando-se a espécie utilizada, a idade da planta e as doses de nutrientes utilizados.

Referências

ANDRADE, A. M. *et al.* Efeitos da fertilização mineral e da calagem do solo na produção e na qualidade da madeira de eucalipto. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 18, n. 1, p. 69-78, 1994.

ASSIS, C. O. Níveis de fertilização e seus efeitos no crescimento, nas características da madeira e do carvão em clones de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus*

urophylla. 2013. 150 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

BAMBER, R. H.; HORNE, R.; GRAHAM-HIGGS, A. Effect of fast growth on the properties of *Eucalyptus grandis*. **Australian Forest Research**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 163-167, 1982.

BARBOSA, B. M. *et al.* Efeito da fertilização na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 29-39, 2014.

BARREIROS, R. M. *et al.* Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 103-111, 2007.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. *Eucalyptus* nutrition and fertilizer regimes in Brazil. *In*: ATTIWILL, P. M.; ADAMS, M. A. (org.). **Nutrition of eucalyptus**. Melbourne: CSIRO, 1996. p. 335-356.

BARROS, N. F.; VITAL, B. R. Reflexos da fertilização mineral na qualidade e na utilização da madeira. *In*: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (org.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p. 127-186.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. 2000. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

BRAZIER, J. D. The effect of forest practices on quality of the harvested crop. **Forestry: an international journal of forest research**, [s. l.], v. 50, n. 1, p. 49-66, 1977.

CASTRO, V. R. **Efeitos do potássio, sódio e da disponibilidade hídrica no crescimento e qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. 2014.

141 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

CASTRO, V. R. *et al.* Efeito da aplicação do potássio, do sódio e da disponibilidade hídrica na densidade aparente a 12 % de umidade do lenho juvenil de árvores de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 1017-1027, 2017.

COSTA, M. C. G.; TONINI, H.; SCHWENGBER, J. A. M. **Aspectos sobre nutrição e adubação do eucalipto: fundamentos para pesquisas em Roraima.** Boa Vista: Embrapa Roraima, 2007. 36 p. (Documentos, 3).

DEBELL, D. S.; KEYES, C. R.; GARTNER, B. L. Wood density of *Eucalyptus saligna* grown in Hawaiian plantations: effects of silvicultural practices and relation to growth rate. *Australian Forestry*, [s. l.], v. 64, n. 2, p. 106-110, 2001.

DOWNES, G. M. *et al.* **Sampling plantation eucalypts for wood and fiber properties.** Melbourne: CSIRO, 1997. 132 p.

DÜNISCH, O. *et al.* Subcellular quantitative determination of K and Ca in phloem, cambium and xylem cells of spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) during earlywood and latewood formation. *Holzforschung*, Germany, v. 52, n. 6, p. 582-588, 1998.

EKLUND, L.; ELIASSON, L. Effects of calcium ion concentration on cell wall synthesis. *Journal of Experimental Botany*, Lancaster, v. 14, n. 228, p. 863-867, 1990.

FRANCO, M. P. Efeito da substituição do potássio pelo sódio em árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, visando a expansão das plantações florestais sob condições de estresse hídrico. 2014. 200 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

GARCIA, E. A. **Qualidade energética da madeira de eucalipto em função do espaçamento, da adubação e da idade conduzida no sistema florestal de curta rotação.** 2013. 85 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.

GARCIA, E. A. *et al.* A energia da madeira em floresta de eucalipto. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA*, 40., 2011, Cuiabá. **Anais [...]**. Cuiabá: CONBEA, 2011. p. 1-4.

GAUCH, H. G. **Inorganic plant nutrition.** Stroudsburg: Dowden Hutchinson, 1972. 488 p.

GONÇALVES, E. O. *et al.* Nutrição mineral e qualidade da madeira. *In: CHICHORRO, J. F. et al. (org.). Tópicos em Ciências Florestais.* Visconde do Rio Branco: Suprema, 2010. p. 129-155.

GUO, X. *et al.* Influence of extractives on mechanism of biomass pyrolysis. **Journal of Fuel Chemistry and Technology**, [China], v. 38, n. 1, p. 42-46, 2010.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. **Forest products and wood science: an introduction.** Ames: The Iowa State University Press, 1989. 459 p.

HIGGS, M. L.; RUDMAN, P. The effects of fertilizing and thinning a wood properties of *Eucalyptus regnans*. **Appita**, [Austrália], v. 27, n. 1, p. 51-55, 1973.

KLEM, G. Quality of wood from fertilized forests. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 51, n. 11, p. 99-102, 1968.

LANA, M. C.; NEVES, J. C. L. Capacidade de suprimento de potássio sob reflorestamentos com eucalipto do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 18, p. 115-122, 1994.

LARSON, P. R. Assessing wood quality of fertilized coniferous tree. *In*: FOREST FERTILIZATION: Theory and Practice, 1967, Gainesville. **Proceedings** [...]. Muscle Shoals: Tennessee Valley Authority, 1968. p. 275-280.

LEGOAS, R. C. Efeito do potássio e do sódio no crescimento e nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* sob duas condições de regime hídrico. 2016. 135 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

LIMA, I. L. **Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.** 2005. 137 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Efeito da fertilização em propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 599-606, 2011.

MAIA, T. A. **Influência da adubação mineral na qualidade da madeira de eucalipto para energia.** 2014. 48 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MELLO, H. A. **Aspectos do emprego de fertilizantes minerais no reflorestamento de solos de cerrado do Estado de São Paulo, com *Eucalyptus saligna*.** 1968. 176 f. Tese (Doutorado em Silvicultura) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

PAES, M. F. *et al.* Efeito da fertilização na variação da densidade básica e densidade aparente em função da posição radial na árvore de *Eucalyptus grandis*. *IF Série Registros*, São Paulo, n. 31, p. 21-25, 2007.

RAYMOND, C. A.; MUNERI, A. Effect of fertilizer on wood properties of *Eucalyptus globulus*. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 30, p. 136-144, 2000.

ROCHA, M. P. *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias. 2000. 157 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ROQUE, R. A. M. Efecto de la fertilización de la pradera y manejo intensivo sobre la flexión estática y algunas propiedades de la madera de *Pinus radiata* D. Don de 16 años. 2000. 127 f. Tesis (Magister em Ciencias Forestales) – Universidad de Concepción, Chile, 2000.

SETTE JUNIOR, C. R. *et al.* Efeito da aplicação de fertilização nitrogenada e lodo de esgoto nas características da madeira juvenil de árvores de *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 3, p. 303-312, 2014.

SETTE JUNIOR, C. R. *et al.* Efeito da aplicação de potássio e sódio nas características do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill, aos 24 meses de idade. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 535-546, 2009.

SHEPARD, R. K.; SHOTTAFER, J. E. Effects of fertilization on specific gravity and growth rate of red spruce (*Picea rubens* Sarg.). **Wood Science**, [Estados Unidos] v. 12, n. 2, p. 100-102, 1979.

SILVEIRA, R. L. V. A. *et al.* Nutrição mineral de mudas de *Eucalyptus grandis*: crescimento, produção de matéria seca, concentração e acúmulo de nutrientes. **Revista IPEF** (atual Scientia Forestalis), Piracicaba, n. 64, p. 136-149, 1998.

TELMO, C.; LOUSADA, J.; MOREIRA, N. Proximate analysis, backwards stepwise regression between gross calorific value, ultimate and chemical analysis of wood. **Bio-resource Technology**, [s. l.], v. 101, n. 11, p. 3808-3815, 2010.

VALE, A. T. *et al.* Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.

WILKINS, A. P.; HORNE, R. Wood density variation of young plantation grown. *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden in response to silvicultural treatment. **Forestry Ecology and Management**, [s. l.], v. 40, p. 39-50, 1991.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 363 p.

O Brasil lidera a tecnologia de implantação de florestas de eucalipto, no entanto a avaliação da qualidade da madeira dos diferentes materiais genéticos ainda é incipiente, uma vez que apenas informações de crescimento volumétrico predominam nas pesquisas científicas e na divulgação referentes ao plantio da espécie.

Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil é o resultado de estudos realizados na Universidade Federal do Espírito Santo na última década, junto com uma rede de pesquisadores da área de qualidade da madeira, sintetizado em sete capítulos. O texto resume de forma didática os conhecimentos de mais de sessenta anos de pesquisa no Brasil sobre a madeira de eucalipto em função das práticas silviculturais e do manejo florestal, fornecendo uma base de informações única para estudantes e profissionais da área.