



Universidade Federal de Goiás

Engenharia Florestal

Título do trabalho de conclusão de curso:

**EFEITO DA FERTILIZAÇÃO POTÁSSICA E DISPONIBILIDADE
HÍDRICA NA QUALIDADE DA MADEIRA DE ÁRVORES DE
Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden**

Acadêmica: Adriana Sousa Campos

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sette Júnior

Setembro - 2013

Goiânia

*A minha família e namorado, pelo supremo amor,
dedicação e apoio incondicional na caminhada final
para a conclusão desta graduação .
Sem vocês nenhuma vitória jamais seria alcançada.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À DEUS pela saúde, iluminação e oportunidade de vida.

Aos meus pais, Paulo e Genilda, por terem me proporcionado a dádiva da vida, pelo amor incondicional e pela realização deste sonho;

Aos meus irmãos, Ana Paula e Paulo Henrique, pela amizade e amor;

Ao orientador Carlos Roberto Sette Junior pelos conhecimentos transmitidos ao longo destes últimos 3 anos, pela dedicação e competência na orientação deste trabalho de conclusão de curso;

À Vinícius Resende de Castro pela orientação, auxílio e condução dos trabalhos realizados na universidade e pela disponibilização dos dados de sua tese;

À Mariana Pires Franco pela imensurável contribuição e disponibilização de sua residência durante a realização deste trabalho, além de nortear o trabalho com auxílio e sugestões nas análises laboratoriais.

À Maria Bermudez pela contribuição no desenvolvimento das análises laboratoriais;

À Estação Experimental de Itatinga, pelo auxílio na condução do experimento e pelo apoio durante a execução dos trabalhos de campo;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”-ESALQ/USP pela possibilidade do desenvolvimento deste trabalho;

Aos professores Jácomo Divino Borges e Francine Neves Calil pela participação na banca avaliadora.

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVOS.....	8
2.1 Objetivo geral.....	8
2.2 Objetivos específicos.....	8
3. HIPÓTESES.....	9
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
4.1 Propriedade física do lenho de eucalipto: densidade aparente.....	9
4.2 Características anatômicas do lenho de árvores de eucalipto.....	10
4.3 Características anatômicas do lenho de árvores de eucalipto submetidos ao estresse hídrico e fertilização mineral.....	11
4.4 Interação da adubação potássica com a disponibilidade hídrica.....	13
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
5.1 Local.....	15
5.2 Delineamento experimental.....	15
5.3 Seleção corte e coleta das amostras para análise da qualidade da madeira.....	17
5.4 Propriedade física do lenho das árvores de eucalipto: densidade aparente.....	17
5.5 Características anatômicas do lenho das árvores de eucalipto.....	18
5.6 Correlação entre anatomia e densidade aparente.....	19
5.7 Análise estatística.....	20
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	20
6.1 Propriedade física do lenho: Densidade aparente por densitometria de raios x.....	20
6.2 Características anatômicas do lenho das árvores de eucalipto.....	25
6.2.1 Dimensões de fibras.....	25
6.2.2 Dimensões e frequência dos vasos.....	29
6.3 Correlação entre as características anatômicas e a densidade aparente do lenho.....	33
7. CONCLUSÕES.....	35
REFERÊNCIAS.....	36

RESUMO

Efeito da fertilização potássica e disponibilidade hídrica na qualidade da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis*

No Brasil, a maioria das áreas com cultivo de eucalipto são estabelecidas em regiões de baixa fertilidade, particularmente pobres em K, e submetidas a períodos de déficit hídrico. O presente estudo teve como objetivo avaliar as características anatômicas e densidade aparente da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* aos 12 e 24 meses de idade sob o efeito da fertilização potássica e da disponibilidade hídrica. O experimento foi implantado em delineamento em blocos casualizados com 3 repetições, contendo quatro tratamentos: dois regimes hídricos (100% de chuva e 60% de chuva, com exclusão artificial por 1700 m² de lonas em polietileno) e duas doses de K (0 e 3,0 kmol.ha⁻¹) na forma de KCl aplicado no plantio. Árvores de eucalipto representativas da classe de área basal média foram selecionadas (4árv./idade/tratamento), totalizando 32 árvores amostradas, sendo seccionados discos de madeira a 1,3 metros de altura (DAP) para a avaliação das características física (densidade aparente) e anatômicas (dimensões das fibras e vasos). Os resultados encontrados não demonstraram diferenças significativas entre os tratamentos de nutrição x disponibilidade hídrica para a grande maioria dos parâmetros de qualidade da madeira. Os resultados visam dar subsídios para a expansão das plantações de eucalipto para as regiões do Brasil com déficit hídrico e/ou afetadas por mudanças climáticas.

Palavras-chave: fertilização; madeira; chuva.

ABSTRACT

Effect of potassium fertilization and water availability on quality of wood of trees of

Eucalyptus grandis

In Brazil, most of the areas with eucalyptus plantations are established in regions of low fertility, particularly poor in K, and subjected to water deficit. The present study aimed to evaluate the anatomical characteristics and apparent density of the wood of trees of *Eucalyptus grandis* at 12 and 24 months of age under the effect of potassium fertilization and water availability. The experiment was deployed in a randomized block design with 3 replications with four treatments: two water regimes (100% and 60% of rain, with exclusion artificial by 1700 m² of polyethylene tarps) and two doses of K (0 and 3,0 kmol.ha⁻¹) in the form of KCl applied at planting. Eucalyptus trees representing of class of average basal area were selected (4 trees/age/treatment), totaling 32 trees sampled, being sectioned discs of wood the 1,3 meters of height (DAP) for evaluation of physical characteristics (apparent density) and anatomical (dimensions of fiber and vessels). The results found not demonstrated significant differences between treatments of nutrition x water availability for most parameters of wood quality. The results found are intended to provide subsidies for the expansion of eucalyptus plantations in Brazil for regions with water deficit and/or affected by climate change.

Keywords: Fertilization; wood; rain.

1. INTRODUÇÃO

As crescentes plantações de espécies de eucalipto no Brasil que ocupam cerca de 4,87 milhões de ha, tiveram uma redução no crescimento dos plantios que passaram de 7,1% ao ano no período de 2004-2009 para 2,5% ao ano no período de 2010-2011. Esta redução se deve à fatores como a reduzida atividade econômica nos países da União Europeia e nos Estados Unidos, países importadores de produtos florestais ou da cadeia de base florestal plantada; a redução da competitividade no mercado internacional dos produtos da cadeia produtiva brasileira de base florestal e entre outros (ABRAF 2012).

A expansão na área plantada com espécies do gênero *Eucalyptus* é resultado de um conjunto de fatores favoráveis de ordem econômica, silvicultural e ambiental. Entre os aspectos mais relevantes estão o rápido crescimento das árvores de eucalipto em ciclos de curta rotação, a alta produtividade florestal e a expansão e direcionamento de novos investimentos pelas empresas que utilizam sua madeira como matéria prima nos processos industriais (ABRAF 2010). Um forte fator que tendencialmente eleva o crescimento das plantações no país é o aumento da demanda das indústrias brasileiras de base florestal para a expansão ao atendimento do mercado nacional e internacional, principalmente no segmento de Papel e Celulose (ABRAF 2012).

No Brasil, a maioria das áreas com cultivo de eucalipto são estabelecidas em regiões de baixa fertilidade, particularmente pobres em K, e submetidas a períodos de déficit hídrico (Gava 1997, Gonçalves et al. 2004). Por consequência, a compreensão dos processos e das interações existentes entre a disponibilidade potássica e hídrica sobre o funcionamento dos povoamentos de eucalipto, especialmente da formação do lenho das árvores torna-se determinante, uma vez que os mecanismos do potássio estão diretamente relacionados com o balanço hídrico nas árvores e podendo aumentar a eficiência do uso da água sob estresse hídrico (Gonçalves et al. 2000, Almeida 2009), pode aumentar a resistência das árvores à seca e influenciar na atividade cambial e formação do lenho. Os estímulos provocados na atividade cambial das plantas em decorrência da disponibilidade hídrica do ambiente e da aplicação de potássio promovem significativas alterações nas suas características anatômicas e no processo de formação do lenho (Drew et al. 2009, Drew et al. 2010), sendo fundamental o seu estudo para o melhor entendimento das relações da atividade cambial e qualidade da madeira com os estímulos climáticos e de fertilização. Vários estudos têm sido conduzidos em ambiente controlado para avaliar os efeitos do estresse hídrico sobre o crescimento inicial de diferentes espécies de eucalipto (Ngugi et al. 2004). Contudo, os estudos sobre os efeitos de um estresse

hídrico severo e prolongado no campo, na qualidade da madeira de árvores de eucalipto são escassos.

Os minerais são essenciais em muitos processos fisiológicos das plantas e a fertilização é conhecida como sendo um importante fator que controla o seu crescimento e desenvolvimento (Gonçalves et al. 2000). Por outro lado, o conhecimento das funções dos minerais nas árvores ainda é insatisfatório e restrito aos efeitos no incremento em diâmetro e altura do tronco. Nos últimos anos, as pesquisas têm revelado uma correlação positiva entre o potássio e a atividade cambial das árvores (Wind et al. 2004). Contudo, o papel do potássio durante a formação do lenho ainda não é bem compreendida. Apesar dos estudos iniciais revelarem alguma influencia do potássio na atividade cambial e formação do lenho, existe ainda a necessidade de informações mais detalhadas sobre o envolvimento específico deste elemento durante o processo de crescimento cambial. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da madeira de árvores de eucalipto sob o efeito da fertilização potássica e da disponibilidade hídrica.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve como objetivo geral avaliar a qualidade da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* com 12 e 24 meses de idade sob o efeito da fertilização potássica e da disponibilidade hídrica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos mencionam-se a determinação: (i) da densidade aparente por densitometria de raios X, (ii) da área ocupada, diâmetro e frequência dos vasos, (iii) da espessura da parede, do lume, largura total e comprimento das fibras, (iv) da compreensão dos processos e das interações existentes entre a disponibilidade potássica e hídrica sobre a qualidade da madeira de eucalipto e (ii) dos efeitos de um estresse hídrico severo e prolongado no campo, na qualidade da madeira de eucalipto.

3. HIPÓTESES

As hipóteses testadas foram:

(i) a redução dos níveis de precipitação aumenta a densidade aparente e as dimensões das fibras e diminui as dimensões dos vasos da madeira;

(ii) a fertilização mineral altera as condições de crescimento da planta afetando a qualidade da madeira;

(iii) as dimensões das características anatômicas e a densidade aparente da madeira aumentam com a idade da árvore.

(iv) a densidade aparente da madeira é influenciada por suas características anatômicas.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Propriedade física do lenho de eucalipto: densidade aparente

Das propriedades do lenho, a densidade é considerada como uma das mais importantes, fornecendo informações sobre as demais características (anatômica, química e mecânica) e comumente utilizada como índice para avaliar a qualidade da madeira. A variação da densidade do lenho das árvores está relacionada com parâmetros anatômicos (espessura da parede celular, frequência de vasos, parênquima e dimensões das fibras), químicos, condições edafo-climáticas e manejo silvicultural. Outras variáveis indicadas na literatura referem-se à taxa de crescimento das árvores, espaçamento, idade, procedência e variação longitudinal-radial do tronco (Tomazello Filho 1985, Souza et al. 1986, Bouvet et al. 1999 citados por Viana 2008).

A densidade aparente pode ser expressa pela razão entre a massa e o volume, ambos a 12 % de umidade relativa do ar. No Brasil, a aplicação da técnica de atenuação dos raios X na análise de madeiras, para a determinação da densidade aparente, foi implantada por Amaral (1994), sendo considerada importante ferramenta na avaliação detalhada do efeito dos tratamentos silviculturais na qualidade do lenho, bem como na caracterização tecnológica da madeira.

A determinação de densidade aparente por meio da metodologia de densitometria de raios X permite, da mesma forma, avaliar o efeito da deterioração provocada no lenho das árvores de eucalipto por fungos de podridão branca, além de detectar o limite do cerne-

alburno, determinar o efeito do manejo florestal nas propriedades do lenho e possibilita determinar a produção anual da biomassa de lenho e a relação com a sua estrutura anatômica (Tomazello Filho et al. 2008).

Ao caracterizar a variação radial da densidade aparente do lenho das árvores de *E. grandis* com 8 anos por densitometria de raios X, Alzate (2004) constatou que esta é crescente no sentido medula-casca e que a densidade aparente média foi de 0,46 g/cm³. A variação radial da densidade aparente do lenho de árvores de *E. grandis x urophylla* com 7 anos, foi também estudada por Tomazello Filho (2006) utilizando a técnica de densitometria de raios X, sendo constatado o modelo de variação constituído por valores crescentes da medula a casca, tendo uma densidade aparente média de 0,65 g/cm³.

Os perfis de densidade aparente do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis*, de 5 anos, por microdensitometria de raios X, evidenciaram um modelo de variação radial caracterizado por valores de 0,50-0,65 g/cm³, na região da medula, de 0,40-0,50 a 50% do raio e de 0,65-0,80 g/cm³ próximo à região da casca (Sette Júnior et al. 2009, Sette Júnior 2010).

4.2 Características anatômicas do lenho de árvores de eucalipto

A estrutura do lenho das árvores é caracterizada pelo arranjo e pela quantidade proporcional de diferentes tipos de células, como fibras, traqueídeos, vasos, parênquima axial e raios, influenciando, significativamente, as diversas propriedades da madeira (Marcati 1992, Silva 2002). Porém, entre os caracteres notadamente influenciados pelo clima, solo, adoção de diferentes práticas silviculturais e alteração na idade de corte estão o comprimento das fibras e dos vasos, espessura da parede das fibras, diâmetro tangencial dos vasos, frequência de vasos por milímetro quadrado (Zobel & Buijtenen 1989 citados por Trevizor 2011).

As características anatômicas constituem-se em um índice de qualidade, além da composição química e as propriedades físicas da madeira, compondo os fatores que estão relacionados às propriedades da madeira (Haygreen & Bowyer 1982). Zobel & Buijtenen (1989) afirmaram que as características anatômicas variam significativamente entre e dentro das árvores e podem ser controladas geneticamente, bem como apresentar alterações, em função de diferentes práticas silviculturais, como a fertilização e da alteração da idade de corte.

Estudando as características das fibras da madeira de *E. grandis* aos 16 anos, Brasil e Ferreira (1971) observaram valores médios de 1,3 mm, 5,0 e 7,7 µm para comprimento, espessura da parede das fibras e diâmetro do lume, respectivamente. Barrichelo & Brito

(1976) avaliando a madeira de diversas espécies do gênero *Eucalyptus* observaram que os valores para o comprimento das fibras, variaram de 0,75 a 1,30 mm, para espessura da parede de 2,5 a 6,0 μm e diâmetro do lume de 6,0 a 10 μm .

Analisando a estrutura anatômica da madeira de *E. grandis* com 10 anos, Tomazello Filho (1985a), verificou que os elementos de vaso apresentaram diâmetro tangencial variando de pequenos (53 μm) a médios (161 μm). Ainda, segundo o autor, o comprimento das fibras variou entre 0,89 e 1,52 mm, a largura de 17,0 a 33,5 μm , a espessura da parede de 5,0 a 6,0 μm e o diâmetro do lume de 7,0 a 23,0 μm . Caracterizando a estrutura anatômica da madeira de *E. grandis* com 8 anos, Alzate (2004) determinou camadas de crescimento bem distintas e demarcadas pela espessura da parede celular das fibras, com comprimento de 1,03 mm, largura de 20,99 μm , diâmetro de lume de 9,58 μm e espessura da parede delgada de 5,7 μm .

O modelo de variação radial do comprimento e largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras indica aumento no sentido medula-casca para o *E. grandis* e *E. saligna* com 10 anos de idade, segundo Tomazello Filho (1985b), verificando um aumento no diâmetro tangencial e uma diminuição na frequência dos vasos no sentido radial. Brasil & Ferreira (1971) observaram tendências de variação radial similares para comprimento e espessura das fibras, contudo para o diâmetro do lume houve um decréscimo no sentido medula-casca.

Rocha (2000) estudando a variação da estrutura anatômica da madeira de *E. grandis* aos 7 anos de idade, verificaram um aumento das dimensões das fibras, do comprimento e diâmetro tangencial dos vasos e redução da frequência dos vasos no sentido radial. Resultado similar foi obtido por Sette Júnior et al. (2009) ao caracterizarem a madeira de *Eucalyptus grandis*.

4.3 Características anatômicas do lenho de árvores de eucalipto submetidos ao estresse hídrico e fertilização mineral

Wimmer et al. (2002) e Drew et al. (2009) atribuem aos impactos ambientais como um dos fatores que influenciam na mudança da estrutura anatômica no lenho, alterando o desempenho fisiológico das árvores como um todo, de modo resultante da interação entre as características genéticas da espécie e as variáveis externas às quais esta planta está sujeita. Fatores como seca, inundação, altitude, latitude, constituição do solo, estádios sucessionais da vegetação e poluição podem alterar significativamente a estrutura anatômica da madeira.

Estudos de anatomia realizados em plantas sujeitas a déficit hídrico mostraram elementos de vaso menores, mais agrupados e bastante numerosos (Baas et al. 1985). Fibras com paredes mais finas são mais frequentes em ambientes úmidos, enquanto fibras com paredes mais espessas são encontradas em ambientes mais secos (Luchi et al. 2005).

Em experimento realizado por Schuldt et al. (2011) na Indonésia com exclusão de chuva em árvores de floresta úmida, verificou-se que o tratamento com exclusão de chuva propiciou uma redução de 30% na condutividade hidráulica no alburno, possivelmente causada pela formação de vasos com menores diâmetros e/ou preenchidos por tilose. O diâmetro e a frequência de vasos influenciaram na condutividade hidráulica, onde o aumento dessas variáveis indicou aumento de produtividade. Já em ambientes favoráveis a seca, as células condutoras de elementos de vaso são mais estreitas por estarem mais propensas à cavitação (Hacke et al. 2010 citados por Schuldt et al. 2011).

A nutrição mineral é um dos fatores que afetam o crescimento da planta e relações hídricas, mas os efeitos reportados de diferentes disponibilidades de nutrientes na planta na madeira e nas propriedades hidráulicas são contraditórias. Por exemplo, a adubação nitrogenada tem sido relatada a influenciar positiva ou negativamente o tamanho dos vasos do xilema, a vulnerabilidade à cavitação, condutividade hidráulica e eficiência do uso da água em diferentes espécies e condições de crescimento (Hacke et al. 2010, citados por Oddo et al. 2011).

Fromm (2010), avaliando *Populus trichocarpa* quando cultivados em baixas concentrações de K ou Ca, concluiu que as dimensões dos elementos de vaso são significativamente reduzidas. Outros estudos realizados com *E. grandis* aos 24 e 48 meses submetidas a tratamentos de fertilização controle, sódica e potássica observaram diferenças significativas das dimensões e frequência de vasos (Sette Júnior et al. 2009, Sette Júnior 2010).

O efeito da disponibilidade hídrica nas dimensões das fibras do lenho de árvores de eucalipto tem sido reportado na literatura sem, no entanto, haver consenso dos resultados. Estudos conduzidos com *E. regnans*, *E. globulus*, *E. nitens*, *E. occidentalis*, *E. camaldulensis* e *E. grandis* concluíram que a fertilização induz de forma positiva - aumento do comprimento da fibra (Beadle et al. 1997, 2001; Tomazello Filho 2006); ou neutra – sem diferenças significativas para as dimensões de fibras para *E. globulus*, *E. camaldulensis*, *E. maculata* e *E. camaldulensis* (Pereira et al. 1992).

A aplicação de fertilizantes interferindo nas dimensões das fibras do lenho de árvores de eucalipto também tem sido reportada na literatura verificando contradições sobre o efeito

da nutrição mineral. Andrade et al. (1994) estudaram o efeito da adubação fosfatada e/ou sulfatada e a calagem do solo em árvores de *E. grandis*, de 6 anos (i) a aplicação de fosfato e gesso promoveu a formação de fibras de menor diâmetro e espessura da parede celular; (ii) na calagem, as fibras foram de maior diâmetro e espessura de parede e os vasos de maior diâmetro.

A fertilização não mostrou influência no comprimento das fibras do lenho de árvores de *E. urophylla*, com 9 anos, de 5 áreas experimentais na China, de acordo com Jianju et al. (1995). No entanto, foi detectada uma correlação positiva entre a largura das fibras e a fertilização aplicada nas árvores de eucalipto.

Tomazello Filho (2006) não observou significativas diferenças das dimensões dos vasos no lenho de árvores de *Eucalyptus grandis x urophylla* submetidas a tratamentos de fertilização e irrigação.

Estudos feitos por Sette Júnior (2007) relacionando as características anatômicas x efeitos da aplicação de fertilizantes minerais aos 24 meses de idade em árvores de *E. grandis*, mostraram um modelo de variação radial das dimensões das fibras caracterizado pelo aumento da largura, diâmetro do lume e comprimento e a inexistência de um modelo de variação para a espessura da parede celular, com diferenças significativas para algumas dimensões nos tratamentos de fertilização. Para os elementos de vaso, o modelo de variação foi caracterizado com aumento do diâmetro tangencial e da área ocupada e redução da frequência, com diferenças significativas para alguns parâmetros e posições radiais entre tratamentos.

Sette Júnior (2010) verificou que a aplicação de K influenciou as características anatômicas do lenho das árvores de eucalipto aos 4 anos, promovendo fibras com parede celular mais espessa e menor diâmetro do lume e vasos com maior diâmetro e menor frequência.

4.4 Interação da adubação potássica com a disponibilidade hídrica

No Brasil, a maioria das áreas em cultivo são estabelecidas em regiões de baixa fertilidade, particularmente pobres em K, e submetidas a períodos de déficit hídrico (Gava 1997, Gonçalves et al. 2004). Por consequência, a compreensão dos processos e das interações existentes entre a disponibilidade potássica e hídrica sobre o funcionamento dos povoamentos de eucalipto, especialmente da qualidade da madeira das árvores torna-se determinante.

Da mesma forma, as mudanças climáticas globais, devidas as atividades humanas, são traduzidas, entre outros, pela elevação das temperaturas médias e alteração na frequência e intensidade das precipitações que serão mais variáveis nas futuras décadas (IPCC 2007). Sob condições de estresse hídrico são observados diminuição do crescimento e aumento da mortalidade das árvores (Allen 2009). Vários estudos têm sido conduzidos em ambiente controlado para avaliar os efeitos do estresse hídrico sobre o crescimento inicial de diferentes espécies de eucalipto (Ngugi et al. 2004, Coopman et al. 2008). Contudo, os estudos sobre os efeitos de um estresse hídrico severo e prolongado no campo, no crescimento e na formação da madeira de árvores de eucalipto são escassos. Para Wimmer et al. (2002) e Drew et al. (2008) a taxa de crescimento das plantas e conseqüentemente a atividade cambial-formação da madeira são fortemente regulados pela disponibilidade de água no ambiente. As variáveis climáticas influenciam diretamente na atividade fotossintética das plantas e por conseqüência na qualidade da madeira. Os estímulos provocados na atividade cambial das plantas em decorrência da disponibilidade de água no ambiente promovem significativas alterações nas suas características anatômicas e no processo de formação do lenho (Sette Júnior 2010, Drew et al. 2009), sendo fundamental o seu estudo para o melhor entendimento das relações da atividade cambial e os estímulos climáticos.

Os mecanismos do potássio estando diretamente relacionados com o balanço hídrico nas árvores e podendo aumentar a eficiência do uso da água sob estresse hídrico (Gonçalves et al. 2000, Almeida 2009), poderá aumentar a resistência das árvores à seca, influenciando na atividade cambial e formação do lenho das árvores. No Brasil, foram observadas respostas significativas a adubação potássica sobre várias rotações de eucalipto estabelecidas em solo pobre em potássio e onde os períodos de seca são frequentes (Gava 1997). Vários estudos mostraram para outras plantas a função do potássio na resistência à seca pela ação (i) de abertura estomática (Dietrich et al. 2001), (ii) de conservação do potencial osmótico das raízes (Gulick & Cassman 1989), (iii) de estimulação dos mecanismos de transporte (Coker et al. 2002). As interações entre os efeitos do potássio e do estresse hídrico sobre as funções fisiológicas a escala do povoamento de eucalipto não foram estudadas.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Local

O experimento foi implantado por meio de um convênio estabelecido entre o Setor de Engenharia Florestal da UFG, o Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP e o Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agronômica para o Desenvolvimento (CIRAD)/França, na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga/SP, localizada a 23° 10' S e 48° 40' W, com 857 m de altitude. O clima da região é caracterizado como mesotérmico úmido (Cwa), segundo Köppen, com precipitação média anual de 1,635 mm e temperatura média de 16,2°C e 28,6°C nos meses mais frio e mais quente, respectivamente.

O solo é do tipo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico de textura média (200 g kg⁻¹ de argila) com a litologia composta por arenito, formação Marília, do Grupo Bauru. Os resultados da análise do solo na fase de implantação do experimento encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características do solo da área experimental.

Profundidade m	pH água	K	Ca	Mg	Na	H+Al	SB	CTC
mmolc Kg ⁻¹								
0-0,05	4,6	0,1246	0,2180	0,3115	0,0000	23,54	1,40	24,94
0,05-0,15	5,3	0,0467	0,0081	0,1003	0,0000	11,66	0,30	11,95
0,15-0,50	5,5	0,0286	0,0052	0,0316	0,0000	8,80	0,09	8,89
0,50-1,0	5,5	0,0161	0,0000	0,0124	0,0000	6,49	0,04	6,53
1,0-2,0	5,7	0,0305	0,0153	0,0153	0,0034	3,94	0,12	4,06
2,0-3,0	6,0	0,0133	0,0007	0,0103	0,0159	0,80	0,08	0,87
3,0-4,0	5,7	0,0393	0,0363	0,0375	0,0042	0,28	0,16	0,44
4,0-5,0	5,9	0,0298	0,0261	0,0539	0,0000	0,04	0,16	0,20
5,0-6,0	5,8	0,0287	0,0095	1,0164	0,0072	0,13	0,11	0,24

5.2 Delineamento experimental

O experimento foi instalado em junho de 2010 em delineamento em blocos casualizados com 3 repetições e 4 tratamentos, totalizando 12 parcelas (Figura 1). Os tratamentos foram: dois regimes hídricos (100% de chuva e 66% de chuva, com exclusão artificial por 1700 m² de lonas em polietileno) e duas doses de K (0 e 3,0 kmol ha⁻¹) na forma de KCl aplicado no plantio. Os tratamentos foram identificados da seguinte forma: C/+C:

controle + 100% de chuva; **K/+C**: potássio + 100% de chuva; **C/-C**: controle + 66% de chuva; **K/-C**: potássio + 66% de chuva.

A exclusão de chuva está sendo realizada por faixas de 40 cm de largura com polietileno transparente para reduzir ao máximo o efeito da redução da chuva sobre a variabilidade espacial dos processos no solo (Figura 2).

O plantio foi realizado aproveitando a orientação do cultivo anterior em espaçamento de 3 x 2 m, sendo as mudas plantadas no intervalo entre as touças remanescentes da rotação anterior. As parcelas foram constituídas por 12 linhas de 10 plantas para avaliar as 36 árvores centrais (6 x 6 árvores). Uma parcela de cada um dos 4 tratamentos foi instalada com uma área maior (15 linhas de 14 plantas) para amostrar destrutivamente árvores (excluindo as bordaduras) sem modificar o crescimento das 36 árvores medidas durante os inventários e demais avaliações que são realizadas no experimento por outros pesquisadores.

Antes do plantio em todos os tratamentos, foram distribuídos a lanço sem incorporação, 2000 kg de calcário dolomítico por hectare. A adubação de plantio foi feita nas covas fornecendo-se o equivalente a 80 kg de P_2O_5 (Super Fosfato Simples), 30 kg de N ($NH_4(SO_4)_2$) e 30 kg de FTE (BR-12) por hectare como fonte de micronutrientes.

B1	T1 C/+C	T2 K/+C	T3 C/-C	T4 K/-C
B2	T3 C/-C	T1 C/+C	T4 K/-C	T2 K/+C
B3	T4 K/-C	T3 C/-C	T2 K/+C	T1 C/+C

Figura 1. Croqui do delineamento experimental ilustrando os 3 blocos, com as 12 parcelas contendo os 4 tratamentos.



Figura 2. Delineamento experimental com árvores de *E. grandis* na Estação Experimental de Itatinga/SP. Detalhe da exclusão de chuva por faixas de polietileno.

5.3 Seleção, corte e coleta das amostras para análise da qualidade da madeira

Foram selecionadas 4 árvores de eucalipto por tratamento de nutrição x disponibilidade hídrica e por idade (12 e 24 meses) em um total de 32 árvores amostradas em delineamento inteiramente aleatorizado realizado nas parcelas reservadas para a amostragem destrutiva.

As árvores foram cortadas, desramadas e seccionado 1 disco de madeira na posição do DAP (Figura 3) para avaliação das características anatômicas (dimensões de fibras e vasos) e densidade aparente por densitometria de raios X.

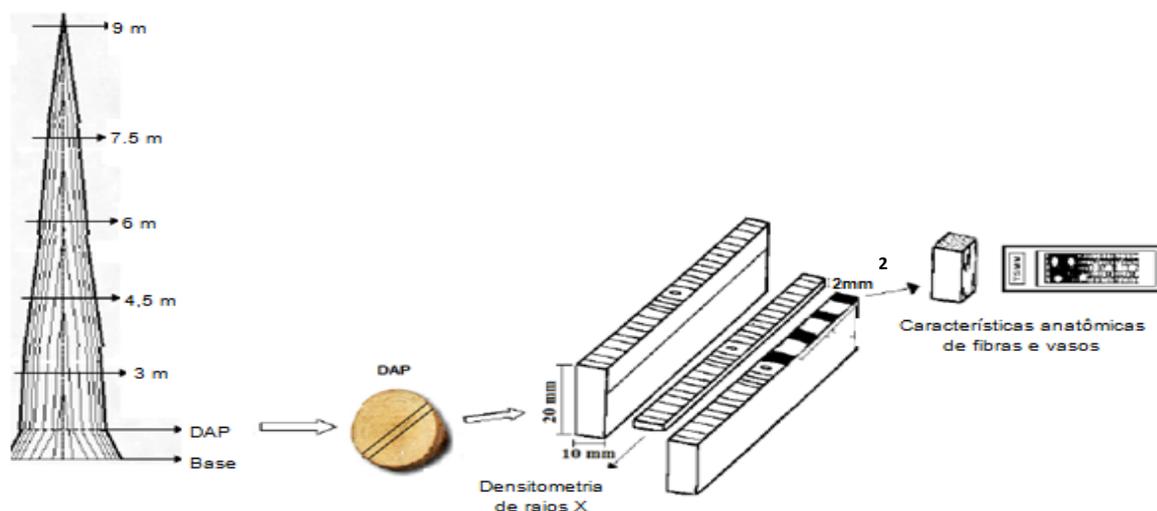


Figura 3. Amostragem do lenho das árvores de eucalipto para a realização das análises anatômicas e de densidade aparente.

5.4 Propriedade física do lenho das árvores de eucalipto: densidade aparente

Seleção e preparo das amostras do lenho do tronco das árvores: foram selecionados discos do lenho com 3 cm de espessura, localizados na altura do DAP das árvores com 12 e 24 meses (total de 32 árvores, 16 árvores/idade, 4 árvores/tratamento). Os discos foram cortados obtendo-se amostras diametrais (20x10 mm, largura x espessura) das seções transversais e, em seguida, coladas em suportes de madeira. Em equipamento de dupla serra circular paralela foram seccionadas amostras finas do lenho (2,0 mm de espessura) no sentido transversal ao alinhamento das fibras e acondicionadas (câmara de climatização, 20°C, 24h, 60% UR), para atingir a faixa de 12 a 15% de umidade de equilíbrio da madeira.

Descrição do equipamento e princípio de funcionamento: o perfil de densidade da madeira foi obtido no equipamento modelo QTRS-01X, da Quintek Measurement Systems,

EUA (Figura 4A). As amostras diametrais do lenho foram encaixadas no suporte metálico e transferidas para um compartimento interno blindado do equipamento, seguindo-se a sua calibração e o escaneamento (varredura) diametral contínuo por um feixe de raios X colimado. Os valores de raios X que atravessam a amostra do lenho foram transformados em densidade aparente por meio do software QMS. Os valores pontuais de densidade que compõem o perfil radial de densidade aparente do lenho são observados na tela do monitor, simultaneamente à imagem da seção transversal da amostra do lenho (QMS 1999) (Figura 4B).

Montagem do perfil radial de densidade aparente do lenho: os valores radiais de densidade aparente do lenho obtidos pelo software QMS originam um arquivo DAT (relatório da análise com os valores pontuais de densidade aparente do lenho a cada 40 μm). O arquivo DAT foi lido pelo software Excel, construindo-se os perfis diametrais de densidade aparente do lenho das árvores (QMS 1999).

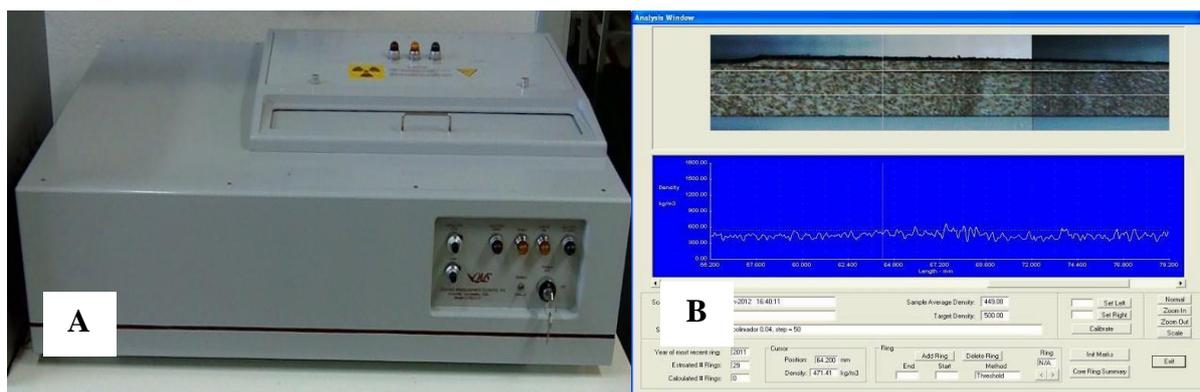


Figura 4. Obtenção dos perfis de densidade do lenho de *E.grandis*. (A) equipamento de raios X QTRS-01X; (B) seção transversal do lenho e perfil de densidade aparente.

5.5 Características anatômicas do lenho das árvores de eucalipto

Das árvores com 12 e 24 meses foram selecionados discos do lenho da altura do DAP (total de 32 árvores, 16 árvores/idade, 4 árvores/tratamento). Amostras radiais retiradas da periferia do disco do DAP foram submetidas ao processo de maceração pelo método Franklin (Johansen 1940). Da suspensão das fibras, foram preparadas lâminas histológicas temporárias, coletando-se 40 imagens/lâmina sob microscopia de luz para mensuração do seu comprimento (aumento de 100X) e 40 imagens/lâmina para largura, diâmetro do lume e espessura de parede (aumento de 400X), totalizando 640 medições por idade para cada variável avaliada. Para a mensuração das variáveis anatômicas, foi utilizado um programa de análise de imagem *Image*

Pro Plus, onde foi previamente calibrado para cada aumento e tomadas as medidas das variáveis em análise. Os valores de dimensões das fibras foram relacionados entre os tratamentos de nutrição x disponibilidade hídrica, idades das árvores e densidade do lenho.

Nas mesmas amostras do lenho na altura DAP utilizadas no processo de maceração, foram retirados da periferia do disco corpos de prova (20 x 10 mm, largura x espessura), imersos em água em ebulição para a saturação e amolecimento, fixados em micrótomo de deslize e cortadas seções transversais (15-20 μm de espessura). Os cortes histológicos do lenho foram clarificados (água cãndida, 1:1), lavados (água destilada, ácido acético 1%), desidratados (série alcoólica, 30-100%), lavados (xilol) e montadas (sob lamínula, bálsamo de Canadá) as lâminas histológicas. Destas, foram coletadas imagens digitais (6 imagens por amostra) sob microscopia de fluorescência (100x) para a mensuração do diâmetro de vaso, % de área ocupada por vaso e frequência de vaso/ mm^2 , aplicando o programa de análise de imagem *Image Pro Plus* (Figura 5), totalizando 96 medições por idade (IAWA 1989). Os valores das dimensões do diâmetro de vaso, % de área ocupada por vaso e frequência de vaso/ mm^2 foram relacionados entre os tratamentos de nutrição x disponibilidade hídrica, idades das árvores e densidade da madeira.

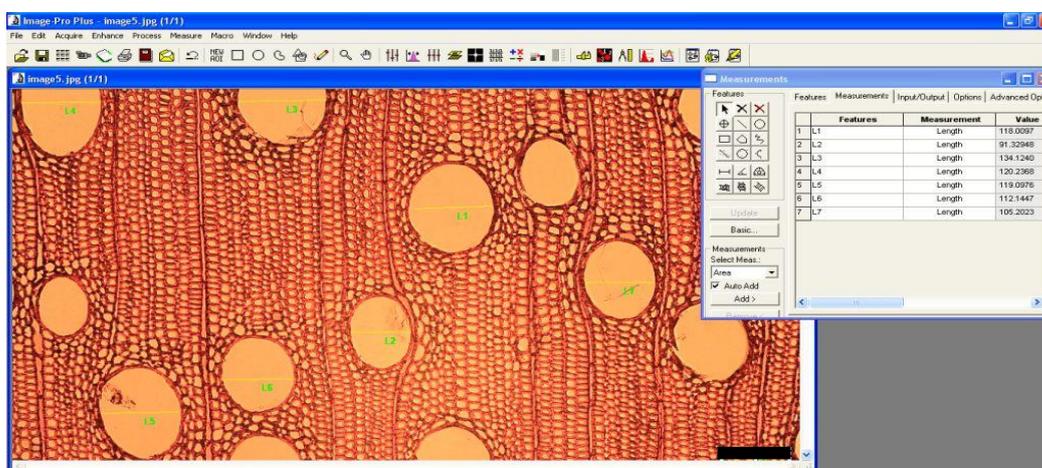


Figura 5. Avaliação das dimensões dos vasos no programa de análise de imagem *Image Pro Plus*. Barra: 100 μm .

5.6 Correlação entre anatomia e densidade aparente

Para correlacionar as características anatômicas e a densidade aparente do lenho utilizou-se como características anatômicas os valores das dimensões do diâmetro dos vasos, % de área ocupada pelos vasos, espessura de parede das fibras, comprimento e largura das fibras e diâmetro do lume. Para as análises estatísticas foram realizadas análises de correlação

de Pearson e regressão múltipla (stepwise) com os valores a 90% do raio (Figura 6), visando selecionar as variáveis que melhor explicam a densidade aparente do lenho.

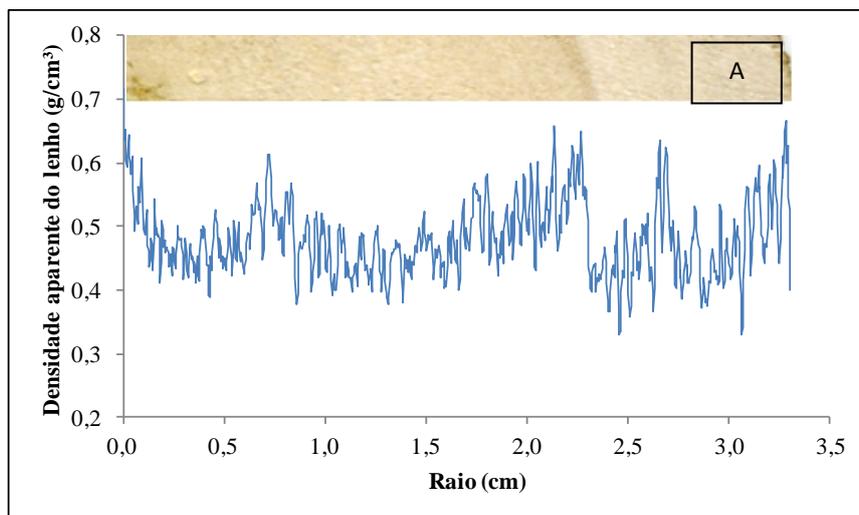


Figura 6. Perfil radial da densidade aparente. (A) Posição de amostragem das características anatômicas.

5.7 Análise estatística

Na análise estatística dos resultados foram aplicados os programas JMP. Nas análises das características anatômicas e densidade da madeira utilizou-se o delineamento inteiramente aleatorizado. Para os resultados das propriedades de qualidade do lenho, foram utilizadas a análise de variância (ANOVA) verificando o efeito dos tratamentos de nutrição x disponibilidade hídrica, sendo aplicado o teste de Tukey, ajustado a 95% de probabilidade. Foram também realizadas regressões múltiplas (stepwise) visando selecionar as variáveis que explicam a densidade aparente do lenho.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Propriedade física do lenho: densidade aparente por densitometria de raios x

Os resultados da variação de densidade média do lenho do tronco no DAP das árvores de eucalipto com 12 e 24 meses, nos quatro tratamentos de nutrição x disponibilidade hídrica são apresentados na Tabela 2.

Para a densidade aparente média do lenho aos 12 e 24 meses não houve diferença significativa entre os quatro tratamentos, exceto para o Tratamento C/+C aos 12 meses, apresentando densidade aparente média estatisticamente superior aos tratamentos C/-C e K/-

C. Verifica-se que a densidade aparente média do lenho aos 12 meses apresentou os maiores valores nos Tratamentos controle (0,49 g/cm³) seguido do Tratamento com K com 100 % de chuva (0,43 g/cm³), enquanto que no regime com 66% de chuva os valores foram iguais (0,41 g/cm³). Aos 24 meses de idades as árvores apresentaram maiores valores nos Tratamentos controle, seguido do Tratamento com K, tanto nos tratamentos 100% de chuva como 66% de chuva, apesar de estatisticamente não significativo.

A aplicação do K nas árvores submetidas a estresse hídrico (Tratamento K/-C) não influenciou diretamente a densidade aparente média da madeira, apresentando valores iguais estatisticamente àquelas árvores que receberam o fertilizante, porém não foram submetidas a redução de disponibilidade hídrica. Este resultado indica, até o momento (24 meses) que a aplicação de K parece não ter aumentado a eficiência do uso da água pelas plantas sob estresse hídrico, conforme sugere alguns trabalhos (Gonçalves et al. 2000, Almeida 2009), não aumentando a resistência das árvores à seca e conseqüentemente não alterando a densidade da madeira.

Os valores médios de densidade aparente obtidos no presente estudo aos 12 e 24 meses (0,43 e 0,47 g/cm³, respectivamente), são inferiores aos apontados na literatura (Benjamin 2006, Tomazello Filho 2006) em espécies de *Eucalyptus* com idades mais avançadas, utilizando a metodologia de densitometria de raios X. Esta diferença está associada aos teores de madeira juvenil e adulta e a idade das árvores, sendo que a madeira juvenil formada no lenho de árvores jovens apresenta, geralmente, menor densidade aparente que a das árvores adultas (Hillis & Brown 1984).

Tabela 2. Densidade aparente média do lenho das árvores de eucalipto, com 12 e 24 meses, por tratamento de nutrição x disponibilidade hídrica.

Idade - 12 meses	
Tratamento	Densidade aparente média (g/cm³)
C/+C	0,49 a (0,04)
K/+C	0,43 ab (0,03)
C/-C	0,41 b (0,02)
K/-C	0,41 b (0,03)

Idade - 24 meses	
Tratamento	Densidade aparente média (g/cm³)
C/+C	0,48 a (0,01)
K/+C	0,45 a (0,02)
C/-C	0,48 a (0,01)
K/-C	0,46 a (0,01)

Médias seguidas do desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, por idade, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

Os valores de densidade aparente média em função da nutrição potássica, por idade, são apresentados na Tabela 3. Na análise de variância relacionando os fatores nutrição x idade aplicados para a explicação da densidade aparente do lenho, verificou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos tanto aos 12 como aos 24 meses de idade, apesar do forte efeito da aplicação do potássio no incremento em diâmetro e volume do tronco das árvores de eucalipto do experimento (Castro 2013).

Na avaliação de árvores jovens de eucalipto (1-4 anos), destaca-se os estudos realizados por Sette Junior (2007, 2010) e Sette Junior et al. (2009) que não verificaram efeito significativo da aplicação de K na densidade aparente do lenho, corroborando os resultados encontrados neste trabalho.

Tabela 3. Densidade aparente média do lenho das árvores de eucalipto aos 12 e 24 meses por tratamento de nutrição.

Idade - 12 meses	
Tratamento	Densidade aparente média (g/cm³)
Controle	0,49 a (0,04)
K	0,43 a (0,03)
Idade - 24 meses	
Tratamento	Densidade aparente média (g/cm³)
Controle	0,48 a (0,01)
K	0,45 a (0,02)

Médias seguidas do desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, por idade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

A variação da densidade aparente média no lenho das árvores aos 12 e 24 meses, avaliando-se apenas os tratamentos de nutrição (controle e K) mostra que, apesar de isolar o efeito da disponibilidade hídrica, o comportamento dos resultados de densidade aparente ocorre da mesma forma quando avaliados em conjunto os tratamentos de nutrição x disponibilidade hídrica. Apesar de não significativo, observa-se um ligeiro aumento da densidade no tratamento controle, nas duas idades avaliadas. Este resultado deve-se as menores taxas de crescimento observadas para as árvores que não receberam adubação potássica (Castro 2013). A falta de fertilizantes no solo, entre outros fatores, induz a uma redução na atividade cambial e conseqüentemente no crescimento em diâmetro do tronco, influenciando na densidade do lenho.

Os resultados de densidade aparente média, aos 12 e 24 meses, para o fator disponibilidade hídrica, encontram-se na Tabela 4. No Tratamento com árvores de eucalipto

submetidos a disponibilidade hídrica de 100% de chuva aos 12 meses de idade, apresentaram lenho com densidade aparente mais alta e com valores entre 0,44-0,54 g/cm³. Para os Tratamentos com exclusão de chuva a densidade média encontrada variou de 0,37-0,45 g/cm³. Os Tratamentos submetidos à exclusão de chuva aos 24 meses de idade apresentaram os maiores valores de densidade aparente variando entre 0,46-0,50 g/cm³. Para os Tratamentos com disponibilidade hídrica de 100% a densidade aparente média encontrada variou de 0,46-0,50 g/cm³.

Os resultados de densidade aparente média, aos 24 meses, para o fator disponibilidade hídrica, demonstram não haver diferença estatística, ou seja, a exclusão de parte da chuva pluviométrica não alterou a densidade aparente média do lenho, porém para os 12 meses houve diferença estatística. Pesquisas recentes (Drew et al. 2009 e Sette Jr et al. 2013) demonstram a alta sensibilidade da densidade da madeira aos níveis de precipitação, sendo normalmente observada uma redução nos valores com baixos níveis de chuva em função da redução da taxa de atividade cambial e conseqüentemente do crescimento em diâmetro do tronco das árvores. Diferentemente do esperado, os resultados da avaliação da taxa de crescimento em diâmetro do tronco nas árvores de eucalipto do mesmo experimento, apresentados por Castro (2013) demonstram que os tratamentos de exclusão de chuva apresentaram crescimentos superiores, em determinadas épocas do ano até a idade de 24 meses, comparados aos tratamentos sem exclusão de chuva. Algumas hipóteses são levantadas para tentar explicar este comportamento: (i) nos dois primeiros anos, a presença de lonas pode ter propiciado um aumento de temperatura (na altura do solo até a lona) criando um microclima ideal favorecendo o crescimento das árvores com redução de chuva; (ii) nos primeiros anos, o solo ainda possui água em diferentes camadas, não representando realmente a condição de estresse hídrico nas plantas com tratamentos de redução de chuva, favorecendo o crescimento das árvores e (iii) verifica-se que nos meses mais secos, os tratamentos com redução de chuva obtiveram maior crescimento e, nos menos secos - após o início das chuvas, essa diferença diminuiu, sendo interpretado como a criação de mecanismos de respostas das plantas ao estresse hídrico como a estimulação de raízes finas em diferentes camadas do solo em situação de redução de chuva ou ainda estratégias da planta de rápida recuperação da taxa fotossintética, sendo assim mais sensíveis à menor quantidade de chuvas principalmente no período mais seco do ano, absorvendo a água de forma mais rápida e eficiente.

Para poder explicar melhor o comportamento das árvores de eucalipto submetidas a tratamentos de redução artificial de chuva é preciso avaliar o experimento em idades mais avançadas, construindo uma base de dados e uma série temporal que permita tirar conclusões

e avaliar de fato quais são os efeitos da disponibilidade hídrica no funcionamento das plantações florestais de eucalipto, incluindo na qualidade da madeira. Cabe ressaltar ainda que, avaliações de outros parâmetros como área foliar, queda foliar (tempo de vida das folhas), atividade foliar fotossintética, densidade e área ocupada por estômatos, alocação de carbono em diferentes partes da planta, potencial osmótico, déficit de pressão de vapor e teor de umidade em diferentes profundidades do solo influenciam nessa análise e devem ser considerados nas avaliações.

Tabela 4. Densidade aparente média do lenho das árvores de eucalipto, aos 12 e 24 meses, por tratamento de disponibilidade hídrica.

Idade - 12 meses	
Tratamento	Densidade aparente média (g/cm³)
100%	0,49 a (0,04)
66%	0,41 b (0,02)
Idade - 24 meses	
Tratamento	Densidade aparente média (g/cm³)
100%	0,48 a (0,01)
66%	0,48 a (0,01)

Médias seguidas do desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

A variação da densidade aparente média no lenho das árvores aos 12 e 24 meses, avaliando-se apenas os Tratamentos de disponibilidade hídrica (100% de chuva e 66% de chuva) mostra que, apesar de isolar o efeito da nutrição, o comportamento dos resultados de densidade aparente ocorre da mesma forma nos tratamentos em que foram avaliados em conjunto os tratamentos de nutrição x disponibilidade hídrica.

Avaliando o efeito da idade sobre a propriedade física analisada, verifica-se de acordo com a Tabela 5, que não houve diferença significativa, porém é possível perceber um ligeiro aumento da densidade aparente média do lenho do 12^o para o 24^o mês de crescimento. O efeito do aumento da idade das árvores sobre a qualidade do lenho, incluindo suas propriedades físicas, é relatado na literatura por inúmeros autores, como Sette Jr et al. (2012) e Silva et al. (2004): o aumento da densidade do lenho ocorre em função das alterações do meristema cambial e das exigências mecânico-fisiológicas resultantes do processo de desenvolvimento das árvores, representadas pelo aumento da espessura da parede das fibras e redução da frequência e do número de vasos, à medida que é formado o lenho adulto no tronco das árvores de eucalipto.

Tabela 5. Densidade aparente média do lenho das árvores de eucalipto aos 12 e 24 meses.

Idade (meses)	Densidade aparente média (g/cm³)
12	0,43 a (0,03)
24	0,47 a (0,02)

Médias seguidas do desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

6.2 Características anatômicas do lenho das árvores de eucalipto

6.2.1 Dimensões de fibras

Os resultados dos valores médios das dimensões das fibras do lenho no DAP do tronco das árvores de eucalipto, com 12 e 24 meses, nos 4 tratamentos são apresentados na Tabela 6.

Para as dimensões das fibras do lenho aos 12 e 24 meses não houve diferença significativa entre os quatro tratamentos de nutrição x disponibilidade hídrica. Conforme apresentado e discutido anteriormente para os resultados da densidade aparente média, a aplicação do K nas árvores submetidas a redução de chuva não promoveu uma maior adaptação das árvores a esta situação, não se refletindo, da mesma forma, nas características anatômicas da madeira.

Apesar de não significativo os valores médios: do comprimento da fibra (796,95 μm) foi maior no lenho das árvores adubadas com K (748,73-747,69 μm aos 12 meses; 933,80-897,86 μm aos 24 meses) em relação ao Tratamentos de nutrição controle tanto nos Tratamentos com e sem exclusão de chuva, aos 12 e 24 meses; da largura da fibra (13,72 μm) foi maior no Tratamento controle com 100 % de chuva (C/+C), seguido da adubação potássica com 66% de chuva (K/-C), tanto aos 12 quanto para os 24 meses. Para os Tratamentos controle - 66% e K - 100% de chuva não houve variação de valores dos 12 para os 24 meses; do diâmetro do lume (11,07 μm) apresentaram uma tendência de menores valores para os tratamentos com nutrição controle (10,04-10,42 μm aos 12 meses; 11,44-11,05 μm aos 24 meses) seguidos dos Tratamentos submetidos a adubação com K (10,01-11,79 μm aos 12 meses; 11,94-11,87 μm aos 24 meses), tanto nos Tratamentos com e sem exclusão de chuva, aos 12 e 24 meses e da espessura de parede (2,07 μm) indicaram maiores valores para os tratamentos submetidos à nutrição controle (2,20-2,09 μm) em relação aos Tratamentos submetidos a K (2,04-2,06 μm) tanto nos Tratamentos com e sem exclusão de chuva, aos 24 meses.

As características anatômicas da madeira foram bastante variáveis, porém, não significativas, quando submetidas a diferentes condições de fertilização e/ou disponibilidade

hídrica, o que demonstra a importância da avaliação da madeira de árvores de eucalipto submetidas a estas condições, em idades mais avançadas, buscando obter a influência destes fatores na qualidade da madeira.

Tabela 6. Valores médios do comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura de parede das fibras de árvores de eucalipto aos 12 e 24 meses por tratamento de nutrição x disponibilidade hídrica.

Idade - 12 meses				
Tratamento	Comprimento (µm)	Largura (µm)	Diâmetro do lume (µm)	Espessura da parede (µm)
C/+C	745,86 a (93,37)	14,04 a (2,77)	10,04 a (2,03)	1,92 a (0,30)
K/+C	748,73 a (107,81)	12,68 a (1,95)	10,01 a (2,30)	2,02 a (0,38)
C/-C	626,35 a (112,51)	13,54 a (1,82)	10,42 a (2,51)	2,23 a (0,37)
K/-C	747,69 a (98,22)	13,73 a (1,96)	11,79 a (2,02)	2,07 a (0,34)

Idade - 24 meses				
Tratamento	Comprimento (µm)	Largura (µm)	Diâmetro do lume (µm)	Espessura da parede (µm)
C/+C	815,98 a (124,16)	14,38 a (2,13)	11,44 a (2,48)	2,20 a (0,40)
K/+C	933,80 a (126,45)	13,82 a (1,81)	11,94 a (1,95)	2,04 a (0,31)
C/-C	859,37 a (120,84)	13,68 a (1,90)	11,05 a (1,78)	2,09 a (0,40)
K/-C	897,86 a (120,02)	13,91 a (2,04)	11,87 a (2,22)	2,06 a (0,38)

Médias seguidas do desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, por idade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Com relação aos valores médios de largura de fibra no lenho das árvores dos quatro tratamentos de nutrição x disponibilidade hídrica, alguns autores (Zobel & Buijtenem 1989, Shimoyama 1990) mencionam tais diferenças a fatores genéticos e ambientais, além do crescimento sazonal. Estes autores dizem ainda que, a largura das fibras é influenciada pela idade cambial e tende a aumentar no sentido medula-casca. O diâmetro do lume, por sua vez, está relacionado com a largura e espessura da parede das fibras. Assim, quanto maiores forem os seus valores, mais espaços vazios serão encontrados na madeira, indicando uma menor densidade (Shimoyama 1990).

Com relação à espessura de parede das fibras no DAP do lenho das árvores nos 4 tratamentos, alguns autores (Shimoyama 1990, Moreira 1999), afirmam que o espessamento da parede está relacionado a fatores genéticos e ambientais, bem como à idade da árvore. Relacionado o estado nutricional e a disponibilidade hídrica, as árvores sintetizam maior quantidade de açúcares simples pela fotossíntese e, na camada cambial, propiciam um aumento da biossíntese de moléculas de celulose que, em seguida, são incorporadas como

microfibrilas, resultando no espessamento da parede secundária. A literatura especializada relata que o espessamento da parede celular relaciona-se com os níveis de carboidratos elaborados no processo de fotossíntese (Larson 1973) e segundo Panshin & De Zeeuw (1970) o espessamento ocorre com a deposição de carboidratos, principalmente quando diminui o crescimento da árvore.

Os valores médios das dimensões das fibras são diferentes dos apresentados por inúmeros autores, que analisaram árvores de *Eucalyptus spp* com idades mais avançadas apresentando lenho com madeira de transição e adulta já formadas. Como exemplo, Tomazello Filho (1985) avaliou árvores de *E. grandis* com 10 anos e encontrou valores de comprimento, largura, espessura e diâmetro do lume das fibras de 1200; 23; 5,4; e 12,2 μm , respectivamente, cerca de 23-52% maiores do que os encontrados neste estudo. Apesar disso, os valores encontrados para as dimensões das fibras estão dentro da faixa estabelecida pela literatura, variando de 750 a 1400 μm ; 12 a 20 μm ; 2,5 a 6,0 μm ; e 6 a 12 μm , respectivamente (Silva et al. 2007).

A avaliação isolada da fertilização aos 12 e 24 meses (Tabela 7) indicou para as dimensões de fibra, resultados semelhantes encontrados por Sette Júnior et al. (2009a) em *E. grandis* aos 24 meses nos tratamentos controle e K (690-800 μm para comprimento; 13,78-12,70 μm para largura de fibra; 9,79-8,55 μm para diâmetro de lume; 1,99-2,07 μm para espessura de parede) e por Sette Júnior (2010) em *E. grandis* aos 48 meses nos Tratamentos controle e K (870-886 μm para comprimento; 14,44-13,57 μm para largura de fibra; 9,79-8,75 μm para diâmetro de lume; 2,21-2,40 μm para espessura de parede).

Tabela 7. Valores médios do comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura de parede das fibras das árvores de eucalipto aos 12 e 24 meses por tratamento de nutrição.

Idade - 12 meses				
Tratamento	Comprimento (μm)	Largura (μm)	Diâmetro do lume (μm)	Espessura de parede (μm)
Controle	745,86 a (93,37)	14,04 a (2,77)	10,04 a (2,03)	1,92 a (0,30)
K	748,73 a (107,81)	12,68 a (1,95)	10,01 a (2,30)	2,02 a (0,38)
Idade - 24 meses				
Tratamento	Comprimento (μm)	Largura (μm)	Diâmetro do lume (μm)	Espessura de parede (μm)
Controle	815,98 a (124,16)	14,38 a (2,13)	11,44 a (2,48)	2,20 a (0,40)
K	933,80 a (126,45)	13,82 a (1,81)	11,94 a (1,95)	2,04 a (0,31)

Médias seguidas do desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, por idade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

As dimensões das fibras não sofreram influência significativa da disponibilidade hídrica, quando analisados os tratamentos isolados de redução da chuva (Tabela 8). Apesar deste resultado, uma tendência pode ser observada:

O comprimento, largura e diâmetro das fibras e a espessura de parede não apresentam diferenças significativas entre os Tratamentos com (626,35-13,54-10,42-2,23 μm para 12 meses; 859,37-13,68-11,05-2,09 μm para 24 meses) e sem exclusão (745,86-14,04-10,04-1,92 μm para 12 meses; 815,98-14,38-11,44-2,20 μm para 24 meses) de chuva aos 12 e 24 meses.

O comprimento de fibras mostrou uma tendência de menores valores nos Tratamentos submetidos à exclusão hídrica. Os resultados de pesquisas realizadas por Clark (2004) e Tomazello Filho (2006), demonstram que uma maior disponibilidade hídrica induz a formação de fibras mais longas no lenho de árvores de *E. globulus*, *E. nitens*, *E. occidentalis*, *E. camaldulensis* e *E. grandis*. Por outro lado Tischler & Heth (1985) para *E. maculata* e *E. camaldulensis* e Pereira et al. (1992) para *E. globulus* não detectaram a influência da disponibilidade hídrica no comprimento das fibras.

Tabela 8. Valores médios do comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura de parede das fibras do lenho de árvores de eucalipto aos 12 e 24 meses por tratamento de disponibilidade hídrica.

Idade - 12 meses				
Tratamento	Comprimento (μm)	Largura (μm)	Diâmetro do lume (μm)	Espessura de parede (μm)
100%	745,86 a (93,37)	14,04 a (2,77)	10,04 a (2,03)	1,92 a (0,30)
66%	626,35 a (112,51)	13,54 a (1,82)	10,42 a (2,51)	2,23 a (0,37)

Idade - 24 meses				
Tratamento	Comprimento (μm)	Largura (μm)	Diâmetro do lume (μm)	Espessura de parede (μm)
100%	815,98 a (124,16)	14,38 a (2,13)	11,44 a (2,48)	2,20 a (0,40)
66%	859,37 a (120,84)	13,68 a (1,90)	11,05 a (1,78)	2,09 a (0,40)

Médias seguidas do desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, por idade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Avaliando o efeito da idade sobre as variáveis analisadas, verifica-se de acordo com a Tabela 9 que, apesar de não significativo ocorre um nítido aumento das variáveis de dimensões de fibra com o aumento da idade das árvores, indicando maturação das fibras com a idade. O aumento das dimensões das fibras em função da idade é resultado do aumento da dimensão das células que as originam, denominadas iniciais fusiformes. A estabilização das dimensões, especialmente do comprimento das fibras, para inúmeras espécies de eucalipto,

somente irá ocorrer quando as células do câmbio atingirem comprimento máximo, iniciando a formação do lenho adulto (Tomazello Filho 1987).

Tabela 9. Valores médios do comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura de parede das fibras do lenho de árvores aos 12 e 24 meses.

Idade (meses)	Comprimento (μm)	Largura (μm)	Diâmetro do lume (μm)	Espessura da parede (μm)
12	717,16 a (102,98)	13,49 a (2,12)	10,56 a (2,21)	2,06 a (0,35)
24	876,75 a (122,87)	13,95 a (1,97)	11,57 a (2,10)	2,09 a (0,37)

Médias seguidas do desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, por idade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

6.2.2 Dimensões e frequência dos vasos

Os resultados dos valores médios do diâmetro tangencial, % de área ocupada e frequência dos vasos no lenho do DAP do tronco das árvores de eucalipto aos 12 e 24 meses, nos 4 tratamentos de nutrição x disponibilidade hídrica são apresentados na Tabela 10, não sendo detectadas diferenças significativas.

Tabela 10. Valores médios do diâmetro tangencial, % de área e frequência de vasos do lenho de árvores de eucalipto aos 12 e 24 meses por tratamento de nutrição x disponibilidade hídrica.

Idade - 12 meses			
Tratamento	Diâmetro tangencial (μm)	% de área	Frequência (n^0/mm^2)
C/+C	86,94 a (14,00)	14,45 a (2,28)	22,34 a (9,10)
K/+C	103,05 a (13,09)	14,42 a (2,17)	15,10 a (2,04)
C/-C	92,05 a (11,89)	14,48 a (1,51)	17,18 a (1,96)
K/-C	94,43 a (13,52)	13,12 a (1,76)	14,78 a (1,72)

Idade - 24 meses			
Tratamento	Diâmetro tangencial (μm)	% de área	Frequência (n^0/mm^2)
C/+C	106,44 a (13,01)	16,75 a (1,99)	15,70 a (9,10)
K/+C	127,79 a (14,06)	19,37 a (2,32)	13,34 a (2,04)
C/-C	103,65 a (13,98)	17,62 a (1,92)	18,54 a (1,96)
K/-C	126,86 a (13,37)	19,80 a (2,57)	13,26 a (1,72)

Médias seguidas do desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, por idade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

O valor médio do diâmetro tangencial dos vasos foi numericamente maior no lenho das árvores adubadas com K (103,05-94,43 μm aos 12 meses; 127,79-126,86 μm aos 24 meses) em relação ao controle (86,94-92,05 μm aos 12 meses; 106,44-103,65 μm aos 24

meses) tanto nos Tratamentos com e sem exclusão de chuva, aos 12 e 24 meses. Porém, não foi verificada diferenças estatísticas entre os tratamentos, possivelmente devido a presença de madeira juvenil das árvores e estas passarem por constantes mudanças ecofisiológicas durante esta fase inicial no seu crescimento.

Apesar da presença de somente madeira juvenil até presente idade das árvores, é possível observar um padrão de valores de frequência de vasos onde os Tratamentos submetidos à nutrição controle apresentam-se ligeiramente maiores aos 12 e 24 meses, tanto nos tratamento com e sem exclusão de chuva, quando comparados a nutrição com K. Em relação a % de área ocupada pelos vasos verificou-se que aos 12 meses houve uma tendências dos maiores valores para a nutrição controle em relação a adubação com K, inversamente proporcional a % de área ocupada pelos vasos aos 24 meses de idade que tiveram como maiores valores a nutrição com K em relação a adubação controle tanto com disponibilidade hídrica quanto com exclusão de chuva.

A formação de vasos de menor diâmetro e menor frequência no lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* de 2,5 anos, induzidas a altas taxas de crescimento pela aplicação de fertilizantes foi reportada por Bamber et al. (1982) na Austrália. Embora, Andrade et al. (1994) verificaram a formação de vasos de maior diâmetro no lenho de árvores de *E. grandis*, de 6 anos com a calagem de solo. Tomazello Filho (2006) não observou diferenças significativas das dimensões dos vasos no lenho de árvores de *E. grandis x urophylla*, aos 7 anos, submetidas a tratamentos de fertilização e irrigação.

Trabalhos como os de Tomazello Filho (1985a), Sette Júnior (2007, 2010), e Sette Júnior et al. (2009) relacionam os maiores valores de diâmetro e frequência de vasos na posição periférica do lenho ao tecido lenhoso funcional (alburno) e ao processo ascendente de fluxo da seiva bruta, e, da mesma forma, com as propriedades de utilização da madeira, afetando a penetração do licor e dos preservativos, a secagem, a densidade e a qualidade superficial dos papéis de impressão (Chen & Evans 2004).

Sette Júnior (2010) avaliando a posição radial de árvores de *Eucalyptus grandis*, aos 48 meses submetidas a tratamentos de fertilização controle, sódica e potássica, o autor observou uma tendência de aumento dos maiores valores de diâmetro tangencial e % de área ocupada por vasos em direção a casca, e uma diminuição dos valores de frequência de vasos em direção a casca, para os 3 tratamentos avaliados.

Espera-se de acordo com Panshin & De Zeuw (1970) que para os próximos anos no sentido medula-casca, ocorra um aumento do diâmetro dos elementos de vasos e uma redução da sua frequência ao longo dos anéis sucessivos de crescimento, tendendo à estabilização dos

seus valores na madeira adulta, confirmando as tendências obtidas por Silva (2002) e Tomazello Filho (2006), utilizando várias espécies de eucalipto.

Tais resultados demonstram que a interação da nutrição com a disponibilidade hídrica possui fundamental importância na variação da formação dos vasos no início do crescimento de árvores de eucalipto e que esta importância tende a aumentar com o aumento da idade das árvores.

A variação do diâmetro tangencial, % de área ocupada por vasos e a frequência de vasos no lenho das árvores aos 12 e 24 meses, avaliando-se apenas os Tratamentos de nutrição (controle e K) mostra que, apesar de isolar o efeito da disponibilidade hídrica, a alternância dos resultados das variáveis em análise ocorre da mesma forma nos tratamentos em que foram avaliados em conjunto os tratamentos de nutrição x disponibilidade hídrica (Tabela 11). A análise estatística das variáveis analisadas aos 12 e 24 meses, não demonstrou diferenças significativas entre os tratamentos de nutrição.

Tabela 11. Valores médios do diâmetro tangencial, % de área e frequência de vasos do lenho de árvores de eucalipto nas idades de 12 e 24 meses por tratamento de nutrição.

Idade - 12 meses			
Tratamento	Diâmetro tangencial (μm)	% de área	Frequência ($\text{n}^\circ/\text{mm}^2$)
Controle	86,94 a (14,00)	14,45 a (2,28)	22,34 a (9,10)
K	103,05 a (13,09)	14,42 a (2,17)	15,10 a (2,04)
Idade - 24 meses			
Tratamento	Diâmetro tangencial (μm)	% de área	Frequência ($\text{n}^\circ/\text{mm}^2$)
Controle	106,44 a (13,01)	16,75 a (1,99)	15,70 a (9,10)
K	127,79 a (14,06)	19,37 a (2,32)	13,34 a (2,04)

Médias seguidas do desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, por idade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

No lenho das árvores de eucalipto submetidas à nutrição controle foram detectados menores diâmetros de vaso aos 12 meses (86,94 μm) e aos 24 meses (106,44 μm) em relação aos tratamentos sob aplicação de K aos 12 meses (103,05 μm) e aos 24 meses (127,79 μm). A porcentagem de área ocupada e a frequência de vasos nos tratamentos de nutrição controle e K, respectivamente, foram de 14,45-14,42 aos 12 meses; 16,75-19,37 aos 24 meses e 22,34-15,10 aos 12 meses; 15,70-13,34 $\text{n}^\circ/\text{mm}^2$ aos 24 meses.

A avaliação isolada da nutrição aos 12 e 24 meses indicou para o diâmetro de vasos e % de área ocupada por vasos resultados muito semelhantes aos encontrados por Sette Júnior et al. (2009) em *E. grandis* aos 24 meses nos tratamentos controle, Na e K (89,00-107,47-

104,21 μm diâmetro de vaso e 18,88-18,86-18,59 % de área) e por Sette Júnior (2010) em *E. grandis* aos 48 meses nos tratamentos controle, Na e K (96,06-109,57-110,40 μm diâmetro de vaso e 10,96-11,92-11,02 % de área). Para a frequência de vasos os resultados obtidos foram superiores aos encontrados por Sette Júnior (2010), devido à frequência dos vasos diminuir com a idade.

Lima et al. (2010) avaliando o efeito da presença ou ausência de fertilização nas dimensões celulares da madeira em árvores de *Eucalyptus grandis*, de 21 anos de idade, concluíram que apenas a frequência de vasos apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

A variação do diâmetro tangencial, % de área ocupada por vasos e a frequência de vasos no lenho das árvores aos 12 e 24 meses, avaliando-se apenas os Tratamentos de disponibilidade hídrica (chuva a 66% e 100%), mostra que, apesar de isolar o efeito da nutrição mineral, a alternância dos resultados das variáveis em análise ocorre da mesma forma nos tratamentos em que foram avaliados em conjunto os tratamentos de nutrição x disponibilidade hídrica (Tabela 12). A análise estatística para os tratamentos isolando o efeito da adubação não demonstraram diferenças significativas tanto aos 12 quanto aos 24 meses. De madeira geral as características dos vasos tiveram pouca influência do regime hídrico.

Os trabalhos de Alves et al. (2000) indicaram elementos de vaso menores, mais agrupados e bastante numerosos, para plantas submetidas ao déficit hídrico. Segundo o trabalho realizado por Schuldt et al. (2011) a redução de chuva tende a comprometer a condutividade hídrica no alburno, indicando assim, uma menor produtividade.

Tabela 12. Valores médios do diâmetro tangencial, % de área e frequência de vasos do lenho de árvores de eucalipto nas idades de 12 e 24 meses, por tratamento de disponibilidade hídrica.

Idade - 12 meses			
Tratamento	Diâmetro (μm)	% de área	Frequência ($\text{n}^\circ/\text{mm}^2$)
100%	86,94 a (14,00)	14,45 a (2,28)	22,34 a (9,10)
66%	92,05 a (11,89)	14,48 a (1,51)	17,18 a (1,96)
Idade - 24 meses			
Tratamento	Diâmetro (μm)	% de área	Frequência ($\text{n}^\circ/\text{mm}^2$)
100%	106,44 a (13,01)	16,75 a (1,99)	15,70 a (9,10)
66%	103,65 a (13,98)	17,62 a (1,92)	18,54 a (1,96)

Médias seguidas do desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, por idade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Avaliando o efeito da idade sobre as variáveis analisadas, verifica-se que apesar de não significativo, de acordo com a Tabela 13 que ocorre um nítido aumento no diâmetro tangencial e % de área ocupada pelos vasos do 12^o para o 24^o mês de crescimento, indicando maturação dos elementos de vasos com o incremento de idade. Já para a frequência dos vasos houve um decréscimo de valores com o aumento da idade. Para ambas as variáveis não foi verificada diferença estatística entre as idades.

Tabela 13. Valores médios do diâmetro tangencial, % de área e frequência de vasos do lenho de árvores de eucalipto aos 12 e 24 meses.

Idade (meses)	Diâmetro tangencial (μm)	% de área	Frequência ($\text{n}^\circ/\text{mm}^2$)
12	94,11 a (13,12)	14,11 a (1,93)	17,35 a (3,70)
24	116,18 a (13,60)	18,38 a (2,20)	15,21 a (3,70)

Médias seguidas do desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, por idade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

6.3 Correlação entre as características anatômicas e a densidade aparente do lenho

Os perfis de densitometria de raios X evidenciam um modelo de variação radial da densidade caracterizado por maiores valores na região da medula ($0,65 \text{ g/cm}^3$), redução e estabilização ($0,40\text{-}0,50 \text{ g/cm}^3$) e aumento em direção à casca ($0,65\text{-}0,70 \text{ g/cm}^3$).

As características anatômicas significativas e que melhor se correlacionaram com a densidade aparente do lenho foram a espessura da parede das fibras ($0,74$), o diâmetro dos vasos ($-0,60$) e a área ocupada pelos vasos ($-0,84$) (Figura 7).

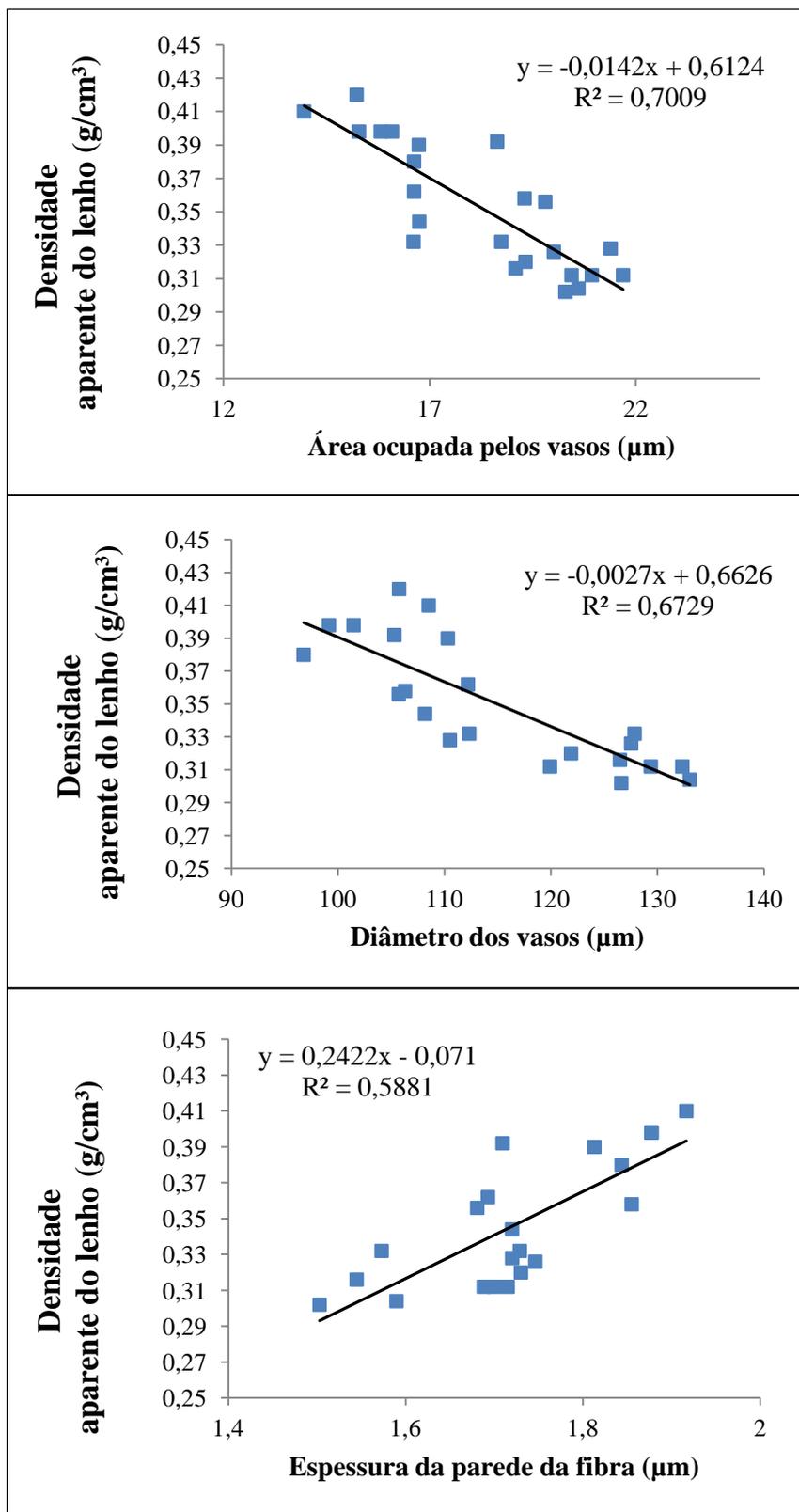


Figura 7. Relação entre densidade aparente e características anatômicas do lenho.

As variáveis não significativas retiradas, de menor interesse na determinação da densidade aparente média do lenho por alterar os coeficientes de determinação múltipla das

regressões apenas em 0,02, foram o comprimento, largura do lume e largura total das fibras. Desta forma, das variáveis relacionadas para explicar a variação da densidade aparente média (Dméd.) do lenho em regressão Stepwise (Tabela 14), a 5% de probabilidade, selecionou-se o diâmetro dos vasos (DV), área ocupada pelos vasos (AV) e espessura da parede da fibra (EP) para compor o modelo de regressão (Eq. 1), que explica 81% da variação total da densidade, sendo a área ocupada pelos vasos responsáveis por 53% desta variação.

$$\text{Dméd.} = 0,5182 - 0,0007 (\text{DV}) - 0,0095 (\text{AV}) + 0,050 (\text{EP}) \quad (\text{Eq. 1})$$

Tabela 14. Análise de regressão múltipla entre a densidade aparente média e as características anatômicas do lenho.

Passos	Ø vasos	Área ocupada pelos vasos	Comprimento das fibras	Largura das fibras	Ø lume	Espessura de parede	R ²
1	12,8	28,3	2,2	16,1	16,6	23,9	0,83
2	12,2	27,2	-	17,8	18,9	23,9	0,82
3	21,1	50,4	-	-	1,8	26,6	0,81
4	21,9	53,3	-	-	-	26,6	0,81

valores abaixo das variáveis indicam a proporção que cada uma contribuiu para a determinação da densidade ($p < 0,05$)

A relação da densidade e dos elementos anatômicos do lenho de eucalipto foi feita por Oliveira (1997), Vital et al. (1984), entre outros autores. A análise microscópica evidencia a estrutura anatômica das camadas de crescimento do lenho das árvores, caracterizada pela redução da % de área dos vasos e respectivo aumento da % de fibras, de maior espessura da parede e menor lume, aumentando a densidade aparente do lenho. Para Downes et al. (2000), a densidade do lenho é resultado das dimensões dos vasos e da espessura da parede celular.

7. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados para a madeira de *E. grandis* até 2 anos após plantio conclui-se que:

a. A interação entre a nutrição e a disponibilidade hídrica promoveu a formação de madeira de maior densidade no tratamento controle com 100% de chuva na idade de 12 meses; esta interação não alterou, de forma significativa, as características anatômicas da madeira.

b. de forma isolada, a exclusão artificial da chuva na plantação florestal de eucalipto e portanto a redução dos níveis de precipitação, através da aplicação de lonas de polietileno, não alterou de forma significativa a densidade aparente e as características anatômicas da madeira.

c. de forma isolada, a aplicação de K não alterou de forma significativa a qualidade da madeira.

d. o efeito da idade das árvores, até o momento, se mostrou não significativo para todos os parâmetros analisados. Apesar de não significativo, observa-se uma tendência de aumento das dimensões celulares e da densidade aparente média com o aumento da idade das árvores.

e. as características anatômicas que melhor se correlacionaram com a densidade aparente média do lenho das árvores de eucalipto foram o diâmetro dos vasos, a área ocupada pelos vasos e a espessura de parede das fibras.

REFERÊNCIAS

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. *Anuário estatístico da ABRAF* 2010, ano base 2009. Brasília, 2010. 140p.

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. *Anuário estatístico da ABRAF* 2012, ano base 2011. Brasília, 2012. 150p.

ALLEN, C. D. Climate-induced forest dieback: an escalating global phenomenon? *Unasylva*. Rome, v. 60, p. 231-232, 2009.

ALMEIDA, J. C. R. *Nutrição, crescimento, eficiência de uso da água e de nutrientes em povoamentos de Eucalyptus grandis fertilizados com potássio e sódio*. 2009. 112p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels. *IAWA Journal*, Leiden, v. 20, n. 1, p. 3-30, 2000.

ALZATE, S. B. A. *Caracterização da madeira de árvores de clones de Eucalyptus grandis, E.saligna e E. grandis x urophylla*. 2004. 133p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais – Tecnologia de Produtos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

AMARAL, A. C. B. *Implantação da metodologia de densitometria de raios X em madeira*. 1994. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

ANDRADE, A. M.; VITAL, B. R.; BARROS, N. F.; DELLA LUCIA, R. M.; CAMPOS, J. C. C.; VALENTE, O. F. Efeitos da fertilização mineral e da calagem do solo na produção e qualidade da madeira de eucalipto. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 18, n.1, p.69-79, 1994.

BAAS, P.; CARLQUIST, S. A comparison of the ecological wood anatomy of the floras of Southern California and Israel. *IAWA Bulletin New Series*, Utrecht, v. 6, n. 4, p. 141-159, 1985.

BAMBER, R. K.; HORNE, R.; GRAHAM-HIGGS, A. Effect of fast growth on the wood properties of *Eucalyptus grandis*. *Australian Forestry Research*, Australia, v.12, n.2, p.163-167. Dec. 1982.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria prima para a indústria de celulose e papel. *PRODEPEF – Projeto de desenvolvimento e pesquisa Florestal*, Brasília, n.13, p.1-145, 1976.

BEADLE, C. L.; BANHAM, P. W.; WORLEDGE, D.; RUSSEL, S. L.; HETHERINGTON, S. J.; HONEYSETT, J. L.; WHITE, D. A. Irrigation increases growth and improves fibre quality of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens*. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTUS, 1997, Salvador. *Proceedings ...* Colombo: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, 1997. v. 4, p. 154.

BEADLE, C.; BANHAM, P. W.; WORLEDGE, D.; RUSSEL, S. L.; HETHERINGTON, S. J.; HONEYSETT, J. L.; WHITE, D. Effect of irrigation on growth and fibre quality of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*. *Appita Journal*, Australia, v.54, n.2, p.144-147, 2001.

BENJAMIN, C. A. *Estudo da estrutura anatômica e das propriedades físicas e mecânicas da madeira de Corymbia (Eucalyptus) citriodora e Eucalyptus grandis*. 2006. 158p. Tese (Doutorado de Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Botucatu, 2006.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade 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*, Piracicaba, SP, n. 2/3, p. 129-149, 1971.

CASTRO, V. R. 2013. *Sazonalidade da atividade cambial, formação e qualidade do lenho de árvores de Eucalyptus grandis (W. Hill ex Maiden) sob o efeito da nutrição (K e Na) e da disponibilidade hídrica*. 2013, 106f. Tese (Qualificação para obtenção do título de Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

CHEN, F.; EVANS, R. A robust approach for vessel identification and quantification in eucalypt pulpwoods. In: APPITA ANNUAL CONFERENCE, 2004, Canberra. *Proceedings ...* Canberra: APPITA, 2004. p.4.

CLARK, D. A. Sources or sinks? The responses of tropical forests to current and future climate and atmospheric composition. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. London, v. 359, p. 477–491, 2004.

COKER, D. L.; OOSTERHUIS, D. M.; BROWN, R. S. Yield and Physiological Response of Dryland and Irrigated. Cotton to Potassium Fertilization: A Four-Year Summary. AAES Research Series. *Summaries of Arkansas Cotton Research*. 2002.

COOPMAN, R. E.; JARA, J. C.; BRAVO, L. A.; SÁEZ, K. L.; MELLA, G. R.; Escobar, R. Changes in morpho-physiological attributes of *Eucalyptus globulus* plants in response to different drought hardening treatments. *Electronic Journal of Biotechnology*. Valparaiso, v. 11, n. 2, p. 30-39, 2008.

DIETRICH, P.; SANDERS, D.; HEDRICH, R. The role of ion channels in light dependent stomatal opening. *Journal of Experimental Botany*. Oxford, v. 52, p. 1959-1967, 2001.

DOWNES, G. M.; EVANS, R.; SCHIMLECK, L. R.; FRITTS, H. C. The commercial cambium: Understanding the origin of wood property variation. In: SAVIDGE, R. A.; BARNETT, J. R.; NAPIER, R. (Ed.). *Cell and molecular biology of wood formation*. Oxford. BIOS Sci., 2000. p. 325-336.

DREW, D. M.; DOWNES, G. M.; BATTAGLIA, M. Cambium, a process-based model of daily xylem development in *Eucalyptus*. *Journal of Theoretical Biology*, v. 264. 2010. p395–406.

DREW, D. M.; GEOFFRE, Y. M.; DOWNES, G. M. GRADY, A. P.; READ, J.; WORLEDGE, D. High resolution temporal variation in wood properties in irrigated and non-irrigated *Eucalyptus globules*. *Annals of Forest Science*. Les Ulis, v.66, p.1-10, 2009.

DREW, D. M.; GRADY, A. P.; DOWNES, G. M.; READ, J.; WORLEDGE, D. Daily patterns of stem size variation in irrigated and non irrigated *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiology*, Oxford, v. 28, p. 1573–1581, 2008.

FROMM, J. Wood formation of trees in relation to potassium and calcium nutrition. *Physiology*. v.30. p1140–1147. 2010.

GAVA, J. L. Efeito de adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. *Série Técnica IPEF*, Piracicaba, v.11, n.30, p.89-94, abr.1997.

GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF, 2000. 427 p.

GONÇAVES, J. L. M; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSES, V. A. G.; GAVA, J. L. An evaluation of minimum and intensive soil preparation regarding fertility and tree nutrition. In: GONÇALVES, J. L. M e BENEDETTI, V. (Ed.) *Forest Nutrition and Fertilization*. Piracicaba: IPEF, 2004, p. 13-64.

GULICK, S. H.; CASSMAN, K. G. Exploitation of soil potassium in layered profiles by root systems of cotton and barley. *Soil Science Society of America Journal*. Madison, v. 53, p. 146-153, 1989.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. *Forest products and wood science: an introduction*. Iowa: Iowa State University Press, 1982. 495 p.

HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. *Eucalyptus for wood production*. Sydney: Academic Press, 1984. 434p.

IAWA - INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMY. List of microscopic features for wood identification. *IAWA Bulletin*, Oakland, v.10, n.3, p.226-332, 1989.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate change 2007 –the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge, UK, Cambridge University Press. 2007.

JIANJU, L.; WENBIN, F.; XIUZHEN, D. Fertilization effect on fiber dimensions of *Eucalyptus urophylla*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TREE ANATOMY AND WOOD FORMATION, 1995, Kyoto. *Proceedings ... Kyoto: IUFRO*, 1995. p. 189-196.

JOHANSEN, D. A. *Plant microtechnique*. McGraw-Hill, New York, 1940. 523p.

LARSON, P. R. *The physiological basis for wood specific gravity in conifers*. IUFRO V Proc, South Africa, 1973. p672-680.

LIMA, I. L.; LONGUI, E. L.; SANTINI JUNIOR, L.; GARCIA, J. N.; FLORSHEIM, S. M. B. Effect of fertilization on cell size in wood of *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden. *Cerne*, Lavras, v.16, n.4, p. 465-472, out./dez., 2010.

LUCHI, A. E.; SILVA, L. C. P.; MORAES, M. A. Anatomia comparada do lenho de *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. em áreas de cerrado e de plantação de *Pinus elliottii* Engelm. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v.28, n.4, p. 809-820, out.- dez., 2005.

MARCATI, C. R. *Estudo da anatomia e das propriedades tecnológicas da madeira do angico-vermelho (Piptadenia peregrina Benth)*.1992. 94f. Dissertação (Mestrado, Centro de Ciências Agrárias) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1992.

MOREIRA, W. da S. *Relação entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira*. 1999. 107p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1999.

NGUGI, M. R.; DOLEY, D.; HUNT, M. A.; RYAN, P.; DART, P. Physiological responses to water stress in *Eucalyptus cloeziana* and *E. argophloia* seedlings. *Trees*. Darmstadt, v. 18, p. 381–389, 2004.

ODDO, E.; INZERILLO, S.; LA BELLA, F.; GRISAFI, F.; SALLESO, S.; NARDINI, A. Short-term effects of potassium fertilization on the hydraulic conductance of *Laurus nobilis* L. *Tree Physiology*, Oxford, v.3, p.131–138, 2011.

OLIVEIRA, J. T. S. Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil. São Paulo. 1997. 429p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. *Textbook of technology*. 3ed. New York, McGraw Hill, 1970. 705 p.

PEREIRA, J.; MADEIRA, M. V.; LINDER, S.; ERICSSON, T.; TOMÉ, M.; ARAUJO, M. C. Biomass production with optimised nutrition in *Eucalyptus globulus* plantations. In: WORKSHOP EUCALYPTUS FOR BIOMASS PRODUCTION, 1992, Lisboa. *Proceedings ...* Lisboa: IUFRO, 1992. p. 13-30.

QMS, 1999. QMS Tree Ring Analyzer Model QTRS-01X. Users Guide. Quintek Measurement Systems, Knoxville, TN.

ROCHA, M. P. *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias. Curitiba. 2000. 157f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

SCHULDT, B.; LEUSCHNER, C.; HOMA, V.; MOSER, G.; OHLER, M.; STRAATEN, K. O.; BARUS, H. Change in hydraulic properties and leaf traits in a tall rainforest tree species subjected to long-term throughfall exclusion in the perhumid tropics. *Biogeosciences*, v.8, p.2179–2194, 2011.

SETTE JUNIOR, C. R. *Aplicação de potássio e sódio no crescimento e na qualidade do lenho de árvores de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden*. 2010. 153p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SETTE JUNIOR, C. R. *Efeito da aplicação do lodo de esgoto e de fertilização mineral no crescimento e propriedades da madeira de árvores de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden*. 2007. 153p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SETTE JUNIOR, C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S.; CHAGAS, M. P.; LACLAU, J. P. Efeito da aplicação de potássio e sódio nas características do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W Hill, aos 24 meses de idade. *Revista Floresta*, Curitiba, PR, v. 39, n. 3, p. 535-546, jul./set. 2009.

SETTE JUNIOR, C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S.; LACLAU, J. P. Efeito da idade e posição de amostragem nas características anatômicas e densidade da madeira de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 39, n. 3, p. 535-546, 2012.

SETTE JUNIOR, C. R.; LACLAU, J. P.; TOMAZELLO FILHO, M.; MOREIRA, R. M.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J.; ALMEIDA, J. C. R. Source-driven remobilizations of nutrients within stem wood in *Eucalyptus grandis* plantations. *Trees - Structure and Function*, v. 27, n. 4, 2013.

SHIMOYAMA, V. R. S. *Variação da densidade básica e características anatômicas e químicas da Madeira em Eucalyptus spp.* 1990. 101p. Dissertação (Mestrado em Ciências

Florestais - Tecnologia de Produtos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

SILVA, J. C. *Caracterização da madeira de Eucalyptus grandis de diferentes idades visando sua utilização na indústria moveleira*. 2002. 160 p. Tese (Doutorado em Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT JR.; MATOS, J. L. M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. *Revista Floresta*, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 13-22, jan./abr. 2004.

SILVA, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M.; OLIVEIRA, J. T. S.; CASTRO, V. R. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.31, n.6, p.1081-1090, 2007

SOUZA, V. R.; CARPIM, M. A.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. *Revista IPEF*, Piracicaba, SP, n. 33, p. 65-72, 1986.

TISCHLER, K.; HETH, D. Wood properties of irrigated eucalyptus. In: SYMPOSIUM ON FOREST PRODUCTS RESEARCH INTERNATIONAL – ACHIEVEMENTS AND THE FUTURE, 1985, Pretoria. *Proceedings ...* Pretoria: National Timber Research Institute; South African Council for Scientific and Industrial Research, v. 3, p. 1-13, 1985.

TOMAZELLO FILHO M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; BALLARIN, A. W. Application of technique in nondestructive evaluation of eucalyptus wood. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*. Concepción, v. 10, n. 2, p. 139-150, 2008.

TOMAZELLO FILHO, M. *Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de Eucalyptus grandis x urophylla*. 2006. p.135. Tese (Livre-Docência). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

TOMAZELLO FILHO, M. Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. *Revista IPEF*, Piracicaba, v. 29, p. 25-36. 1985a.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. *Revista IPEF*, Piracicaba, v.29, p.37-45, 1985b.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica em estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. *Revista IPEF*, Piracicaba, SP, n. 36, p. 35-42, 1987.

TREVIZOR, T. T. *Anatomia comparada do lenho de 64 espécies arbóreas de ocorrência natural na floresta tropical Amazônica no estado do Pará*. 2011. 216 p. Dissertação (Mestre em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

VIANA, L. C. **Uso do infravermelho próximo para predição de propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus***. 2008. 120 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Boletim Técnico SIF, Viçosa, n.1, p.1-21, 1984.

WIMMER, R.; DOWNES G. M.; EVANS, R. Temporal variation of microfibril angle in *Eucalyptus nitens* grown in different irrigation regimes. **Tree Physiology**. Canada, v.22, n.7, p. 449-457, maio 2002.

WIND, C.; AREND, M.; FROMM, J. Potassium-dependent cambial growth in poplar. *Plant Biology*. v. 6, 2004. p30–37.

ZOBEL, J. B.; BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. New York, Springer-Verlag, 1989. 363p.