

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Aplicação de potássio e sódio no crescimento e na qualidade do lenho de  
árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**

**Carlos Roberto Sette Junior**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Recursos Florestais, com opção em Tecnologia de Produtos Florestais.

**Piracicaba  
2010**

Carlos Roberto Sette Junior  
Engenheiro Florestal

**Aplicação de potássio e sódio no crescimento e na qualidade do lenho de  
árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**

Orientador:  
Prof. Dr. **MARIO TOMAZELLO FILHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Ciências. Área de concentração: Recursos Florestais, com  
opção em Tecnologia de Produtos Florestais.

**Piracicaba  
2010**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Sette Junior, Carlos Roberto

Aplicação de potássio e sódio no crescimento e na qualidade do lenho de árvores de  
*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden / Carlos Roberto Sette Junior. - - Piracicaba, 2010.  
151 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.

1. Anatomia vegetal 2. Densitometria de raio X 3. Estrutura da madeira 4. Eucalipto  
Madeira - Propriedades físicas - Propriedades mecânicas 6. Nutrição vegetal 7. Potássio 8.  
Sódio I. Título

CDD 634.9734  
S495a

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"**

*A minha esposa, Ana Letícia, pelo imenso amor, suprema dedicação e apoio incondicional na batalha do doutorado.*

*Sem você jamais teria conquistado esta vitória.*

**DEDICO**



## AGRADECIMENTOS

*À DEUS por tudo que estou vivendo, por abençoar e iluminar o meu caminho, pela vida e saúde, pelas oportunidades e conquistas...*

*Aos meus pais, Carlos e Katya Sette, por terem me concedido a oportunidade de viver, pelo exemplo de vida e união e principalmente pela educação, maior herança que um filho pode herdar de seus pais;*

*Aos meus irmãos, Rafael e Guilherme, pela amizade e amor que nos une;*

*Ao orientador Mario Tomazello Filho pelos conhecimentos transmitidos ao longo de todos estes anos, pela dedicação e competência na orientação desta tese;*

*Ao pesq. Jean Paul Laclau pelas valiosas orientações, apoio fundamental e disponibilização da área experimental;*

*Ao pesq. José Luis Lousada pelos ensinamentos, orientação e incrível atenção e receptividade durante nossa estada em Portugal;*

*Ao prof. Adriano Wagner Ballarin pelas importantes orientações enriquecendo muito esta tese;*

*Ao pesq. Sérgio Brazolin pelas sugestões e contribuições importantes para a qualidade da tese;*

*Ao prof. Carlos Tadeu pelo auxílio nas análises estatísticas;*

*Ao pesq. José Carlos Rodrigues pelas orientações e importante auxílio nas análises laboratoriais;*

*Aos pesq. Laurent Saint-André e Jean Michel Leban pelas orientações e por todo o apoio e receptividade durante nossa estada na França;*

*À Maria Bermudez pela imensurável contribuição no desenvolvimento das análises laboratoriais;*

*Ao Aílton de Lima Lucas, Elaine Leonello e Javier Escobar pelo fundamental apoio na execução dos ensaios mecânicos;*

*À Estação Experimental de Itatinga, em especial ao Eng. Rildo Moreira por todo o apoio durante a execução dos trabalhos de campo;*

*À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP pela concessão da bolsa de doutorado e auxílio à pesquisa no país e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES pela concessão da bolsa de doutorado no exterior;*

*À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”-ESALQ/USP, a Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro-UTAD/Portugal e ao Instituto Nacional de Pesquisas Agronômicas-INRA/França pela possibilidade do desenvolvimento desta tese;*

*Aos amigos Alberto Borgonovi, Allan Araújo, Angel Ferreira, Boris Villa, Cláudio Lisi, Daniel Costa, Jedi Rosero, Marta Leite, Matheus Chagas, Mauro Soave, Moisés Lobão, Ugo Belini e Victor Moutinho por tudo o que aprendemos juntos, pelos momentos de trabalho e de descontração que vivemos;*

*À nossa família em Dois Córregos, Francisco e Neusa, Luis Fernando e Cristiana, Chico e Silvana e em especial ao Eduardo e a Mariana;*

*À nossa família em Piracicaba, em especial ao meu amigo Nestor Benvenuti (in memoriam), por todo o apoio, incentivos e momentos de alegria que passamos juntos;*

*Aos colegas portugueses Ana Alves, Antonio Alves, César Gomes, Maria Emilia Silva, Maria João Gaspar, Sr. Armindo, Belmifer e José e aos colegas franceses Frederic Mothe e Charline Freyburger;*

*Aos colegas de trabalho na UFSCar, Fábio Yamaji, Fernando Franco, Fiorella Capelo, José Mauro Santana, Juliano Wendt, Kelly Tonello, Luis Carlos de Faria e Maurício Cetra, pela convivência e incentivos na reta final da tese;*

*Ao LQCE, em especial a Marileide e a Regina pelo apoio e amizade.*

## SUMÁRIO

RESUMO .....	09
ABSTRACT .....	11
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS .....	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
3.1 Madeira juvenil e adulta em árvores de eucalipto .....	17
3.2 Propriedades físicas do lenho de eucalipto: densidade básica e aparente .....	19
3.3 Características anatômicas do lenho de eucalipto .....	21
3.4 Propriedades mecânicas do lenho de eucalipto .....	22
3.5 Concentração de nutrientes.....	24
3.6 Aplicação de fertilizantes minerais nas propriedades do lenho de eucalipto .....	25
3.7 Aplicação de fertilizantes minerais no crescimento e na produtividade de eucalipto ..	27
3.7.1 Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto medido por dendrômetro e relações com variáveis climáticas.....	29
3.8 Taxa de crescimento das árvores e a qualidade do lenho .....	33
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	37
4.1 Local .....	37
4.2 Delineamento experimental.....	37
4.3 Seleção, corte e coleta das amostras do lenho das árvores de eucalipto .....	38
4.4 Demarcação da idade cambial no lenho das árvores de eucalipto.....	39
4.5 Incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto .....	41
4.6 Variáveis climáticas.....	42
4.7 Propriedades físicas do lenho das árvores de eucalipto: densidade aparente e básica ..	43
4.7.1 Densidade aparente do lenho das árvores por microdensitometria de raios X .....	43
4.7.2 Densidade básica do lenho das árvores de eucalipto.....	45
4.8 Características anatômicas do lenho das árvores de eucalipto .....	46
4.8.1 Dimensões das fibras e dos vasos no lenho das árvores de eucalipto .....	46
4.9 Propriedades mecânicas do lenho das árvores de eucalipto .....	49
4.10 Concentração de nutrientes no lenho das árvores de eucalipto .....	51

4.11 Análises estatísticas.....	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	55
5.1 Diâmetro e volume do tronco das árvores de eucalipto .....	55
5.2 Propriedades físicas do lenho das árvores de eucalipto .....	66
5.2.1 Densidade aparente do lenho .....	66
5.2.2 Densidade básica do lenho .....	75
5.3 Características anatômicas do lenho das árvores de eucalipto.....	81
5.3.1 Dimensões das fibras .....	81
5.3.2 Dimensões e frequência dos vasos.....	89
5.4 Características anatômicas e a densidade aparente média do lenho .....	97
5.5 Propriedades mecânicas do lenho das árvores de eucalipto.....	102
5.6 Propriedades mecânicas, anatômicas e densidade do lenho das árvores de eucalipto.	106
5.7 Concentração de nutrientes no lenho das árvores de eucalipto.....	108
6 SÍNTESE DOS RESULTADOS.....	115
7 CONCLUSÕES .....	119
8 RECOMENDAÇÕES .....	121
REFERÊNCIAS.....	123
ANEXOS .....	141

## RESUMO

### **Aplicação de potássio e sódio no crescimento e na qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**

A diversificada e importante aplicação do lenho das plantações de eucalipto de rápido crescimento, com a aplicação de fertilização mineral, exigem a análise do seu efeito na qualidade do lenho. Com esse objetivo avaliou-se a dinâmica do incremento em diâmetro do tronco, as características anatômicas, físico-mecânicas e a concentração de nutrientes do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis*, plantadas no espaçamento de 3x2 m e fertilizadas com potássio e sódio (no plantio, 6º, 12º mês). Foram selecionadas 60 árvores de eucalipto, no 22º mês, em 5 classes de área basal e avaliado o incremento em diâmetro do tronco, a cada 14 dias, de fevereiro de 2006 a fevereiro de 2010, através de dendrômetros. Para a amostragem do lenho em diferentes porcentagens da altura total do tronco foram selecionadas e cortadas árvores de eucalipto com a idade de 12, 24, 36 e 48 meses, em 5 classes de área basal. As amostras do lenho das árvores de eucalipto com 12, 24 e 36 meses foram utilizadas na avaliação das suas características anatômicas e determinação da densidade básica ponderada. Para as amostras do lenho das árvores de eucalipto com 48 meses foram analisadas as características anatômicas (fibras e vasos), físicas (densidade aparente e básica), mecânicas (resistência e rigidez à flexão estática e resistência a compressão paralela as fibras) nos tratamentos de fertilização, nas classes de área basal, nas posições radial e longitudinal do tronco e realizadas regressões múltiplas. Os resultados mostraram que as árvores de eucalipto dos tratamentos potássio e sódio e as de maior classe de área basal, apresentaram taxas de incremento do tronco superiores em relação às do tratamento controle e demais classes de área basal. Para o diâmetro do tronco das árvores foi detectado um efeito da sazonalidade climática, com períodos de máximo e mínimo crescimento. Houve diferença significativa entre os tratamentos de fertilização e classes de área basal das árvores para algumas características anatômicas e propriedades mecânicas; não foi observada diferença significativa para a densidade aparente e básica do lenho. Os maiores teores de potássio e de sódio foram encontrados no lenho das árvores dos respectivos tratamentos. A análise do teor de potássio e de sódio no lenho das árvores de eucalipto no 12º, 24º, 36º e 48º mês mostrou a maior retranslocação dos nutrientes nos respectivos tratamentos. Os resultados permitem concluir que os nutrientes, principalmente o potássio, induziu maior incremento em diâmetro e volume de lenho do tronco das árvores de eucalipto, sem alteração da sua densidade aparente e básica. A fertilização mineral influenciou algumas características anatômicas e propriedades mecânicas do lenho das árvores de eucalipto. O teor de potássio e de sódio variou nos tratamentos de fertilização, evidenciando a ocorrência de sua translocação no lenho das árvores ao longo da sua idade.

Palavras-chave: Fertilização; Qualidade do lenho; Crescimento; Dendrômetros; Concentração de nutrientes



## ABSTRACT

### **Application of potassium and sodium in the growth and quality of wood from *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden trees**

The diverse and important application of the wood in eucalyptus plantations of fast growth with the addition of mineral fertilizers, require the analysis of its effect on the wood's quality. With this objective were evaluated the dynamics of the increment in trunk diameter, anatomical characteristics, physical-mechanical and nutrient concentration in *Eucalyptus grandis* trees planted at a spacing of 3x2 m and fertilized with potassium and sodium (at planting, 6, 12<sup>th</sup> month). Were selected 60 eucalyptus trees with 22 months, in five class of basal area and evaluated the increment in trunk diameter, every 14 days, from February 2006 to February 2010 through dendrometers bands. To sample the wood at different percentages of the total height of the trunk were selected and cut eucalyptus trees at the age of 12, 24, 36 and 48 months, in five class of basal area. The wood samples of eucalyptus trees with 12, 24 and 36 months were used in the evaluation of its anatomical and determination of the basic density. For eucalyptus trees wood samples with 48 months were analyzed the anatomic characteristics (fibers and vessels), physical (wood density), mechanical (strength and stiffness) in the treatment of fertilization, class of basal area, radial and longitudinal positions and multiple regressions. The results showed that the eucalyptus trees with the sodium and potassium treatments and the class of basal area upper had rates of growth upper than the control treatment and other class of basal area. For the trunk diameter of trees was detected a seasonal effect of climate, with periods of maximum and minimum growth. There were significant differences between fertilization treatments and class of basal area of trees to some anatomical characteristics, and mechanical properties; no difference was found for wood density. The higher concentration of potassium and sodium were found in trees of the respective treatments. The analysis of the content of potassium and sodium in the wood of the eucalyptus trees on the 12<sup>th</sup>, 24<sup>th</sup>, 36<sup>th</sup> and 48<sup>th</sup> months showed greater translocation of nutrients in the treatments. The results indicate that nutrients, particularly potassium, induced greater increase in volume and diameter of the eucalyptus trees trunk, without altering wood density. The mineral fertilization influenced some anatomical characteristics and mechanical properties of wood. The content of potassium and sodium varied in fertility treatments, indicating the occurrence of translocation in the wood of trees along its age.

**Keywords:** Fertilization; Wood quality; Growth; Dendrometer bands; Concentration of nutrients



## 1 INTRODUÇÃO

As plantações de espécies de eucalipto no Brasil ocupam cerca de 4,5 milhões de ha, apresentando crescimento médio de 7,1% ao ano no período 2004-2009 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2010). Essa significativa área visa suprir a demanda das indústrias brasileiras de base florestal, com forte tendência de expansão para o atendimento do mercado nacional e internacional. 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).

As restrições impostas à utilização de madeiras de espécies nativas, devido a sua exploração indiscriminada e insustentável, aliadas às crescentes medidas de conservação das espécies contribuíram, da mesma forma, para o êxito do gênero *Eucalyptus* no setor florestal brasileiro. Desde então, a busca por produtividade e qualidade das plantações de eucalipto têm sido objeto de inúmeras pesquisas, com investimentos sendo direcionados para o melhoramento genético e clonagem, preparo do solo e nutrição das árvores, etc.

A avaliação e o monitoramento da produtividade dos povoamentos florestais são fundamentais para o entendimento da reação individual das árvores aos estímulos e variações das condições climáticas, bem como os decorrentes da aplicação de fertilizantes minerais. O uso de dendrômetros permanentes tem se mostrado uma opção eficiente na medição contínua do crescimento em diâmetro do tronco das árvores de florestas tropicais e temperadas, avaliando pequenas mudanças no seu crescimento em intervalos de tempo reduzidos, além da alta precisão e baixo custo (MARIAUX, 1969 e 1970; DÉTIENNE et al., 1988; BOTOSSO e TOMAZELLO FILHO, 2001).

Da mesma forma, o efeito significativo da fertilização mineral no crescimento das árvores de eucalipto é reconhecido há algumas décadas, com Mello (1968) demonstrando a diferença de produção volumétrica de 33 m<sup>3</sup>/ha das árvores de *E. saligna* adubadas e não adubadas, aos 2 anos de idade, em solos pobres e ácidos de cerrado. O incremento de volume do tronco de árvores de *Eucalyptus saligna* e de *E. grandis* com a adubação potássica variou de 67 a 118% no cerrado

dos estados de Minas Gerais (BARROS et al., 1981 apud SILVEIRA; MALAVOLTA, 2003) e de São Paulo (GAVA, 1997), respectivamente.

Enquanto a aplicação de fertilização mineral aumenta significativamente a taxa de crescimento das árvores de eucalipto, são escassas as informações sobre o seu efeito nas propriedades e qualidade da madeira, principalmente, a ação isolada dos nutrientes.

Em árvores de espécies de eucalipto de idades avançadas (até 30 anos) os resultados de pesquisas referentes ao efeito de fertilizantes minerais nas propriedades da madeira são controversos, com indicação de aumento (VIGNERON et al., 1995 e BOUVET et al., 1999) e redução (SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989 e WASHUSEN et al., 2005) da densidade do lenho. Em árvores de eucalipto jovens (1-3 anos) destacam-se os resultados de Bamber, Horne e Graham-Higgs (1982) e de Pereira (1990), que não verificaram efeito significativo da fertilização mineral na densidade do lenho e dimensões das fibras. Nesse aspecto, Raymond (1998) e Beadle et al. (2001) destacam a importância da análise das alterações das propriedades da madeira das árvores de eucalipto com taxas de crescimento elevadas pela fertilização mineral.

A possibilidade de substituição total ou parcial do potássio por sódio na fertilização das plantações florestais segundo Marschner (1995) é de interesse prático e científico, sendo que as principais fontes de K possuem Na em sua composição e, o uso destes minerais representa uma economia de energia requerida no processo de purificação, permitindo uma redução no preço dos fertilizantes potássicos. Particularmente, para o Brasil que é o terceiro consumidor mundial, em 2006 foram utilizadas cerca de 3,4 milhões de toneladas, com produção no país de apenas 400 mil toneladas do nutriente (LACERDA, 2009). A substituição total ou parcial do K por Na diminuiria a dependência de fertilizantes importados, reduzindo os custos de implantação das florestas de eucalipto e, em consequência, os custos finais da madeira. Desta forma, torna-se fundamental a determinação dos efeitos da aplicação do potássio e do sódio no crescimento e na qualidade da madeira produzida pelas árvores de eucalipto em plantações florestais, visando à futura substituição dos elementos.

## 2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar o efeito da aplicação do potássio e do sódio no incremento em diâmetro do tronco e na qualidade da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis*. Como objetivos específicos mencionam-se, para o lenho das árvores de eucalipto fertilizadas com potássio e sódio, a avaliação da (i) sazonalidade do incremento em diâmetro do tronco pelo uso de dendrômetros de aço, (ii) densidade aparente e básica, por microdensitometria de raios X e pelo método da balança hidrostática, (iii) características anatômicas e propriedades mecânicas, (iv) concentração dos nutrientes no lenho, (vii) influência das variáveis climáticas no incremento em diâmetro do tronco e na densidade aparente média do lenho, (viii) relação entre as características e propriedades do lenho e (ix) evolução das características anatômicas e da densidade básica do lenho com a idade das árvores.



### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Madeira juvenil e adulta em árvores de eucalipto**

O caule de uma árvore adulta pode ser dividido em duas regiões distintas, devido às diferenças na sua estrutura e propriedade. A madeira juvenil, próxima à medula, proveniente do crescimento inicial e a madeira adulta, externa ao tronco, formada pela atividade do câmbio fisiologicamente maduro. A madeira juvenil corresponde ao xilema secundário produzido durante a fase inicial da vida da árvore, caracterizando-se a madeira adulta, na seqüência, pelo progressivo aumento nas dimensões e mudanças correspondentes na forma, estrutura e disposição das células nas sucessivas camadas de crescimento (JANKOWSKY, 1979).

No lenho das árvores de eucalipto, Hillis e Brown (1984) relataram que, até referida data, os limites da formação da madeira juvenil não eram claramente definidos, com escassos resultados de análises comparativas da densidade da madeira próxima da medula – de menor densidade - em relação à da próxima da casca – de maior densidade. Wilkes (1984) afirmou que a taxa de crescimento das árvores de eucalipto tem pouca influência na formação de madeira juvenil no seu lenho, que se apresenta em proporção semelhante indicando um grau de maturidade similar nas árvores de rápido e lento crescimento.

A densidade do lenho tende a aumentar com a idade das árvores devido ao aumento da espessura da parede celular e diminuição do lume das fibras à medida que é formada a madeira adulta no tronco das árvores de eucalipto (VITAL, 1984).

De acordo com Malan (1995), a qualidade do lenho varia no tronco de uma mesma e entre árvores, sendo mais importante a variação radial, determinada pelas características anatômico-físico-químicas da madeira juvenil; proporção de madeira juvenil depende da idade das árvores, do ambiente e do manejo florestal sendo que, no entanto, árvores de mesma idade e em ambiente e manejo similar mostram grande variabilidade na relação madeira juvenil/adulta. A porcentagem de madeira juvenil/adulta reflete as diferenças das características anatômicas dos componentes celulares constituintes do lenho das árvores (Figura 1).

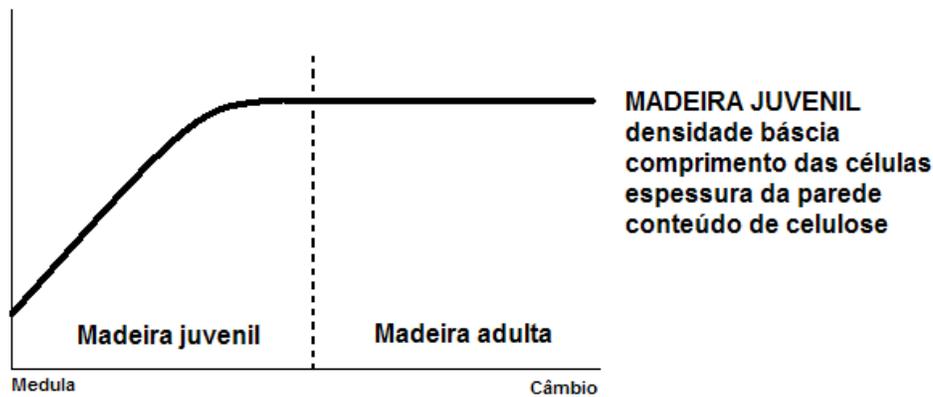


Figura 1 – Características da madeira juvenil e adulta em relação à idade do câmbio das árvores (Fonte: KRZYSIK et al., 2001)

As diferenças entre a madeira juvenil, transição e adulta relacionam-se às alterações anatômico-físicas no sentido medula-casca do tronco das árvores, sendo descrita a sua estrutura anatômica (dimensões e porcentagens de elementos celulares) e perfil radial de densidade aparente do lenho (TOMAZELLO FILHO, 2002; Figura 2).

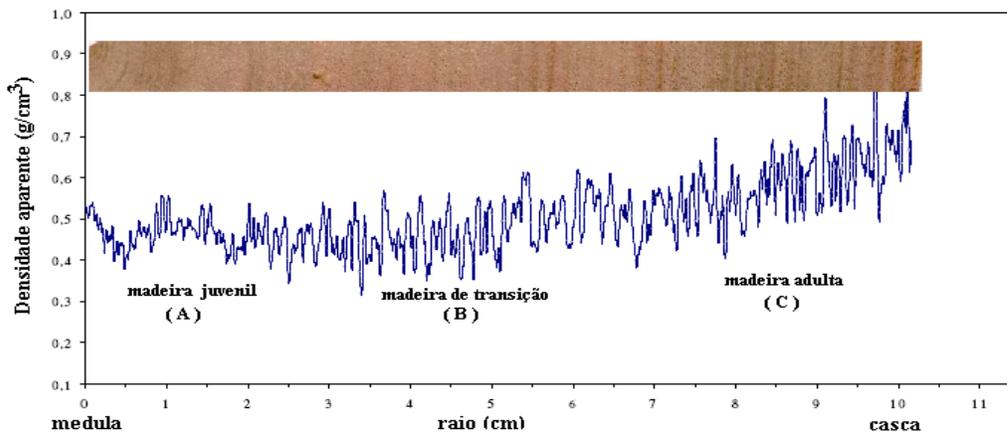


Figura 2 - Perfil da densidade aparente radial do lenho de árvore de *Eucalyptus sp.*, por densitometria de raios X, evidenciando a região da madeira juvenil, transição e adulta

De acordo com Lima (2005) a madeira juvenil no tronco de árvores de folhosas é caracterizada pelo menor comprimento dos vasos e das fibras, menor diâmetro, parede celular mais fina, maiores ângulos fibrilares, maior proporção de fibras, menor proporção de vasos, maior teor relativo de hemicelulose, menor teor relativo de celulose, menor densidade, altos teores de madeira de reação, altos teores relativos de lignina e anéis de crescimento mais largos.

### 3.2 Propriedades físicas do lenho de eucalipto: densidade básica e aparente

Das propriedades do lenho, a densidade é considerada como uma das mais importantes, fornecendo informações sobre as suas demais características e comumente utilizada na qualificação da madeira. A densidade resulta da integração das propriedades físicas, anatômicas e químicas da madeira, constituindo-se na principal responsável pelas características de resistência, energia, etc., que condicionam a sua utilização (JORGE; PEREIRA, 1998).

Assim como as características anatômicas, a densidade da madeira pode variar entre gêneros, espécies de um mesmo gênero, entre árvores dentro de uma mesma espécie e entre diferentes partes das árvores, no sentido longitudinal e radial (SILVA et al., 2004). Estas variações, segundo Kollmann e Cotê (1968) se devem às diferenças na estrutura anatômica da madeira e na quantidade de substâncias extrativas presentes por unidade de volume, sendo função, principalmente, da idade da árvore, genótipo, índice de sítio, clima, localização geográfica e tratos silviculturais.

Panshin e Zeeuw (1970) apresentaram modelos de variação longitudinal para a densidade básica da madeira sendo (i) decrescente uniformemente com a altura, (ii) decrescente até certo ponto e crescente daí até o topo da árvore e (iii) crescente da base para o topo, não obedecendo a um padrão uniforme de variação. Para o gênero *Eucalyptus* tem sido mais comum o segundo modelo, ou seja, decrescente até a região do DAP e crescente a partir deste ponto, podendo ou não decrescer próximo ao topo (BARRICHELO; BRITO; MIGLIORINI, 1983).

Avaliando a variação da densidade básica da madeira nas seções transversais do caule da base para a copa de árvores de eucalipto, Brasil, Veiga e Ferreira (1977) concluíram que a densidade cresce até um ponto de máximo próximo ao meio da árvore e depois decresce em direção à copa.

Brasil, Veiga e Mello (1979) estudando a densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 3 anos de idade concluíram que o modelo de variação foi crescente da medula para a casca, com valores de 0,42 (próximo à medula), 0,42 (região intermediária) e 0,46 g/cm<sup>3</sup> (próximo a casca). O modelo de variação radial da densidade da madeira observada por Tomazello Filho (1985b) para o *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* obedeceu ao padrão mais comum para o gênero descrito na literatura, ou seja, com valores crescentes no sentido medula-casca.

A variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* com 3,5 anos de idade no sentido longitudinal do caule foi avaliada por Lima, Rosado e Oliveira (1992) sendo determinado o modelo de variação em que a densidade decresce da base até 25% da altura total da árvore e, a partir daí, cresce até a altura máxima do tronco, com uma densidade básica média de 0,44 g/cm<sup>3</sup>. Alzate, Tomazello Filho e Piedade (2005) estudando a variação longitudinal da densidade básica do tronco de *Eucalyptus grandis* com 8 anos de idade concluíram que, esta decresce da base até o DAP, aumentando a partir deste ponto até o topo, sendo que a densidade básica média foi de 0,46 g/cm<sup>3</sup>.

Lopes (2003) encontrou valores de densidade básica média da madeira de 0,46 g/cm<sup>3</sup> para árvores de *Eucalyptus grandis*, verificando uma variação longitudinal com decréscimo até o DAP e a 25% e crescendo até 100% da altura comercial. Silva et al. (2004) avaliando a variabilidade da densidade aparente da madeira de *Eucalyptus grandis* em diferentes idades (10, 14, 20 e 25 anos) e posições radiais por densitometria de raios X concluíram que há uma tendência crescente da densidade aparente em função da idade e da variação radial, no sentido medula-casca e os menores (0,46 g/cm<sup>3</sup>) e maiores (0,63 g/cm<sup>3</sup>) valores de densidade aparente média foram encontrados nas árvores com 10 e 20 anos, respectivamente.

Ao caracterizar a variação radial da densidade aparente do lenho das árvores de *Eucalyptus 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/cm<sup>3</sup>. A variação radial da densidade aparente do lenho de árvores de *Eucalyptus 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/cm<sup>3</sup>. Estudando a variação da densidade aparente do lenho de *Eucalyptus grandis* com 28 anos, por densitometria de raios X, Benjamim (2006) apresentou valores médios de 0,70 g/cm<sup>3</sup> e o modelo de variação radial mais comum para a espécie: valores crescentes no sentido medula-casca.

O modelo de variação radial da densidade aparente do lenho, determinado por densitometria de raios X e observado por Sette Junior et al. (2009) é característico da madeira juvenil de árvores de *Eucalyptus grandis* jovens: maiores valores de densidade na região da medula (0,80-1,10 g/cm<sup>3</sup>), seguindo-se sua redução e estabilização (0,40-0,50 g/cm<sup>3</sup>) próxima a casca.

### 3.3 Características anatômicas do lenho de eucalipto

As propriedades 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 e 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 e da alteração da idade de corte.

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980) e Tsoumis (1991), a variação do comprimento das células reflete duas fases: (i) uma fase inicial, conhecida como período juvenil, próximo à medula, onde ocorrem mudanças fundamentais na composição da parede, associadas ao período de maturação cambial, onde ocorre um rápido aumento no comprimento da célula e (ii) uma segunda fase, onde o câmbio já se encontra maduro, produzindo células cujo comprimento pode variar intensamente nos anéis de crescimento adjacentes e, em consequência, resultando numa maior estabilidade.

Estudando as características das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 16 anos, Brasil e Ferreira (1972) observaram valores médios de 1,3 mm, 5,0 e 7,7  $\mu\text{m}$  para comprimento, espessura da parede das fibras e diâmetro do lume, respectivamente. Barrichelo e 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  $\mu\text{m}$  e diâmetro do lume de 6,0 a 10  $\mu\text{m}$ .

Analisando a estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus grandis* com 10 anos, Tomazello Filho (1985a), verificou que os elementos de vaso apresentaram diâmetro tangencial variando de pequenos (53  $\mu\text{m}$ ) a médios (161  $\mu\text{m}$ ). Ainda, segundo o autor, o comprimento das fibras variou entre 0,89 e 1,52 mm, a largura de 17,0 a 33,5  $\mu\text{m}$ , a espessura da parede de 5,0 a 6,0  $\mu\text{m}$  e o diâmetro do lume de 7,0 a 23,0  $\mu\text{m}$ . Caracterizando a estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus 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  $\mu\text{m}$ , diâmetro de lume de 9,58  $\mu\text{m}$  e espessura da parede delgada de 5,7  $\mu\text{m}$ . Carvalho (2000, apud ROCHA; GONÇALVES; MOURA, 2004) relatou os valores médios

de 1,07 mm, 17,48, 8,49 e 4,49  $\mu\text{m}$  para comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis x urophylla*, com 7 anos de idade.

As características anatômicas do lenho podem variar entre gêneros, espécies de um mesmo gênero, entre árvores dentro de uma mesma espécie e entre diferentes partes das árvores, tanto no sentido longitudinal como no radial.

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 *Eucalyptus 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 e Ferreira (1972) 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.

A variação radial e longitudinal da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade foi avaliada por Florsheim et al. (2000) sendo constatado no sentido longitudinal: (i) maiores valores das dimensões das fibras foram encontrados a 25% da altura comercial e (ii) o comprimento e a frequência dos vasos foram maiores no topo das árvores. No sentido radial, o comprimento, diâmetro e espessura da parede das fibras foram crescentes com o diâmetro do lume mostrando uma tendência inversa. Os elementos de vaso mostraram valores crescentes para o comprimento e diâmetro tangencial e decrescente para a frequência no sentido medula-casca.

Rocha et al. (2002) estudando a variação da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus 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 Batista et al. (2003, apud ROCHA; GONÇALVES; MOURA, 2004) e Sette Junior et al. (2009) ao caracterizarem a madeira de *Eucalyptus grandis*.

### **3.4 Propriedades mecânicas do lenho de eucalipto**

A resistência e a rigidez da madeira são dois parâmetros normalmente determinados nos ensaios mecânicos, sendo de grande importância na caracterização tecnológica da madeira, constituindo-se, na prática, parâmetros de grande aplicação na classificação dos materiais (MOREIRA, 1999). Segundo Kollmann e Côté (1968) e FOREST PRODUCTS LABORATORY

(1974), as propriedades mecânicas da madeira são fortemente influenciadas por diversos fatores, como idade da árvore, características químicas e anatômicas, densidade da madeira, teor de umidade, defeitos na madeira entre outros.

Para Raymond e Muneri (2000), as propriedades de resistência são extremamente importantes na qualificação da madeira para fabricação de móveis; tais propriedades são realçadas nos componentes estruturais, observando-se valores mais elevados em madeiras de lenho adulto e de maior idade.

A maioria dos trabalhos de determinação das propriedades mecânicas do lenho contempla árvores de eucalipto de idade mais avançada (10-40 anos), sendo escassas as informações destas propriedades em árvores jovens. Estudando a madeira de *Eucalyptus grandis* de duas idades, Ashley e Ozarska (2000) encontraram valores de 12300 e 13500 MPa, para módulo de elasticidade, e valores de 78,2 e 98,2 MPa, para módulo de ruptura para as madeiras de 22 e 28 anos, respectivamente. Acosta (1998), analisando madeiras de *Eucalyptus grandis*, com 12 e 18 anos de idade, encontrou valores de 9835 MPa para MOE e de 73,1 MPa para MOR. Para a madeira de *Eucalyptus grandis*, Oliveira (1997) encontrou valores de 8656 MPa para MOE e de 61,2 MPa para MOR. Calori e Kikuti (1997) estudaram a variação longitudinal das propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii*, aos 20 anos, não sendo encontrada diferença significativa em três posições do tronco.

Cruz, Lima e Muniz (2003) estudaram o módulo de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR) em flexão estática da madeira de 7 clones de eucalipto com 10 anos. Os valores médios de MOE e MOR da madeira foram de 15044 e 94 MPa, respectivamente, sendo a variação radial maior do que longitudinal. Serpa et al., (2003) determinaram a resistência à flexão estática e a resistência à compressão paralela as fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*, com idade de 40 e 50 anos, respectivamente. Os resultados mostraram que as propriedades mecânicas da madeira variaram nos sentidos radial e longitudinal do tronco das árvores. As resistências à flexão e à compressão da madeira aumentaram na direção medula-casca, com os maiores valores sendo observados para o *E. saligna*.

Na caracterização da rigidez da madeira de eucalipto com a 12% de umidade, Lobão et al. (2004) determinaram o MOE: (i) à compressão e tração paralela as fibras e (ii) à flexão, com valores médios de 19137; 16990 e 15275 MPa, respectivamente. Bartholomeu e Gonçalves (2007) determinaram o módulo de elasticidade à flexão (MOE) de vigas de *Eucalyptus citriodora*

e *E. grandis*. Os resultados apontaram para um maior MOE nas vigas de madeira de *E. citriodora* (2023 MPa) em relação ao *E. grandis* (931 MPa).

### 3.5 Concentração de nutrientes

A translocação de nutrientes pode ser definida, em toda a planta, como a quantidade total de elementos que são retirados dos tecidos em senescência e transferidos para os tecidos novos e em crescimento (LIM e COUSENS, 1986). Este fenômeno é baseado em uma série de processos fisiológicos e bioquímicos: (i) utilização dos nutrientes minerais armazenados nos vacúolos, (ii) quebra das proteínas de reserva ou das estruturas celulares e enzimas, transformando os nutrientes minerais em formas móveis (MARSCHENER, 1991). A translocação de nutrientes durante o envelhecimento das árvores é um importante mecanismo para a manutenção do crescimento das árvores em solos pobres (SWITZER e NELSON, 1972; MILLER et al., 1979; NAMBIAR, 1985;), podendo ser responsável por uma significativa quantidade de nutrientes necessários para a produção de biomassa e assim reduzir a dependência das reservas de nutrientes no solo (DIERBERG; STRAUB; HENDRY, 1986; RANGER e COLIN-BELGRAND, 1996). A translocação de nutrientes pode mudar com o estágio de desenvolvimento da floresta e não está restrito aos locais de baixa fertilidade (FIFE e NAMBIAR, 1984; DAMBRINE; GOASTER; RANGER, 1991;).

A translocação de nutrientes nas folhas das árvores durante a senescência tem sido intensamente estudada (NAMBIAR e BOWEN, 1986; HELMISAARI, 1992; ZHANG e ALLEN, 1996). Contudo, estudos sobre a translocação de nutrientes em outros compartimentos das árvores, como por exemplo, no lenho, são escassos (LACLAU et al., 2001). As informações existentes sobre a distribuição de nutrientes no lenho de várias espécies mostram uma diminuição acentuada na concentração de nutrientes dos tecidos fisiologicamente ativos para os pouco ativos (CLEMENT e JANIN, 1976; COLIN-BELGRAND et al., 1993). No caso do eucalipto, as diferenças nas concentrações de nutrientes entre alborno e cerne sugerem intensa translocação de nutrientes da madeira durante a formação do cerne, especialmente no caso do fósforo e potássio (BAMBER, 1976; TURNER e LAMBERT, 1983). Hingston, Turton e Dimmock, 1979 mostraram que as concentrações dos nutrientes na madeira são menores se comparados com as folhas, cascas e galhos. Os mesmos autores obtiveram maiores concentrações de potássio no

alburno do lenho de árvores de *Eucalyptus diversicolor* com 36 anos. Estudando a translocação de nutrientes no tronco de árvores de *Castanea sativa*, Colin-Belgrand et al. (1996) constataram um aumento na translocação de potássio com o aumento da idade, atingindo 23 kg ha<sup>-1</sup> nos últimos anos da rotação, sendo o elemento mais móvel. Este aumento, segundo os autores, foi em virtude do aumento da biomassa das árvores.

Uma análise dos dados disponíveis sobre a concentração de nutrientes no alburno e cerne de árvores de eucalipto nativas da Austrália mostraram que o K diminui sistematicamente durante a formação do cerne (GROVE; THOMSON; MALAJCZUK, 1996). Laclau et al. (2001) estudando a dinâmica de retranslocações dos nutrientes no lenho de árvores de eucalipto com diferentes idade no Congo observaram aumento nas concentrações de K da parte interna para a parte externa do lenho, mostrando que o K está mais presente nos tecidos fisiologicamente ativos (alburno), sendo este elemento o mais móvel no lenho, independente do estágio de desenvolvimento da árvore.

### **3.6 Aplicação de fertilizantes minerais nas propriedades do lenho de eucalipto**

A literatura especializada sobre o efeito da aplicação de fertilizantes, especificamente do potássio, nas propriedades do lenho de espécies do gênero *Eucalyptus* é bastante controversa, sendo apresentados diversos resultados, sumarizados a seguir. Os estudos visam, de modo geral, verificar o efeito da aplicação conjunta dos fertilizantes, sem a preocupação de determinar o efeito isolado sobre a qualidade da madeira.

Lamber; Horne e Graham-Higgs (1982) não verificaram diferenças nas dimensões das fibras e na densidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis*, de 2,5 anos, induzidas a altas taxas de crescimento pelo preparo do solo, fertilização, controle de insetos e ervas daninhas. No entanto, os vasos de menor diâmetro e de mais baixa frequência e raios de maior volume foram mensurados no lenho das árvores de rápido crescimento.

Segundo Shimoyama e Barrichelo (1989) o aumento do ritmo de crescimento em função da fertilização, provoca rápidas divisões transversais das células cambiais iniciais, reduzindo o seu desenvolvimento total em comprimento. Dessa maneira, o comprimento das fibras diminui em consequência da adubação e, da mesma forma, com a espessura da parede, onde as rápidas divisões não permitem o espaçamento das mesmas. As árvores têm como resposta à fertilização,

um aumento na porcentagem do lenho inicial, tendo em conseqüência um decréscimo na densidade básica da madeira (JACOB; BALLONI, 1978; SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989).

As variações da densidade das regiões do alburno e do cerne das árvores de *Eucalyptus grandis*, de 9,5 anos, em vários tratamentos silviculturais – desbaste, fertilização, controle de pragas e ervas daninhas - causaram aumentos significativos da densidade do lenho, de acordo com Wilkins e Horne (1991).

A fertilização não mostrou influência no comprimento das fibras do lenho de árvores de *Eucalyptus urophylla*, com 9 anos, de 5 áreas experimentais na China, de acordo com Jianju; Wenbin e Xiuzhen (1995). No entanto, foi detectada uma correlação positiva entre a largura das fibras e a fertilização aplicada nas árvores de eucalipto. A aplicação de fertilizantes e a ampliação do espaçamento aceleraram, segundo Vigneron, Gerard e Bouvet (1995), o crescimento e aumentaram a densidade básica do lenho das árvores de 4 clones de híbridos de eucaliptos no Congo.

Bouvet et al. (1999) avaliaram o efeito genético e ambiental no crescimento e na densidade básica do lenho de árvores de 2 híbridos de eucalipto no Congo. A aplicação de fertilizantes e a ampliação do espaçamento aceleraram o crescimento das árvores e aumentaram a densidade básica do seu lenho.

Raymond e Muneri (2000) relatam que a fertilização tem pequena influência na densidade do lenho de árvores de *Eucalyptus globulus*, sendo negativa, positiva ou mesmo negligível. Smethurst et al. (2003) avaliaram efeito da aplicação de fertilizantes no índice de área foliar-IAI, crescimento e densidade do lenho de árvores de *Eucalyptus nitens*, com 5-8 anos, na Austrália. Além do aumento do IAI e do crescimento das árvores, observou-se um pequeno aumento da densidade do lenho na seção inferior e média do seu tronco, na maior taxa de fertilização.

Berger (2000) estudaram o efeito do espaçamento (3x2, 3x3, 3x4m) e da adubação (400-800 Kg ha<sup>-1</sup> NPK) sobre a densidade básica, módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) da madeira de clones de *Eucalyptus saligna*, com 10 anos. A adubação e o espaçamento tiveram efeito significativo sobre a densidade básica da madeira, com seu aumento em função da maior dose de adubo e do maior espaçamento; a resistência à flexão estática, MOE e MOR foram significativamente influenciados pelo espaçamento, adubação e posição da tora.

O efeito do espaçamento e da fertilização em algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira de árvores de *Eucalyptus saligna* avaliado por Haselein et al. (2002) indicou que a densidade, MOE e MOR à flexão estática da madeira foram afetados: quanto maior o espaçamento e a dose de adubo, maiores os valores das propriedades.

A densidade e o ângulo fibrilar do lenho de árvores de *Eucalyptus globulus*, de 8 anos, foram analisadas 5 anos após a execução de desbaste e da fertilização por Washusen et al. (2005). A densidade do lenho diminuiu de 0,84 para 0,79 g/cm<sup>3</sup> e o ângulo fibrilar aumentou com a intensidade de desbaste e pela aplicação de fertilizantes. De acordo com Silveira (2000) a maioria dos estudos mostra que a fertilização promove ganhos de produtividade da madeira de eucalipto, porém pouco se conhece sobre o seu efeito nas propriedades físicas, mecânicas e anatômicas da madeira.

### **3.7 Aplicação de fertilizantes minerais no crescimento e na produtividade de eucalipto**

O efeito significativo da fertilização mineral em árvores de eucalipto é reconhecido há algumas décadas, desde as pesquisas realizadas por Mello (1968) com *Eucalyptus saligna* em solos pobres e ácidos do cerrado: aos 2 anos de idade a diferença de produção entre as árvores das parcelas adubadas e não adubadas era de 33 m<sup>3</sup>/ha. O efeito da adubação com N, K + micronutrientes estimulou o maior crescimento em altura e diâmetro de árvores de *Eucalyptus grandis* (VALERI et al., 1985) sendo observadas diferenças significativas com diferentes doses de NPK na altura das árvores dessa espécie por Balloni, Garcia e Gonçalves (1982).

Em solos do cerrado, Barros, Novais e Neves (1990) obtiveram respostas à aplicação de K em *Eucalyptus grandis*, constatando-se no crescimento em diâmetro do tronco na ordem de 76% com o fornecimento de 167kg/ha de K em relação ao controle.

Estudando a fertilização de *Eucalyptus grandis* em areia quartzosa de baixa fertilidade, em uma região de déficit hídrico intenso, Stape (1992), observou ganhos de volume de madeira de 118 e 81% quando aplicou NPK + micronutrientes em comparação com a testemunha e a adubação tradicional, respectivamente. Da mesma forma, Andrade et al. (1994) demonstraram o efeito significativo da fertilização mineral e da calagem, realizada no plantio das mudas de eucalipto, em relação à produção de madeira das árvores, aos 6 anos. Silveira et al. (1998) avaliaram o estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis* com idades entre 1 a 5

anos em primeira e segunda rotação plantados em areia quartzosa e Latossolo Vermelho na região de Itatinga e verificaram que as deficiências mais drásticas ocorreram com o K e o Mg.

Scatolini et al. (1996) avaliaram a resposta do *E. grandis* a doses de KCl (72 e 288 g/planta) aplicadas de uma só vez 30 dias após o plantio ou parceladas em até quatro vezes, no 1º, 12º, 24º e 36º mês de idade, em três solos (Latossolo Vermelho-amarelo textura argilosa, Podzólico Vermelho-amarelo textura argilosa e Latossolo Vermelho-amarelo textura média) onde se observou teores de potássio disponível na camada de 0 a 20 cm de solo em torno de  $0.7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e CTC ao redor de  $60 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Constataram vantagem significativa para a dose mais elevada nos três locais tanto para volume cilíndrico como para a área basal, altura e DAP, porém sem diferenciação quanto aos modos de aplicação.

Analisando o efeito da adubação com potássio (30 e 60 g/planta de  $\text{K}_2\text{O}$ ) e do parcelamento (dividida em até 5 anos) sobre o incremento do volume e a idade de corte de árvores de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, cultivados em Areia Quartzosa e Latossolo Vermelho-Escuro álico, Valeri et al. (1996) concluíram que, no Latossolo, o maior crescimento em volume cilíndrico das árvores foi obtido com a aplicação de 30 g/planta de  $\text{K}_2\text{O}$ , parceladamente nos 4 ou 5 primeiros anos e, na Areia Quartzosa, foi obtido com a aplicação de 60 g/planta de  $\text{K}_2\text{O}$ , parceladamente em doses iguais nos 5 primeiros anos ou em doses crescentes nos 4 primeiros anos. No Latossolo, a idade de corte das árvores não foi afetada pelos tratamentos e, no solo arenoso, a aplicação adequada de K aumentou a idade de corte, em relação às testemunhas.

Gava (1997) avaliou o efeito de K (0, 60, 120, 240 e  $360 \text{ kg ha}^{-1}$ ) em *E. grandis* em segunda rotação, em dois solos, com teores de 0,35 e de  $1,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , observando a resposta à aplicação de K até de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  na produtividade somente no solo com o menor teor do nutriente. Esses resultados coincidem com os apresentados por Barros et al. (1991) que encontraram resposta das árvores a aplicação de K quando o solo apresentava teores de K de 0,6 a  $0,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Faria et al. (2002) avaliando o efeito residual de K (30, 60, 120 e  $240 \text{ kg/ha}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  aplicados no plantio) sobre árvores de *Eucalyptus grandis*, em segunda rotação verificaram que a maior dose de K, aplicada na implantação do povoamento, causou aumento da ordem de 54% no volume e na matéria seca dos troncos das árvores na segunda rotação, em comparação com o tratamento sem adubação. Contudo, da primeira para a segunda rotação houve decréscimo

médio de 52% na produtividade, atribuído à exportação de nutrientes, em especial de K, na rotação anterior, ocasionando a redução na fertilidade do solo.

O aumento do volume de madeira de árvores de *Eucalyptus saligna* e de *E. grandis* com a adubação potássica variou 67% no cerrado do estado de Minas Gerais (BARROS et al., 1981 apud SILVEIRA e MALAVOLTA, 2003). A maioria dos minerais de potássio, entre os quais silvinita, carlinita, kainita, langbeinita, leonita, glasuita, possui, também sódio na sua composição. Todavia, pela facilidade com que o sódio se meteoriza esse elemento é rapidamente lixiviado fazendo com que ocorra concentração de potássio nos solos maior que a de sódio (FASSBENDER e BORNEMISZA, 1987).

A literatura especializada sobre o efeito da aplicação do sódio no crescimento de árvores de espécies do gênero *Eucalyptus* é escassa, destacando-se o resultado apresentado recentemente por Almeida (2009) ao verificar que a fertilização sódica proporcionou árvores com 13% de maior diâmetro do tronco, 18% mais altas e produtividade de madeira de 52% ( $103 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$ ) em relação à testemunha, 36 meses após o plantio.

### **3.7.1 Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto medido por dendrômetro e relações com variáveis climáticas**

Diversos trabalhos têm utilizado, desde a década de 1960, dendrômetros para a avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores tropicais e temperadas, podendo ser citados os realizados por Mariaux (1969 e 1970), Détienne et al. (1988), Détienne (1989), Worbes (1999), Botosso e Tomazello Filho (2001), Sheil (2003), Deslauriers et al. (2003), Biondi, Hartsough e Galindo, 2005, Felker e Leon (2005), Schöngart et al. (2006), dentre outros.

Contudo, em plantações de eucalipto, os trabalhos que aplicam as faixas dendrométricas são escassos, destacando-se o desenvolvido na Itália por Valenziano e Scaramuzzi (1967) durante 1,7 anos mensurando o crescimento em diâmetro do tronco de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus viminalis* de 9 anos. As espécies apresentaram o mesmo padrão de crescimento em diâmetro do tronco, com dois períodos distintos de crescimento: (i) baixo ou nulo no outono/inverno, devido à limitação de temperatura que provocou a interrupção ou parada da atividade cambial e (ii) alto na primavera/verão, devido à retomada da atividade cambial, proporcionado pela temperatura favorável. Não houve relação aparente da distribuição das chuvas com a periodicidade do crescimento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto.

Green (1969) mensurou por 6 meses, com dendrômetros, as variações em diâmetro do tronco de árvores de *Eucalyptus pauciflora*, em duas altitudes na Austrália, correlacionando com as variáveis climáticas. Concluiu que, no verão, houve queda na curva de crescimento sazonal das árvores devido ao estresse hídrico, o que aumentou a taxa de perda de água e reduziu a absorção das raízes das árvores, limitando sua atividade cambial.

Marien e Thibout (1980) acompanharam, durante 2 anos na França, o incremento do tronco de árvores de eucalipto com 5-7 anos. Observaram a existência de um ponto crítico de temperatura ( $6^{\circ}\text{C}$ ) em que o crescimento em diâmetro do tronco é muito baixo, contudo, acima deste, o crescimento é contínuo e regular, exceto quando ocorre déficit hídrico.

Usando dendrômetros, Poole (1986), acompanhou o crescimento em diâmetro do tronco de árvores de *Eucalyptus regnans* por 3 anos (4-7 anos). As maiores taxas de crescimento em diâmetro do tronco das árvores ocorreram no outono-inverno, principalmente nos meses de janeiro-fevereiro e setembro-novembro (Figura 3), devido aos altos níveis de precipitação. No verão e de forma mais acentuada nos meses de junho e julho, houve queda no crescimento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto, o que foi atribuído aos baixos níveis de precipitação. A temperatura não apresentou influência aparente no crescimento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto.

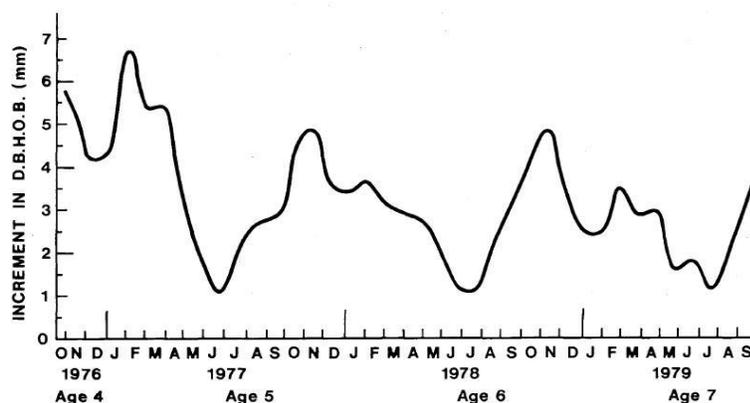


Figura 3 - Incremento mensal em DAP de árvores de *Eucalyptus regnans*. Fonte: Poole (1986)

O crescimento em diâmetro do tronco de árvores jovens (1 ano) de *Eucalyptus globulus*, em Portugal, foi monitorado por Pereira et al. (1989), durante 2 anos, através de dendrômetros, quando submetidas a diferentes tratamentos: controle (C), fertilização mineral (F), irrigação (I) e irrigação + fertilização mineral (IL). A combinação de irrigação e fertilização promoveu maiores taxas de crescimento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto, sendo observadas maiores e

significativas taxas de crescimento nos Tratamentos F, I e IL em relação ao Tratamento C. Não foram evidenciadas, durante o período das mensurações, variações sazonais pronunciadas, principalmente nas árvores de eucalipto dos Tratamentos F e IL. Contudo, nos meses de julho e agosto (verão), o estresse hídrico inibiu o crescimento em diâmetro do tronco, nas árvores dos Tratamentos C e F, não sendo observado efeito aparente da temperatura.

O padrão de crescimento do tronco, avaliado a cada dia, através de dendrômetros pontuais, foi obtido por Downes, Beadle e Worledge (1999) para árvores de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens* irrigadas e controle. A interação entre as variáveis climáticas e o crescimento cambial das árvores das 2 espécies de eucalipto é complexa e atua durante todo o ano. A precipitação explica entre 22 e 36 % da variação do incremento em diâmetro do tronco diário das árvores, sendo este resultado atribuído ao aumento do incremento imediatamente após as chuvas (Figura 4). Os resultados indicam a necessidade do melhor entendimento da interação entre variáveis climáticas e o crescimento cambial ao nível da fisiologia de toda a árvore, com o objetivo de compreender o efeito sobre a atividade cambial e, desta forma, no crescimento do tronco.

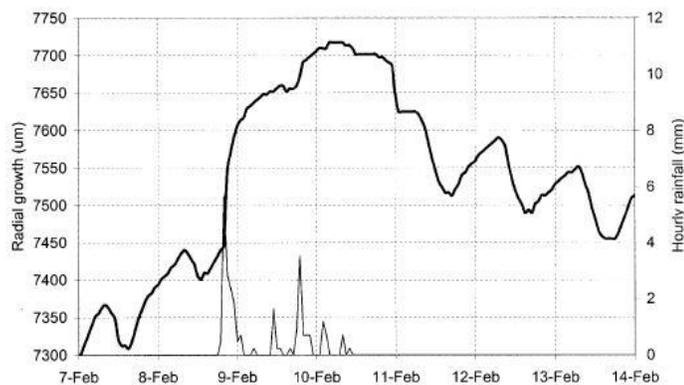


Figura 4 - Efeito da precipitação (linha basal delgada) no incremento em diâmetro do tronco (linha espessa) de árvores de *Eucalyptus globulus*. Fonte: Downes, Beadle e Worledge (1999)

O crescimento radial do tronco de árvores de *Eucalyptus nitens*, de 6 anos, em diferentes regimes de irrigação, foram mensurados por Wimmer, Downes e Evans (2002), por 2 estações de crescimento, na Tasmânia, com o uso de dendrômetros (variação diária). As árvores submetidas à seca severa tiveram baixos incrementos do tronco e as irrigadas foram suscetíveis às mudanças do clima. A Figura 5 mostra o ciclo diário de incremento em diâmetro do tronco das árvores de

eucalipto no verão, durante 3 dias: (i) retração ou redução do crescimento (S), geralmente ocorrendo no início da manhã, (ii) recuperação ou aumento no crescimento (R), definido como a fase do ciclo durante o qual ocorre o aumento do incremento e (iii) incremento (I) fase do crescimento do tronco até a retração ocorrida no dia seguinte.

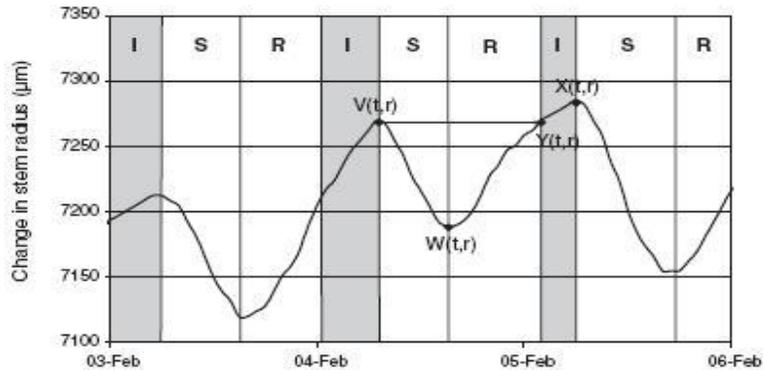


Figura 5 - Ciclo diário de mudanças no diâmetro do tronco. Fonte: Downes e Evans (2002)

Laclau et al. (2005) utilizaram faixas dendrométricas para estudar o incremento do tronco de árvores de eucalipto em plantações clonais do 6-9º ano, estabelecidas em solos de savana no litoral do Congo. Concluíram que existe um forte efeito da sazonalidade climática sobre o crescimento das árvores de eucalipto, com o máximo ocorrendo no final da estação chuvosa (janeiro-maio) e o mínimo durante a estação seca (junho-setembro) (Figura 6). É relevante observar que o mínimo absoluto de cada ano ocorreu sempre 2 meses após as primeiras precipitações da estação chuvosa. Os dados de biomassa de folhas e raízes finas mostraram que o mínimo do crescimento do tronco das árvores correspondia à formação de novas folhas e raízes finas, indicando que grande parte dos nutrientes disponíveis foram alocados na produção de folhas e de raízes e não para o crescimento em diâmetro do tronco.

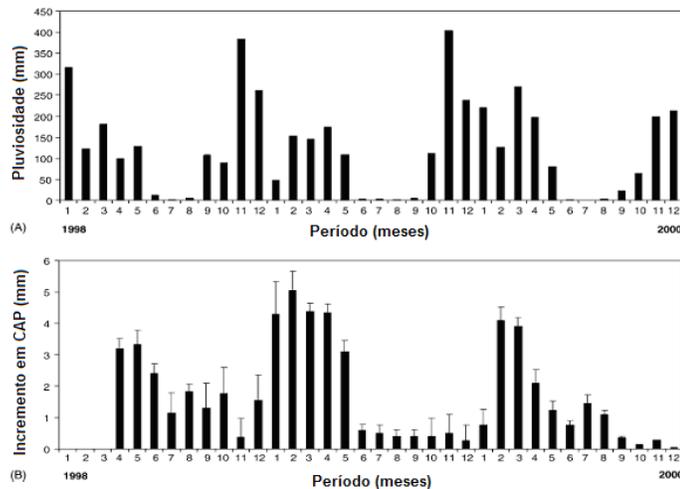


Figura 6 - Precipitação mensal (A) e incremento mensal do tronco de 30 árvores de eucalipto de abril de 1998 a dezembro de 2000 (B). Fonte: Laclau et al., 2005

O crescimento em diâmetro do tronco de árvores jovens de *Eucalyptus grandis* foi monitorado por Sette Jr et al. (2008), durante 2 anos, através de dendrômetros de aço, submetidas a diferentes tratamentos de fertilização. Segundo os autores, o crescimento em diâmetro do tronco das árvores foi afetado pelos tratamentos de fertilização mineral e pelas variáveis climáticas.

### 3.8 Taxa de crescimento das árvores e a qualidade do lenho

Em árvores de *Eucalyptus grandis*, de 20 anos (plantação) e 45-250 anos (florestas naturais), de acordo com Bamber, Floyd e Humphreys (1969), não foram observadas correlações significativas entre as dimensões das fibras, densidade do lenho e a taxa de crescimento das árvores. Bamber e Humphreys (1963) não obtiveram correlações significativas entre o comprimento das fibras e a densidade do lenho de árvores de *Eucaliptos grandis*, de 5-25 anos de diferentes diâmetros e altura.

Ferreira (1970, 1971, 1972, 1973) informa que a densidade básica média do lenho das árvores de *Eucalyptus alba* (*E. urophylla*), aos 5-7anos, não apresentam relação com o diâmetro do tronco, com variações pronunciadas de 0,44-0,67 g/cm<sup>3</sup>; nas árvores de *E. saligna* ocorreu um acréscimo da densidade básica do lenho com o aumento do DAP; nas árvores de *E. grandis*, aos 11-16 anos, a maior densidade básica do lenho ocorre nas árvores mais vigorosas. A densidade e os parâmetros anatômicos do lenho não mostraram correlação significativa com a taxa de

crescimento das árvores de *Eucalyptus pilularis*, de 5 e 30 anos, segundo Bamber e Curtin (1974).

Analisando a variação da densidade básica da madeira de árvores de *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. saligna* em função da idade (2-9 anos) e da qualidade do sítio, Ferreira, Freitas e Ferreira (1978) constataram que os menores incrementos diamétricos do tronco correspondem à maior densidade do lenho. Da mesma forma, Higgins e Hudman (1973) relata que uma taxa de crescimento das árvores de eucalipto abaixo da normal, como resultado de condições desfavoráveis, pode resultar na formação de maior densidade básica do lenho.

Hillis (1968) menciona que a densidade média do lenho não é influenciada ou é fracamente correlacionada com a taxa de crescimento, tendo sido reportadas algumas exceções. Evidências da independência da densidade e taxa de crescimento das árvores são resultado dos estudos de Bamber, Floyd e Humphreys (1969) e Taylor (1973b) com *E. grandis* e Skolmen (1972) com *E. robusta* no Havaí. No entanto, o lenho de árvores de *E. grandis* de menores taxas de crescimento, em Zâmbia, mostraram densidades mais altas em comparação com árvores de elevadas taxas (HANS; BURLEY; WILLIAMSON, 1972); árvores de *E. camaldulensis* com altas taxas de crescimento, em Israel, produziram lenho de menor densidade (TISCHLER, 1976).

Relacionando os valores de densidade básica do lenho e o diâmetro das árvores de *Eucalyptus microcorys*, de 8 anos, Souza, Della Lucia e Resende (1979) observaram que nas menos vigorosas (DAP < 10 cm) a densidade básica média foi significativamente inferior (0,57 g/cm<sup>3</sup>) em relação às dominantes (DAP > 15 cm, densidade: 0,61 g/cm<sup>3</sup>). Analisando as plantações comerciais de *Eucalyptus urophylla*, *E. saligna* e *E. grandis* na região de Mogi Guaçu, Ferreira, Freitas e Ferreira (1979) não constataram efeito significativo entre a taxa de crescimento das árvores e densidade do seu lenho. Brasil, Veiga e Mello (1979) não observaram correlações significativas entre a densidade básica do lenho e a taxa de crescimento das árvores de *Eucalyptus grandis*, aos 3 anos, indicando que a seleção das árvores com densidades desejáveis deve ser feita dentro das classes diamétrais.

Carpim e Barrichelo (1983) avaliando a variabilidade da densidade básica da madeira de 4 espécies de *Eucalyptus* spp, verificaram que o *E. saligna* e o *E. dunnii* mostraram melhor correlação entre a densidade do lenho e vigor das árvores. A influência da taxa de crescimento na anatomia do lenho de árvores de *E. bancroftii*, *E. dealbata*, *E. goniocalyx*, *E. macrorrhyncha* e *E. sideroxylon*, de 40 anos, foi analisada por Wilkes e Abbott (1983). A frequência dos vasos (n<sup>o</sup> de

vasos/mm<sup>2</sup>) foi maior no lenho das árvores de menor crescimento; a % de área ocupada pelos vasos e o diâmetro dos vasos foi maior no lenho das árvores de maior crescimento. Para o comprimento das fibras e volume em % dos raios não houve diferenças significativas.

Para árvores de *Eucalyptus albens*, *E. bancroftii*, *E. dealbata*, *E. goniocalyx*, *E. macrorrhyncha* e *E. sideroxylon*, de 40 anos, na Austrália, não foram detectadas correlações significativas entre a sua taxa de crescimento e densidade do lenho, conforme Wilkes (1988). Em *E. grandis*, com 7 anos, Carpin e Barrichelo (1984) verificaram que para a procedência (i) África do Sul, as classes de árvores de maior diâmetro possuem as menores densidades básicas do lenho, (ii) Coff's Harbour, o aumento da densidade básica do lenho acompanhou o crescimento das classes diamétricas e (iii) África do Sul (especial), não apresentou diferença significativa entre a densidade básica do lenho e as classes diamétricas das árvores.

Em florestas de *Eucalyptus grandis*, de 7 anos, com 3 níveis de produtividade em resposta as características do solo, Migliorini et al. (1988) determinaram que a densidade básica do lenho é inversamente proporcional ao ritmo de crescimento das árvores em cada nível de produtividade. Wilkes (1988) em revisão da literatura sobre as variações da anatomia do lenho de espécies de eucaliptos, concluiu que inexistiram correlações significativas entre a densidade do lenho e a taxa de crescimento das árvores. Na avaliação da variabilidade anatômica, química e física da madeira de árvores de *Eucalyptus globulus*, de 10-12 anos, Jorge (1994) não constatou o efeito dos sítios selecionados em relação ao comprimento das fibras no lenho, bem como uma pequena relação com a sua densidade. A densidade e o comprimento das fibras do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis*, de 3, 5, 7 e 9 anos, na Índia, não se correlacionaram de forma consistente com a sua altura e o diâmetro. Bhat, Bhat e Dhamodaran (1990) observaram somente para o 9º ano, uma fraca e positiva correlação da densidade do lenho e o crescimento das árvores; para o comprimento das fibras houve, da mesma forma, somente uma correlação significativa e negativa com o DAP.



## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Local

O experimento foi instalado na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga/SP, do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, 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 1.400 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<sup>-1</sup> de argila) com a litologia composta por arenito, formação Marília, do Grupo Bauru. Os resultados da análise do solo na fase da implantação do experimento encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo da área experimental

Profundidade	pH	K	Ca	Mg	Na	H+Al	SB	CTC
m	água				mmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup>			
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

Fonte: MAQUÈRE, 2009

### 4.2 Delineamento experimental

O incremento em diâmetro do tronco e as propriedades do lenho das árvores de *Eucalyptus grandis* foram avaliados do experimento de campo (vide Figura 7) implantado em abril/2004 e que compõe o Projeto de Pesquisa “Resposta do *Eucalyptus grandis* a adubação potássica e a substituição do potássio por sódio”. O ensaio foi implantado em um delineamento experimental em blocos casualizados com 3 tratamentos e 4 blocos. Cada parcela é constituída de 81 árvores, não sendo consideradas as 2 linhas de bordadura, para evitar a influência dos tratamentos de fertilização das parcelas adjacentes.

Na área de implantação do projeto de pesquisa foram distribuídos no solo 2.000 kg/ha de calcário dolomítico, a lancha e sem incorporação. O potássio e sódio foram aplicados em 3 vezes no primeiro ano (1/3 no plantio, 1/3 aos 6 meses e 1/3 aos 12 meses). Os tratamentos receberam, também, 80 kg de  $P_2O_5$ , 45 kg de N ( $NH_4(SO_4)_2$ ) e 45 kg de FTE (BR-12)/ha como fonte de micronutrientes. Na adubação de cobertura realizada no 6º e 12º mês pós-plantio foram aplicados 90 kg de N ( $NH_4(SO_4)_2$ ) e doses de K e Na, em função dos tratamentos, sendo (i) controle, sem aplicação de K; (ii) aplicação de 116 Kg/ha de K ( $K_2O$ ) usada em solos semelhantes por empresa florestadora da região, constituindo-se em importante referência e (iii) aplicação de 68,5 Kg/ha de Na na forma de NaCl.

O corte das árvores de eucalipto, para a coleta das amostras do lenho, foi realizado de forma inteiramente aleatorizada, atendendo a distribuição de área basal das árvores/tratamentos e na bordadura interna das parcelas, nas quais as árvores de eucalipto foram monitoradas quanto ao incremento em diâmetro do tronco. As árvores de eucalipto cortadas encontravam-se distantes das árvores utilizadas no monitoramento contínuo de incremento em diâmetro do tronco.



Figura 7 - Aspecto de parcela experimental com árvores de *Eucalyptus grandis*, na Estação Experimental de Itatinga do Departamento de Ciências Florestais, ESALQ/USP

#### 4.3 Seleção, corte e coleta das amostras do lenho das árvores de eucalipto

Foram selecionadas 5 árvores de eucalipto por tratamento de fertilização (controle, potássio e sódio), por idade (12, 24, 36 e 48 meses) e por distribuição de área basal (1

árvore/classe, total de 5 classes, Anexo A) em um total de 60 árvores amostradas, em delineamento inteiramente aleatorizado. Na determinação das características anatômicas e propriedades mecânicas do lenho foram consideradas apenas 4 classes de área basal das árvores de eucalipto.

As árvores de eucalipto foram cortadas, desramadas e seccionados 3 discos do lenho em 7 posições ao longo do tronco (base, DAP, 3, 6, 9, 12 e 15 m) (Figura 8) para as determinações da densidade (aparente por microdensitometria de raios X, básica pelo método da balança hidrostática, básica por idade cambial), das características anatômicas e concentração de nutrientes no lenho. Os discos do lenho das árvores de eucalipto foram identificados (tratamento, classe de área basal e posição longitudinal), armazenados em sacos plásticos e transportados para o Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP. A seção transversal dos discos do lenho das árvores de eucalipto foi polida para a visualização dos defeitos (segmentos de ramos, nós, fissuras, rachaduras, podridão, etc.). Da mesma forma, dos toretes de lenho das árvores de eucalipto de 48 meses, cortados na base, DAP e a 3 m do tronco (Figura 8) foram confeccionados corpos-de-prova para a avaliação das propriedades mecânicas.

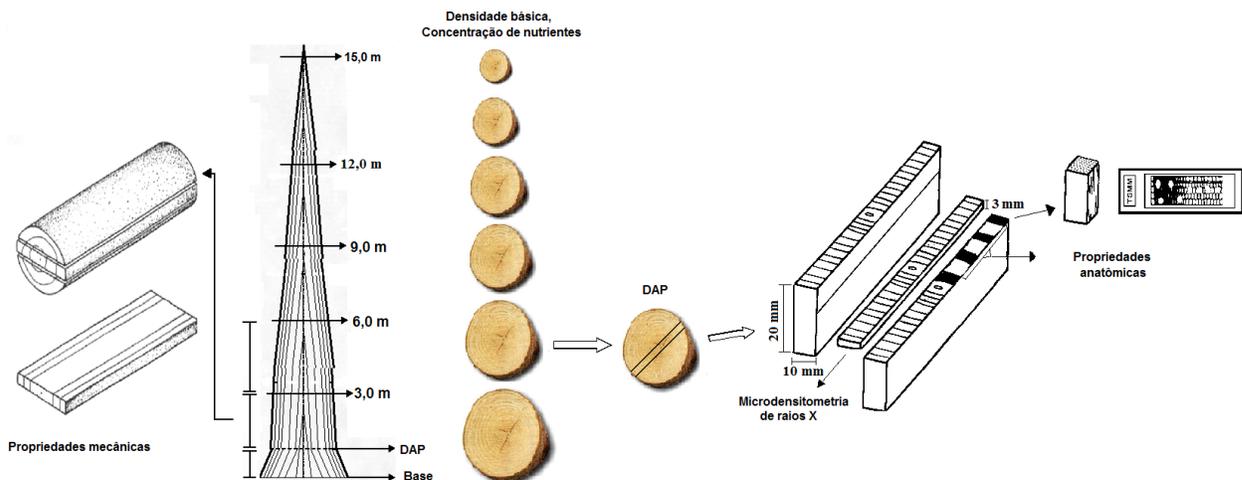


Figura 8 - Amostragem do lenho das árvores de eucalipto para a realização das análises anatômicas-físico-mecânicas e concentração de nutrientes

#### 4.4 Demarcação da idade cambial no lenho das árvores de eucalipto

O crescimento praticamente contínuo do tronco das árvores de eucalipto durante as estações do ano induz a formação de lenho homogêneo, com camadas de crescimento anuais

pouco distintas. A demarcação do lenho das árvores de eucalipto, próximo à casca (no final do 3º ano, ver item 5.2.1) não corresponde à idade das árvores, sendo necessário demarcar a localização das camadas anuais de crescimento ou a idade cambial de formação do lenho. A demarcação da idade cambial (Figura 9), estimada por um modelo de perfil do tronco, foi feita nos discos de lenho cortados nas 4 idades (12, 24, 36 e 48 meses) e em diferentes posições longitudinais (base, 3, 6, 9, 12, 15 e 18 m, de acordo com a altura total) do tronco das árvores de eucalipto para a avaliação da densidade básica e concentração de nutrientes no lenho.



Figura 9 - Demarcação das idades cambiais nas seções do lenho das árvores de eucalipto

O resultado da mensuração da circunferência do tronco sem casca de 8 árvores de eucalipto/tratamento, a cada 1 m no sentido longitudinal do tronco (diâmetro mínimo de 2 cm) realizada anualmente (1, 2, 3, 4º ano) por Laclau (2010) foi utilizado na predição do diâmetro do tronco sem casca ( $d_z$ ) em cada posição longitudinal ( $z$ ) utilizando a eq. (1).

$$\frac{d_z}{d_{1,3}} = \left[ \frac{H - z}{H - 1,3} \right]^{P_1 + P_2 \exp\left(\frac{P_3 z}{P_2 H}\right)} + \varepsilon \quad (1)$$

Onde o erro ( $\varepsilon$ ) segue distribuição normal,  $d_{1,3}$  e  $H$  são diâmetro sem casca a altura de 1,3m e altura total da árvore, respectivamente. Os parâmetros  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$  foram ajustados através da mensuração dos diâmetros do tronco sem casca para as 4 idades (12, 24, 36 e 48 meses) de corte das árvores. Os modelos mostraram baixo desvio padrão residual e distribuição dos resíduos não tendenciosa (imparcial). As mensurações anuais do DAP e da altura total das árvores (LACLAU, 2010) combinadas com a eq. (1) possibilitou estimar o diâmetro sem casca do tronco das árvores das 4 idades para cada posição longitudinal. Desta forma, as camadas de crescimento anuais ou idades cambiais foram demarcadas na seção transversal dos discos de lenho nas diferentes posições longitudinais do tronco (Figuras 9, 10).

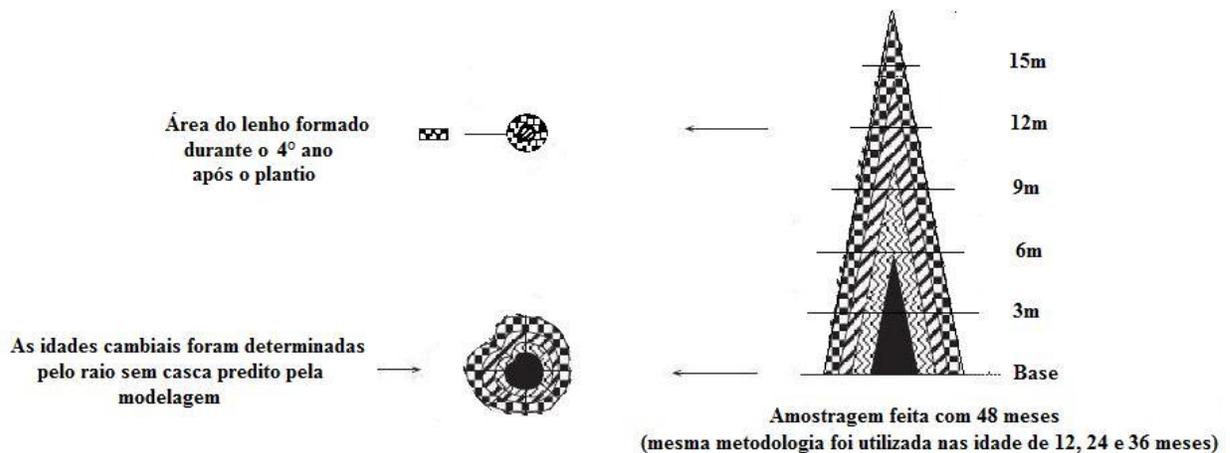


Figura 10 - Amostragem para a demarcação das idades cambiais nas seções transversais do lenho das árvores de eucalipto (Fonte: adaptado de LACLAU et al., 2001).

#### 4.5 Incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto

Na avaliação do incremento em diâmetro do tronco (1,30 m) em 5 árvores de eucalipto/bloco, de acordo com a distribuição de área basal (Anexo B, total de 5 classes), sendo 20 árvores/tratamento (total de 60 árvores) utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com a instalação de faixas dendrométricas (Figura 11A). As faixas dendrométricas foram confeccionadas de acordo com a metodologia descrita por Botosso e Tomazello Filho (2001): fitas de aço inoxidável de 12,7 x 0,15 mm (largura e espessura), com escala em mm e nônio com precisão de leitura de 0,2 mm, mantidas sob tração por uma mola de aço inoxidável de 100 x 8 mm (comprimento e diâmetro) (Figura 11A,B) no tronco das árvores. Para a obtenção do comprimento total das faixas dendrométricas determinou-se previamente a circunferência do tronco das árvores incluindo-se + 17 cm (referente à sobreposição da escala e do nônio). As graduações da escala e nônio foram demarcadas na fita de aço através de gabarito (Figura 11C) com 2 placas metálicas: (i) na borda inferior, com escala de leitura de graduação de 80 mm e (ii) na borda superior, com escala de 10 divisões do nônio. Para a avaliação do incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto foi mensurado o deslocamento das escalas sobrepostas das faixas dendrométricas a cada 14 dias, no período da manhã (8:00-10:00h) e em um mesmo percurso. Os dados registrados foram transferidos para planilhas eletrônicas, transformados em gráficos, sendo então analisados e interpretados para posterior correlação com os tratamentos de fertilização, classes de área basal, variáveis climáticas e densidade aparente média do lenho. Com base nos dados de diâmetro do tronco das árvores, obtidos pela avaliação

através das faixas dendrométricas, calculou-se a área basal de cada árvore que, juntamente com os dados das alturas totais obtidos dos inventários florestais realizados todos os anos por Laclau et al. (2010), foram utilizados para a determinação do volume de lenho (fator de forma = 0,48) das árvores de eucalipto, no período inicial (22ºmês) e final (70ºmês) da avaliação, para posterior relação com os tratamentos de fertilização e classes de área basal.

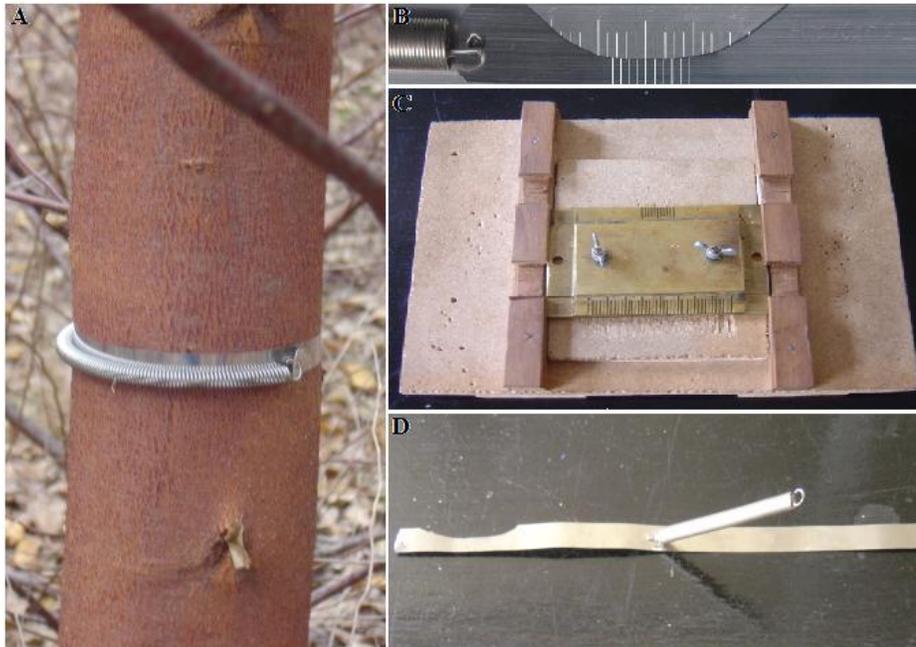


Figura 11 - Confecção e instalação da faixa dendrométrica no tronco da árvore. (A) faixa dendrométrica no tronco da árvore, (B) sobreposição da escala e do nônio, (C) gabarito para gravação da escala e do nônio, (D) detalhe da faixa dendrométrica com escala e mola.

#### 4.6 Variáveis climáticas

Os valores da temperatura média, máxima e mínima (°C), precipitação acumulada (mm), umidade relativa do ar (%) e volume de água no solo em diferentes profundidades (m<sup>3</sup>/ha) no período de fevereiro/2006 a fevereiro/2010 foram coletados na Estação Meteorológica da Estação Experimental de Itatinga/SP (800 m da área experimental) e agrupados a cada 14 dias, de modo a coincidir com as leituras das faixas dendrométricas, para posterior correlação com os valores de incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto. O déficit de pressão de vapor (DPV) foi determinado pelo método de Penman-Monteith FAO (PM-FAO apud MELLO, 1998) através da eq. (2), com a pressão de saturação de vapor ( $e_s$ ) calculada pela eq. (3) usando-se a

temperatura média (TM) e a pressão parcial de vapor (ea) pela eq. (4) usando-se a umidade relativa do ar (UR).

$$DPV = (es - ea) \quad (2)$$

$$es = 0,611e^{17,27TM / TM + 237} \quad (3)$$

$$ea = \frac{UR}{100} * es \quad (4)$$

## 4.7 Propriedades físicas do lenho das árvores de eucalipto: densidade aparente e básica

### 4.7.1 Densidade aparente do lenho das árvores por microdensitometria de raios X

A densidade aparente do lenho por microdensitometria de raios X foi determinada de acordo com a metodologia aplicada no Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro-UTAD, Vila Real, Portugal (LOUSADA, 1999). Foram selecionados discos do lenho da altura do DAP do tronco de 15 árvores de eucalipto (5 árvores/tratamento), com 48 meses, sendo demarcadas e cortadas amostras diametrais (20x10 mm, largura x espessura) nas seções transversais e, em seguida, coladas em suportes de madeira. Em equipamento de dupla serra circular paralela foram seccionadas amostras finas do lenho (3,0 mm de espessura) no sentido transversal ao alinhamento das fibras (Figura 12A) e acondicionadas (câmara de climatização, 20°C, 48 h, com dicromato de sódio) a 53% UR, para atingir 12% de umidade de equilíbrio da madeira (Figura 12B). As amostras do lenho de eucalipto e os padrões de acetato de celulose (cunha de calibração) (Figura 12C) foram transferidas para equipamento de raios X (Seifert JSO; 2,40 m distância da fonte de raios X-filme) e radiografadas (5 min de exposição, 18 Kv de tensão aceleradora no tubo, 12 mA de corrente de aquecimento do cátodo) (Figura 12D). Os filmes radiográficos das amostras de madeira + cunha de calibração foram revelados e fixados (4 m), a 20°C, com o revelador Kodak LX24 e o fixador Kodak AL4. As radiografias contendo as amostras do lenho e os padrões de acetato de celulose foram submetidas ao microdensitometro de raios X de duplo feixe JOYCE LOEBL MK3 (Figura 12E) que determina a densidade ótica das amostras do lenho. A densidade da madeira foi determinada pela comparação da densidade das imagens em filmes radiográficos com a cunha de calibração de

acetato de celulose (com densidade ótica e densidade real conhecida), aferindo a uniformidade da radiografia e calculando as equações de regressão entre a densidade ótica e a densidade real. Estes valores de densidade aparente da madeira foram agrupados em segmentos de 5% do lenho e utilizados para a construção dos perfis radiais e para a determinação da densidade aparente média, máxima, mínima e o índice de heterogeneidade para cada segmento e posterior relação com os tratamentos de fertilização aplicados, com as classes de área basal, posições radiais e variáveis climáticas e de crescimento. O índice de heterogeneidade foi medido pelo desvio padrão de todos os valores de densidade dentro de cada segmento do raio. Desta forma foi medido a heterogeneidade (variabilidade) que existe dentro de cada segmento do raio.

Quando o crescimento radial do tronco é mensurado, através de faixas dendrométricas, de árvores cujas amostras foram cortadas para a determinação da densidade aparente do lenho é possível inferir aproximadamente a data de formação desta madeira (re-escala). Neste trabalho, como as árvores monitoradas com dendrômetros são diferentes das árvores cortadas para a determinação da densidade da madeira, utilizou-se para a re-escala, árvores monitoradas com dendrômetros que apresentaram diâmetros semelhantes ou iguais aos diâmetros das árvores cortadas para a determinação da densidade aparente da madeira (Anexo C). As espessuras das cascas das amostras radiais cortadas para a determinação da densidade aparente do lenho foram mensuradas e utilizadas para a definição da equação de regressão linear ( $R^2=0,99$ ) (eq. 5) que permitiu a correção dos dados de crescimento radiais, retirando-se destes a espessura da casca. A re-escala dos dados de densidade aparente média do lenho permitiu a obtenção de valores a cada 14 dias, ou de acordo com a data de leitura dos dendrômetros, possibilitando a correlação destes valores com os de crescimento e com os das variáveis climáticas (temperaturas, precipitação etc.), também a cada 14 dias.

$$\text{Raio sem casca}=0,9096*\text{Raio com casca} \quad (5)$$

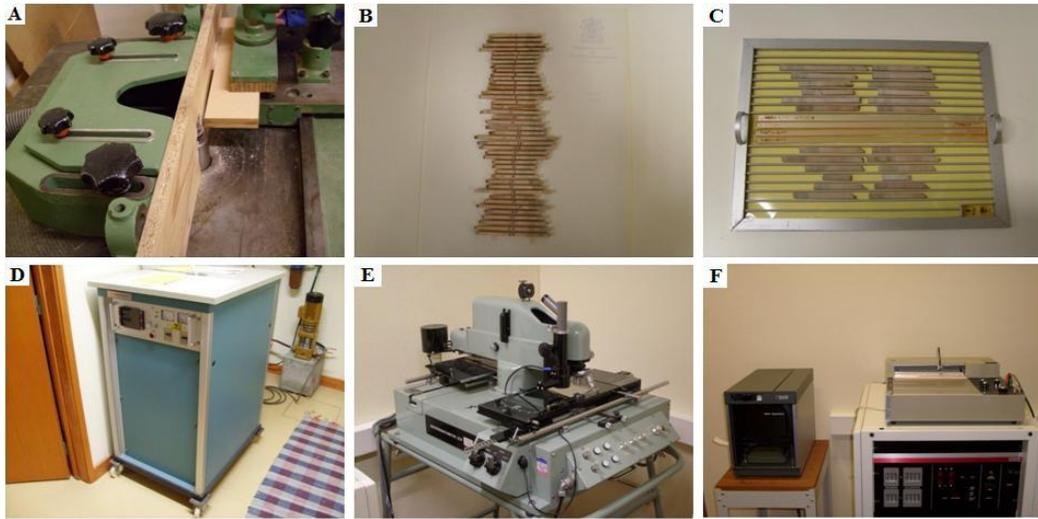


Figura 12 - Microdensitometria de raios X em madeiras: (a) corte das amostras do lenho; (b) seções transversais das amostras; (c) suporte com as amostras do lenho e padrão de acetato de celulose; (d) irradiação das amostras do lenho em equipamento de raios X; (e) microdensitômetro de raios X; (f) “output” dos valores de densidade ótica em fita perfurada e traçador de gráficos

#### 4.7.2 Densidade básica do lenho das árvores de eucalipto

Foram selecionadas 15 árvores de eucalipto (5 árvores/tratamento) com 24, 36 e 48 meses (total 45 árvores) sendo cortados discos de lenho em diferentes alturas do tronco (base, DAP, 3, 6, 9, 12, 15 e 18m, de acordo com a altura total). Os discos de lenho foram imersos em água até a saturação completa e obtenção do peso úmido e imerso, secos em estufa ( $103 \pm 2^\circ\text{C}$ ) para a determinação do peso e da densidade básica do lenho, pelo método da balança hidrostática. Os valores de densidade básica do lenho foram ponderados pelo volume de cada seção (tora) e, para as árvores de 48 meses, utilizados na determinação da relação com os tratamentos de fertilização, classes de área basal e variação longitudinal. Os valores da densidade básica do lenho das árvores de 24 e 36 meses foram utilizados, juntamente com os das árvores de 48 meses, na determinação da sua variação em relação à idade das árvores. Na seção transversal dos discos de lenho foram demarcadas e cortadas amostras de lenho formado em cada idade cambial (item 4.4; Figura 13), imersas em água, determinado o volume verde e peso seco em estufa ( $103 \pm 2^\circ\text{C}$ ), e calculada a sua densidade básica. Os valores da densidade básica do lenho foram ponderados pela massa de cada idade cambial e utilizados na determinação da sua variação com a idade cambial (idade de formação do lenho no tronco das árvores).

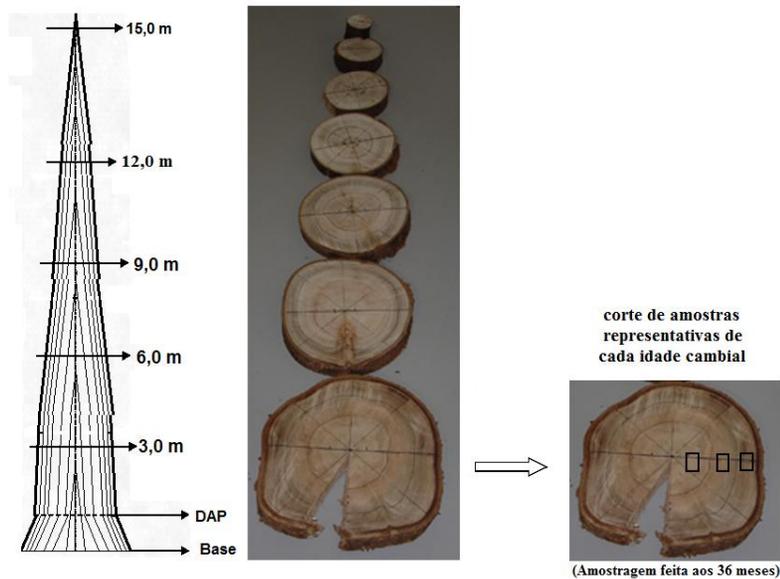


Figura 13 - Amostragem do lenho nos sentidos longitudinal e radial (idade cambial) do tronco das árvores de eucalipto para a determinação da densidade básica

## 4.8 Características anatômicas do lenho das árvores de eucalipto

### 4.8.1 Dimensões das fibras e dos vasos no lenho das árvores de eucalipto

As avaliações das propriedades anatômicas do lenho foram realizadas no Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro-UTAD, Vila Real, Portugal.

Das árvores de eucalipto com 24 e 48 meses foram selecionados os discos de lenho da altura do DAP (total de 30 árvores, 15 árvores/idade, 5 árvores/tratamento), demarcando e cortando amostras do lenho (20 x 10 mm, largura x espessura) em 4 posições radiais (direção medula-casca; 0, 33, 66 e 100% do raio) e submetidas ao processo de maceração pelo método de Franklin (JOHANSEN, 1940). Da suspensão de fibras foram preparadas lâminas histológicas temporárias, coletando-se imagens sob microscopia de luz (20x) (Figura 14-1) para a mensuração do seu comprimento com o programa de análise de imagem *Image Pro Plus*, atendendo as normas da IAWA (IAWA COMMITTEE, 1989). Os valores do comprimento das fibras obtidos aos 48 meses foram relacionados com os tratamentos de fertilização, classes de área basal, posição radial e demais propriedades do lenho. Os valores obtidos aos 24 meses foram utilizados,

juntamente com os de 48 meses, para a determinação da variação do comprimento das fibras com a idade das árvores de eucalipto.

Nas amostras do lenho na altura do DAP do tronco das 30 árvores de eucalipto com 24 e 48 meses foram demarcados corpos de prova (20 x 10 mm, largura x espessura) em 4 posições radiais (0, 33, 66 e 100%), imersos em água a ebulição para a saturação e amolecimento, fixados em micrótomo de deslize e cortadas seções transversais (15-20  $\mu\text{m}$  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 (3 imagens/posição, 360 imagens) sob microscopia de fluorescência (100x) para a mensuração da largura, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras (Figura 14-2A), aplicando o programa de análise de imagem *Image Pro Plus* e atendendo as normas da IAWA (IAWA Committee, 1989). As imagens da seção transversal do lenho depois de calibradas, de acordo com a ampliação de captura (Figura 14-2B), foram submetidas à aplicação de filtro tipo Rank, uniformizando os tons de verde da parede celular, tornando-as mais homogêneas e definidas. As imagens foram divididas em 4 quadrantes iguais, indicativos de 4 repetições (Figura 14-2A). Em seguida, traçou-se uma linha de perfil para definir a intensidade da cor verde a cada ponto ou pixel, com variação de acordo com a estrutura da fibra (alta intensidade na parede celular; baixa intensidade no lume) (Figura 14-2C). Para cada ponto ou pixel foi definido um valor de intensidade da cor verde, com 1 pixel= 0,46  $\mu\text{m}$  (Figura 14-2D). O limite da parede celular/lume das fibras foi definido na intensidade 50, após a aplicação do zoom na imagem, sendo a parede celular caracterizada pelos valores de pixel 50 ou superior (Figura 14-2C,D). Em seguida, foram relacionados os valores obtidos com os de cada ponto ou pixel (ex: para a largura da parede celular com 10 valores de intensidade superiores a 50 a largura é  $10 \times 0,46 = 4,6 \mu\text{m}$ ). Essa metodologia foi validada pela mensuração das dimensões de 20 fibras do lenho/4 posições radiais de discos do DAP de 3 árvores de eucalipto (total de 240 fibras) pelo método clássico, com amostras do lenho maceradas. A largura total da fibra foi obtida pela soma dos valores da espessura da parede e do lume. Os valores das dimensões transversais das fibras, obtidas aos 48 meses, foram relacionados com os tratamentos de fertilização, com as classes de área basal, posições radiais e demais propriedades do lenho das árvores de eucalipto. Os valores obtidos aos

24 meses foram utilizados, juntamente com os de 48 meses, para a determinação da variação das dimensões transversais das fibras com a idade das árvores de eucalipto.

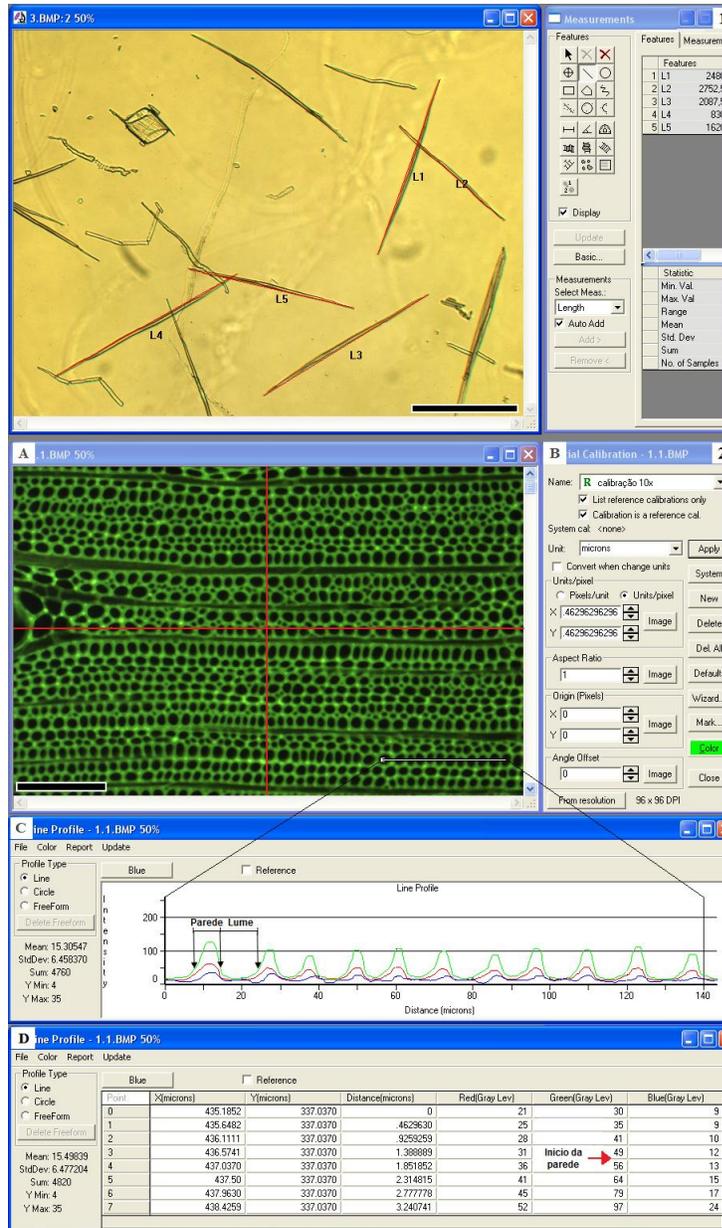


Figura 14 - Avaliação do comprimento (1), largura, espessura da parede e diâmetro do lume (2) das fibras no programa de análise de imagem *Image Pro Plus*. Barra: 300 (1) e 50 $\mu$ m (2)

Para a avaliação das dimensões e frequência dos vasos no lenho das árvores de eucalipto foram examinadas as lâminas histológicas e imagens digitais da estrutura anatômica da seção transversal, conforme descrito anteriormente. Com o programa de análise de imagem *Image Pro*

Plus foram determinados o diâmetro tangencial, a área ocupada e a frequência dos vasos (Figura 15A, eq. 6). Para a avaliação das dimensões dos vasos, foram calibradas as imagens digitais de acordo com a ampliação e, em seguida, mensurados o diâmetro, a área e a frequência de vasos (Figura 15 B,C,D). Os valores das dimensões e da frequência dos vasos obtidos aos 48 meses foram relacionados com os tratamentos de fertilização, classes de área basal, posições radiais e demais propriedades do lenho das árvores de eucalipto. Os valores obtidos aos 24 meses foram utilizados, juntamente com os de 48 meses, para a determinação da variação das dimensões e frequência dos vasos com a idade das árvores de eucalipto.

$$\text{Frequência dos vasos} = (\text{n}^\circ \text{ de vasos/área da imagem}) \times 100 \quad (6)$$

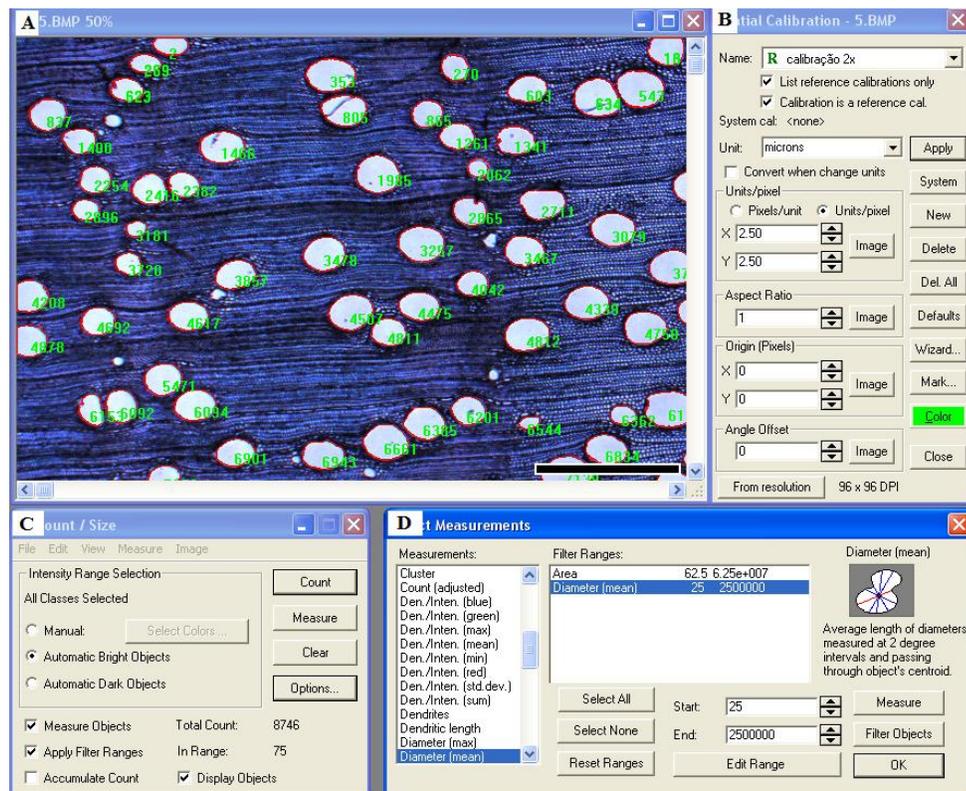


Figura 15 - Avaliação do diâmetro e da frequência dos vasos no programa de análise de imagem *Image Pro Plus*. Barra: 300 $\mu$ m

#### 4.9 Propriedades mecânicas do lenho das árvores de eucalipto

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaios de Materiais da Faculdade de Ciências Agrônomicas - FCA/UNESP, atendendo-se os procedimentos recomendados pela NBR-

7190/1997 – Projeto de estruturas de madeira. Foram realizados ensaios mecânicos de compressão paralela às fibras (resistência) e de flexão estática (resistência e rigidez).

Os corpos-de-prova foram confeccionados a partir de toretes (seções das toras) extraídos imediatamente acima dos discos de madeira retirados da base, do DAP e aos 3 m de altura do lenho das árvores aos 48 meses (Figura 8). De cada torete foi serrada a prancha central (10cm, espessura) e, a partir dela, foram retirados corpos-de-prova, respeitando-se o mínimo de dois corpos-de-prova por torete (em posições diametralmente opostas) e por ensaio mecânico (compressão paralela e flexão). Por essa razão, considerando-se os pequenos diâmetros das árvores, foi feita uma adequação (redução) das dimensões originalmente preconizadas pela NBR 7190/97 para a seção transversal dos corpos-de-prova, compatibilizando-as com a disponibilidade do material e mantendo-se a proporcionalidade original entre as suas dimensões (1:1:3, largura1:largura2 e comprimento, no caso de compressão paralela e 1:1:23, largura, altura e comprimento, no caso de flexão estática), preconizada pela NBR 7190/97. As dimensões assim obtidas foram mantidas para os corpos-de-prova de todos os toretes.

Os ensaios foram conduzidos com os corpos-de-prova na umidade da madeira em equilíbrio ao ar (12%), atingida por climatização dos corpos-de-prova em câmara com temperatura e umidade relativa controlados. Todos os corpos-de-prova tiveram seus teores de umidade determinados utilizando-se a eq. (7).

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad (7)$$

Onde:  $m_i$  - massa inicial e  $m_s$  – massa seca

No ensaio de compressão foi determinada a resistência da madeira. A resistência à compressão paralela as fibras ( $f_{c0}$ ) é dada pela máxima tensão de compressão ( $F_{c0máx}$ ) que pode atuar em um corpo-de-prova de área (A) conhecida, sendo dada pela eq. (8).

$$f_{c0} = \frac{F_{c0máx}}{A} \quad (8)$$

No ensaio de flexão estática foram determinadas a resistência e a rigidez da madeira. A resistência à flexão ( $f_M$ ) é um valor convencional dado pela máxima tensão ( $M_{máx}$ ) que pode atuar no corpo-de-prova no ensaio de flexão simples, calculado com a hipótese da madeira ser um material elástico (eq.9). A rigidez é determinada pelo Módulo de Elasticidade ( $E_M$ ) da madeira, obtido pela inclinação da reta secante a curva “carga - deslocamento” determinada no meio do

vão (L) e definida pelos pontos ( $F_{10\%}; V_{10\%}$ ) e ( $F_{50\%}; V_{50\%}$ ) correspondentes, respectivamente, a 10% e 50% da carga máxima do ensaio (eq. 10). Para os dois ensaios, os valores de resistência e rigidez da madeira na umidade de equilíbrio ao ar foram corrigidos para o valor referencial de 12% de umidade, com uso da expressão proposta pela NBR 7190/97 para essa finalidade.

$$f_M = \frac{M_{\text{máx}}}{b * h^2} \quad (9)$$

$$E_M = \frac{(F_{M,50\%} - F_{M,10\%}) * L^3}{(V_{50\%} - V_{10\%}) * 4 * b * h^3} \quad (10)$$

Onde: b e h são, respectivamente, base e altura do corpo-de-prova e L o comprimento do vão.

#### 4.10 Concentração de nutrientes no lenho das árvores de eucalipto

As análises da concentração de nutrientes no lenho foram realizadas no Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agronômica para o Desenvolvimento (CIRAD/França). Os discos de madeira cortados nas idades de 12, 24, 36 e 48 meses, em diferentes posições longitudinais e nos três tratamentos de fertilização, passaram pelo procedimento da demarcação da idade cambial, conforme descrito no item 4.4. Amostras do lenho, representativas de cada idade cambial, foram obtidas, para cada disco, utilizando-se equipamento de serra-fita, totalizando 312 amostras para posterior moagem em moinho de facas (MESH 40). Das amostras moídas foram determinadas as concentrações de potássio e sódio, em  $g \text{ kg}^{-1}$ , usando um espectrômetro sequencial, após a digestão por ácido fluorídrico e dupla calcinação. No tratamento com aplicação de sódio, foram realizadas análises apenas nas amostras de lenho cortadas nas idades de 12, 24 e 36 meses.

A massa de nutrientes (mineralomassa) de cada idade cambial ( $M_{nutr}$ )<sub>i</sub> foi calculada pela ponderação das concentrações com a massa de lenho desta idade cambial, utilizando a eq. (11).

$$(M_{nutr})_i = \frac{\sum_{z=0}^n C_z M_z}{\sum_{z=0}^n M_z} \quad (11)$$

Onde  $C_z$  e  $M_z$  são, respectivamente, a concentração mineral e a massa de lenho da idade cambial  $i$  na posição longitudinal  $z$  e  $n$  é o número de posições longitudinais amostrados em cada árvore. A massa de lenho de cada idade cambial foi calculada utilizando-se a eq. (12).

$$M_{z(i-1,i)} = V_{z,i} * D_{z,i} \quad (12)$$

Onde  $M_{z(i-1,i)}$  é a massa correspondente ao lenho formado entre a idade  $(i-1)$  e a idade  $i$  na posição longitudinal  $z$ ,  $V_{z,i}$  é o volume de lenho na idade cambial  $i$  (considerando um disco de 1 cm de espessura a cada altura) e  $D_{z,i}$  a densidade do lenho (determinada conforme apresentado no item 4.7.2) da idade cambial  $i$ . A mineralomassa no lenho por hectare foi calculada utilizando-se a biomassa de lenho das árvores dos tratamentos, quantificada por Laclau et al. (2010), aos 12, 24, 36 e 48 meses.

As retranslocações dos nutrientes foram calculadas para as árvores em cada uma das árvores pela diferença da massa de nutriente entre a idade  $(i-1)$  e a idade  $i$  para cada idade cambial (Figura 16).

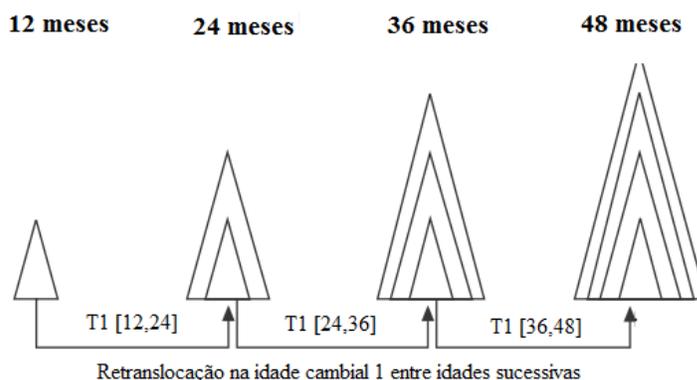


Figura 16 - Método utilizado para o cálculo das retranslocações dos nutrientes no lenho. Fonte: adaptado de Laclau et al. (2001)

#### 4.11 Análises estatísticas

Na análise estatística dos resultados foram aplicados os programas BASIC e SAS (SAS INSTITUTE, 1997), sendo aferidos os “outliers” e heterogeneidade da variância. Na análise do incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto (fevereiro de 2006-2010) utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso; para as características anatômicas e propriedades físico-mecânicas do lenho o inteiramente aleatorizado. Para os resultados foi utilizada a análise de variância (ANOVA) verificando o efeito da fertilização, classes de área basal, posições radiais e longitudinais do tronco e interações, sendo aplicado o teste de Tukey, ajustado a 95% de

probabilidade. Foram também realizadas análises de regressões múltiplas (stepwise) visando selecionar as variáveis que explicam o incremento em diâmetro do tronco das árvores, densidade aparente média e as propriedades mecânicas do lenho.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Diâmetro e volume do tronco das árvores de eucalipto

Os valores de incremento corrente e acumulado do tronco no DAP das árvores de eucalipto nos tratamentos controle, com potássio e com sódio, obtidos pela mensuração das faixas dendrométricas, a cada 14 dias, ao longo de 48 meses, são apresentados na Figura 17 A,B e Anexos D, E. Pela análise da Figura 17, observam-se períodos caracterizados por variações temporais dos incrementos máximos e mínimos do tronco das árvores de eucalipto.

Os períodos de *máximo incremento corrente* do tronco no DAP das árvores compreendem valores de 0,04-0,18 cm (Figura 17A, Anexo D), ocorrendo em todos os anos de avaliação, a saber: em 2006 (de fevereiro a maio, setembro e início dos meses de julho, outubro e dezembro), em 2007 (novembro, início dos meses de abril, maio e final dos meses de julho, agosto), em 2008 (início dos meses de fevereiro, agosto, outubro, final dos meses de março, abril, maio e dezembro), em 2009 (início dos meses de maio, junho, meados de julho, final de dezembro) e em 2010 (final do mês de fevereiro).

Os períodos de *mínimo incremento corrente* do tronco no DAP das árvores compreendem valores de 0,00-0,09 cm (Figura 17A, Anexo D), ocorrendo, igualmente, em todos os anos de avaliação, a saber: em 2006 (novembro, meados de agosto e final de outubro), em 2007 (janeiro, setembro e outubro e final de fevereiro), em 2008 (julho, dezembro e novembro e início de setembro), em 2009 (fevereiro, março, final de abril, início de outubro e de novembro e meados de dezembro) e em 2010 (início de fevereiro).

Os resultados indicam maior diferença no incremento corrente do tronco no DAP das árvores de eucalipto para os três tratamentos de fertilização nos períodos de maiores taxas de incremento, diminuindo significativamente nos períodos de menores taxas de incremento (Figura 17A). Ainda com relação à Figura 17A, observa-se, de maneira geral, que as árvores adubadas com potássio e sódio apresentaram taxas de incremento corrente do tronco superiores em relação às árvores controle, nos 48 meses de avaliação. Em alguns períodos (setembro de 2006, novembro de 2007 e outubro de 2008), as árvores do tratamento com sódio apresentaram maiores taxas de incremento corrente em relação aos demais tratamentos, sendo que estes períodos ocorreram logo após uma queda acentuada no incremento, mostrando uma maior capacidade de

recuperação do ritmo de incremento do tronco das árvores com sódio. A mensuração do incremento inicial do DAP do tronco das árvores (Figura 17B) de eucalipto dos tratamentos controle, potássio e sódio indica valores de 6,6; 8,3 e 7,5 cm, respectivamente, representativos das diferenças existentes no 22º mês de crescimento das árvores (fev./2006). Nesta fase inicial, as árvores que receberam aplicação de potássio e sódio já apresentavam diâmetros do tronco superiores as do controle. O efeito dos tratamentos de fertilização pode ser avaliado no período de 48 meses, com as árvores dos tratamentos controle, potássio e sódio apresentando diâmetros de 11,7; 14,2 e 13,2 cm, respectivamente, no 70º mês de crescimento (fev./2010). Nesta fase, as diferenças observadas no período inicial (22º mês) se mantêm, com as árvores adubadas com potássio e sódio apresentando maiores diâmetros do tronco, no final do monitoramento com as faixas dendrométricas.

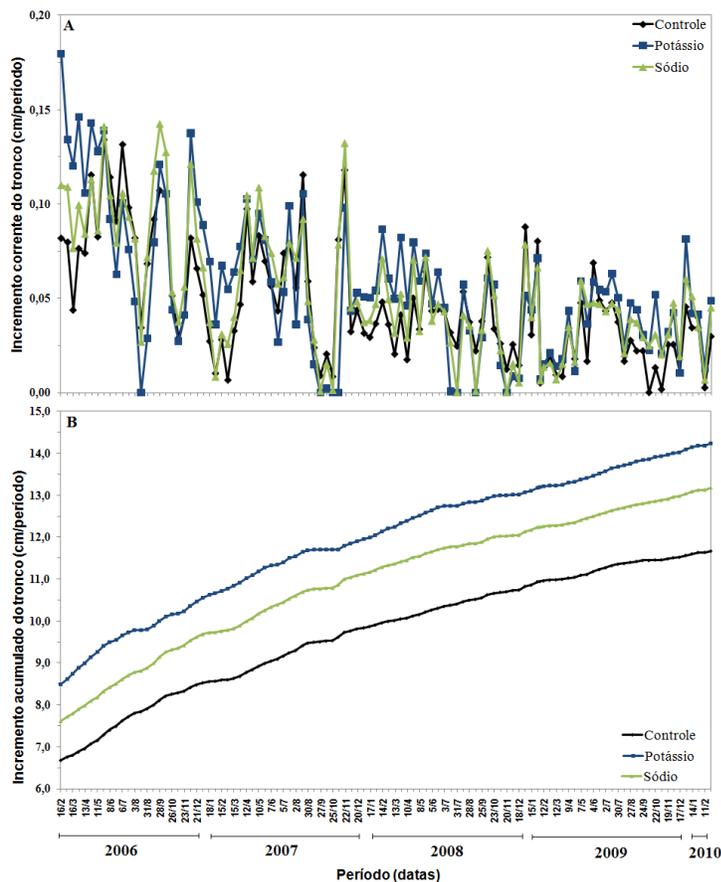


Figura 17 - Incremento corrente (A) e acumulado (B) do tronco no DAP das árvores de eucalipto a cada 14 dias nos tratamentos controle, com potássio e sódio, no período de 48 meses

O diâmetro e volume de lenho do tronco das árvores de eucalipto na etapa inicial (fev./2006; 22º mês) e final (fev./2010; 70º mês) para os 3 tratamentos de fertilização, incluindo os valores de incrementos acumulados no período de 48 meses e no de máximo e mínimo crescimento, são apresentados na (Tabela 2).

Na etapa inicial, ao 22º mês da implantação do experimento, além dos valores do diâmetro do tronco das árvores descritos anteriormente, verificam-se diferenças no volume de lenho do tronco, nos tratamentos controle, potássio e sódio, com valores de 0,015; 0,030 e 0,025 m<sup>3</sup>, respectivamente. Da mesma forma, no 70º mês o volume do tronco das árvores dos tratamentos com potássio e sódio foi superior ao controle, com valores de 0,160; 0,113 e 0,070 m<sup>3</sup>, respectivamente. As análises estatísticas demonstraram que o diâmetro e volume do tronco das árvores adubadas com potássio e sódio foram estatisticamente superiores em relação ao das árvores controle.

Analisando-se as diferenças em incremento do tronco no DAP das árvores de eucalipto, entre o 22º e 70º mês, confirma-se o efeito significativo dos tratamentos de fertilização com potássio e sódio, em relação ao controle, com valores de 5,9, 5,7 e 5,1 cm, respectivamente (Tabela 2). A diferença em incremento em volume do lenho das árvores de eucalipto, no mesmo período, indica significância estatística do tratamento de fertilização com potássio (induzindo maior formação de lenho), seguida do sódio e do controle, com valores de 0,130; 0,088 e 0,055 m<sup>3</sup>, respectivamente.

O incremento acumulado do tronco no período de máximo crescimento (IAMáx.) das árvores dos tratamentos controle, potássio e sódio foram de 2,6, 3,1 e 2,9 cm, respectivamente, representando 50, 52 e 50% do incremento total. Nesse período destacaram-se os meses de março, abril, maio e setembro de 2006; agosto e novembro de 2007; início de fevereiro e final de dezembro de 2008; final de janeiro e final de dezembro de 2009, com valores de 1,1 a 5,5% do incremento em diâmetro do tronco das árvores no período total de monitoramento (Anexo D). O incremento acumulado do tronco no período de mínimo crescimento (IAMín.) das árvores foram de 0,6 cm, para os três tratamentos, representando 10-12% do incremento total. Nesse período destacaram-se os meses de setembro e outubro de 2007; julho, setembro, novembro e dezembro de 2008 e fevereiro de 2010, com incremento nulo em diâmetro do tronco das árvores. Os valores de IAMáx. e IAMín. demonstram, conforme já mencionado, a maior diferença no incremento para

os três tratamentos de fertilização nos períodos de maiores taxas de incremento, sendo que esta diferença diminui nos períodos de menores taxas de incremento.

Tabela 2 - Diâmetro (cm) e volume (m<sup>3</sup>) de lenho do tronco das árvores de eucalipto na etapa inicial (fev./2006; 22º mês) e final (fev./2010; 70º mês) com os respectivos incrementos, no período de 48 meses, no de máximo e mínimo crescimento, nos 3 tratamentos de fertilização

Parâmetro	Período	Tratamento		
		Controle	Potássio	Sódio
Diâmetro (cm)	inicial	6,6 a (0,3)	8,3 b (0,8)	7,5 b (0,5)
	final	11,7 a (0,6)	14,2 b (1,2)	13,2 b (0,8)
	incremento	5,1 a (0,2)	5,9 b (0,5)	5,7 b (0,3)
Volume (m <sup>3</sup> )	inicial	0,015 a (0,002)	0,030 b (0,005)	0,025 b (0,002)
	final	0,070 a (0,017)	0,160 b (0,025)	0,113 c (0,019)
	incremento	0,055 a (0,011)	0,130 b (0,019)	0,088 c (0,012)
IA <sub>máx</sub> <sup>1</sup>		2,6 a (0,1)	3,1 b (0,1)	2,9 b (0,1)
IA <sub>min</sub> <sup>2</sup>		0,6 a (0,1)	0,6 a (0,1)	0,6 a (0,1)

Médias seguidas de desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, **na linha**, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. <sup>1</sup>incremento acumulado do tronco no DAP no período de máximo incremento; <sup>2</sup>incremento acumulado do tronco no DAP no período de mínimo incremento

O efeito positivo da adubação potássica, sobre o crescimento das árvores de eucalipto, foi constatada por diversos autores como Barros et al. (1981, apud SILVEIRA e MALAVOLTA, 2003); Barros; Novais e Neves (1990); Faria et al. (2002); Gava (1997); Novais; Barros e Neves (1986); Scatolini et al. (1996); Valeri et al. (1996). O teor de potássio no solo mostra uma estreita relação com o material de origem e com o grau de intemperismo: portanto, solos arenosos pobres em potássio ou com elevado nível de intemperismo, como os latossolos, característicos da área experimental apresentam, normalmente, resposta positiva a adição de potássio (MALAVOLTA, 1980; LOPES, 1984; FASSBENDER e BORNEMISZA, 1987). O potássio é considerado com um nutriente indispensável para inúmeros e importantes processos fisiológicos das árvores, como a fotossíntese, a translocação de fotoassimilados, a abertura e fechamento de estômatos, incluindo e a ativação de cerca de 60 sistemas enzimáticos (RAIJ et al., 2000).

A literatura especializada sobre o efeito da aplicação do sódio no crescimento de espécies do gênero *Eucalyptus* é escassa, destacando-se o trabalho de Almeida (2009) que verificou a resposta positiva a fertilização sódica das árvores de eucalipto, com 36 meses, com incremento de 13% em diâmetro, 18% em altura e 52% em produtividade de madeira (103m<sup>3</sup>/ha<sup>-1</sup>) em relação ao controle. Para o entendimento do papel do sódio na fisiologia das árvores há necessidade de

maiores pesquisas, podendo substituir parcialmente o potássio nas funções relacionadas ao controle osmótico e, talvez, em algumas reações enzimáticas. Sutcliffe e Baker (1989) mencionaram a participação do sódio na ativação de ATPases em animais o que, possivelmente, pode acontecer também em plantas. Os mais fortes indícios dessa hipótese têm sido verificados em plantas de beterraba, espinafre, coqueiro, algodoeiro, couve, aveia, batata e, também, em algumas plantas com metabolismo C<sub>4</sub>, com a adição de sais de sódio no solo estimulando o crescimento (SUTCLIFFE e BAKER; 1989; MALAVOLTA, 1980; MENGEL e KIRKBY, 1987; MARSHNER, 1995). Marschner (1995) considera que a substituição do potássio por sódio é de interesse prático e científico, possibilitando a utilização de fertilizantes mais baratos para as árvores de espécies tolerantes e reduzindo os custos de implantação de reflorestamentos.

Os resultados dos inventários florestais conduzidos de forma sistemática por Laclau (2010) nos três tratamentos, até a idade de 66 meses, demonstram as mesmas tendências obtidas com o uso dos dendrômetros de aço (Anexo F). Da mesma forma, a fertilização de potássio e sódio proporcionou um incremento de 55,1 e 41,5 ton. ha<sup>-1</sup> na produção de biomassa de tronco (lenho + casca) de árvores de eucalipto, com 36 meses, correspondendo a 107 e 56 % da biomassa das árvores do tratamento controle (26,1 ton. ha<sup>-1</sup>) (ALMEIDA, 2009). Nesse aspecto, a aplicação da fertilização como ferramenta comum e de ação efetiva na melhoria da qualidade do sítio, aumentando a taxa de crescimento das árvores, foi destacada por inúmeros autores, como Larson (1963) e Mello et al. (1970).

Os valores de incremento corrente e acumulado do tronco no DAP das árvores de eucalipto nas classes de área basal 1, 2, 3, 4 e 5, obtidos pela mensuração das faixas dendrométricas, a cada 14 dias, ao longo de 48 meses, são apresentados na Figura 18 A,B. Pela análise da Figura 18, e assim como o mencionado anteriormente para os tratamentos de fertilização, observam-se períodos caracterizados por variações temporais dos incrementos máximos e mínimos do tronco das árvores de eucalipto.

Os resultados indicam, da mesma forma, maior diferença no incremento corrente do tronco no DAP das árvores de eucalipto para as cinco classes de área basal nos períodos de maiores taxas de incremento, diminuindo significativamente nos períodos de menores taxas de incremento, com as árvores de maiores dimensões (classes 4 e 5) sofrendo maior redução, no período de mínimo incremento (IAMín.), se comparado com as árvores de menores dimensões (classes 1, 2 e 3) (Figura 18A).

A mensuração do incremento inicial do DAP do tronco das árvores (Figura 18B) de eucalipto das classes 1, 2, 3, 4, e 5 indica valores de 5,2; 6,6; 7,6; 8,7 e 9,7 cm, respectivamente, representativos das diferenças existentes no 22º mês de crescimento das árvores. Nesta fase inicial, as árvores das classes de área basal superiores (4 e 5) já apresentavam diâmetros do tronco maiores em relação as demais classes. O efeito das dimensões das árvores (classes de área basal) pode ser avaliado no período de 48 meses, com as árvores das classes 1, 2, 3, 4 e 5 apresentando diâmetros de 8,1; 11,3; 13,7; 15,7 e 17,2 cm, respectivamente, no 70º mês de crescimento. Nesta fase, as diferenças observadas no período inicial (22º mês) se mantêm, com as árvores das maiores classes de área basal apresentando maiores diâmetros do tronco, no final do monitoramento com as faixas dendrométricas, resultado dos diâmetros iniciais e taxas de incremento diferentes.

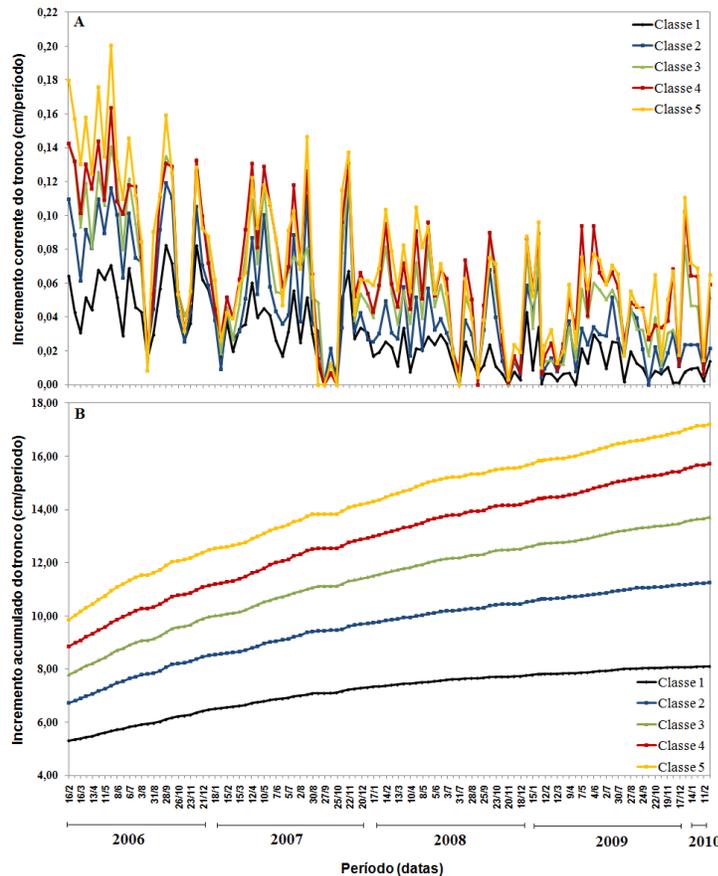


Figura 18 - Incremento corrente (A) e acumulado (B) do tronco no DAP das árvores de eucalipto a cada 14 dias por classe de área basal, no período de 48 meses

O diâmetro e volume de lenho do tronco das árvores de eucalipto na etapa inicial (fev./2006; 22º mês) e final (fev./2010; 70º mês) para as 5 classes de área basal, incluindo os

valores dos incrementos acumulados no período de 48 meses e no de máximo e mínimo crescimento, são apresentados na (Tabela 3).

Na etapa inicial, ao 22º mês da implantação do experimento, além dos valores do diâmetro do tronco das árvores apontados, verificam-se diferenças no volume de lenho do tronco, nas classes de área basal 1, 2, 3, 4 e 5, com valores de 0,010; 0,015; 0,024; 0,027 e 0,033 m<sup>3</sup>, respectivamente. Da mesma forma, no 70º mês o volume do tronco das árvores das classes de área basal 4 e 5 foi superior ao das classes 1, 2 e 3, com valores de 0,147; 0,152; 0,084; 0,105 e 0,128 m<sup>3</sup>, respectivamente. As análises estatísticas demonstraram que o diâmetro e volume do tronco das árvores de maiores dimensões (classes 4 e 5) foram superiores aos das de menores dimensões (classes 1, 2 e 3).

Analisando as diferenças em incremento do tronco no DAP das árvores de eucalipto, entre o 22º e 70º mês, confirma-se o efeito significativo das árvores pertencentes as maiores classes de área basal (4 e 5), em relação as das menores classes (1, 2 e 3), com valores de 7,0; 7,5; 2,9; 4,6 e 6,1 cm, respectivamente (Tabela 3). A diferença em incremento em volume do lenho das árvores de eucalipto, no mesmo período, indica significância estatística das classes 4 e 5 (induzindo maior formação de lenho), seguida das classes 3, 2 e 1, com valores de 0,119; 0,119; 0,104; 0,090 e 0,074 m<sup>3</sup>, respectivamente. Os resultados demonstram o maior potencial das árvores de eucalipto com maiores dimensões (sistema radicular-parte aérea) na assimilação dos fatores de crescimento, sejam água e nutrientes do solo e da luz solar. A maior homogeneidade no crescimento das árvores dos povoamentos e a maximização da produtividade são metas do manejo florestal sustentado.

O incremento acumulado do tronco no período de máximo crescimento (IAMáx.) das árvores das classes 1, 2, 3, 4 e 5 foram de 1,5; 2,5; 3,1; 3,6 e 3,8 cm, respectivamente, representando, 52, 53, 51, 51 e 51% do incremento total. O incremento acumulado do tronco no período de mínimo crescimento (IAMín.) das árvores foram de 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 e 0,7 cm, representando, de 10-13% do incremento total. Os resultados mostram, da mesma forma, as maiores diferenças no incremento das árvores de eucalipto para os 5 classes de área basal nos períodos de maiores taxas de incremento (IAMáx.), diminuindo significativamente nos períodos de menores taxas de incremento (IAMín.).

Tabela 3 - Diâmetro (cm) e volume (m<sup>3</sup>) de lenho do tronco das árvores de eucalipto na etapa inicial (fev./2006; 22º mês) e final (fev./2010; 70º mês) com os respectivos incrementos, no período de 48 meses, no de máximo e mínimo crescimento, nas 5 classes de área basal

Parâmetro	Período	Classes de área basal				
		1	2	3	4	5
Diâmetro (cm)	inicial	5,2 <b>a</b> (0,5)	6,6 <b>b</b> (0,4)	7,6 <b>c</b> (0,4)	8,7 <b>d</b> (0,4)	9,7 <b>e</b> (0,5)
	final	8,1 <b>a</b> (0,9)	11,3 <b>b</b> (1,2)	13,7 <b>c</b> (0,9)	15,7 <b>d</b> (0,7)	17,2 <b>e</b> (0,7)
	incremento	2,9 <b>a</b> (0,4)	4,6 <b>b</b> (0,5)	6,1 <b>c</b> (0,4)	7,0 <b>d</b> (0,5)	7,5 <b>d</b> (0,7)
Volume (m <sup>3</sup> )	inicial	0,010 <b>a</b> (0,002)	0,015 <b>b</b> (0,001)	0,024 <b>c</b> (0,003)	0,027 <b>c</b> (0,002)	0,033 <b>d</b> (0,003)
	final	0,084 <b>a</b> (0,011)	0,105 <b>b</b> (0,009)	0,128 <b>c</b> (0,010)	0,147 <b>d</b> (0,009)	0,152 <b>d</b> (0,022)
	incremento	0,074 <b>a</b> (0,003)	0,090 <b>b</b> (0,004)	0,104 <b>c</b> (0,007)	0,119 <b>d</b> (0,008)	0,119 <b>d</b> (0,008)
IA <sub>máx</sub> <sup>1</sup>		1,5 <b>a</b> (0,3)	2,5 <b>b</b> (0,4)	3,1 <b>c</b> (0,2)	3,6 <b>cd</b> (0,6)	3,8 <b>d</b> (0,4)
IA <sub>min</sub> <sup>2</sup>		0,4 <b>a</b> (0,1)	0,5 <b>a</b> (0,1)	0,6 <b>ab</b> (0,1)	0,7 <b>b</b> (0,1)	0,7 <b>b</b> (0,1)

Médias seguidas de desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, **na linha**, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância.<sup>1</sup>incremento acumulado do tronco no DAP no período de máximo incremento; <sup>2</sup>incremento acumulado do tronco no DAP no período de mínimo incremento

Na avaliação do incremento no DAP do tronco das árvores de eucalipto o efeito das variáveis climáticas pode ser determinado pela ocorrência de períodos de máximo e mínimo crescimento, conforme descrito. Os períodos de máximo incremento do tronco das árvores podem ser explicados (a exceção de maio de 2006, final de agosto de 2007 e final de maio de 2008) pelo seu estágio fenológico (copa formada; folhas maduras com limbo expandido), pela disponibilidade de água no solo, pelos níveis de precipitação (Figura 19) e pelas horas de luz/dia, induzindo aumento da taxa de fotossíntese. Da mesma forma, no início de julho de 2006, com a retomada do período das chuvas, favorecendo a atividade fotossintética das árvores. Desta forma, o estímulo do crescimento do tronco das árvores é devido a ação dos hormônios e carboidratos que, ao deslocar-se no sentido do fluxo floemático descendente, induzem maiores taxas de divisões das células cambiais, proporcionando aumento do crescimento em diâmetro do tronco.

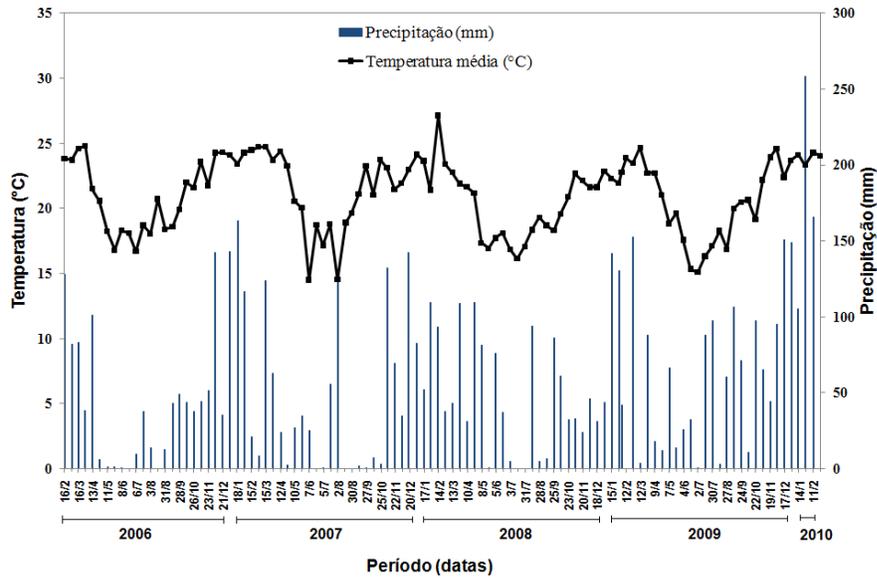


Figura 19 - Precipitação e temperatura média da área experimental

Por outro lado, nos meses de maio de 2006, final de agosto de 2007 e final de maio de 2008, caracterizados pela baixa pluviosidade e redução da temperatura, a taxa de incremento em diâmetro do tronco das árvores é resultado da disponibilidade de água armazenada nas camadas mais profundas do solo, reposta no período chuvoso da estação, conforme apresentado por Laclau (2010) (Figura 20). O efeito da água presente em maiores profundidades no solo e disponível para o sistema radicular das árvores de eucalipto, sustentando o seu crescimento em diâmetro no período de seca foi descrito por Valenziano e Scaramuzzi (1967).

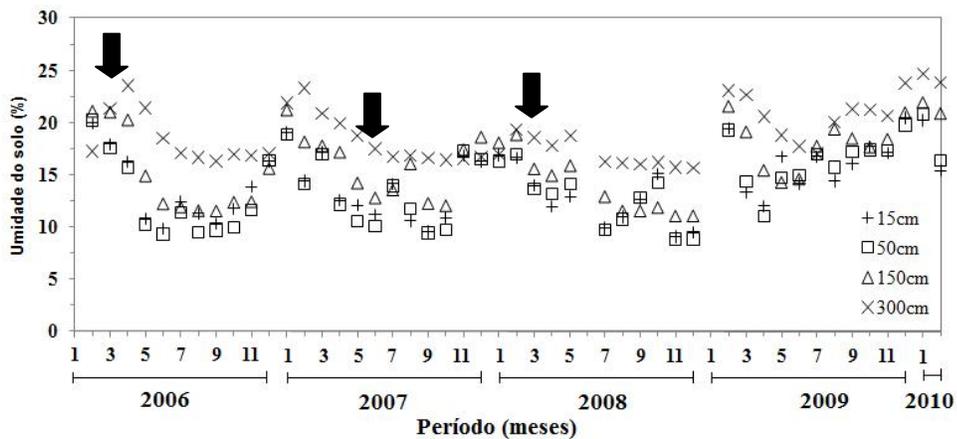


Figura 20 - Variação mensal de umidade a diferentes profundidades do solo. As setas indicam a % de água na camada de 300 cm para os meses de maio/2006/2008 e agosto/2007. Fonte: Laclau (2010)

No período de mínimo crescimento do tronco das árvores - meados de agosto de 2006, final de fevereiro, setembro e outubro de 2007; julho, início de setembro, novembro e dezembro de 2008; final de abril e início de outubro de 2009 - os níveis de precipitação foram limitantes, com valores médios e acumulados de 12,3 e 184,5 mm, respectivamente (Figura 19). Essa resposta do crescimento em diâmetro do tronco tem sido verificada em árvores de várias espécies de eucalipto, conforme demonstrado por pesquisadores, como Downes e Evans (2002); Green (1969); Marien e Thibout, (1980); Pereira et al., (1986); Poole (1986); Valenziano e Scaramuzzi (1967). Para Fahh et al. (1981) a periodicidade da atividade do câmbio e, em consequência, do crescimento em diâmetro do tronco das árvores, é decorrente das alterações da temperatura, comprimento do dia e da precipitação pluviométrica, com os fatores endógenos inerentes a cada espécie controlando o seu ritmo de crescimento.

No mês de novembro e final de outubro/2006 observa-se o mesmo comportamento dos períodos de mínimo crescimento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto sendo, porém, caracterizados por precipitação de maior intensidade - 133 mm acumulados no período de 45 dias - e por temperatura média de 22,3 °C. A redução do crescimento em diâmetro do tronco das árvores nestes períodos é similar a observada por Laclau et al. (2005) para árvores de eucalipto no Congo, 2 meses após o início das primeiras chuvas da estação: foi aventada a hipótese da alocação preferencial dos nutrientes e dos carboidratos para os meristemas apicais e para formação de raízes finas, em detrimento do meristema cambial.

Por outro lado, a redução do incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto - janeiro de 2007; fevereiro, março, início de novembro e meados de dezembro de 2009; início de fevereiro de 2010 - pode estar relacionada aos elevados níveis de precipitação pluviométrica (810 mm no período) e a quantidade de dias nublados (redução de horas luz/dia) e que afetam os processos fisiológicos, como a fotossíntese, a respiração das raízes e a translocação de nutrientes. Outros fatores relacionados com a dilatação/contração da casca, em função da umidade do ambiente podem estar relacionados, embora, não quantificados neste estudo.

A relação entre o incremento do tronco no DAP das árvores de eucalipto e as variáveis climáticas - e sua ordem de importância - foi estudada através da análise de regressão múltipla, considerando-se como repetições o valor médio, por períodos de 14 dias (Tabela 4). Os modelos ecofisiológicos devem ser desenvolvidos para explicar a variação do crescimento das árvores de

eucalipto em função das condições climáticas não se constituindo, no entanto, em objetivo do presente trabalho.

Na análise de regressão foram retiradas as variáveis não significativas - volume de água disponível nas camadas do solo, temperatura máxima e mínima, déficit de pressão de vapor - e de menor interesse na determinação da variação do incremento em diâmetro do tronco. Desta forma, das variáveis analisadas para explicar o incremento em diâmetro do tronco, em regressão Stepwise (5% probabilidade) foram selecionadas a precipitação, temperatura média e a umidade relativa do ar para compor o modelo de regressão (eq. 13). Essas três variáveis explicam 52,% da variação total do incremento em diâmetro do tronco, com a precipitação, temperatura média e umidade relativa do ar, responsáveis por 37, 34 e 29 % da variação (Tabela 4)

$$\text{Inc.} = -0,1378 - 0,0127 * \text{Prec} - 0,0041 * \text{Temp.méd.} + 0,0043 * \text{UR} \quad (13)$$

Tabela 4 - Análise de regressão múltipla entre o incremento do tronco no DAP das árvores de eucalipto (variável dependente) e as variáveis climáticas (variáveis independentes), com base nos valores médios por período de 14 dias

Passos	Prec.	Temp. máxima	Temp. mínima	Temp. média	Umidade do ar	Déficit de pressão de vapor	0-15cm*	0-50cm*	0-150cm*	0-300cm*	R <sup>2</sup>
1	3,58	13,25	30,10	45,67	1,45	2,06	1,82	0,87	0,94	0,17	0,91
2	3,40	13,47	30,48	46,13	1,31	1,85	1,77	0,83	0,76	--	0,91
3	20,14	5,93	--	21,16	8,51	14,00	18,61	5,37	6,27	--	0,87
4	22,79	--	--	22,00	10,59	15,14	20,00	3,22	6,52	--	0,81
5	25,14	--	--	24,00	11,48	16,13	14,97	--	8,24	--	0,75
6	31,13	--	--	27,00	18,81	17,48	--	--	5,63	--	0,69
7	33,17	--	--	29,14	20,05	17,99	--	--	--	--	0,61
9	37,15	--	--	34,16	29,04	--	--	--	--	--	0,52

\*Volume de água disponível nas camadas 0-15; 0-150;0-150 e 0-300cm do solo

a) os valores colocados abaixo das variáveis independentes são os coeficientes estandardizados (betas) e representam a proporção com que cada variável contribui para a determinação da variável dependente, explicada pela regressão; b) o símbolo "--" indica que a variável independente se manifestou não significativa para o nível de probabilidade de  $p < 0,05$

Os resultados da regressão múltipla indicam que as variações máximas e mínimas do incremento do tronco no DAP das árvores de eucalipto estão relacionadas com a precipitação, temperatura média e umidade relativa do ar. Em clones de árvores de eucalipto na Austrália, Drew e Pammenter (2007) observaram um aumento no diâmetro do tronco e na atividade cambial com a maior disponibilidade de água. Para Drew et al. (2009) a taxa de crescimento e a atividade cambial são fortemente regulados pela temperatura do ambiente. Da mesma forma, Drew et al. (2008) e Wimmer et al. (2002) mostraram correlações entre a taxa de incremento do tronco e a

precipitação e a temperatura e, conforme discutido, essas variáveis climáticas induzem um aumento da taxa de fotossíntese e, na seqüência, da atividade cambial.

## 5.2 Propriedades físicas do lenho das árvores de eucalipto

### 5.2.1 Densidade aparente do lenho

Os resultados da variação da densidade aparente média, máxima e mínima e índice de heterogeneidade do lenho do tronco no DAP das árvores de eucalipto, aos 48 meses, nos três tratamentos de fertilização são apresentados na Tabela 5 e Anexos G, H, I e J.

Para a densidade aparente média do lenho não foi verificada diferença significativa dos três tratamentos de fertilização, apesar do forte efeito da aplicação do potássio e sódio no incremento em diâmetro e volume do tronco das árvores de eucalipto (item 5.1). Consta-se que a densidade aparente do lenho das árvores de eucalipto adubadas com potássio é pouco superior, embora com diferença inferior a  $0,02 \text{ g/cm}^3$ .

Da mesma forma, os valores de densidade aparente mínima e máxima do lenho das árvores de eucalipto para os três tratamentos de fertilização não são estatisticamente significativos. Os valores médios de densidade aparente mínima e máxima do lenho variaram de  $0,37\text{-}0,39 \text{ g/cm}^3$  e  $0,57\text{-}0,60 \text{ g/cm}^3$  nos tratamentos controle, potássio e sódio, sendo que a amplitude de variação da densidade aparente do lenho indica a presença de alternância de faixas de crescimento no lenho (vide item 5.4) detectadas pela precisão do método de microdensitometria de raios X, com leituras a intervalos de  $100 \mu\text{m}$ . O índice de heterogeneidade, resultante das variações de densidade aparente ao longo do sentido radial do lenho das árvores mostram valores médios e não significativos de  $0,05\text{-}0,06$  nos três tratamentos de fertilização.

Tabela 5 - Densidade aparente média, máxima, mínima ( $\text{g/cm}^3$ ) e índice de heterogeneidade do lenho das árvores de eucalipto, com 48 meses, por tratamento de fertilização

Tratamento	Densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ )			Índice de Heterogeneidade
	Média	Máxima	Mínima	
Controle	0,48 a (0,04)	0,58 a (0,05)	0,39 a (0,04)	0,05 a (0,01)
Potássio	0,49 a (0,04)	0,60 a (0,06)	0,39 a (0,03)	0,06 a (0,02)
Sódio	0,47 a (0,03)	0,57 a (0,04)	0,37 a (0,03)	0,05 a (0,01)

Médias seguidas do desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, **na coluna**, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05\%$ )

Os valores de densidade aparente média do lenho das árvores de eucalipto obtidos no presente estudo ( $0,48 \text{ g/cm}^3$ ) são inferiores aos apontados por Benjamin (2006) e Tomazello Filho (2006) ( $0,65\text{-}0,70 \text{ g/cm}^3$ ). 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 que a das árvores adultas (HILLIS e BROWN, 1984). As pesquisas referentes ao efeito de fertilizantes minerais nas propriedades da madeira de árvores de eucalipto de idades avançadas (até 30 anos) indicam o aumento (VIGNERON et al., 1995; BOUVET et al., 1999) e a redução (SHIMOYAMA e BARRICHELLO, 1989; WASHUSEN et al., 2005) da densidade do lenho. Em árvores jovens (1-3 anos) de eucalipto, destacam-se os resultados de Bamber et al. (1982) e Pereira e Araujo (1990), que não verificaram efeito significativo da fertilização mineral na densidade do lenho, corroborando os resultados encontrados neste trabalho.

A estratificação das árvores de eucalipto, aos 48 meses, por classes de área basal, indicou que os valores de densidade aparente do lenho média e máxima não mostraram diferenças estatísticas significativas (Tabela 6 e Anexos G,I), verificando-se que a densidade aparente média e máxima do lenho não são influenciadas pela dimensão das árvores de eucalipto. A densidade aparente mínima e índice de heterogeneidade do lenho mostraram significância para determinadas classes de área basal das árvores constatando-se, no entanto, a inexistência de uma tendência consistente de variação (Tabela 6 e Anexos H,J).

Tabela 6 - Densidade aparente média, máxima, mínima ( $\text{g/cm}^3$ ) e índice de heterogeneidade do lenho das árvores de eucalipto, aos 48 meses, por classe de área basal

Classe de área basal	Densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ )			Índice de Heterogeneidade
	Média	Máxima	Mínima	
1	0,52 a (0,03)	0,60 a (0,01)	0,43 a (0,04)	0,05 ab (0,01)
2	0,46 a (0,04)	0,56 a (0,05)	0,35 b (0,03)	0,06 bc (0,01)
3	0,50 a (0,05)	0,58 a (0,07)	0,41 a (0,03)	0,05 a (0,01)
4	0,46 a (0,04)	0,57 a (0,03)	0,36 b (0,02)	0,06 bc (0,01)
5	0,48 a (0,04)	0,59 a (0,03)	0,36 b (0,02)	0,06 c (0,01)

Médias seguidas do teste de comparação de médias e desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, **na coluna**, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05\%$ )

A variação da densidade aparente média, máxima, mínima e índice de heterogeneidade no lenho das árvores das quatro classes de área basal e nos três tratamentos de fertilização mostra que, apesar do efeito das classes de área basal ser reduzido, ocorre de modo diferenciado em cada tratamento (Figura 21).

No tratamento controle, as árvores de eucalipto das classes 1 e 2 apresentaram lenho com a densidade aparente média mais alta, com valores de 0,55 e de 0,50 g/cm<sup>3</sup>. No tratamento com potássio, as árvores das classes 3 e 5 formaram lenho com maior densidade média, com 0,54 e 0,51 g/cm<sup>3</sup> e no tratamento com sódio, as árvores da classe de área basal 4, com 0,51 g/cm<sup>3</sup> (Figura 21A).

Com relação aos valores de densidade aparente máxima e mínima (Figura 21 B,C) do lenho das árvores, observam-se as mesmas variações, com as do tratamento controle formando lenho mais denso nas classes 1 e 2; as do tratamento com potássio nas classes 3 e 5 e as do tratamento com sódio na classe de área basal 4.

O índice de heterogeneidade (Figura 21 D), do lenho das árvores de eucalipto do tratamento com potássio foi maior nas classes de área basal 1 e 2 (0,05 e 0,06); no tratamento com sódio nas classes 3 e 5 (0,05 e 0,07) e nas do tratamento controle na classe 4 (0,06).

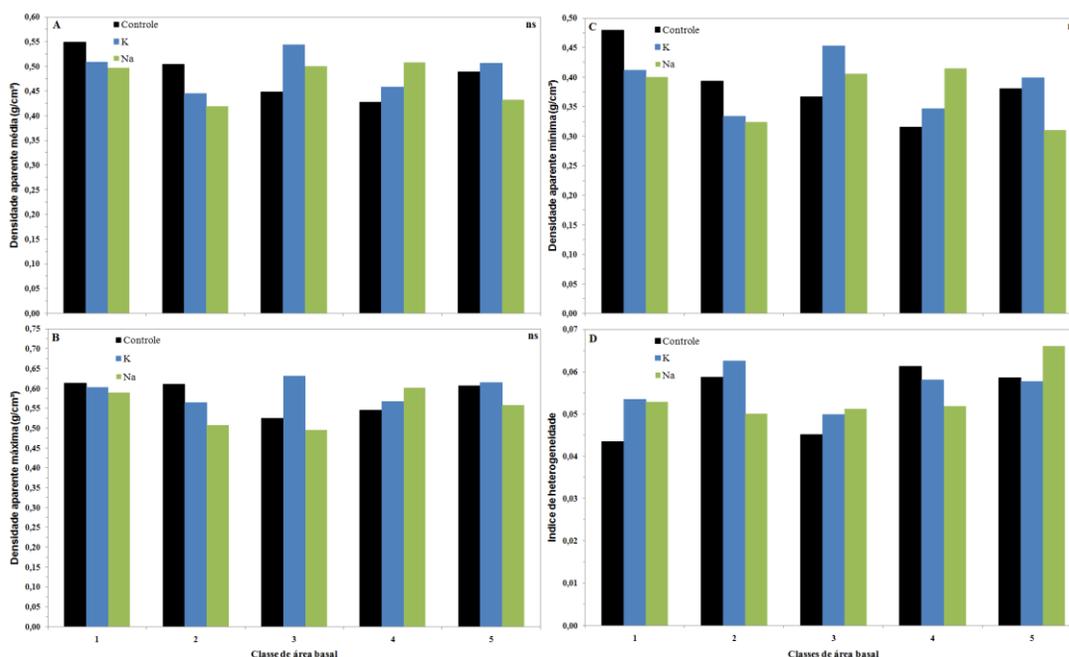


Figura 21 - Variação da densidade aparente média (A) máxima (B), mínima (C) e índice de heterogeneidade (D) do lenho das árvores de eucalipto, aos 48 meses, por classe de área basal e tratamento de fertilização. <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo (p < 0,05)

Hillis (1968); Bamber; Floyd e Humphreys (1969), Skolmen (1972) e Taylor (1973b) mencionaram que a densidade média do lenho não é influenciada ou é fracamente correlacionada

com a taxa de crescimento das árvores de eucalipto tendo sido, no entanto, reportadas algumas exceções.

Alguns autores, como Ferreira (1970, 1971, 1972, 1973); Souza; Della Lucia e Resende (1979) indicaram que as árvores de eucalipto pertencentes às maiores classes de diâmetro apresentaram densidades do lenho mais elevadas. No entanto, Hans; Burley e Williamson (1972); Ferreira; Freitas e Ferreira (1978); Carpin e Barrichelo (1984); Migliorini et al. (1988) relataram que as árvores de eucalipto de menores diâmetros do tronco mostraram maior densidade do lenho.

A variação da densidade aparente média, máxima e mínima e índice de heterogeneidade do lenho, no sentido medula-casca do tronco das árvores de eucalipto, aos 48 meses (Figuras 22,23; Anexos G, H, I e J) indica diferenças estatísticas significativas para os parâmetros de densidade.

Os perfis radiais de variação da densidade aparente do lenho permitem verificar importantes e significativas respostas do crescimento das árvores de eucalipto, nos diferentes tratamentos (Figuras 22, 23). Observam-se, por exemplo, maiores valores de densidade (picos) delimitando uma região interna do lenho (medula até 4,0-5,0 cm do raio) e externa (raio de 5,0; 6,5-7,0 e 6,0 cm nos tratamentos controle, potássio e sódio, respectivamente) do tronco das árvores de eucalipto. A região interna do lenho do tronco é comum a todas as árvores de eucalipto, com modelo de variação da densidade aparente do lenho semelhante, constituída pela madeira juvenil e sem a demarcação das camadas de crescimento. Nessa região, a densidade aparente mínima e máxima do lenho é de 0,25-0,45 e de 0,55-0,65 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Na região externa do lenho do tronco das árvores de eucalipto o modelo de variação da densidade aparente é característico nos três tratamentos, com nítidas camadas de crescimento.

Metodologia similar a aplicada no presente trabalho foi utilizada, anteriormente, por inúmeros autores para analisar o lenho de árvores de diferentes espécies de eucalipto, idades e locais. Técnicas nucleares de atenuação de radiação gama na análise do lenho foram aplicadas por Ferraz (1976); Ferraz e Tomazello Filho (1978); Rezende e Ferraz (1985); Coutinho e Ferraz (1998). A microdensitometria de raios X foi utilizada por Nicholls e Griffin (1978); Nicholls e Matheson (1980); Jorge (1994); Tomazello Filho et al.(1995); Evans e Downes (1995); Lausberg et al. (1995); Oliveira (1997); Lousada (1999); Silva (2002); Wimmer et al. (2002); Silva et al. (2004); Alzate (2004); Moya et al. (2005); Sette Jr (2007), dentre outros.

Os perfis de densidade – por microdensitometria de raios X – do lenho das árvores de eucalipto das classes de área basal média de cada tratamento de fertilização (Figura 22) evidenciam modelo de variação caracterizado por maiores valores na região da medula (0,50-0,65 g/cm<sup>3</sup>), redução e estabilização (0,40-0,50 g/cm<sup>3</sup>) e aumento em direção à casca (0,65-0,80 g/cm<sup>3</sup>), com pequenas diferenças entre os tratamentos. O maior valor da densidade na medula pode ser devido à presença de cristais e de amido nas células de parênquima, conforme verificado por Fonseca e Lousada (2000), Tomazello Filho (2006) e Tomazello Filho et al. (2008) no lenho das árvores de pinus e de eucalipto, além de flutuações de densidade aparente nos perfis devidas às variações de diâmetro/frequência dos vasos e de faixas de fibras de parede mais espessas.

Esses perfis de densidade do lenho apresentam similaridade com os apresentados por Tomazello Filho et al. (1995); Oliveira (1997); Silva (2002); Alzate (2004); Silva et al. (2004); Benjamim (2006); Moya et al. (2005); Tomazello Filho (2006), para árvores de eucaliptos com idades mais avançadas (10 a 30 anos), com menores valores de densidade do lenho região interna do tronco (madeira juvenil), seguida de região de transição e, na sequência, aumento gradativo da densidade em direção a casca (madeira adulta). Portanto, o modelo de variação da densidade aparente do lenho das árvores de eucalipto, com 48 meses, caracteriza-se pela presença de madeira juvenil e início da de transição.

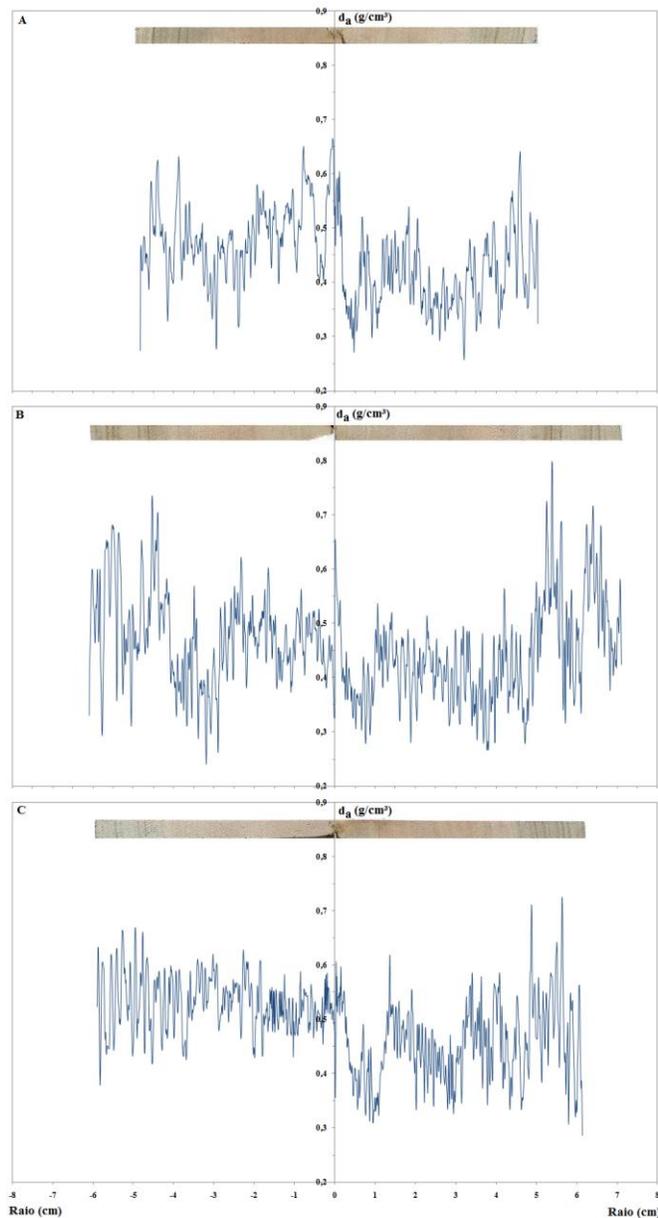


Figura 22 - Variação radial da densidade aparente média ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) do lenho de árvore de eucalipto de classe de área basal média dos tratamentos (A) controle, (B) potássio e (C) sódio

Um dos aspectos mais importantes da análise da variância efetuada para a densidade aparente do lenho e suas componentes são os efeitos aleatórios do resíduo elevados, sendo a principal origem de variação, representando 23,6 a 39,1 % da variação total. Pode-se inferir que a variabilidade natural da densidade do lenho é normalmente elevada e que a sua variação é devida, também, a outros fatores que não somente os analisados, ou seja, os tratamentos de fertilização, classes de área basal e posições no raio do tronco das árvores.

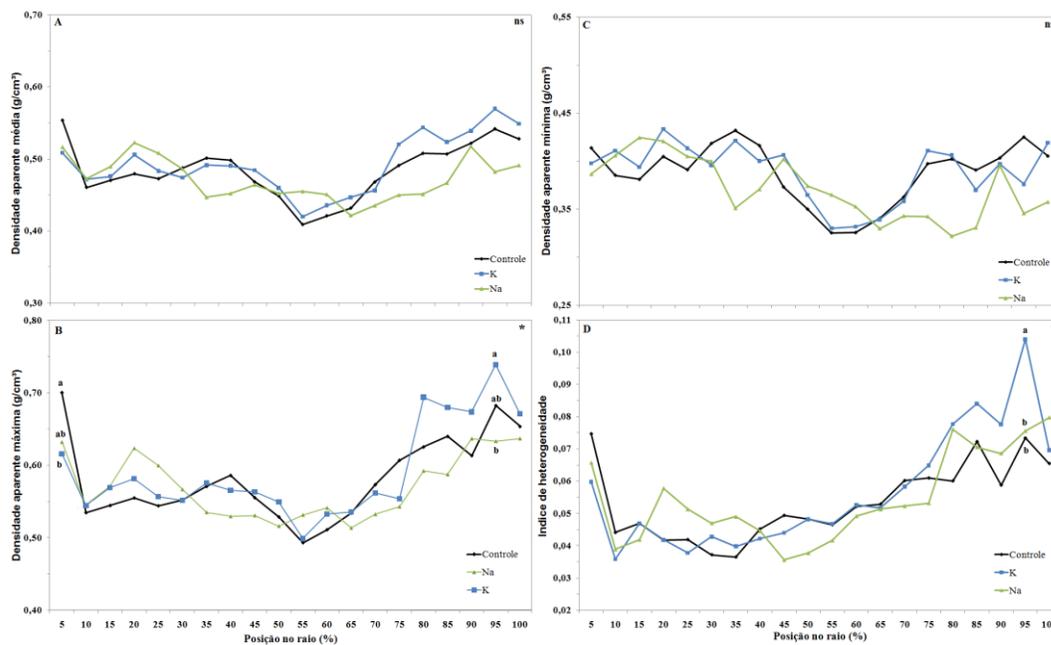


Figura 23 - Variação radial da densidade aparente média (A), máxima (B), mínima (C) e índice de heterogeneidade do lenho no DAP das árvores de eucalipto, aos 48 meses, por classe de área basal e tratamento de fertilização. <sup>ns</sup> não significativo e \*significativo ( $p < 0,05$ ). Posições radiais sem indicação de letra significa que são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ )

Aplicou-se a análise de regressão múltipla para analisar a relação da densidade aparente média do lenho e as demais componentes: densidade aparente máxima, mínima e índice de heterogeneidade, bem como a ordem de sua importância, considerando como repetição os valores médios por posição radial (Tabela 7).

O índice de heterogeneidade foi a variável não significativa retirada, pela menor importância na determinação da densidade aparente média do lenho, não alterando o valor do coeficiente de determinação múltipla. Desta forma, as variáveis selecionadas para explicar a densidade aparente média do lenho, analisadas em regressão Stepwise, a 5% de probabilidade, foram a densidade máxima e mínima, compondo o modelo de regressão (eq. 14) que explica 95,0% da variação total da densidade média, com a densidade máxima e mínima responsáveis por 50,2 e 49,3% da variação.

$$D_{\text{méd}} = 0,0148 + 0,5183 * D_{\text{min}} + 0,4627 * D_{\text{máx}} \quad (14)$$

Tabela 7 - Análise de regressão múltipla entre a densidade aparente média (variável dependente) e suas componentes densidade aparente máxima, mínima e índice de heterogeneidade (variáveis independentes), com base nos valores médios por posição radial

Passos	Dmin	Dmáx	IH	R <sup>2</sup>
1	50,00	49,27	0,55	0,95
2	49,27	50,18	--	0,95

a) os valores colocados abaixo das variáveis independentes são os coeficientes estandardizados (betas) e representam a proporção com que cada variável contribui para a determinação da variável dependente, explicada pela regressão; b) o símbolo "--" indica que a variável independente se manifestou NS para o nível de probabilidade de  $p < 0,05$

Da mesma forma, aplicou-se a análise de regressão múltipla para explicar a relação da densidade aparente média do lenho, o incremento do tronco e as variáveis climáticas (re-escala, ver ítem 4.7.1), bem como a ordem de sua importância, considerando como repetição os valores médios por período de 14 dias (Tabela 8). Das variáveis relacionadas para explicar a densidade aparente média do lenho, analisadas em regressão Stepwise, a 5% de probabilidade, selecionou-se a precipitação para compor o modelo de regressão (eq. 15), explicando 37,0 % da variação total da densidade.

$$D_{\text{méd}} = 0,5199 - 0,0002 * \text{Prec} \quad (15)$$

Além de selecionada para compor o modelo de regressão, a precipitação é inversamente proporcional a densidade da madeira (Figura 24), indicando que, quanto menor/maior o nível de precipitação maior/menor é o valor da densidade média do lenho das árvores de eucalipto – confirma-se a alta sensibilidade da densidade do lenho do tronco das árvores em relação a variação dos níveis de precipitação. Esta metodologia de re-escala foi aplicada por Drew et al. (2009) na Austrália para os dados de densidade do lenho de árvores de *E. globulus*, com resultados similares: as propriedades do lenho são sensíveis às mudanças das condições ambientais, especialmente, a disponibilidade de água no ambiente.

Tabela 8 - Análise de regressão múltipla entre a densidade aparente média do lenho (variável dependente), o incremento do tronco e as variáveis climáticas (variáveis independentes), com base nos valores médios por período de 14 dias (re-escala)

Passos	Incremento em DAP	Temp. média	Temp. máxima	Temp. mínima	Prec.	0-15cm*	0-50cm*	0-150cm*	0-300cm*	Umidade do ar	Déficit de pressão de vapor	R <sup>2</sup>
1	2,00	3,44	15,12	10,72	3,54	1,24	3,73	2,68	0,00	26,41	31,10	0,58
2	2,00	3,44	15,12	10,72	3,54	1,24	3,73	2,68	--	26,41	31,10	0,58
3	2,11	3,26	14,94	10,63	3,54	--	4,88	2,68	--	26,34	30,84	0,58
4	2,23	3,82	15,62	11,58	4,89	--	2,44	--	--	27,41	32,09	0,57
5	2,62	4,34	16,85	10,39	5,55	--	--	--	--	27,35	32,90	0,55
6	2,82	--	16,91	8,23	6,47	--	--	--	--	29,65	35,96	0,51
7	6,82	--	17,05	--	10,57	--	--	--	--	30,40	35,27	0,47
8	14,84	--	--	--	22,58	--	--	--	--	35,48	27,10	0,46
9	--	--	--	--	29,06	--	--	--	--	44,44	26,50	0,41
10	--	--	--	--	63,23	--	--	--	--	36,76	--	0,37
11	--	--	--	--	100,00	--	--	--	--	--	--	0,37

\*Volume de água disponível nas camadas 0-15; 0-150;0-150 e 0-300cm do solo

a) os valores colocados abaixo das variáveis independentes são os coeficientes estandardizados (betas) e representam a proporção com que cada variável contribui para a determinação da variável dependente, explicada pela regressão; b) o símbolo "--" indica que a variável independente se manifestou não significativa para o nível de probabilidade de  $p < 0,05$

A re-escala dos valores de densidade aparente média do lenho é fundamental, sendo de particular importância para estudos de ecofisiologia de espécies de eucalipto, nas quais as camadas de crescimento não são formadas, de modo geral, a cada ano no lenho das árvores. Acrescenta-se que a re-escala dos valores de densidade da madeira, aplicando-se o crescimento radial do tronco das árvores mensurado com precisão com dendrômetros de aço, permite determinar a relação das pequenas mudanças de densidade do lenho e o efeito das variações climáticas e da taxa de incremento do tronco das árvores de eucalipto.

A metodologia da re-escala dos valores de densidade aparente média do lenho mostrou-se eficiente para relacionar com as variáveis climáticas, apesar da alta variabilidade dos valores de densidade aparente (5.2.1) entre os 2 raios nos perfis densitométricos (Figura 22). Pela sua importância, recomenda-se analisar a relação precipitação & densidade do lenho em outras condições de clima, diferentes das da área experimental. Da mesma forma, utilizando-se amostras retiradas de forma não-destrutiva das árvores monitoradas com dendrômetros, para a determinação da densidade aparente média do lenho.

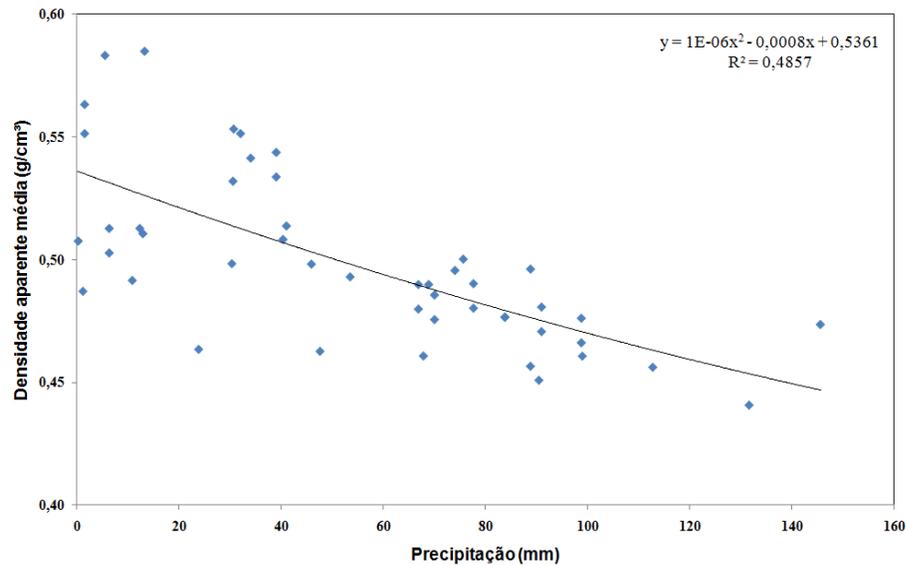


Figura 24 - Densidade aparente média do lenho das árvores de eucalipto em função dos níveis de precipitação

### 5.2.2 Densidade básica do lenho

Os valores da densidade básica ponderada do lenho, obtida a partir de amostras coletadas na base, DAP, 3, 6, 9, 12 e 15 m de altura do tronco das árvores de eucalipto, com 48 meses, nos três tratamentos de fertilização, são apresentados na Tabela 9 e Anexo K. A densidade básica do lenho representativa das árvores dos tratamentos controle, potássio e sódio foi de 0,44; 0,45 e 0,43 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, não apresentando diferenças estatísticas significativas, a exemplo da densidade aparente média do lenho no DAP do tronco das árvores (item 5.2.1).

Tabela 9 - Valores médios da densidade básica ponderada do lenho (g/cm<sup>3</sup>) do tronco das árvores de eucalipto, com 48 meses, nos três tratamentos de fertilização

Tratamento	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )
Controle	0,44 a (0,02)
Potássio	0,45 a (0,02)
Sódio	0,43 a (0,01)

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

Os valores de densidade básica média do lenho das árvores de eucalipto são menores do que os normalmente citados na literatura, por diversos autores, como Souza; Carpinim e Barrichelo (1986); Lima; Rosado e Oliveira (1992); Alzate; Tomazello Filho e Piedade (2005), estando associadas à idade das árvores. O modelo mais comum relatado na literatura indica um aumento

da densidade do lenho com a idade das árvores, resultado das modificações das células cambiais, formando a madeira adulta (TOMAZELLO FILHO, 1985b, 1987). Conforme discutido anteriormente (item 5.2.1) os resultados das pesquisas não mostram consenso quanto ao valor e modelo de variação da densidade do lenho das árvores de eucalipto sob tratamentos de fertilização mineral. Enquanto Vigneron; Gerard e Bouvet (1995) indicam que a aplicação de fertilizantes e a ampliação do espaçamento aumentam o valor da densidade básica do lenho das árvores de clones de híbridos de eucalipto no Congo, outros autores não observaram diferenças significativas. A importância da densidade básica do lenho das árvores de eucalipto para a produção de celulose e papel é discutida por Shimoyama (1990), em termos de rendimento e custos de produção de polpa: lenho de maior densidade básica implica em aumento da massa em relação a capacidade do digestor, com conseqüente aumento do rendimento; no entanto, lenho de elevada densidade básica apresenta maior dificuldade no processo de transformação das toras em cavacos, geram cavacos de maiores dimensões, consomem mais reagentes, afeta a impregnação do lenho e resulta em maior quantidade de rejeitos no processo de polpação.

O desdobramento dos valores de densidade básica ponderada do lenho das árvores de eucalipto nas 5 classes de área basal, indica diferenças significativas, com a menor densidade básica do lenho na classe 2 (0,41 g/cm<sup>3</sup>), significativa em relação as das 1, 3 e 5 (0,44 g/cm<sup>3</sup>) e não significativa em relação a 4 (0,43 g/cm<sup>3</sup>) (Tabela 10). No entanto, a análise dos valores de densidade básica do lenho não mostra padrões de variação consistentes em relação às classes de área basal do tronco das árvores de eucalipto.

Tabela 10 - Valores médios da densidade básica ponderada (g/cm<sup>3</sup>) do lenho do tronco das árvores de eucalipto, por classe de área basal

Classe de área basal	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )
1	0,44 <b>a</b> (0,02)
2	0,41 <b>b</b> (0,01)
3	0,44 <b>a</b> (0,02)
4	0,43 <b>ab</b> (0,02)
5	0,44 <b>a</b> (0,02)

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

A variação da densidade básica do lenho das árvores de eucalipto, das 5 classes de área basal/ 3 tratamentos de fertilização indica que, além do efeito significativo das classes, ocorre diferenciação nos tratamentos de fertilização. As árvores de eucalipto do tratamento controle

formaram lenho de maior densidade nas classes de área basal 1 ( $0,49 \text{ g/cm}^3$ ) e 2 ( $0,43 \text{ g/cm}^3$ ); as árvores do tratamento com potássio apresentaram lenho mais denso na classe 3 ( $0,48 \text{ g/cm}^3$ ) e 5 ( $0,46 \text{ g/cm}^3$ ) e as árvores do tratamento com sódio apresentaram lenho mais denso na classe 4 ( $0,46 \text{ g/cm}^3$ ) (Figura 25).

A literatura referente à relação entre o diâmetro do tronco e as dimensões com a densidade do lenho das árvores de eucalipto é bastante controversa, indicando aumento, redução e, mesmo, inexistência de relação com a densidade do lenho, conforme discutido anteriormente (item 5.2.1).

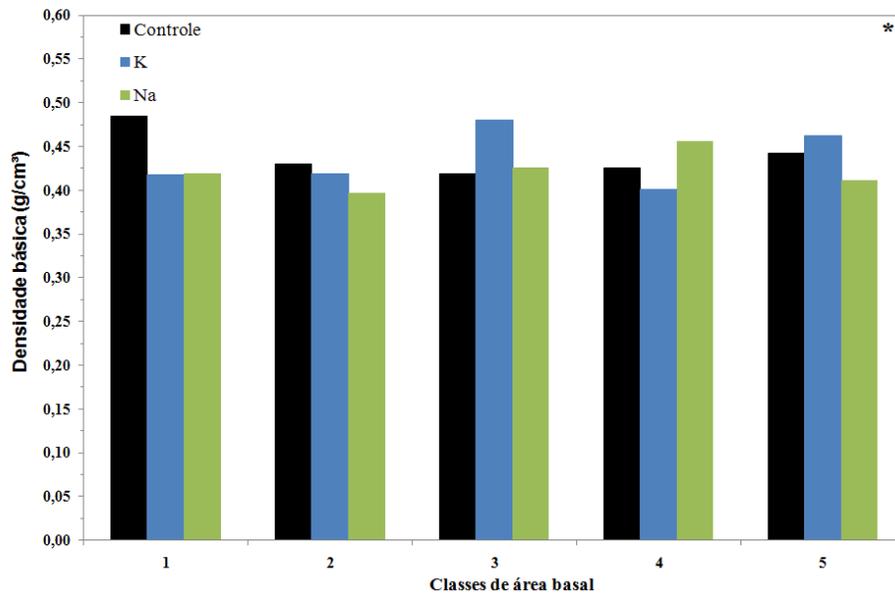


Figura 25 - Variação da densidade básica ponderada do lenho do tronco das árvores de eucalipto por classe de área basal e nos três tratamentos de fertilização. \*significativo ( $p < 0,05$ )

A variação da densidade básica ponderada do lenho em sete posições longitudinais (base, DAP, 3, 6, 9, 12 e 15 m) do tronco das árvores de eucalipto, com 48 meses, é apresentada na Figura 26 e Anexo K, com efeito estatisticamente significativo das posições longitudinais. O modelo de variação longitudinal da densidade básica do lenho, comum aos três tratamentos de fertilização, caracteriza-se pelo decréscimo da base-DAP ( $0,43-0,47 \rightarrow 0,40-0,41 \text{ g/cm}^3$ ) e aumento até a extremidade ( $0,45 \rightarrow 0,48 \text{ g/cm}^3$ ) do tronco. Os maiores valores de densidade básica do lenho nas regiões basal e apical devem-se, provavelmente, as exigências mecânicas de sustentação do tronco e da copa das árvores de eucalipto.

O modelo de variação longitudinal da densidade básica do lenho (decréscimo/estabilização da base-25%; aumento 25-75%; decréscimo/estabilização 75-100%) do tronco das árvores de eucalipto e suas variações é comumente relatado na literatura inúmeros

autores, como Ferreira, 1972; Brasil; Veiga; Ferreira, 1977; Frederick; Madgwick; Oliver, 1982; Barrichelo; Brito; Migliorini, 1983; Carpin; Barrichelo, 1984; Barrichelo; Brito, 1984; Souza; Carpin; Barrichelo, 1986; Wilkes, 1988; Migliorini et al., 1988; Lima; Rosado; Oliveira, 1992; Lausberg; Gilchrist; Skipwith, 1995; Oliveira, 1997; Lopes, 2003; Alzate; Tomazello Filho; Piedade, 2005.

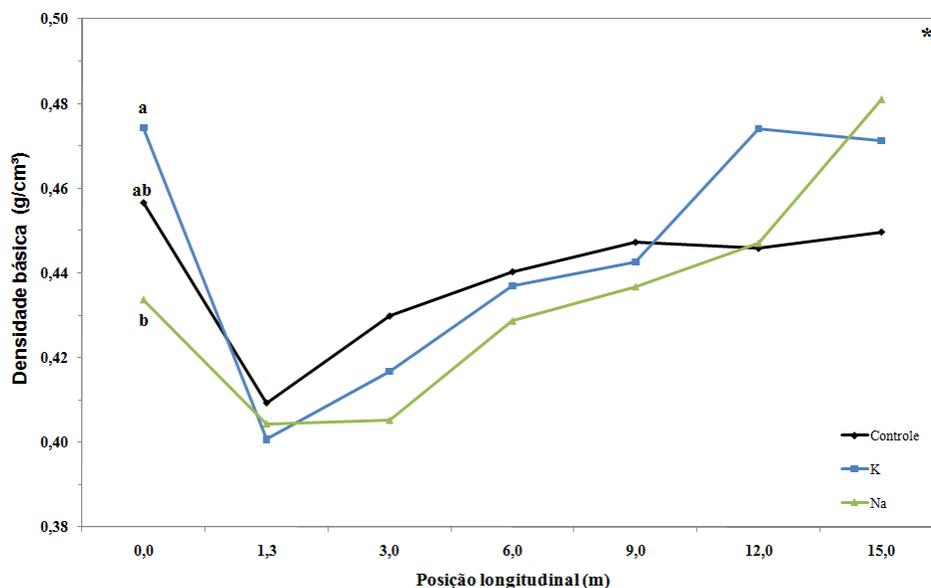


Figura 26 - Variação longitudinal da densidade básica do lenho do tronco das árvores de eucalipto, aos 48 meses, nos três tratamentos de fertilização.\* significativo ( $p < 0,05$ ). Posições longitudinais sem indicação de letra significa que são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ )

Um dos aspectos mais relevantes da análise da variância da densidade básica do lenho, a exemplo da densidade aparente, relaciona-se com os elevados valores dos efeitos aleatórios, representando 28% da variação total, considerado como uma das principais fontes de variação. Pode-se, desta forma, inferir que a variabilidade natural da densidade básica do lenho é, normalmente, elevada e que sua variação é devida a outros fatores não contemplados no experimento.

A variação da densidade básica ponderada do lenho das árvores de eucalipto, aos 24, 36 e 48 meses, indica um aumento do seu valor, independente dos tratamentos de fertilização e significativo do 24<sup>o</sup>→48<sup>o</sup> mês (Tabela 11). 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 Cruz (2000); Ribeiro e Zani Filh (1993); Silva et al. (2004); Trugilho et al. (1996);

Tomazello Filho (1985); Vital et al. (1984); Vital et al. (1987). 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, aumento da frequência/redução do número de vasos, etc. (vide item 5.3).

Na Tabela 12 são apresentados os valores da variação da densidade básica ponderada do lenho no 24°, 36° e 48° mês, nos três tratamentos de fertilização: indica aumento da densidade em todos os tratamentos de fertilização, significativo para o tratamento potássio do 24°→48° mês. As árvores controle e adubadas com potássio mostraram maior incremento de densidade do lenho de 0,03 g/cm<sup>3</sup> em relação ao tratamento com sódio de 0,02 g/cm<sup>3</sup>, do 24°→ 48° mês. Recomenda-se a avaliação da densidade do lenho das árvores do eucalipto, em idades mais avançadas, para determinar as diferentes fases caracterizadas pela formação da madeira juvenil-transição-adulta, importante para a utilização com madeira sólida e estrutural.

O modelo de variação longitudinal da densidade básica do lenho do tronco das árvores de eucalipto foi similar no 24°, 36° e 48° mês, com valores mais altos na base do tronco, redução no DAP e aumento na extremidade (Figura 27), não se alterando com o aumento da idade das árvores.

Tabela 11 - Valores médios da densidade básica ponderada do lenho do tronco das árvores de eucalipto, no 24°, 36° e 48° mês de idade

<b>Idade (meses)</b>	<b>Densidade básica (g/cm<sup>3</sup>)</b>
24	0,42 <b>a</b> (0,01)
36	0,43 <b>ab</b> (0,01)
48	0,44 <b>b</b> (0,01)

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

Tabela 12 - Valores médios da densidade básica ponderada do lenho do tronco das árvores de eucalipto, no 24º, 36º e 48º mês e nos três tratamentos de fertilização

Tratamento	Idade (meses)	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )
Controle	24	0,41 a (0,01)
	36	0,42 a (0,01)
	48	0,44 a (0,02)
Potássio	24	0,42 a (0,01)
	36	0,43 ab (0,01)
	48	0,45 b (0,02)
Sódio	24	0,41 a (0,01)
	36	0,42 a (0,01)
	48	0,43 a (0,01)

Médias seguidas do teste de comparação de médias e desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, **na coluna**, para cada tratamento, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05\%$ )

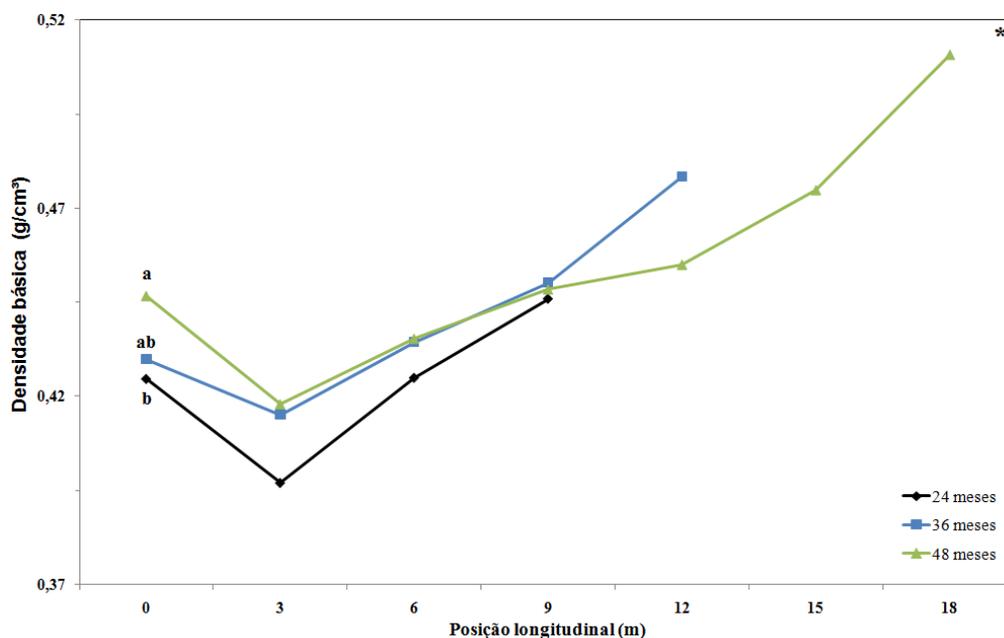


Figura 27 - Variação longitudinal da densidade básica do lenho das árvores por idade. \*significativo ( $p < 0,05$ ). Posições longitudinais sem indicação de letra significa que são estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ )

A variação da densidade básica ponderada do lenho por idade (24º, 36º e 48º mês) e cambial (1, 2, 3 e 4) indica um aumento da região interna (idade cambial 1) para a externa do lenho (idade cambial 4) do tronco das árvores de eucalipto, observada no presente trabalho (item 5.2.1) e citada na literatura (Tabela 13).

Tabela 13 - Variação da densidade básica ponderada do lenho do tronco das árvores de eucalipto por idade cambial

idade (meses)	idade cambial			
	1	2	3	4
24	0,40	0,43	--	--
36	0,40	0,42	0,45	--
48	0,39	0,41	0,43	0,46
<b>média</b>	0,40	0,42	0,44	0,46

### 5.3 Características anatômicas do lenho das árvores de eucalipto

#### 5.3.1 Dimensões das fibras

Os valores das dimensões das fibras do lenho no DAP do tronco das árvores de eucalipto, com 48 meses, nos três tratamentos de fertilização são apresentados na Tabela 14, Anexo L, M, N, O. No lenho das árvores de eucalipto fertilizadas com sódio foram detectadas fibras mais curtas (840,23  $\mu\text{m}$ ) e com diferença estatisticamente significativa em relação aos tratamentos controle (870,94  $\mu\text{m}$ ) e com aplicação de potássio (886,83  $\mu\text{m}$ ). A largura média das fibras nos tratamentos de fertilização controle, potássio e sódio foi de 14,44, 13,57, 13,77  $\mu\text{m}$ , respectivamente, com diferenças não significativas.

Contudo, para a espessura da parede e diâmetro do lume das fibras no lenho das árvores o efeito dos tratamentos é significativo para o tratamento com potássio (espessura: 2,40; diâmetro do lume: 8,75  $\mu\text{m}$ ) em relação ao controle (espessura: 2,21; diâmetro do lume: 9,97  $\mu\text{m}$ ) e sódio (espessura: 2,10; diâmetro do lume: 9,56  $\mu\text{m}$ ). Considerando que a largura das fibras não foi significativa, o tratamento com potássio induz a formação de parede secundária com maior espessura e menor diâmetro do lume.

Tabela 14 - Valores médios do comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras ( $\mu\text{m}$ ) do lenho das árvores de eucalipto, com 48 meses, por tratamento de fertilização

Tratamento	Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	Largura ( $\mu\text{m}$ )	Espessura da parede ( $\mu\text{m}$ )	Diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ )
Controle	870,94 <b>a</b> (16,29)	14,44 <b>a</b> (0,96)	2,21 <b>a</b> (0,06)	9,97 <b>a</b> (0,52)
Potássio	886,83 <b>a</b> (17,61)	13,57 <b>a</b> (0,87)	2,40 <b>b</b> (0,13)	8,75 <b>b</b> (0,33)
Sódio	840,23 <b>b</b> (12,60)	13,77 <b>a</b> (0,80)	2,10 <b>a</b> (0,09)	9,56 <b>a</b> (0,46)

Médias seguidas de desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, **na coluna**, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05\%$ )

Os valores médios das dimensões das fibras são diferentes dos apresentados por inúmeros autores, que analisaram, no entanto árvores de *Eucalyptus spp* com idades mais avançadas e com madeira de transição e adulta já formadas no seu lenho. Como exemplo, Tomazello Filho (1985) avaliou árvores de *Eucalyptus grandis* com 10 anos, obtendo fibras com comprimento, largura, espessura e diâmetro do lume de 1200, 23, 5,4 e 12,2  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

Com relação a menor variação da largura das fibras no lenho das árvores dos três tratamentos, diversos autores, como Larson (1963; 1964; 1969; 1973) e Zobel e Van Buijtenem (1989) mencionam a teoria da independência dos processos fisiológicos da formação do lenho. Esta indica que a dimensão das fibras depende da pressão de turgescência no interior da célula e das auxinas produzidas na copa das árvores e que induzem maior plasticidade da sua parede primária. Desta forma, maiores pressões de turgescência e concentração de auxinas induzem a formação de células de maior dimensão, logo após a divisão das células iniciais do câmbio, como as do lenho inicial das árvores de coníferas e de folhosas.

No entanto, a aplicação de fertilização com potássio deve estar relacionada com o estado nutricional e com a formação de efetiva área foliar da copa das árvores. Nessas condições, as árvores sintetizam maior quantidade de açúcares simples pela fotossíntese e, na camada cambial, propiciam um aumento da biosíntese 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 - representado pela formação da parede secundária, pela deposição de microfibrilas - relaciona-se com os níveis de carboidratos elaborados no processo de fotossíntese (LARSON, 1963; 1964; 1969; 1973). O processo de espessamento da parede celular ocorre após as fases de (i) divisão das células cambiais, (ii) de crescimento da parede primária e, em seguida (iii) da diferenciação celular, quando as células do xilema atingem a sua largura/comprimento final (ZOBEL e VAN BUIJTENEM, 1989).

O efeito da fertilização nas dimensões das fibras do lenho de árvores de eucalipto tem sido reportado na literatura sem, no entanto, haver consenso dos resultados. Enquanto Lamber; Horne e Graham-Higgs (1982) e Jianju; Wenbin e Xiuzhen (1995) não verificaram diferenças nas dimensões das fibras no lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* e de *E. urophylla* de 2,5 e 9 anos, respectivamente, Shimoyama e Barrichelo (1989) detectaram a diminuição do comprimento das fibras com aumento da taxa de crescimento das árvores de eucalipto fertilizadas.

A avaliação das dimensões das fibras no lenho das árvores de eucalipto das 4 classes de área basal (Tabela 15, Anexos L, M, N, O) indica diferenças significativas para o comprimento, espessura da parede e diâmetro do lume sem, no entanto, detectar padrões consistentes de variação. O maior e menor comprimento das fibras foram determinados no lenho das árvores das classes de área basal 1 e 2, com as das demais classes indicando valores intermediários. A largura das fibras não mostrou diferença significativa; fibras de parede mais espessa e mais delgada foram observadas no lenho das árvores de classes 4 e 3; fibras com maior e menor diâmetro do lume no lenho das árvores de classes 1 e 2. De modo geral, as fibras do lenho das árvores da classe 2 apresentam a tendência de apresentar maior comprimento, maior largura e maior diâmetro do lume.

Tabela 15 - Valores médios do comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras ( $\mu\text{m}$ ) do lenho das árvores de eucalipto, com 48 meses, por classe de área basal

Classe de área basal	Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	Largura ( $\mu\text{m}$ )	Espessura da parede ( $\mu\text{m}$ )	Diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ )
1	817,10 <b>a</b> (18,30)	13,42 <b>a</b> (0,80)	2,18 <b>a</b> (0,06)	9,04 <b>a</b> (0,29)
2	909,30 <b>b</b> (22,78)	14,53 <b>a</b> (0,97)	2,26 <b>ab</b> (0,08)	10,03 <b>b</b> (0,47)
3	874,56 <b>bc</b> (15,78)	13,79 <b>a</b> (0,86)	2,14 <b>a</b> (0,05)	9,50 <b>ab</b> (0,45)
4	863,03 <b>c</b> (13,58)	13,99 <b>a</b> (0,91)	2,39 <b>b</b> (0,09)	9,24 <b>a</b> (0,32)

Médias seguidas de desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, **na coluna**, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05\%$ )

A Figura 28 indica a variação das dimensões das fibras no lenho das árvores das quatro classes de área basal e nos três tratamentos de fertilização, mostrando que além do efeito isolado das classes ser significativo para alguns parâmetros das fibras, ele exerce-se de modo diferenciado de tratamento para tratamento.

Com relação ao comprimento das fibras (Figura 28A), observa-se uma pequena oscilação entre os valores médios, nas diferentes classes de área basal e tratamentos de fertilização. Com relação a largura das fibras (Figura 28B), apesar da interação C x T não ter sido significativa ( $p < 0,05$ ), as árvores do tratamento controle apresentaram fibras mais largas nas classes 2 (15,99  $\mu\text{m}$ ) e 4 (14,89  $\mu\text{m}$ ); as árvores do tratamento com sódio apresentaram fibras mais largas na classe 3 (14,51  $\mu\text{m}$ ), com reduzidas diferenças entre os valores médios da largura das fibras, na classe de área basal 1, para os três tratamentos. Com relação a espessura da parede das fibras (Figura 28C), as árvores que receberam aplicação de potássio apresentaram fibras com paredes

mais espessas nas classes de área basal 1 (2,28 $\mu\text{m}$ ), 3 (2,64 $\mu\text{m}$ ) e 4 (2,69 $\mu\text{m}$ ) e menos espessas na classe de área basal 2 (1,98  $\mu\text{m}$ ). Com relação ao diâmetro do lume das fibras (Figura 28D), as árvores que receberam aplicação de sódio apresentaram fibras com maior diâmetro nas classes de área basal 1 (9,36 $\mu\text{m}$ ) e 3 (10,70 $\mu\text{m}$ ) e as árvores controle nas classes de área basal 2 (11,08 $\mu\text{m}$ ) e 4 (10,08 $\mu\text{m}$ ).

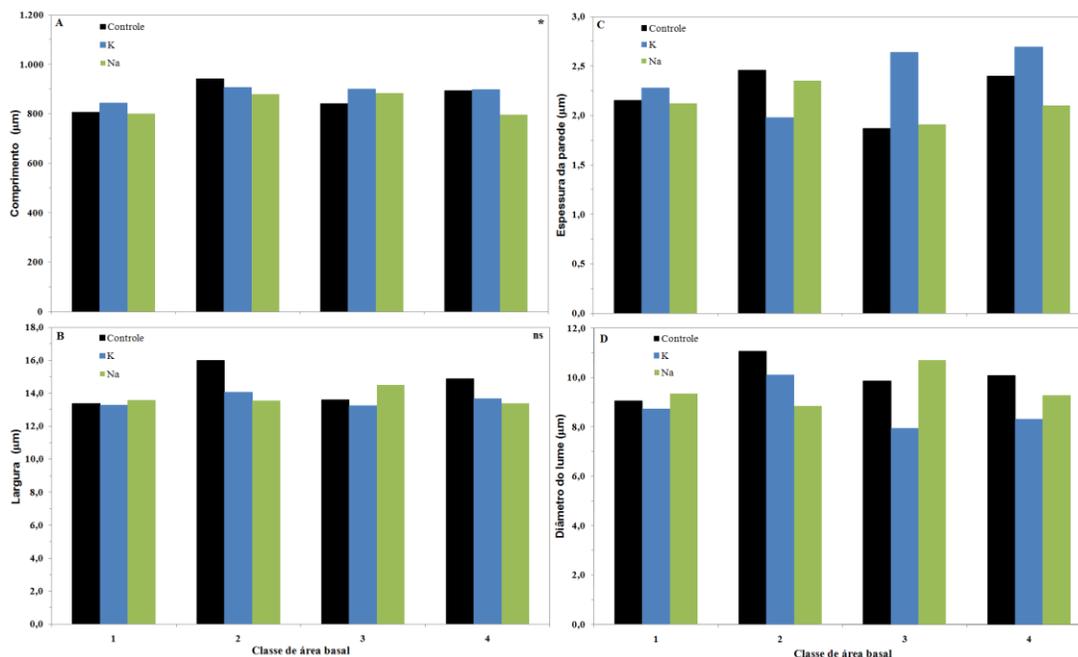


Figura 28 - Valores médios do comprimento (A), largura (B), espessura da parede (C) e diâmetro do lume (D) das fibras do lenho no DAP das árvores de eucalipto, aos 48 meses, por classe de área basal e tratamento de fertilização. <sup>ns</sup> não significativo e \*significativo ( $p < 0,05$ )

Apesar de uma literatura relativamente vasta referente a avaliação das dimensões das fibras no lenho de árvores de espécies de eucalipto, são escassas as informações para árvores de diferentes dimensões de plantações florestais de mesma idade, submetidas a tratamentos de fertilização.

Em árvores de *E. bancroftii*, *E. dealbata*, *E. goniocalyx*, *E. macrorrhyncha* e *E. sideroxylon*, de 40 anos, Wilkes e Abbott (1983), não detectaram diferenças significativas no comprimento das fibras em relação as taxa de crescimento do tronco. Da mesma forma, Bamber e Curtin (1974) não mostraram correlação significativa das dimensões das fibras com a taxa de crescimento de árvores de *Eucalyptus pilularis*, de 5 e 30 anos. Drew et al. (2009), também, não

constatarem variação das dimensões das fibras em árvores de *Eucalyptus globulus*, com altas e baixas taxas de crescimento.

No entanto, Florshein et al. (2000) verificaram no lenho de árvores dominadas de *Eucalyptus saligna* a formação de fibras de maior diâmetro do lume; as dominantes apresentaram fibras com maior largura e espessura da parede. Em termos de variação de sítio, Jorge (1994) não constatou no lenho de árvores de *Eucalyptus globulus*, de 10-12 anos, relação com o comprimento das fibras.

A variação das dimensões das fibras em quatro posições radiais (0, 33, 66 e 100%) no DAP do tronco das árvores de eucalipto aos 48 meses é apresentada na Figura 29 e Anexos L, M, N, O

Com relação ao comprimento das fibras (Figura 29A), observa-se uma tendência consistente de aumento no sentido radial, com menores valores próximo a medula (670,16-695,70  $\mu\text{m}$ ) seguido de aumento em direção a casca (995,93-1059,43  $\mu\text{m}$ ), com diferenciação entre tratamentos. Na região próxima a medula não houve diferença significativa; as diferenças entre os tratamentos começam a aparecer a partir da região intermediária do raio (33%), sendo maior e significativamente diferente no tratamento potássio (847,81  $\mu\text{m}$ ) em relação ao sódio (772,85  $\mu\text{m}$ ) e controle (790,02  $\mu\text{m}$ ); nas posições radiais 66 e 100%, o tratamento com sódio passa a apresentar fibras mais curtas e significativas (910,74 e 995,93  $\mu\text{m}$ ) em relação aos tratamentos com potássio (958,37 e 1045,43  $\mu\text{m}$ ) e controle (964,14 e 1059,43  $\mu\text{m}$ ).

Com relação a largura das fibras (Figura 29B), verifica-se, apesar de alguma oscilação, um modelo de variação radial crescente para os três tratamentos (de 13,15; 14,37 $\mu\text{m}$  para 13,67;14,38 $\mu\text{m}$ ). Na região próxima a medula, as árvores controle apresentaram fibras mais largas (14,37  $\mu\text{m}$ ) em relação as árvores que receberam aplicação de potássio (13,15 $\mu\text{m}$ , significativo) e sódio (13,66 $\mu\text{m}$ , não significativo); nas regiões intermediárias as árvores adubadas com sódio apresentaram fibras mais estreitas e significativa (12,74 $\mu\text{m}$ ; 33% do raio) e as árvores controle mais largas e significativa (15,39 $\mu\text{m}$ , 66% do raio) em relação as dos demais tratamentos; na região próxima a casca não houve diferença significativa entre os tratamentos de fertilização.

Com relação a espessura da parede das fibras (Figura 29 C), os valores diminuem no sentido radial (de 2,24;-2,85  $\mu\text{m}$  para 1,50;2,20  $\mu\text{m}$ ), com algumas diferenças significativas entre os tratamentos de fertilização. De maneira geral, as árvores com aplicação de potássio

apresentaram fibras mais espessas (2,85  $\mu\text{m}$ ), significativas na região próxima a medula em relação as com sódio (2,45  $\mu\text{m}$ ) e controle (2,24  $\mu\text{m}$ ); significativas nas posições intermediárias (2,64  $\mu\text{m}$ , 33% do raio e 2,29  $\mu\text{m}$ , 66% do raio) em relação as árvores com sódio (2,35  $\mu\text{m}$ ) e controle (2,04  $\mu\text{m}$ ), respectivamente. Na região externa do lenho, as árvores controle apresentaram fibras mais espessas e significativas em relação aos demais tratamentos.

Com relação ao diâmetro do lume das fibras (Figura 29D), os valores aumentaram no sentido radial (de 7,45; 9,90  $\mu\text{m}$  para 10,04; 11,38  $\mu\text{m}$ ), mais evidente nos tratamentos com potássio e com sódio. Estes tratamentos apresentaram, de maneira geral, fibras com menores diâmetros do lume, significativos nas posições radiais 0, 66 e 100%.

Um dos aspectos mais importantes das análises de variância efetuadas para o comprimento e dimensões transversais das fibras é o fato do efeito aleatório do resíduo ser elevado assumindo-se, como a principal origem de variação, representando entre 30,1 e 50,7% da variação total. Com base nestes resultados podemos então inferir que a variabilidade natural das dimensões das fibras é normalmente elevada e que a variação destas características anatômicas é devida também a outros fatores que não somente os tratamentos de fertilização, classes de área basal e posições no raio, mas que, não tendo sido contemplados no experimento, não é possível a sua avaliação. Idênticas conclusões são referidas por Lousada (1999) para a madeira de *Pinus pinaster*.

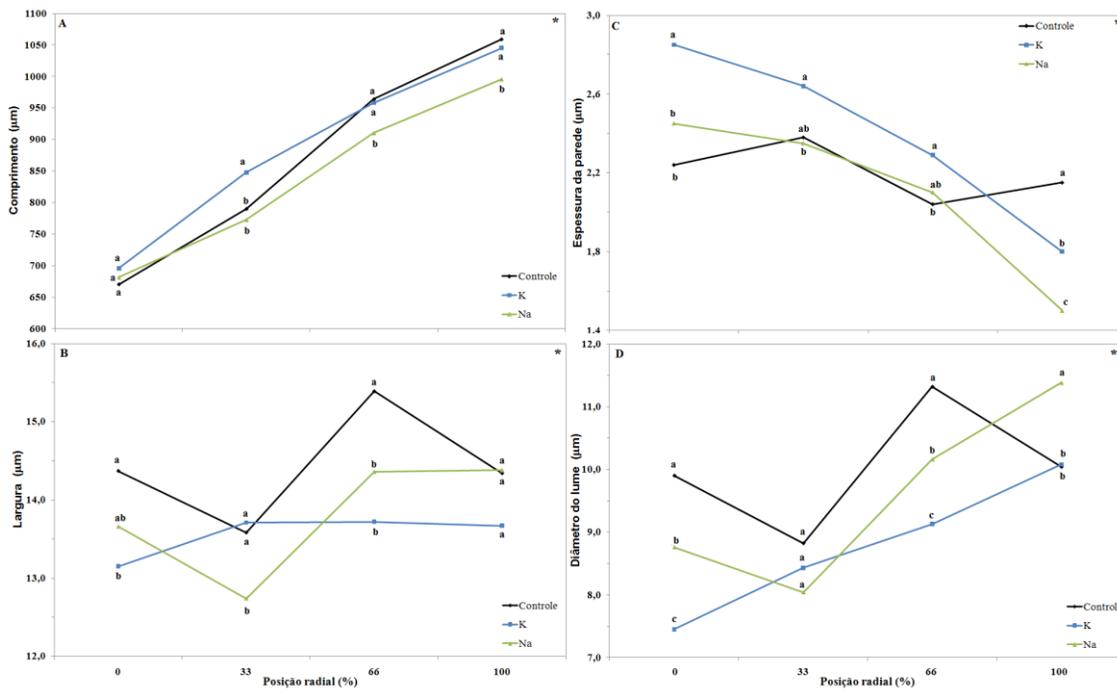


Figura 29 - Variação radial do comprimento (A), largura (B), espessura da parede (C) e diâmetro do lume (D) das fibras do lenho no DAP das árvores de eucalipto, aos 48 meses, nos três tratamentos de fertilização. \*significativo ( $p < 0,05$ )

A literatura científica reporta extensa lista de artigos científicos relatando a variação das dimensões das fibras, no sentido radial do lenho de árvores de diferentes espécies de eucalipto e condições de crescimento.

Com referência a variação radial do comprimento das fibras no lenho das árvores de eucalipto, são mencionados os trabalhos de Santos e Nogueira (1971); Hans, Burley e Williamson (1972); Brasil e Ferreira (1972, 1979); Taylor (1973a); Foelkel et al. (1983); Tomazello Filho (1985 a,b; 1987); Bhat, Bhat e Dhamodaran (1990); Jorge (1994), que indicam que, de modo geral, o aumento do comprimento das fibras, no sentido medula-casca.

Diversos modelos de variação radial da espessura da parede das fibras no lenho do tronco das árvores de eucalipto têm sido reportado por inúmeros autores, como por exemplo, a sua redução por Brasil e Ferreira (1972); Taylor (1973a); Foelkel et al. (1983); Tomazello Filho (1985a,b; 1987); Alzate (2004) e o aumento da largura das fibras por Dadswell (1958); Ferreira (1972); Tomazello Filho (1985b); Thomas (1985); Maeglin (1987); Oliveira (1997); Florsheim et al. (2000); Rocha et al. (2002).

Diversos modelos de variação radial do diâmetro do lume das fibras no lenho das árvores de eucalipto têm sido, da mesma forma, citados na literatura, como, por exemplo, o seu aumento, por Tomazello Filho, (1985b); Florsheim et al., (2000) e Rocha et al., 2002.

Os valores de variação das dimensões das fibras em termos de média e nos três tratamentos de fertilização, no lenho das árvores de eucalipto, em duas idades (24 e 48 meses) são apresentados nas Tabelas 16 e 17.

Para as variações das dimensões médias das fibras, nas duas idades, independentemente dos tratamentos de fertilização, observa-se diferença significativa no comprimento das fibras de 748,17 para 866,00  $\mu\text{m}$ , no 24° e 48° mês de idade das árvores. Para as demais dimensões das fibras – largura, espessura da parede, diâmetro do lume – verificou-se um aumento do valor, embora, não significativo.

No lenho das árvores de eucalipto nas duas idades e nos três tratamentos de fertilização observou-se um aumento significativo do comprimento das fibras. Nas árvores no 24° mês, fertilizadas com potássio e sódio, as fibras foram mais longas, em relação ao controle, com valores de 800,12, 753,67 e 690,72  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Do 24°  $\rightarrow$  48° mês de crescimento, as árvores de eucalipto do tratamento controle apresentaram um incremento de comprimento das fibras maior (180  $\mu\text{m}$ ), em relação as dos tratamentos com adubação com potássio e sódio (86 e 87  $\mu\text{m}$ , respectivamente), embora, as fibras mais longas estejam presentes no lenho das árvores com potássio.

A largura, espessura da parede e o diâmetro do lume das fibras não mostraram diferenças significativas para as duas idades (24 e 48° mês) das árvores de eucalipto. A aplicação de potássio induziu, no período, os maiores incrementos de largura (0,87  $\mu\text{m}$ ) e espessura da parede (0,33  $\mu\text{m}$ ) das fibras em relação ao controle (0,66 e 0,22  $\mu\text{m}$ , respectivamente) e sódio (0,52 e 0,14  $\mu\text{m}$ , respectivamente).

O aumento do comprimento das fibras em função da idade, é resultado do aumento do comprimento das células que as originam, denominadas de iniciais fusiformes. A estabilização do comprimento das fibras, para inúmeras espécies de eucalipto, somente irá ocorrer quando as células do câmbio atingirem comprimento máximo, iniciando a formação da madeira adulta (TOMAZELLO FILHO, 1987). De modo geral, verifica-se no sentido medula-casca do lenho das árvores adultas de eucalipto o aumento do comprimento das fibras ao longo da

fase juvenil e, ao atingirem a maturidade, os valores permanecem constantes (TRUGILHO et al., 1996).

As diferenças significativas, embora pequenas, do comprimento médio das fibras e nos três tratamentos de fertilização indicam que o meristema cambial das árvores está formando, até este período, o lenho denominado de juvenil (MALAN, 1995), de forma diferente ao registrado por Silva et al. (2007) em árvores de *Eucalyptus grandis* com 10-25 anos. Recomenda-se a avaliação do lenho das árvores de *E. grandis* em idades mais avançadas para determinar a variação das suas características anatômicas e caracterizar a fase de sua estabilização (formação da madeira adulta), importante para a sua adequada utilização tecnológica.

Tabela 16 - Valores médios do comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras ( $\mu\text{m}$ ) no lenho das árvores de eucalipto, nas idades de 24 e 48 meses

Idade (meses)	Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	Largura ( $\mu\text{m}$ )	Espessura da parede ( $\mu\text{m}$ )	Diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ )
24	748,17 a (27,65)	13,24 a (0,67)	2,00 a (0,17)	9,22 a (0,30)
48	866,00 b (19,33)	13,93 a (0,80)	2,24 a (0,08)	9,43 a (0,41)

Médias seguidas de desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, **na coluna**, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05\%$ )

Tabela 17 - Valores médios do comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras no lenho das árvores de eucalipto, nas idades de 24 e 48 meses e nos três tratamentos de fertilização

Tratamento	Idade (meses)	Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	Largura ( $\mu\text{m}$ )	Espessura da parede ( $\mu\text{m}$ )	Diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ )
Controle	24	690,72 a (51,12)	13,78 a (0,53)	1,99 a (0,15)	9,79 a (0,37)
	48	870,94 b (38,29)	14,44 a (0,40)	2,21 a (0,12)	9,97 a (0,49)
Potássio	24	800,12 a (46,33)	12,70 a (0,39)	2,07 a (0,21)	8,55 a (0,50)
	48	886,83 b (17,61)	13,57 a (0,87)	2,40 a (0,13)	8,75 a (0,33)
Sódio	24	753,67 a (47,00)	13,25 a (0,44)	1,96 a (0,15)	9,34 a (0,41)
	48	840,23 b (12,60)	13,77 a (0,80)	2,10 a (0,09)	9,56 a (0,46)

Médias seguidas de desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, **na coluna, para cada tratamento**, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05\%$ )

### 5.3.2 Dimensões e frequência dos vasos

Os resultados dos valores do diâmetro tangencial, frequência e % de área ocupada pelos vasos no lenho do DAP do tronco das árvores de eucalipto, aos 48 meses, nos três tratamentos de fertilização e nas quatro classes de área basal são apresentados na Tabelas 18 e 19, Anexos P, Q, R.

O diâmetro dos vasos foi significativamente maior no lenho das árvores fertilizadas com potássio e sódio (107 $\mu$ m) em relação ao controle (94  $\mu$ m). Da mesma forma, a frequência dos vasos mostrou diferenças significativas no lenho das árvores fertilizadas com sódio e potássio (11,4-12,6 vasos/mm<sup>2</sup>) em relação ao controle (14,8 vasos/mm<sup>2</sup>). A relação inversa entre o diâmetro tangencial e a frequência dos vasos no lenho das árvores fertilizadas em relação ao controle, resultou em % de área de vasos não significativa (valores de 10,8-11,5 %).

Nas classes de área basal do tronco das árvores de eucalipto, verifica-se um efeito significativo quanto ao diâmetro tangencial, a % de área ocupada e a frequência dos vasos (Tabela 19). De modo geral, existe uma tendência de aumento do diâmetro dos vasos (93,3 para 104,8-103,9-108,6  $\mu$ m), redução da porcentagem de área (11,6-11,3 para 10,2-11%) e da frequência (14-13 para 13-10 vasos/mm<sup>2</sup>) no lenho das árvores de classes de área basal inferiores (1, 2) para as das classes superiores (3, 4).

Tabela 18 - Diâmetro tangencial ( $\mu$ m), % de área ocupada e frequência (n<sup>o</sup>/mm<sup>2</sup>) dos vasos no lenho do tronco das árvores de eucalipto, com 48 meses, nos 3 tratamentos de fertilização

Tratamento	Diâmetro tangencial ( $\mu$ m)	% de Área	Frequência (n <sup>o</sup> /mm <sup>2</sup> )
Controle	94,06 a (2,51)	10,76 a (0,22)	14,83 a (0,87)
Potássio	106,57 b (3,03)	11,46 a (0,44)	12,57 b (0,65)
Sódio	107,40 b (3,07)	10,80 a (0,22)	11,41 b (0,59)

Médias seguidas de desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, **na coluna**, não diferem entre si pelo Teste de Tukey (p<0,05%)

Tabela 19 - Frequência (n<sup>o</sup>/mm<sup>2</sup>), diâmetro tangencial ( $\mu$ m) e % de área ocupada pelos vasos no lenho do tronco das árvores de eucalipto, com 48 meses, por classe de área basal

Classe de área basal	Diâmetro tangencial ( $\mu$ m)	% de Área	Frequência (n <sup>o</sup> /mm <sup>2</sup> )
1	93,33 a (2,92)	11,32 a (0,38)	14,10 a (0,60)
2	104,84 b (3,30)	11,64 a (0,45)	13,04 b (0,42)
3	103,90 b (3,22)	10,91 ab (0,33)	12,67 b (0,40)
4	108,65 b (3,71)	10,16 b (0,30)	10,41 c (0,37)

Médias seguidas de desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, **na coluna**, não diferem entre si pelo Teste de Tukey (p<0,05%)

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; Horne e Graham-Higgs (1982) na Austrália. Por outro lado, Andrade et al. (1994) verificaram a formação de vasos de maior diâmetro no lenho de

árvores de *Eucalyptus grandis*, de 6 anos com a calagem do solo. 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.

Os resultados corroboram os encontrados por Drew et al. (2009) e Florshein et al. (2000) para as árvores de eucalipto: árvores de rápido crescimento apresentam poucos vasos e de grande diâmetro, comparadas com as de baixo crescimento.

A Figura 30 indica a variação das dimensões e frequência dos vasos no lenho das árvores das quatro classes de área basal e nos três tratamentos de fertilização, mostrando que além do efeito isolado das classes ser significativo para os parâmetros dos vasos, ele exerce-se de modo diferenciado de tratamento para tratamento. Com relação ao diâmetro tangencial dos vasos (Figura 30A), nas classes de área basal 1 e 4 os maiores valores foram observados no lenho das árvores do tratamento com sódio (107,92 e 118,15  $\mu\text{m}$ , respectivamente) enquanto que nas classes 2 e 3 os maiores diâmetros foram observados no lenho das árvores do tratamento com potássio (114,04 e 114,89  $\mu\text{m}$ , respectivamente). Com relação a % de área dos vasos (Figura 30B), o lenho das árvores de maiores dimensões (classes 3 e 4), no tratamento controle, apresentaram maior área ocupada (11,5 e 10,4%, respectivamente); o lenho das árvores de menores dimensões (classes 1 e 2), no tratamento com sódio e potássio apresentaram maior área ocupada pelos vasos (12,9 e 12,7%, respectivamente). Com relação a frequência dos vasos (Figura 30C), a exceção da classe de área basal 1, foram observados maiores valores no lenho das árvores controle.

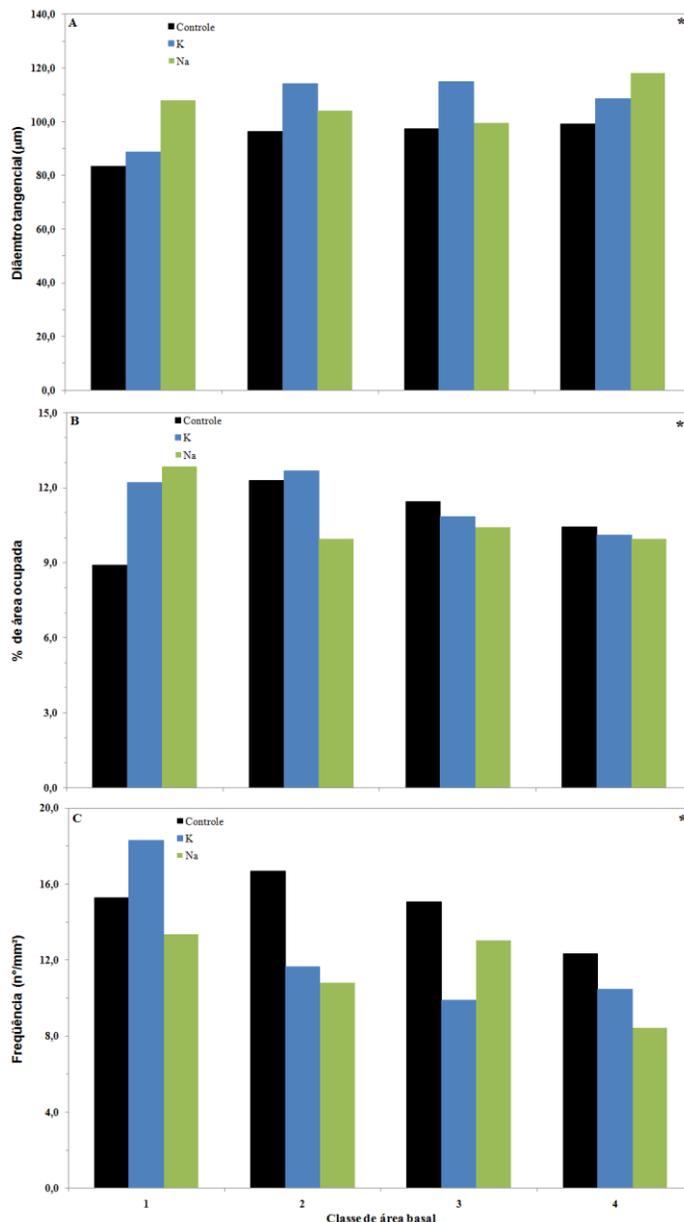


Figura 30 - Diâmetro tangencial (A), % de área ocupada (B) e frequência (C) dos vasos do lenho do tronco das árvores de eucalipto, aos 48 meses, nos 3 tratamentos de fertilização e por classe de área basal. \*significativo ( $p < 0,05$ )

A variação radial do diâmetro tangencial, % de área e frequência dos vasos do lenho do tronco das árvores de eucalipto, aos 48 meses, nos 3 tratamentos de fertilização e por classe de área basal é apresentada nas Figuras 31 e 32, Anexos P, Q, R.

Com relação ao diâmetro tangencial dos vasos (Figura 31A), observa-se uma tendência consistente de aumento no sentido radial, com menores valores próximo a medula (73,93;84,12  $\mu\text{m}$ ) seguido de aumento em direção a casca (111,93;127,67  $\mu\text{m}$ ), com diferenciação entre os

tratamentos de fertilização. As árvores fertilizadas com potássio e com sódio apresentaram diâmetros tangenciais dos vasos superiores em todas as posições radiais em relação as árvores controle, com algumas diferenças significativas: próximo a casca (81,62; 84,12 e 73,93  $\mu\text{m}$ , respectivamente) e na posição 33% do raio (99,18; 102,20 e 85,71  $\mu\text{m}$ , respectivamente). Nas demais posições radiais, as diferenças significativas foram observadas no tratamento com aplicação de potássio (124,18  $\mu\text{m}$ ) em relação ao controle (104,65  $\mu\text{m}$ ) a 66% do raio e no tratamento com sódio (127,67  $\mu\text{m}$ ) também em relação as árvores controle (111,93  $\mu\text{m}$ ), a 100% do raio.

Com relação a % de área ocupada pelos vasos (Figura 31B), verifica-se, apesar de alguma oscilação, um modelo de variação radial crescente para os três tratamentos (de 9,6;9,8% para 11,4;12,0%). A única diferença significativa foi observada na posição radial 33% do raio, com as árvores de eucalipto fertilizadas com potássio apresentando maior % de área ocupada pelos vasos (11,1%) em relação as fertilizadas com sódio (9,5%) e as controle (8,9%).

Com relação a frequência dos vasos (Figura 31C), os valores diminuem consistentemente no sentido radial (de 16;21 para 9;11 vasos/ $\text{mm}^2$ ), com algumas diferenças significativas entre os tratamentos de fertilização. De maneira geral, as árvores com aplicação de potássio e sódio apresentaram lenho com menor frequência, significativas em todas as posições radiais, exceto a 33% do raio onde somente o tratamento com sódio foi estatisticamente inferior (11 vasos/ $\text{mm}^2$ ) em relação ao controle (14 vasos/ $\text{mm}^2$ ).

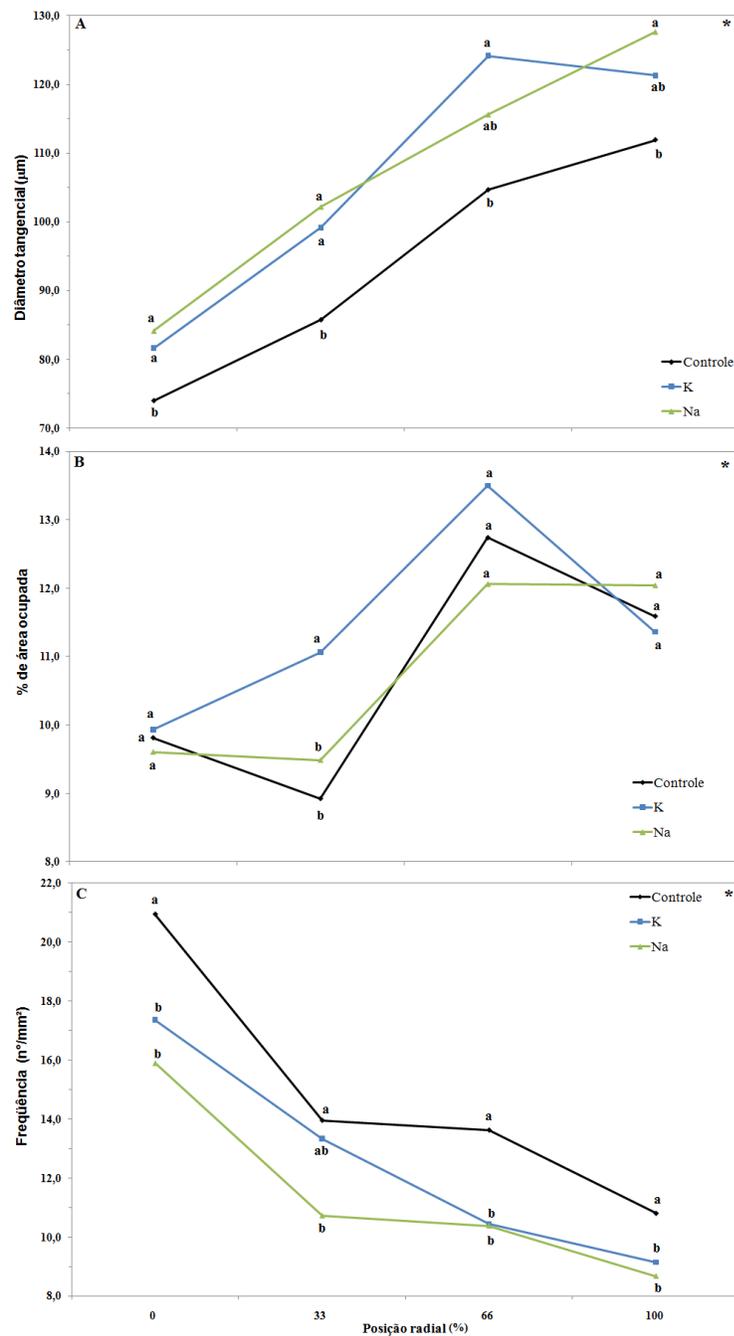


Figura 31 - Variação radial do diâmetro tangencial (A), % de área ocupada (B) e frequência (C) dos vasos do lenho do tronco das árvores de eucalipto, com 48 meses, nos 3 tratamentos de fertilização. \*significativo ( $p < 0,05$ )

A avaliação quantitativa da variação radial do diâmetro tangencial, % de área e frequência dos vasos do lenho do tronco das árvores de eucalipto nos 3 tratamentos de fertilização é, da mesma forma, expressa pela Figura 32.

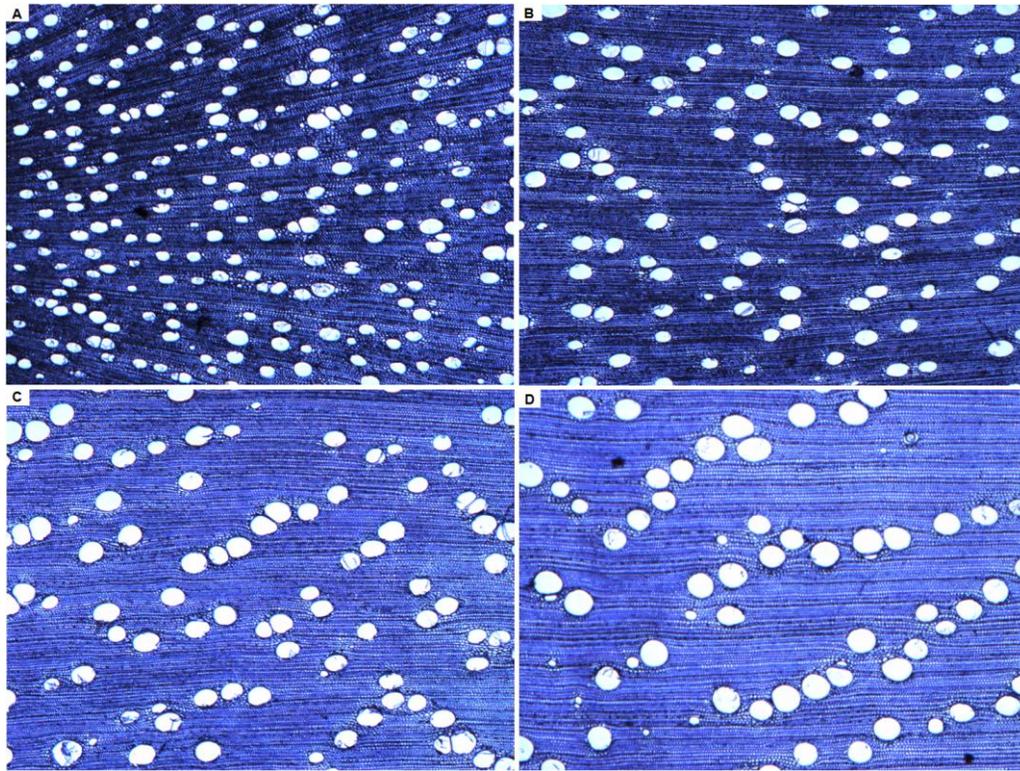


Figura 32 - Variação radial do diâmetro tangencial, % de área ocupada e frequência dos vasos do lenho do tronco de árvore de eucalipto, com 48 meses; classe de área basal média/tratamento de fertilização com potássio. (A) medula (D) casca

O modelo de variação radial do diâmetro, frequência e área ocupado pelos vasos no lenho das árvores de eucalipto é considerado como padrão por inúmeros autores - Dadswell (1958); Bamber; Humphreys (1963); Bamber; Floyd e Humphreys (1969); Davidson (1972); Santos e Taylor (1973a,b,c); Van Thua (1977); Foelkel et al. (1983); Santos e Santin (1984); Beveren (1998); Hudson; Wilson e Leal (2004); Veenin et al. (2005); Silva et al. (2007); Tomazello Filho (1985a,b, 1987, 2006) - para as espécies do gênero, como *Eucalyptus grandis*, *E. saligna*, *E. microcorys*, *E. pilularis*, *E. gummifera*, *E. robusta*, *E. globulus*, *E. pellita*, *E. acmenioides*, *E. camaldulensis*, *E. deglupta*, *E. regnans*, *E. viminalis*, *E. dalrympleana*, *E. tereticornis*, dentre outras. Saliente-se a importância dos vasos no lenho das árvores de eucalipto, pela sua influência nos processos fisiológicos de transporte da seiva mineral e nas propriedades de utilização da madeira, afetando a penetração do licor, densidade e qualidade superficial dos papéis de impressão (COLLEY, 1975; SHALLHORNE; HEINZE, 1997; CHEN; EVANS, 2004).

A análise de variância efetuada para as dimensões e frequência dos vasos apresentou um efeito aleatório reduzido, diferentemente do apresentado para as demais propriedades do lenho,

representando 4,3 a 12,7 % da variação total. Com base nos resultados pode-se concluir que a variabilidade natural das dimensões e frequência dos vasos é baixa e devida, em grande parte, aos tratamentos de fertilização, classes de área basal e posições no sentido medula-casca.

Os valores de variação do diâmetro tangencial, % de área ocupada e frequência dos vasos em termos de média e nos três tratamentos de fertilização, no lenho das árvores de eucalipto, em duas idades (24 e 48 meses) são apresentados nas Tabelas 20 e 21. Para a variação das dimensões médias dos vasos, independentemente dos tratamentos de fertilização, observa-se um aumento significativo no diâmetro tangencial (72,46 para 102,68  $\mu\text{m}$ ) e uma redução significativa na % de área (12,9 para 11,0%) e na frequência (19 para 13 vasos/ $\text{mm}^2$ ) dos vasos do 24º ao 48º mês de idade das árvores.

Considerando os tratamentos de fertilização verificam-se as mesmas variações descritas, sendo que, nas árvores adubadas com potássio e sódio observam-se maiores incrementos no diâmetro tangencial (34,82 e 34,15  $\mu\text{m}$ ), bem como reduções da frequência (5,9 e 8,2 vasos/ $\text{mm}^2$ ) e da % de área (13 e 11%) do 24º ao 48º mes. Os resultados dos trabalhos científicos que corroboram as variações obtidas para o diâmetro tangencial, frequência e % de área ocupada pelos vasos, em resposta a idade cambial, foram indicados no item anterior.

Tabela 20 - Valores médios do diâmetro tangencial, % de área e frequência dos vasos do lenho das árvores de eucalipto, nas idades de 24 e 48 meses

Idade (meses)	Diâmetro tangencial ( $\mu\text{m}$ )	% de Área	Frequência ( $\text{n}^\circ/\text{mm}^2$ )
24	72,46 <b>a</b> (3,00)	12,91 <b>a</b> (0,37)	19,23 <b>a</b> (1,06)
48	102,68 <b>b</b> (2,83)	11,01 <b>b</b> (0,27)	12,90 <b>b</b> (0,57)

Médias seguidas do teste de comparação de médias e desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, **na coluna**, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05\%$ )

Tabela 21 - Valores médios do diâmetro tangencial, % de área e frequência dos vasos do lenho das árvores de eucalipto, nas idades de 24 e 48 meses e nos 3 tratamentos de fertilização

Tratamento	Idade (meses)	Diâmetro tangencial ( $\mu\text{m}$ )	% de Área	Frequência ( $\text{n}^\circ/\text{mm}^2$ )
Controle	24	72,40 <b>a</b> (3,00)	12,77 <b>a</b> (0,60)	19,90 <b>a</b> (1,56)
	48	94,06 <b>b</b> (2,51)	10,76 <b>b</b> (0,22)	14,83 <b>b</b> (0,87)
Potássio	24	71,75 <b>a</b> (2,89)	12,54 <b>a</b> (0,78)	18,17 <b>a</b> (1,12)
	48	106,57 <b>b</b> (3,03)	11,46 <b>a</b> (0,44)	12,57 <b>b</b> (0,65)
Sódio	24	73,25 <b>a</b> (5,30)	13,43 <b>a</b> (0,60)	19,63 <b>a</b> (1,32)
	48	107,40 <b>b</b> (3,07)	10,80 <b>b</b> (0,22)	11,41 <b>b</b> (0,59)

Médias seguidas do desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, **na coluna, para cada tratamento**, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05\%$ )

#### 5.4 Características anatômicas e a densidade aparente média do lenho

A relação entre as características anatômicas e a densidade aparente média do lenho no DAP do tronco das árvores de eucalipto, aos 48 meses, e sua ordem de importância foi realizada através da análise de regressão múltipla, considerando-se como repetições os valores médios das quatro posições radiais (0, 33, 66 e 100%) (Tabela 22).

Tabela 22 - Análise de regressão múltipla entre a densidade aparente média (Dméd: variável dependente) e as características anatômicas (variáveis independentes) do lenho das árvores de eucalipto com base nos valores médios das 4 posições radiais

Passos	Frequência dos vasos	% Área dos vasos	Diâmetro dos vasos	Espessura da parede	Diâmetro do lume	Largura total da fibra	Comprimento das fibras	R <sup>2</sup>
1	39,20	19,77	34,00	2,77	0,00	0,23	9,89	0,46
2	39,20	19,77	24,00	2,77	--	--	4,28	0,46
3	40,35	21,16	35,26	--	--	--	2,77	0,42
4	41,27	22,19	35,84	--	--	--	--	0,37

a) os valores colocados abaixo das variáveis independentes são os coeficientes estandardizados (betas) e representam a proporção com que cada variável contribui para a determinação da variável dependente, explicada pela regressão; b) o símbolo "--" indica que a variável independente se manifestou NS para o nível de probabilidade de  $p < 0,05$

Verifica-se que, de modo geral, as características anatômicas explicam 46% da variação total da densidade aparente média do lenho, quando considerados os valores das quatro posições radiais. 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 0,09, foram: (i) espessura da parede, (ii) diâmetro do lume, (iii) largura e (iv) comprimento das fibras.

Desta forma, das variáveis relacionadas para explicar a densidade aparente média (Dméd.) do lenho em regressão Stepwise, a 5% de probabilidade, selecionou-se a frequência (Fr.), % de área e diâmetro tangencial (Diam.) dos vasos para compor o modelo de regressão (eq.16), que explica 37% da variação total da Dméd, com a frequência representando 41,3%.

$$Dméd. = -0,7741 + 0,0126 * Diam - 0,0655 * \% \text{ de área} + 0,0525 * Fr \quad (16)$$

A análise da estrutura microscópica e dos perfis radiais de densidade aparente revela a formação de duas regiões distintas do lenho no tronco das árvores de eucalipto (vide item 5.2.1). A região interna do lenho, comum a todas as árvores de eucalipto dos 3 tratamentos,

compreendendo da medula até 4,0-5,0 cm de raio, apresenta características de madeira juvenil, pelo menor valor de densidade aparente ( $0,40-0,45 \text{ g/cm}^3$ ), dimensões das fibras ( $12,7-14,2; 7,5-9,6; 2,3-2,9 \text{ }\mu\text{m}$  de largura, lume e espessura de parede, respectivamente) e dos vasos ( $85,7-103,9 \text{ }\mu\text{m}$  de diâmetro;  $10-14 \text{ vasos/mm}^2$  de frequência;  $8,9-11,3\%$  de área). A região externa do lenho, do 4°-5° cm a casca, com a presença de camadas de crescimento, mostra características de madeira de transição para a adulta. As camadas de crescimento da região externa do tronco têm elevado valor de densidade aparente do lenho ( $0,65-0,90 \text{ g/cm}^3$ ), resultado das alterações morfológicas dos vasos (redução do diâmetro:  $48,5-55,5 \text{ }\mu\text{m}$ , da % de área:  $2,0-4,5 \%$  e frequência:  $7,1-17 \%$ ) e das fibras (redução do diâmetro do lume:  $2,0-2,7 \text{ }\mu\text{m}$ ; largura total:  $8,1-11,6 \text{ }\mu\text{m}$ ; aumento da espessura da parede:  $3,1-4,5 \text{ }\mu\text{m}$ ), em relação à região interna (Tabela 23).

As diferenças entre os valores médios das duas regiões do lenho são, da mesma forma, observadas para os 3 tratamentos de fertilização; *controle*: redução do diâmetro ( $85,71$  para  $48,50 \text{ }\mu\text{m}$ ), % de área ocupada pelos vasos ( $8,9$  para  $3,1\%$ ), diâmetro do lume ( $8,82$  para  $2,67 \text{ }\mu\text{m}$ ) e largura total das fibras ( $13,58$  para  $11,65 \text{ }\mu\text{m}$ ), aumento da espessura da parede ( $2,38$  para  $4,49 \text{ }\mu\text{m}$ ) e estabilização da frequência dos vasos ( $14 \text{ vasos/mm}^2$ ) da região interna para a externa, respectivamente; *com potássio*: redução do diâmetro dos vasos ( $99,18$  para  $52,78 \text{ }\mu\text{m}$ ), % de área ocupada pelos vasos ( $11,0$  para  $3,0\%$ ), diâmetro do lume ( $8,43$  para  $1,98 \text{ }\mu\text{m}$ ) e largura total das fibras ( $13,71$  para  $8,13 \text{ }\mu\text{m}$ ), aumento da espessura da parede das fibras ( $2,64$  para  $3,08 \text{ }\mu\text{m}$ ) e estabilização da frequência dos vasos ( $13 \text{ vasos/mm}^2$ ) da região interna para a externa, respectivamente; *com sódio*: redução do diâmetro ( $102,20$  para  $53,33 \text{ }\mu\text{m}$ ), % de área ocupada pelos vasos ( $9,5$  para  $4,5\%$ ), diâmetro do lume ( $8,04$  para  $2,30 \text{ }\mu\text{m}$ ) e largura total das fibras ( $12,74$  para  $10,24 \text{ }\mu\text{m}$ ), aumento da espessura da parede ( $2,35$  para  $3,97 \text{ }\mu\text{m}$ ) e da frequência dos vasos ( $11$  para  $17 \text{ vasos/mm}^2$ ) da região interna para a externa, respectivamente.

Tabela 23 - Variação dos vasos (diâmetro, frequência, porcentagem de área) e fibras (espessura da parede, diâmetro do lume e largura) nas regiões interna e externa do lenho do tronco das árvores de eucalipto, nos 3 tratamentos de fertilização

Tratamento	Componente	Região do lenho	
		interna	externa
Controle	Diâmetro dos vasos ( $\mu\text{m}$ )	85,71	48,50
	Frequência dos vasos ( $\text{n}^\circ/\text{mm}^2$ )	13,96	14,18
	Porcentagem de área de vasos (%)	8,92	3,07
	Espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ )	2,38	4,49
	Diâmetro do lume da fibra ( $\mu\text{m}$ )	8,82	2,67
	Largura total da fibra ( $\mu\text{m}$ )	13,58	11,65
Potássio	Diâmetro dos vasos	99,18	52,78
	Frequência dos vasos	13,33	12,77
	Porcentagem de área de vasos	11,06	2,98
	Espessura da parede da fibra	2,64	3,08
	Diâmetro do lume da fibra	8,43	1,98
	Largura total da fibra	13,71	8,13
Sódio	Diâmetro dos vasos	102,20	53,33
	Frequência dos vasos	10,72	17,02
	Porcentagem de área de vasos	9,48	4,53
	Espessura da parede da fibra	2,35	3,97
	Diâmetro do lume da fibra	8,04	2,30
	Largura total da fibra	12,74	10,24

região interna: da medula até 4,0-5,0 cm de raio; região externa: de 4,0-5,0cm até a casca

Considerando os níveis de diferença dos valores médios das características anatômicas das regiões interna e externa do tronco das árvores de eucalipto (Tabela 23 e Figura 33), foi aplicada a análise de regressão múltipla (Tabela 24), considerando estes valores médios como repetição.

Tabela 24 - Análise de regressão múltipla entre a densidade aparente média ( $D_{\text{méd}}$ : variável dependente) e as características anatômicas (variáveis independentes) do lenho das árvores de eucalipto, com base nos valores médios das regiões interna e externa do lenho

Passos	Frequência dos vasos	% Área dos vasos	Diâmetro dos vasos	Espessura da parede	Diâmetro do lume	Largura total da fibra	R <sup>2</sup>
1	0,44	1,82	1,58	45,82	23,60	26,75	0,90
2	9,79	37,10	30,53	20,28	2,30	--	0,89
3	10,01	38,51	30,94	20,41	--	--	0,88

a) os valores colocados abaixo das variáveis independentes são os coeficientes estandardizados (betas) e representam a proporção com que cada variável contribui para a determinação da variável dependente, explicada pela regressão; b) o símbolo "--" indica que a variável independente se manifestou NS para o nível de probabilidade de  $p < 0,05$

A análise indica que a porcentagem de explicação da variação total da densidade média aparente do lenho melhorou significativamente (de 46% para 90%) quando são considerados os

valores médios das características anatômicas do lenho nas regiões interna e externa do tronco das árvores de eucalipto.

As variáveis/características anatômicas não significativas retiradas e de menor interesse na determinação da densidade aparente média para as fibras foram o diâmetro do lume e a largura. Com relação aos vasos, sua frequência, % de área e diâmetro, juntamente com a espessura da parede das fibras, explicam 88% da variação total da densidade média do lenho, considerando os valores da região interna e externa, com a % de área de vasos indicando 38,5% desta variação.

A relação da densidade e dos elementos anatômicos do lenho de eucalipto foi feita por Barrichelo e Brito (1976), Oliveira (1988), Vital et al. (1994), 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 (representada pelos picos de densidade no perfil radial). Os perfis radiais de densidade aparente do lenho (Figura 33) são semelhantes aos observados por Hudson et al. (1998) para o *E. globulus* e *E. nitens*, na Austrália e por Tomazello Filho (2006) para o *E. grandis x urophylla*, no Brasil. Essas camadas de crescimento no lenho das árvores de eucalipto são formadas em resposta as condições climáticas, que exercem significativo efeito indutor da sazonalidade da atividade cambial e, conseqüente, crescimento e desenvolvimento das árvores. Os anéis de crescimento de lenho tardio, de maior densidade, são formados no período de estresse hídrico sendo característicos pelos vasos de menor diâmetro e frequência, conforme verificaram Leal et al. (2004) em árvores de *E. globulus*, em Portugal.

Da mesma forma, Wimmer et al., (2002) destacam que o aumento do déficit de água no solo induz a redução do diâmetro dos vasos no lenho das árvores de *E. globulus* e *E. nitens*, com os anéis de crescimento apresentando menor/maior densidade no início e no final da estação de crescimento. Desta forma, a densidade do lenho, segundo Downes (1997) e Downes et al. (2000), é resultado das dimensões dos vasos e da espessura da parede celular.

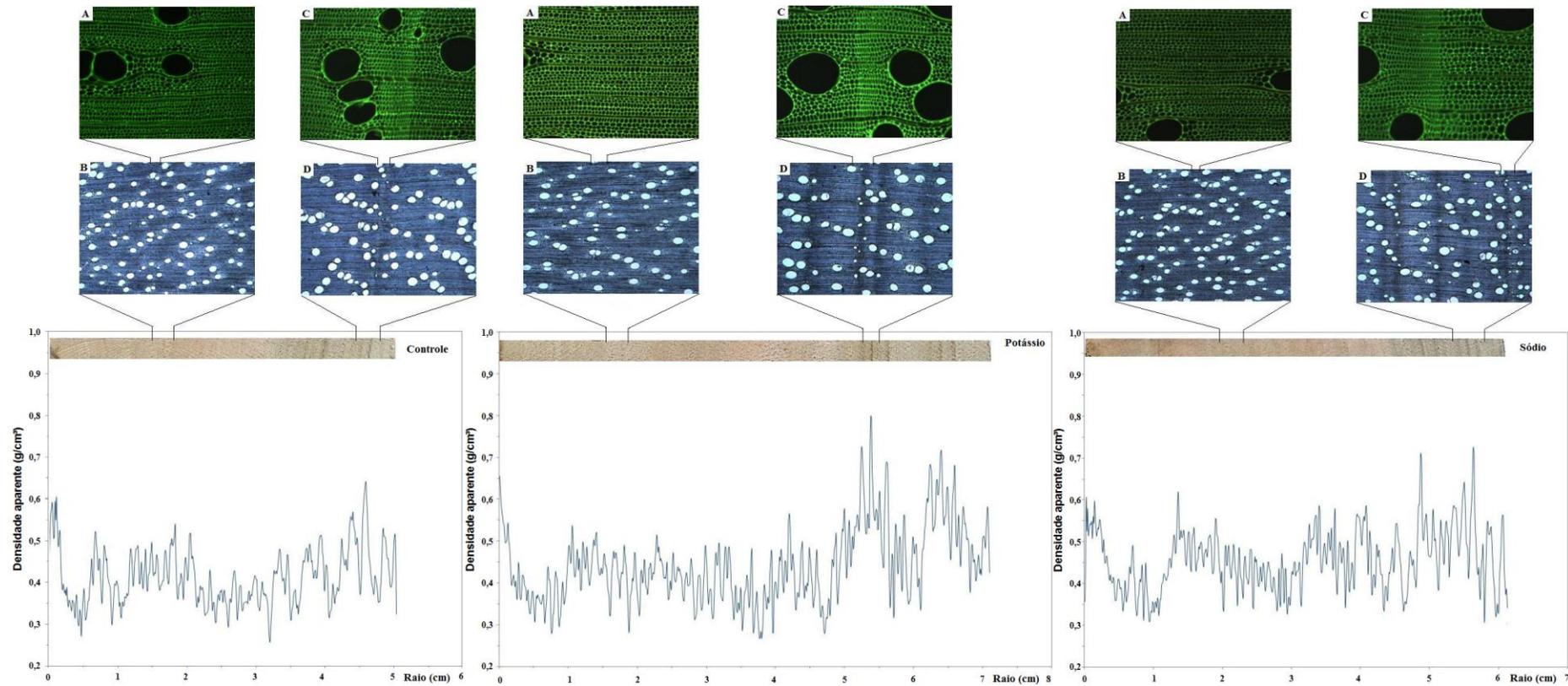


Figura 33 - Perfil radial da densidade aparente e respectiva seção transversal do lenho do tronco de árvores de eucalipto, da classe de área basal média dos tratamentos controle, potássio e sódio, na região interna (A, B) e externa (C, D)

## 5.5 Propriedades mecânicas do lenho das árvores de eucalipto

Os valores da resistência ( $f_M$ ), rigidez ( $E_M$ ) na flexão estática e a resistência ( $f_{c0}$ ) à compressão paralela às fibras do lenho do tronco das árvores de eucalipto, com 48 meses, nos três tratamentos de fertilização são apresentados na Tabela 25 e Anexos S, T, U.

A resistência do lenho das árvores de eucalipto fertilizadas com potássio foi de 92,5 MPa, superior ao das árvores fertilizadas com sódio de 80,0 MPa (significativo) e controle de 87,2 MPa (não significativo). Para a rigidez do lenho das árvores de eucalipto, o tratamento com potássio promoveu maior e significativo valor (13116 MPa) em relação ao tratamento com sódio (10923 MPa). Por outro lado, o lenho das árvores de eucalipto dos tratamentos controle e de potássio mostrou maior valor de resistência à compressão paralela às fibras (44,6 e 43,9 MPa) em relação ao lenho do tratamento com sódio (38,8 MPa), com significância estatística.

A maior resistência e rigidez da flexão estática do lenho das árvores de eucalipto fertilizadas com potássio corrobora com os valores obtidos por Berger et al. (2000) e Haselein et al. (2002). Segundo Klock (2000), embora o  $E_M$  não ofereça informações completas sobre o comportamento do lenho, seu elevado valor indica alta resistência e baixa capacidade de deformação, qualificando-a para fins construtivos. Da mesma forma, os valores de  $f_M$  e  $f_{c0}$  são utilizados para a obtenção de tensões admissíveis para diversas formas de utilização da madeira.

Cruz, Lima e Muniz (2003) obtiveram para o lenho de eucalipto valores maiores de resistência (94 MPa) e de rigidez (15044 MPa) na flexão estática e Lobão et al. (2004) de rigidez à flexão estática com valor médio de 15275 MPa. A diferença observada com o presente estudo relaciona-se com a idade das árvores de eucalipto (48 meses) e o tipo de lenho formado (madeira juvenil-transição) no tronco, de menor resistência e rigidez. Para Raymond (2000), os valores das propriedades mecânicas são mais elevados na madeira adulta do tronco de árvores de eucalipto de idade avançada.

Tabela 25 - Valores médios da resistência ( $f_M$ ), rigidez ( $E_M$ ) na flexão estática e resistência ( $f_{c0}$ ) na compressão paralela às fibras do lenho do tronco das árvores de eucalipto, com 48 meses, nos três tratamentos de fertilização

Tratamento	$f_M$ (MPa)	$E_M$ (MPa)	$f_{c0}$ (MPa)
Controle	87,2 <b>ab</b> (1,9)	12479 <b>ab</b> (1215,5)	44,6 <b>a</b> (3,3)
Potássio	92,5 <b>a</b> (4,7)	13116 <b>a</b> (1100,2)	43,9 <b>a</b> (3,0)
Sódio	80,0 <b>b</b> (5,4)	10921 <b>b</b> (922,8)	38,8 <b>b</b> (1,6)

Médias seguidas do desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, **na coluna**, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05\%$ )

As propriedades mecânicas do lenho das árvores de eucalipto das 4 classes de área basal (Tabela 26 e Anexos S, T, U) não mostram diferenças significativas – o efeito das classes de área basal na resistência e rigidez do lenho é baixo - verificado pela pequena diferença das médias nas classes de área basal. Da mesma forma, não houve tendência consistente na variação das propriedades mecânicas, não identificando-se um padrão consistente de variação.

A resistência e a rigidez na flexão estática do lenho com valores de 85,5 e 11686 MPa, respectivamente, foram, de modo geral, menores nas árvores de eucalipto da classe de área basal 4, em relação às das demais classes, apesar de não significativo. A resistência na compressão paralela às fibras do lenho foi menor no lenho das árvores da classe de área basal 1 com 41,4 MPa, embora não significativo, em relação às das classes 2, 3 e 4, com 42,7; 43,1 e 42,5 MPa, respectivamente.

Tabela 26 - Valores médios da resistência ( $f_M$ ), rigidez ( $E_M$ ) na flexão estática e resistência ( $f_{c0}$ ) na compressão paralela às fibras do lenho do tronco das árvores de eucalipto, com 48 meses, por classe de área basal

Classe de área basal	$f_M$ (MPa)	$E_M$ (MPa)	$f_{c0}$ (MPa)
1	86,0 <b>a</b> (7,7)	12315 <b>a</b> (1167,4)	41,4 <b>a</b> (3,4)
2	87,8 <b>a</b> (4,0)	12686 <b>a</b> (1121,7)	42,7 <b>a</b> (3,7)
3	86,9 <b>a</b> (5,9)	12001 <b>a</b> (1152,9)	43,1 <b>a</b> (3,6)
4	85,5 <b>a</b> (8,8)	11686 <b>a</b> (1453,3)	42,5 <b>a</b> (3,5)

Médias seguidas do desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, **na coluna**, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05\%$ )

A variação das propriedades mecânicas do lenho das árvores de eucalipto, das quatro classes de área basal/três tratamentos de fertilização, mostra que o efeito das classes não foi significativo exercendo, de modo semelhante, influencia nas propriedades de flexão estática (Figura 34A,B): as árvores de eucalipto do tratamento com potássio formaram lenho de maior resistência e rigidez. Para a resistência na compressão paralela às fibras (Figura 34C) o lenho das

árvores de eucalipto controle mostrou maior resistência nas de classe de área basal 1, 2 e 3, com 44,9; 46,3 e 44,7MPa, respectivamente.

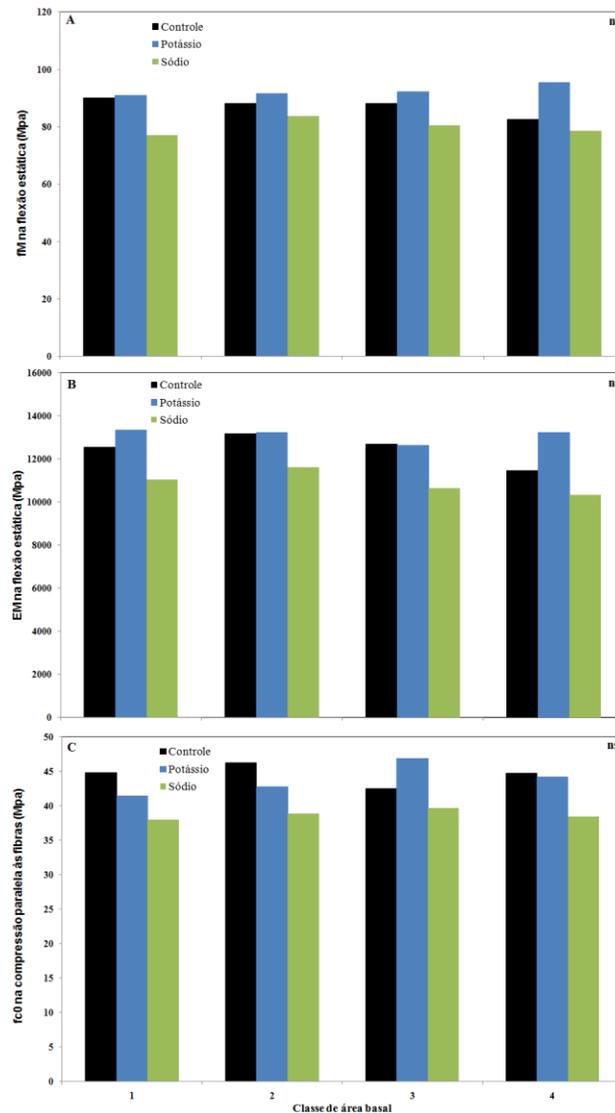


Figura 34 - Valores médios da resistência ( $f_M$ ) e rigidez ( $E_M$ ) à flexão estática e da resistência ( $f_{c0}$ ) à compressão paralela às fibras do lenho do tronco das árvores de eucalipto aos 48 meses, por classe de área basal e nos três tratamentos de fertilização

A variação da resistência ( $f_M$ ) e rigidez ( $E_M$ ) à flexão estática e a resistência ( $f_{c0}$ ) à compressão paralela às fibras do lenho, em três posições longitudinais do tronco (base-DAP, DAP-3m e 3-6m) das árvores de eucalipto, aos 48 meses, é apresentada na Figura 35 e Anexos S, T, U. Constata-se que o efeito das posições longitudinais do tronco não é significativo e sem tendência consistente de variação das propriedades mecânicas do lenho da base para o topo das árvores, similar ao observado por Calori e Kikuti (1997). Ao contrário, Berger (2000) mostrou

que a posição da amostragem do lenho no tronco da árvore de eucalipto influencia significativamente a resistência e rigidez a flexão estática. Da mesma forma, Cruz, Lima e Muniz (2003) afirmam que a variação das propriedades mecânicas do lenho no sentido medula-casca é maior do que no sentido base-topo do tronco das árvores de eucalipto.

Com relação a resistência ( $f_M$ ) à flexão estática do lenho (Figura 35A), observam-se para os três tratamentos de fertilização, modelos diferenciados de variação longitudinal do tronco das árvores. No tratamento controle verifica-se aumento da resistência do lenho da base-DAP para o torete central (DAP-3 m), com redução em direção ao ápice (3-6 m), com valores de 86,7, 91,9 e de 83,0 MPa, respectivamente. Para o tratamento com potássio verifica-se a redução da resistência do lenho da base-DAP para DAP-3m e aumento para o ápice, com 93,1, 90,4 e 94,1 MPa, respectivamente. Para o tratamento com sódio, verifica-se uma redução de 82,6 para 77,4 MPa, da base-DAP para 3-6 m do lenho do tronco das árvores.

Para a rigidez ( $E_M$ ) na flexão estática do lenho das árvores de eucalipto, o modelo de variação longitudinal é semelhante nos tratamentos com potássio e sódio, com aumento da rigidez do lenho da base-DAP para 3-6 m do tronco, com valores de 12819-10379 e de 13312-11174 MPa, respectivamente. No tratamento controle verifica-se o aumento da rigidez do lenho da base-DAP, para o torete central (DAP-3 m), com valores de 11775 e de 13236 MPa, seguindo-se redução a 3-6 m do tronco, com 12424 MPa (Figura 35B).

Na resistência do lenho na compressão paralela às fibras ( $f_{c0}$ ) observam-se modelos similares de variação longitudinal no tronco das árvores nos tratamentos de fertilização controle e com sódio, com aumento da resistência da base-DAP para 3-6 m do tronco, com valores de 42,2;37,5 para 46,3;40,5MPa, respectivamente. No tratamento com potássio verificou-se aumento da resistência do lenho da base-DAP para o torete central (DAP-3m) de 44,1 para 44,9 MPa, com redução na altura de 3-6m, com 42,5 MPa (Figura 35C).

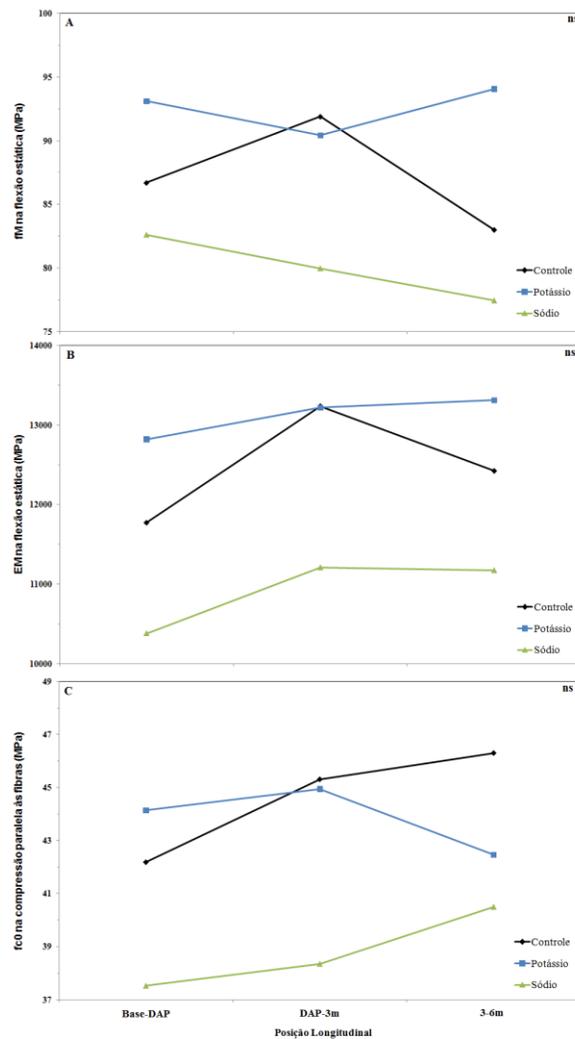


Figura 35 - Valores médios da resistência (A) e rigidez (B) a flexão estática e resistência (C) a compressão paralela às fibras do lenho das árvores de eucalipto, com 48 meses, nos três tratamentos de fertilização e posições longitudinais do tronco. <sup>ns</sup> não significativo ( $p < 0,05$ )

## 5.6 Propriedades mecânicas, anatômicas e densidade do lenho das árvores de eucalipto

A relação das propriedades mecânicas, características anatômicas e densidade do lenho das árvores de eucalipto e sua ordem de importância, foi analisada através de regressão múltipla, tendo os valores médios no DAP (Tabelas 27, 28 e 29). Foram selecionadas as variáveis – densidade aparente média (DA), frequência (Freq.), diâmetro dos vasos (Diam.Vasos) e comprimento das fibras (Comp.) - para explicar a resistência a flexão estática do lenho, em regressão Stepwise, a 5% de probabilidade, para compor o modelo de regressão (eq. 17) explicando 70% da variação total.

$$f_M = 55,4944 + 1,2188 * DA - 3,3272 * Freq. - 3,3244 * Diam.Vasos + 0,0984 * Comp \quad (17)$$

As dimensões transversais das fibras e a % de área dos vasos foram as variáveis não significativas retiradas e de menor interesse na determinação da rigidez à flexão estática do lenho. Foram selecionadas densidade aparente média (DA), frequência (Fr.), diâmetro dos vasos (Diam.Vasos) e comprimento das fibras (Comp.) para explicar a rigidez a flexão estática do lenho, analisadas em regressão Stepwise, a 5% de probabilidade, para compor o modelo de regressão (eq. 18), explicando 66% da variação total.

$$E_M = -31597,19 + 1415,96 * DA - 759,38 * Freq. + 313,14 * Diam.Vasos + 15,1038 * Comp. \quad (18)$$

Para a resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c0}$ ), as variáveis não significativas eliminadas e, por isso, com menos interesse na sua determinação, foram, da mesma forma, as dimensões transversais das fibras e a % de área dos vasos. Foram selecionadas a densidade aparente média (DA), frequência (Fr.), diâmetro dos vasos (Diam.Vasos) e comprimento das fibras (Comp.) para compor o modelo de regressão múltipla (eq. 19), a 5% de probabilidade, explicando 86% da variação total.

$$f_{c0} = -15,83 + 59,82 * D_{méd} - 0,83 * Freq. - 0,36 * Diâm.Vasos + 0,091 * Comp. \quad (19)$$

Nas análises de regressão múltipla realizadas para as propriedades mecânicas do lenho observou-se que a densidade aparente média, as dimensões dos vasos e o comprimento das fibras foram as variáveis selecionadas para compor os modelos de regressão, sendo a densidade do lenho responsável por 33,4; 39,9 e 19,9% da variação total da  $f_M$ ,  $E_M$  e  $f_{c0}$ , respectivamente. A relação entre a densidade e as propriedades mecânicas do lenho foi verificada por diversos autores, como Kollman e Côté (1968); Chimelo (1980); De Paula (1986); Melo e Siqueira (1992) e outros. Bodig e Jayme (1982) afirmaram que muitas das propriedades mecânicas da madeira estão correlacionadas com a densidade. Da mesma forma, Moreira (1999) reiterou que as propriedades mecânicas do lenho apresentam uma significativa associação com as características anatômicas relacionadas, em especial, com as fibras e vasos.

A resistência e a rigidez da madeira são dois parâmetros normalmente determinados nos ensaios mecânicos, sendo de grande importância na caracterização tecnológica da madeira,

constituindo-se, na prática, parâmetros de grande aplicação na classificação dos materiais (MOREIRA, 1999).

Tabela 27 - Análise de regressão múltipla entre a resistência a flexão estática ( $f_M$ : variável dependente), características anatômicas e densidade do lenho (variáveis independentes), no DAP do tronco das árvores de eucalipto

Passos	Densidade aparente	Frequência dos vasos	% Área dos vasos	Diâmetro dos vasos	Espessura da parede	Diâmetro do lume	Largura da fibra	Comp. da fibra	R <sup>2</sup>
1	18,4	25,7	16,0	16,8	5,9	3,2	--	14,0	0,74
2	19,0	26,8	16,4	17,4	4,7	--	--	15,7	0,74
3	27,5	25,3	17,1	14,3	--	--	--	15,8	0,74
4	33,4	29,3	--	24,3	--	--	--	13,0	0,70

Tabela 28 - Análise de regressão múltipla entre a rigidez a flexão estática ( $E_M$ : variável dependente), características anatômicas e densidade do lenho (variáveis independentes), no DAP do tronco das árvores de eucalipto

Passos	Densidade aparente	Frequência dos vasos	% Área dos vasos	Diâmetro dos vasos	Espessura da parede	Diâmetro do lume	Largura da fibra	Comp. da fibra	R <sup>2</sup>
1	34,8	17,6	1,8	25,9	5,9	3,3	--	10,4	0,80
2	35,1	17,7	6,2	26,1	4,5	--	--	10,2	0,79
3	37,3	18,5	7,4	27,9	--	--	--	8,9	0,78
4	39,9	21,5	--	31,9	--	--	--	6,6	0,66

Tabela 29 - Análise de regressão múltipla entre a resistência na compressão paralela às fibras ( $f_{c0}$ : variável dependente), características anatômicas e densidade do lenho (variáveis independentes) no DAP do tronco das árvores de eucalipto

Passos	Densidade aparente	Frequência dos vasos	% Área dos vasos	Diâmetro dos vasos	Espessura da parede	Diâmetro do lume	Largura da fibra	Comp. da fibra	R <sup>2</sup>
1	10,6	23,0	10,5	31,0	3,8	4,3	--	16,8	0,91
2	11,1	26,1	10,6	31,2	--	4,1	--	16,9	0,91
3	18,0	27,1	--	31,7	--	7,0	--	16,1	0,91
4	19,9	18,8	--	29,8	--	--	--	31,6	0,86

a) os valores colocados abaixo das variáveis independentes são os coeficientes estandardizados (betas) e representam a proporção com que cada variável contribui para a determinação da variável dependente, explicada pela regressão; b) o símbolo "--" indica que a variável independente se manifestou não significativa para o nível de probabilidade de  $p < 0,05$

## 5.7 Concentração de nutrientes no lenho das árvores de eucalipto

As concentrações de potássio e de sódio no lenho do tronco das árvores de eucalipto no 12°, 24°, 36° e 48° mês, por idade cambial e nos três tratamentos de fertilização são apresentadas na Tabela 30 e Figura 36. Constata-se que a concentrações de potássio e de sódio diminuem no

lenho das árvores, de forma consistente, do 12<sup>o</sup>→36<sup>o</sup>/48<sup>o</sup> mês, de 2,07-1,50 para 0,70-0,45 e de 0,68-0,20 para 0,43-0,08 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

As alterações na concentração de nutrientes no lenho nas diferentes fases de desenvolvimento das árvores de eucalipto têm sido reportadas para outras espécies. A análise da concentração de nutrientes no alburno/cerne do lenho de árvores de espécies de eucalipto na Austrália evidenciou que o potássio diminui sistematicamente no processo de formação do cerne (GROVE et al., 1996). Uma redução na concentração de K ao longo da rotação foi também observada para a espécie *Picea abies* e *Castanea sativa* (DAMBRINE et al., 1991).

Com relação a idade cambial, ocorre um aumento nas concentrações dos nutrientes da região interna (idade cambial 1) para a externa do lenho (idade cambial 4) do lenho das árvores de eucalipto, com maior evidência para o sódio no tratamento de fertilização de sódio (Figura 36F). Essa constatação demonstra que o potássio e o sódio estão presentes em maiores teores no tecido do lenho fisiologicamente ativo, ou seja, no alburno. Esses resultados corroboram aos obtidos por Hingston et al. (1979) e por Laclau et al. (2001) no lenho de árvores de eucalipto, sendo que a maior quantidade de nutrientes presente no tecido fisiologicamente ativo (alburno) da região externa do tronco está relacionada com a demanda nutricional para a produção de novas células.

A concentração de potássio e de sódio variou em relação aos tratamentos de fertilização das árvores de eucalipto: o maior teor de potássio nos 2 primeiros anos após o plantio foi detectado no lenho das árvores do tratamento com potássio em relação as árvores do tratamento controle e com sódio. Da mesma forma, no lenho das árvores do tratamento com sódio foi detectado maior teor de sódio durante os três primeiros anos após o plantio, em relação as árvores controle e com potássio. A maior concentração encontrada no lenho das árvores de eucalipto dos três tratamentos deve-se a quantidade aplicada do fertilizante no solo, durante o primeiro ano após o plantio.

Tabela 30 - Concentração de potássio e de sódio ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) nos três tratamentos de fertilização e idade cambial no lenho do tronco das árvores de eucalipto

Idade Cambial	Tratamento Controle				Tratamento Potássio				Tratamento Sódio		
	12	24	36	48	12	24	36	48	12	24	36
Concentração de K											
1	1,76	0,86	0,70	0,31	2,07	1,24	0,27	0,15	1,50	0,73	0,40
2		1,32	1,21	0,25		1,72	0,76	0,22		0,98	0,73
3			1,29	0,52			1,17	0,59			0,97
4				0,73				0,89			--
<b>Média</b>	<b>1,76</b>	<b>1,09</b>	<b>1,07</b>	<b>0,45</b>	<b>2,07</b>	<b>1,48</b>	<b>0,74</b>	<b>0,46</b>	<b>1,50</b>	<b>0,85</b>	<b>0,70</b>
Concentração de Na											
1	0,42	0,47	0,24	0,13	0,20	0,25	0,16	0,06	0,68	0,55	0,30
2		0,42	0,33	0,09		0,21	0,18	0,06		0,71	0,44
3			0,30	0,14			0,18	0,08			0,54
4				0,22				0,10			--
<b>Média</b>	<b>0,42</b>	<b>0,44</b>	<b>0,29</b>	<b>0,14</b>	<b>0,20</b>	<b>0,23</b>	<b>0,17</b>	<b>0,08</b>	<b>0,68</b>	<b>0,63</b>	<b>0,43</b>

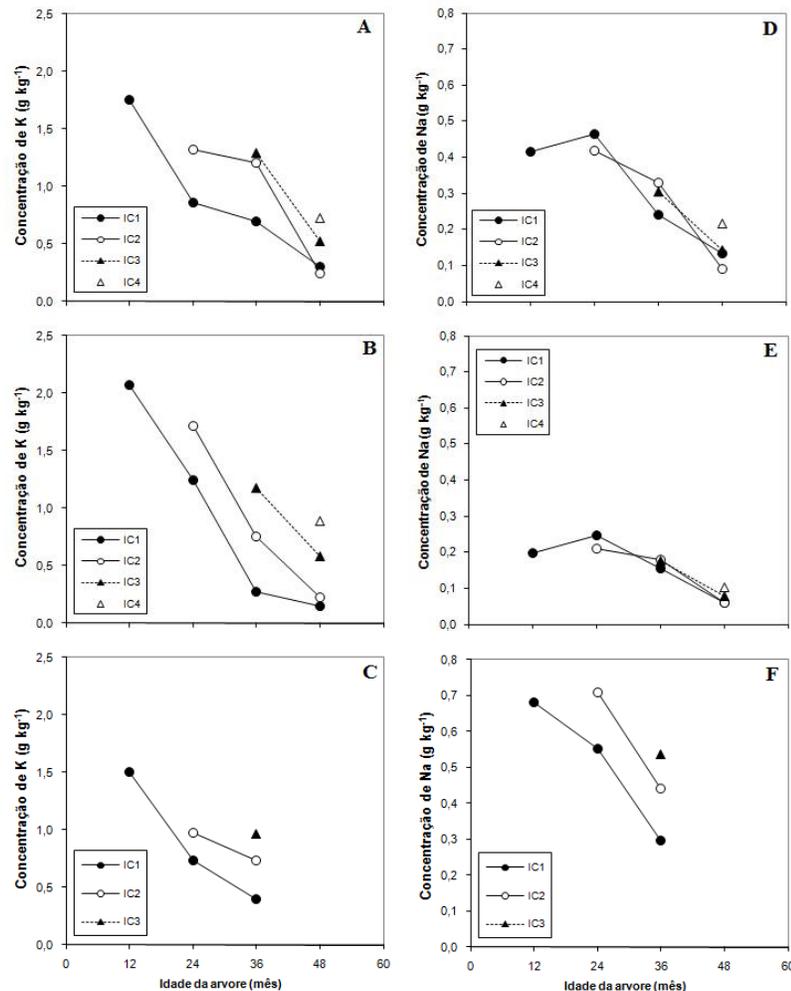


Figura 36 - Concentração de potássio (tratamentos controle, com potássio e sódio, A, B, C, respectivamente) e de sódio (tratamentos controle, com potássio e sódio, D, E, F, respectivamente) no lenho do tronco das árvores de eucalipto, no 12°, 24°, 36° e 48° mês. (IC) indica a idade cambial

A massa de potássio e de sódio no lenho nas idades de 12, 24 e 36 meses e relação com a idade cambial e nos três tratamentos de fertilização são apresentados na Figura 37. Consta-se que a massa de potássio e sódio não manteve-se constante mas, apresentou um decréscimo em relação ao avanço da idade e/ou desenvolvimento das árvores de eucalipto. Um padrão similar de translocação de elevado teor de potássio foi observado por Laclau et al. (2001) na fase de desenvolvimento do lenho de árvores de eucalipto, sugerindo que trata-se de processo relacionado com alta eficiência no seu metabolismo.

A massa de potássio e sódio no lenho na idade cambial 1 das árvores foi menor do que o detectado nas idades cambiais 2-4 pela menor quantidade de biomassa. Da mesma forma, a maior quantidade de nutrientes foi encontrada nas idades cambiais externas do lenho das árvores, pela maior quantidade de biomassa e teor de nutrientes nestas idades.

Como observado para as concentrações de nutrientes no lenho, a quantidade de potássio e de sódio variou nos três tratamentos de fertilização das árvores de eucalipto, com as do tratamento com potássio apresentando a maior massa do nutriente no seu lenho (Figura 37B), em 50-60% em relação aos outros tratamentos. Para o tratamento sódio nota-se, da mesma forma, maior quantidade de sódio no lenho das árvores de eucalipto (Figura 37E), superior em 56-64% ao dos demais tratamentos. Nesse aspecto, Cromer et al. (1993) observaram que a aplicação excessiva de fertilizantes em plantações de árvores de *E. grandis* possibilitou o acúmulo de nutrientes no lenho em teores que, provavelmente, excedem a necessidade para um crescimento máximo.

O total de translocação de nutrientes no lenho das árvores de eucalipto, entre dois anos sucessivos, indica uma nítida diferença no comportamento desses nutrientes nos diferentes tratamentos de fertilização (Tabela 31). O total de potássio retranslocado anualmente no lenho até a idade de 48 meses, foi de 18,74 e 50,87 kg.ha<sup>-1</sup> nos tratamentos controle e potássio, respectivamente. Estas quantidades demonstram que as árvores reaproveitam o K disponível no lenho, sendo usado, possivelmente para a formação de tecidos novos na planta. Com isso, do total de K absorvido no solo, cerca de 19-51 kg.ha<sup>-1</sup> foram retranslocados no lenho das árvores durante os 4 primeiros anos de crescimento. Da mesma forma, as árvores que receberam a aplicação de potássio, apresentaram a maior quantidade deste nutriente retranslocado nos 4 primeiros anos de crescimento das árvores, na ordem de 63% superiores em relação as árvores controle.

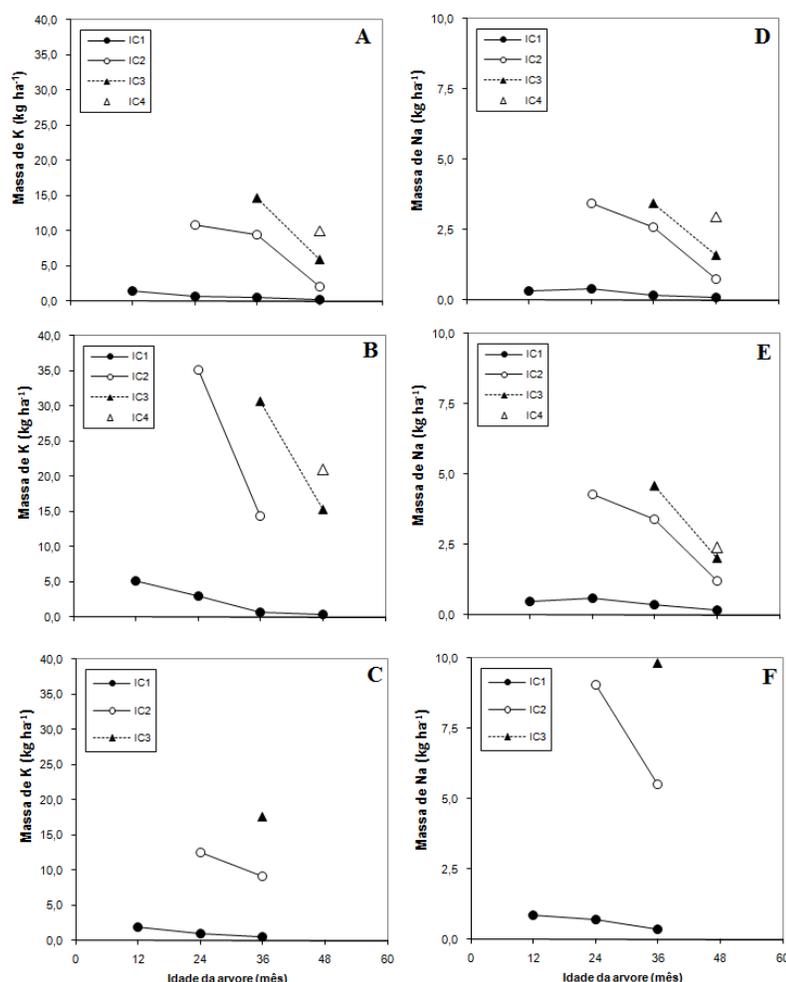


Figura 37 - Mineralomassa de potássio (tratamentos controle, com potássio e sódio, A, B, C, respectivamente) e de sódio (tratamentos controle, com potássio e sódio, D, E, F, respectivamente) no lenho do tronco das árvores de eucalipto no 12<sup>o</sup>, 24<sup>o</sup>, 36<sup>o</sup> e 48<sup>o</sup> mês. (IC) indica a idade cambial

Para o Na, assim como o observado para o K, o total retranslocado até a idade de 36 meses foi de 1,05; 1,00 e 4,05 kg.ha<sup>-1</sup> nos tratamentos controle, potássio e sódio, respectivamente. Da mesma forma, as árvores reaproveitam o sódio disponível no lenho das árvores em teor menor do que o observado para o potássio. Este comportamento é original para as árvores de eucalipto e indicativa da função de “nutriente funcional” do sódio descrita por Subbarao et al. (2003), explicando porque em solos com alta deficiência de potássio ocorre uma resposta positiva das árvores de eucalipto à adubação com cloreto de sódio (ALMEIDA et al., 2010). A retranslocação de sódio em teores 4 vezes maior no tratamento com aplicação de sódio pode contribuir para a diminuição da demanda por potássio para o crescimento das árvores de eucalipto.

Tabela 31 - Retranslocação potássio e de sódio ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) nos três tratamentos de fertilização e idade cambial no lenho do tronco das árvores de eucalipto

Idade Cambial	Controle			Total	Potássio			Total	Sódio			Total
	12-24	24-36	36-48	Retranslocado	12-24	24-36	36-48	Retranslocado	12-24	24-36	36-48	Retranslocado
K retranslocação												
1	0,70	0,19	0,30	1,20	2,15	2,35	0,25	4,74	0,94	0,46	--	1,40
2		1,38	7,42	8,80		20,77	9,94	30,70		3,36	--	3,36
3			8,74	8,74			15,42	15,42		--	--	--
<b>Total retranslocado</b>	<b>0,70</b>	<b>1,57</b>	<b>16,47</b>	<b>18,74</b>	<b>2,15</b>	<b>23,11</b>	<b>25,60</b>	<b>50,87</b>	<b>0,94</b>	<b>3,82</b>	<b>--</b>	<b>4,76</b>
Na retranslocação												
1	0,00	0,21	0,08	0,29	-0,10	0,23	0,21	0,33	0,14	0,35	--	0,49
2		0,85	1,85	2,70		0,87	2,20	3,08		3,55	--	3,55
3			1,85	1,85			2,57	2,57		--	--	--
<b>Total retranslocado</b>	<b>0,00</b>	<b>1,05</b>	<b>3,78</b>	<b>4,84</b>	<b>-0,10</b>	<b>1,10</b>	<b>4,98</b>	<b>5,98</b>	<b>0,14</b>	<b>3,90</b>	<b>--</b>	<b>4,05</b>



## 6 SÍNTESE DOS RESULTADOS

a. A *taxa de incremento do tronco* no DAP das árvores de eucalipto (i) foi maior nas árvores do tratamento com potássio e nas de maiores dimensões (classes de área basal 3 e 4) em relação as árvores dos demais tratamentos e classes de área basal, respectivamente; (ii) foi maior nas árvores do tratamento com sódio em relação as do controle; (iii) foi afetado pela sazonalidade climática, principalmente pela precipitação, temperatura média e umidade relativa do ar, com períodos de máximo e de mínimo incremento.

b. A *densidade aparente média do lenho* das árvores de eucalipto (i) não foi afetada pelos tratamentos de fertilização e pelas classes de área basal, sem diferenças significativas; (ii) os modelos dos perfis radiais de densidade aparente são comuns nos três tratamentos, caracterizados por maiores valores na região próxima a medula (0,50-0,60g/cm<sup>3</sup>), redução e estabilização dos valores na faixa de 0,40-0,50g/cm<sup>3</sup>, seguindo-se um aumento em direção a casca (0,65-0,80g/cm<sup>3</sup>); (iii) das variáveis climáticas relacionadas para explicar a densidade aparente média do lenho, através da metodologia de re-escala, selecionou-se a precipitação para compor o modelo de regressão, sendo inversamente proporcionais; (iv) das características anatômicas relacionadas para explicar a densidade aparente média do lenho, foram selecionadas as dimensões e frequência dos vasos.

c. A *densidade básica do lenho* das árvores de eucalipto (i) não foi afetada pelos tratamentos de fertilização, com algumas diferenças significativas entre as classes de área basal; (ii) os modelos dos perfis longitudinais de densidade básica do lenho foram similares nos diferentes tratamentos e idades das árvores, caracterizados pelo decréscimo da base ao DAP, com aumento até o ápice do tronco; (iii) a densidade básica do lenho aumentou com a avanço da idade das árvores, significativo do 24<sup>o</sup> para o 48<sup>o</sup> mês de idade (0,42 e 0,44 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente).

d. Com relação às características anatômicas do lenho das árvores de eucalipto: as fibras (i) foram mais curtas (840,23 µm) nas árvores fertilizadas com sódio em relação as árvores controle e com aplicação de potássio (870,94 e 886,83 µm, respectivamente) e na classe de área basal 1 em relação as demais classes; (ii) apresentaram parede celular mais espessa (2,40 µm) e lume menor (8,75 µm) nas árvores que receberam a aplicação de potássio; (iii) mostraram dimensões transversais pouco influenciadas pelas dimensões das árvores; (iv) mostram padrões de variação radial com tendência de aumento do comprimento, largura e diâmetro do lume e

redução da espessura da parede celular da medula para a casca; (v) não apresentaram variação significativa das dimensões com o aumento da idade das árvores, exceto para o comprimento, do 24º para 48º mês de idade (748,17 e 866,00  $\mu\text{m}$ , respectivamente).

e. Com relação as *características anatômicas do lenho* das árvores de eucalipto: os vasos mostraram (i) maior diâmetro (106,57; 107,40  $\mu\text{m}$ ) e menor frequência (12,6;11,4 vasos/ $\text{mm}^2$ ) com a aplicação de potássio e sódio em relação ao controle (94,06  $\mu\text{m}$  e 14,8 vasos/ $\text{mm}^2$ ), respectivamente; (ii) aumento do diâmetro e redução da frequência e da porcentagem de área ocupada pelos vasos nas árvores de menor dimensão (classe de área basal 1 e 2) em relação as de maior dimensão (classes de área basal 3 e 4); (iii) no sentido radial, aumento do diâmetro e da porcentagem de área ocupada e redução da frequência dos vasos; (iv) aumento significativo no diâmetro tangencial (72,46 para 102,68  $\mu\text{m}$ ) e uma redução significativa na porcentagem de área ocupada (12,9 para 11,0%) e na frequência (19,2 para 12,9 vasos/ $\text{mm}^2$ ) dos vasos com o aumento da idade das árvores.

f. Com relação às *propriedades mecânicas do lenho*: (i) as árvores de eucalipto fertilizadas com potássio produziram lenho mais resistente (92,5 MPa) e mais rígido (13116 MPa) na flexão estática do que as árvores fertilizadas com sódio (80,0 MPa e 10921MPa, respectivamente, significativo) e controle (87,2 MPa e 12479 MPa, respectivamente, não significativo); as árvores do tratamento com sódio apresentaram lenho de menor resistência à compressão paralela às fibras (38,8 MPa) do que as dos tratamentos com potássio (43,9 MPa) e controle (44,6 MPa); (iii) verificou-se um efeito não significativo das classes de área basal e das posições longitudinais na resistência e rigidez do lenho das árvores de eucalipto; (iv) das propriedades anatômicas relacionadas para explicar as propriedades mecânicas do lenho, foram selecionadas a densidade aparente média e as dimensões dos vasos (frequência e diâmetro) e das fibras (comprimento).

g. Com relação ao *teor de nutrientes no lenho*: (i) as concentrações de potássio e de sódio diminuem consistentemente do 12º→36º/48º mês (de 2,07-1,50 para 0,70-0,45 e de 0,68-0,20 para 0,43-0,08  $\text{g.kg}^{-1}$ , respectivamente); (ii) ocorreu um aumento na concentração de nutrientes da região interna (idade cambial 1) para a externa do lenho (idade cambial 4), sendo para o sódio, mais evidente no tratamento com aplicação de sódio; (iii) a maior concentração de potássio foi encontrada no lenho das árvores do tratamento com aplicação de potássio, comparado ao tratamento com aplicação de sódio e controle; (iv) nas árvores de eucalipto do tratamento com

aplicação de sódio foram encontradas maiores concentrações de sódio em relação as árvores dos tratamentos controle e com potássio; (v) as árvores adubadas com potássio apresentaram maiores quantidades deste nutriente no lenho, na ordem de 50-60% em relação ao dos demais tratamentos e as adubadas com sódio observou-se maior quantidade de sódio no lenho das árvores, superior na ordem de 56-64% em relação aos demais tratamentos; (vi) durante os 48 meses de crescimento das árvores de eucalipto o total de potássio retranslocado no lenho foi de 18,74 e 50,87 kg.ha<sup>-1</sup> nos tratamentos controle e com aplicação de potássio, respectivamente, e o total de sódio retranslocado até a idade de 36 meses foi de 1,05; 1,00 e 4,05 kg.ha<sup>-1</sup> nos tratamentos controle, com potássio e com sódio, respectivamente.



## 7 CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho apresentados permitem concluir que:

- A aplicação de potássio promoveu maiores taxas de incremento em diâmetro do tronco e volume de lenho das árvores de eucalipto em relação aos demais tratamentos. Da mesma forma, as árvores de eucalipto que receberam aplicação de sódio apresentaram incremento e volume de lenho superiores ao das árvores controle, sugerindo a possibilidade da utilização deste nutriente associado ao potássio.

- As árvores de eucalipto que receberam aplicação de fertilizantes minerais não sofreram alterações significativas na densidade aparente média e básica ponderada do lenho, apesar do forte efeito destes nutrientes, principalmente do potássio, no incremento do tronco e volume de lenho das árvores de eucalipto.

- A fertilização mineral influenciou as propriedades anatômicas do lenho das árvores de eucalipto: o tratamento com sódio caracterizou-se pelas fibras mais curtas, vasos com maior diâmetro e menor frequência; o lenho das árvores do tratamento com potássio apresentaram fibras com parede celular mais espessa e menor diâmetro do lume e vasos com maior diâmetro e menor frequência.

- A fertilização mineral influenciou as propriedades mecânicas do lenho das árvores de eucalipto: o tratamento com potássio caracterizou-se pela maior resistência e rigidez na flexão estática e o tratamento com sódio apresentou menor resistência à compressão paralela às fibras

- A re-escala dos valores de densidade do lenho, aplicando-se o crescimento radial do tronco das árvores mensurado com precisão com dendrômetros de aço, permitiu determinar a relação das pequenas mudanças de densidade do lenho e o efeito das variações climáticas e da taxa de incremento do tronco das árvores de eucalipto, constatando-se uma alta sensibilidade da densidade do lenho do tronco das árvores em relação a variação dos níveis de precipitação.

- Existe uma relação entre a densidade aparente média do lenho das árvores de eucalipto e as características anatômicas, principalmente a frequência e dimensões dos vasos. As propriedades mecânicas do lenho apresentam uma associação com a densidade aparente média e com as características anatômicas relacionadas aos vasos e comprimento das fibras.

- Determinou-se um aumento na concentração dos nutrientes da região interna (idade cambial 1) para a parte externa do lenho (idade cambial 4) do tronco das árvores de eucalipto, mostrando que o potássio e o sódio estão mais presentes nos tecidos fisiologicamente ativos (alburno). A concentração de potássio e de sódio no lenho variou em relação aos tratamentos de fertilização aplicados nas árvores de eucalipto, diminuindo consistentemente do 12º para o 36º/48º mês.

- As árvores de eucalipto adubadas com potássio e com sódio apresentaram as maiores quantidades destes nutrientes no lenho, respectivamente, em função da quantidade dos fertilizantes aplicados no solo no momento da instalação do experimento.

- O total de translocação de nutrientes no lenho das árvores de eucalipto confirma a existência de uma clara diferença no seu comportamento nos diferentes tratamentos: as árvores de eucalipto adubadas com potássio e com sódio, apresentaram, respectivamente, a maior quantidade destes nutrientes retranslocado nos 36-48 meses iniciais de crescimento. O quantidade de nutriente retranslocado no lenho das árvores demonstra o reaproveitamento do potássio e do sódio disponíveis no lenho usados, possivelmente, para a formação dos novos tecidos das árvores.

## 8 RECOMENDAÇÕES

A metodologia de re-escala dos valores de densidade aparente média do lenho mostrou-se eficiente para relacionar com as variáveis climáticas, apesar da alta variabilidade dos valores de densidade aparente entre dois raios nos perfis densitométricos. Pela sua importância, recomenda-se analisar a relação precipitação e densidade do lenho em outras condições de clima, diferentes das da área experimental. Da mesma forma, utilizar amostras retiradas de forma não-destrutiva das árvores monitoradas com dendrômetros, para a determinação da densidade aparente média do lenho.

Recomenda-se a avaliação do efeito de outros nutrientes no lenho das árvores de eucalipto, de maneira a comprovar que as alterações observadas são específicas do efeito do potássio ou do sódio. Da mesma forma, recomenda-se a avaliação do lenho das árvores de eucalipto em idades mais avançadas para determinar a variação das suas características anatômicas e propriedades mecânicas e caracterizar a fase de estabilização (formação da madeira adulta), importante para a utilização como madeira sólida e estrutural.

Recomenda-se a avaliação da densidade do lenho das árvores do eucalipto, em idades mais avançadas, para determinar as diferentes fases caracterizadas pela formação da madeira juvenil-transição-adulta, importante para a utilização com madeira sólida e estrutural. Da mesma forma, a avaliação do lenho das árvores de *E. grandis* em idades mais avançadas para determinar a variação das suas características anatômicas e caracterizar a fase de sua estabilização (formação da madeira adulta), importante para a sua adequada utilização tecnológica.

Recomenda-se, ainda, o desenvolvimento de modelos ecofisiológicos para explicar a variação do crescimento das árvores de eucalipto em função das condições climáticas.



## REFERÊNCIAS

ACOSTA, M. S. Estado de la tecnologia en usos no tradicionales de la madera de eucalipto en el Mercosur y outros paises. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SOLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1998, Belo Horizonte; ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRADO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa: SIF/UFV/DEF, 1998. p. 82-105.

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.

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.

ALZATE, S.B.; 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.

ANDRADE, A.M.; VITAL, B.R.; BARROS, N.F.; LUCIA, R.M.D.; CAMPOS, J.C.C.; VALENTE, O.F. Efeitos da fertilização mineral e da calagem do solo na produção e na qualidade da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.18, n.1, p.69-78, jan./abr.1994.

ASHLEY, P.N.; OZARSKA, B. Furnititure from young, plantation eucalypts. In: The future of Eucalyptus for wood products, 2000, Launceston, Tasmania. **Proceedings....** Launceston : IUFRO, 2000. p. 176-184.

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

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

BALLONI, E.A.; GARCIA, P.V.; GOLÇALVES, J.C. Efeitos do espaçamento e adubação sobre a recuperação de plantios de *Eucalyptus grandis* danificados pela geada. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4, 1982, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: SBS, 1982. p.172-174.

BAMBER, R.K.; HYMPHREYS, F.R. A preliminary study of some wood properties of *Eucalyptus grandis*. **Journal Institute wood science**, Madison, n.11, p.63-70, 1963.

- BAMBER, R.K.; FLOYD, A.G.; HUMPHREYS, F.R. Wood properties of flooded gum. **Australian Forestry**, Canberra, v.33, n.1, p.3-12, 1969.
- BAMBER, R.K.; CURTIN, R.A. Some properties of wood in blackbutt trees of two ages. **Australian Forestry**, Canberra, v.36, n.3, p.226-234, Jan. 1974.
- BAMBER R.K. Heartwood, its function and formation. **Wood Science and Technology**, New York, v. 10, p. 1-10, 1976.
- 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.
- BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O.; MIGLIORINI, A.J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp. **Silvicultura**, São Paulo, v.8, n.28, p.726-31, jan./fev.1983.
- BARRICHELO, L.E.G; BRITO, J.O. Variabilidade longitudinal e radial da madeira de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 17, 1984. São Paulo **Anais...** São Paulo: ABCP, 1984. p. 84-91.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de Eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Relação Solo-Eucalipto**. Viçosa; Ed. Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.
- BARTOLOMEU, A; GONÇALVES, R. Predição do Módulo de Elasticidade à Flexão em vigas de Eucalipto saturadas e secas ao ar utilizando a velocidade longitudinal de ultra-som. In: CONFERENCIA PANAMERICANA DE END., 4., 2007. Buenos Aires. – Oct. 2007. **Anais...** Buenos Aires, 2007. 7p
- BEADLE, C.; BANHAM, P.W.; WORLEDGE, D.; RUSSEL, S.L.; HETERINGTON, 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 em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Botucatu, 2006.
- BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. 2000. 126p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

- BHAT, K.M.; BHAT, K.V.; DHAMODARAN, T.K. Wood density and fiber length of *Eucalyptus grandis* grown in Kerala, India. **Wood and Fiber Science**, Madison, v.22, n.1, p.54-61, 1990.
- BIONDI, F.; HARTSOUGH, P.C.; GALINDO, E.I Daily weather and tree growth at the tropical treeline of North America, **Arctic, Antarctic and Alpine Research**, Colorado, v. 37 p. 16–24, 2005.
- BODIG, J; JAYME, B.A. **Mechanics of Wood and Wood composites**. New York: Van Reinhold, 1982. 234p.
- BOTOSSO, P.C.; TOMAZELLO FILHO, M. Aplicação de faixas dendrométricas na dendrocronologia: avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores tropicais e subtropicais. In: MAIA, N.B.; MARTOS, H.L.; BARRELLA, W. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC, 2001. cap.7, p.145-171.
- BOUVET, J.M.; BOUILLET, J. P.; VIGNERON, P.; OGNOUABI, N. Genetic and environmental effects on growth and wood basic density with two *Eucalyptus* hybrids. In: CONGRESS ON CONNECTING BETWEEN SILVICULTURE AND WOOD QUALITY, 1999, Nancy. **Proceedings...** Nancy: IUFRO, 1999. p. 15-19.
- BRASIL, M.A.M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* ao nível do DAP: análise preliminar. **Revista IPEF**, Piracicaba, n.5, p.81-90, dez. 1972.
- BRASIL, M.A.M.; VEIGA ,R.A.A.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica nas seções transversais do caule da base do tronco para a copa de eucalipto. **Revista IPEF**, Piracicaba, n.15, p.73-82, dez. 1977.
- BRASIL, M.A.M.; FERREIRA, M. Características das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis*, aos 3 anos de idade. **Revista IPEF**, Piracicaba, n.19, p.79-80. dez.1979.
- BRASIL, M.A.M., VEIGA, R.A.A., MELLO, H.A. Densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 3 anos de idade. **Revista IPEF**, Piracicaba, n.19, p.63-76, dez. 1979.
- CALORI, J. V.; KIKUTI, P. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 20 anos de idade. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997. Salvador. **Anais...** Salvador: EMBRAPA/IPEF, 1997. p. 321-326.
- CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L.E.G. Variabilidade da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3., 1983. **Anais ...** São Paulo: ABCP, 1983. p. 127-137.

CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L.E.G. Influência da procedência e classe de diâmetro sobre as características da madeira de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 17., 1984. São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1984. p.23-34.

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.

CHIMELO, J. P. Development of a probability-based computerized characterization system for identification and for property prediction of selected tropical hardwoods. Blacksburg, 1980.206f. Tese (Doutoramento Virginia Polytechnic Institute and State University)

CLEAMENT A.; JANIN,G. Etude comparee de la repartition des principaux cations et du phosphore dans une tige de peuplier`Fritzi-Pauley'. **Plant and Soil**, The Hague, v.45, p.543-554, 1976.

COLLEY, J. Factors affecting the vessel picking tendency of hardwood pulps. **Appita**, Australia, v.28, n.6, p. 392-398, 1975.

COLIN-BELGRAND,M.; RANGER ,J.; BOUCHON, J.; D'ARGOUGES, S. Transferts internes d' elements nutritifs dans le bois de chataignier (*Castanea sativa* Miller): approche dynamique sur une chronosea quence de peuplements: I. Distribution des elements mineareaux. **Acta Oecologica**, Paris, v. 14, p.653-680, 1993.

COLIN-BELGRAND, M.; RANGER, J.; BOUCHON, J. Internal nutrient translocation in chestnut tree stemwood: III. Dynamics across an age series of *Castanea sativa* (Miller). **Annals of Botany**, London, v. 7, p. 729-740, 1996.

COUTINHO, C.A.; FERRAZ, E.S.B. Perfil da densidade da madeira de *Eucalyptus saligna* em função do diâmetro das árvores. **Brasil Florestal**, Brasília, n.66, p.39-43, 1998.

CRUZ, C.R. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus* para utilização na indústria madeireira**. Curitiba. 2000. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

CRUZ, C.R.; LIMA, J.T.; MUNIZ, G.I.B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.64, p.33-47, 2003.

DADSWELL, H.E. Wood structure variations occurring during tree growth and their influence on properties. **Journal Institute of Wood Science**, Madison, v.1, p.2-23, 1958.

DAMBRINE, E.L.E.; GOASTER S.; RANGER J. Croissance et nutrition minerale d'un peuplement d' epicea sur sol pauvre. II - Prealeavement racinaire et translocation d'elements mineraux au cours de la croissance. **Acta Oecologica**, Paris, v. 12, p.791-808, 1991.

- DAVIDSON, J. **Variation association and inheritance of morphological and wood characters in an improvement programe for *Eucalyptus deglupta***. 1972. 263p . Tese (Doutorado em Tecnologia da Madeira) - Australian National University, Camberra, 1972.
- DE PAULA, E.V.C.M. Propriedades mecânicas de trinta e nove espécies de madeiras no Amazonas. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA 2, 1986, São Carlos. **Anais...** São Carlos: USP, EESC, SET, LaMEM, 1986. p. 1-19.
- DESLAURIERS, A.; DESLAURIERS, H.; MORIN, C.; URBINATI, M. Daily weather response of balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.) stem radius increment from dendrometer analysis in the boreal forests of Quebec (Canada), **Trees** 17 p. 477–484. 2003
- DÉTIENNE, P.; BARBIER, C.; AYPUASSORHO, H.; BETIN, F. Rythmes de croissance de quelques essences de Guyane Français. **Bois et Forêts dès Tropiques**, Nogent-sur-Marne, v.217, p.63-76, Jul./Print.,1988.
- DÉTIENNE, P. Appearence and periodicity of growth rings in some tropical woods. **IAWA Bulletin New Series**, Leiden v.10, n.2, p.123-132, 1989.
- DIERBERG F.E.; STRAUB P.A.; HENDRY C.D.; Leaf-to-twigg transfer conserves nitrogen and phosphorus in nutrient poor and enriched cypress swamps. **Forest Science**, Lawrence, v. 32. p. 900-913, 1986.
- DOWNES G.M.; HUDSON I.; RAYMOND C.A.; DEAN G.H.; MICHELL A.J.; SCHIMLECK L.R.; EVANS R.; MUNERI A. **Sampling plantation eucalypts for wood and fiber properties**. Melbourne.: CSIRO Publishing, 1997. p.123-134
- DOWNES, G.; BEADLE C.H.; WORLEDGE, D. Daily stem growth patterns in irrigated *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* in relation to climate. **Trees**, Berlin, v. 14, p. 102–111, 1999.
- 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., GRADY A.P., DOWNES G.M., READ J., WORLEDGE D. Daily patterns of stem size variation in irrigated and nonirrigated *Eucalyptus globulus* **Tree Physiology**, Oxford, v. 28, p. 1573–1581, 2008.
- DREW D.M.; PAMMENTER N.W. Developmental rates and morphological properties of fibers in two eucalypt clones at sites differing in water availability. **Southern Hemisphere Forestry Journal**, South Africa, v.69, p 71–79, 2007.
- 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

EVANS, R.; DOWNES, G. Recent developments in automated wood quality assessment. In: IUFRO CONGRESS, 1995, Hobart. *Eucalypt* plantation: improving fiber yield and quality; **Proceedings...** Hobart: CRC for Temperate Hardwood Forestry, 1995. p. 101-105.

FAHN, A.; BURLEY, J.; LONGMAN, K.A. MARIAUX, A.; TOMLINSON, P.B. Possible contributions of wood anatomy to the determination of the age of tropical trees. In: BORMANN, F. H; BERLYN, G. **Age and growth rate of tropical trees: new directions for research.** Yale University, School of Forestry & Environmental Studies, 1981. p.. 31-54. (Bulletin.94.).

FARIA, G.E.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L; TEIXEIRA, J.L.R. Produção e estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em segunda rotação, em resposta à adubação potássica. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.5, p.577-584, set./out. 2002.

FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. **Química de suelos.** 2.ed. São José: IICA, 1987. 420p.

FELKER, P.; LEON, V.D. An improved tool for the fabrication of dendrometer bands to estimate growth as function of treatments in slow growing native *Prosopis* stands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 209, n 3, p.353-356, May, 2005.

FERRAZ, E.S.B. Determinação da densidade da madeira por atenuação de radiação gama de baixa energia. **Revista IPEF**, Piracicaba, n12, p.61-68, jun. 1976.

FERRAZ, E.S.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Uso de métodos nucleares no estudo da qualidade da madeira. **Revista Silvicultura**, São Paulo, n.14, p.17-27, 1978.

FERREIRA, M. Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* e *E. saligna*. **Revista IPEF**, Piracicaba, n.1, p.83-96, dez. 1970.

FERREIRA, M. Wood basic density variations on *Eucalyptus alba* and *E. saligna* at ages 5 and 7 years. In: IUFRO CONGRESS, 15, 1971, Gainesville. **Anais...** Gainesville: IUFRO, 1971. p.1-15.

FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos. **Revista IPEF**, Piracicaba, n.4, p.65-89, jun.1972.

FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de plantações comerciais de *Eucalyptus alba* (*E. urophylla*), *E. saligna* e *E. grandis*. **O Papel**, São Paulo, v.34, n.12, p.151-157, dez. 1973.

FERREIRA, C.A.; FREITAS, M.; FERREIRA, M. A variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp, em função da idade e qualidade de local. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v.6, n.20, p. 1-19, nov. 1978.

FERREIRA, C.A.; FREITAS, M.; FERREIRA, M. Densidade básica da madeira de plantações comerciais de eucaliptos na região de Mogi Guaçu. **Revista IPEF**, Piracicaba, n.18, p.106-117, jun. 1979.

- FIFE D.N.; NAMBIAR E.K.S. Movement of nutrients in radiata pine needles in relation to the growth of shoots. **Annals of Botany**, London, v. 54, p. 303-314, 1984.
- FLORSHEIM, S.M.B.; COUTO, H.T.Z.; SPEGIORIN, L.; ROCHA, F.T. Variação da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.12, n.2, p179-191, dez. 2000.
- FOELKEL, C.E.B.; BUSNARDO, C.A.; DIAS, C.; SCHIMDT, C.; SILVA, R.M.R.; VESZ, J.B. Variabilidade radial da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Silvicultura**, São Paulo, v.8, n.28, p.782-791, 1983.
- FONSECA, F.M.A.; LOUSADA, J.L.P.C. **Variação da densidade e diferenciação das madeiras de 14 espécies de pinheiros com 8 anos de idade, cultivados em Angola**. Vila Real: UTAD, 1986. 27 p.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as engineering material**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1974. 521p. (Agriculture Handbook, 72).
- FREDERICK, D.J.; MADGWICK, A.I.; OLIVER, G.R. Wood basic density and moisture content of young *Eucalyptus regnans*. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Roturua, v.12, n.3, p.494-500, 1982.
- 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.
- GREEN, J. W. Continuous measurements of radial variation in *Eucalyptus paniciflora* Sieb. Ex. Spreng. **Australian Journal of Botany**, Australia, v.17, p.191-198, Feb. 1969.
- GROVE T.S.; THOMSON B.D.; MALAJCZUK N. Nutritional physiology of eucalypts: uptake, distribution and utilization. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Ed.). **Nutrition of eucalypts**. Australia: CSIRO, 1996. p. 77-108.
- HANS, A.S.; BURLEY, J.; WILLIAMSON, P. Wood quality of *Eucalyptus grandis* grown in Zambia. **Holzforschung**, Berlin, v.26, n.4, p.138-141, 1972.
- HASELEIN, C.R.; BERGER, R.; GOULART, M. STHAL, J.; TREVISAN, R.; SANTINI, E.J.; LOPES, M. de C. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.2, p.147-152, 2002.
- HAYGREEN, J.G.; BOWYER, J.L. **Forest products and wood science: an introduction**. Ames: Iowa Sate University, 1982. 459p.

- HELMISAARI H, S. Nutrient retranslocation in three *Pinus sylvestris* stands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 51, p.347-367, 1992.
- HINGSTON F.J.; TURTON A.G.; DIMMOCK G.M. Nutrient distribution in Karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell) ecosystems in Southwest Western Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 2, p. 133-158, 1979.
- HIGGINS, M.L.; RUDMAN, P. The effects of fertilizing and thinning on wood properties of *Eucalyptus regnans*. **Appita Journal**, Australia, v.27, n.1, p.51-55, 1973.
- HILLIS, W.E. Chemical aspects of heartwood formation. **Wood Science and Technology**, Madison, v.2, n.4, p.241-259, Dec. 1968.
- HILLIS W.E.; BROWNA.G. ***Eucalyptus for wood production***. Sydney: Academic Press, 1984. 434p.
- HUDSON, I.; WILSON, L.; BEVEREN, K.V. Vessel and fiber property variation in *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*: some preliminary results. **IAWA Journal**, Leiden, v.19, n.2, p.111-130, 1998.
- IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. In: WHEELER, E.A.; BAAS, P.; GASSON, P.E. (Ed.). **IAWA Bull.** Leiden, v.10, n.3, p.219-332, 1989.
- JACOB, W.S.; BALLONI, E.A. Efeitos da fertilização na qualidade da madeira. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v.6, n.20, p.c1-13, nov. 1978.
- JANKOWSKY, I.P. Madeira juvenil: formação e aproveitamento industrial. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n.81, p.1-18, dez.1979.
- 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**. New York: MacGraw-Hill, 1940. 533p.
- JORGE, F.; PEREIRA, H. Influência da silvicultura na qualidade da madeira. **Revista Florestal**, Lisboa, v.11, n.2, p.27-31, jul./dez.1998.
- JORGE, M.F.C.T.F. **Variabilidade anatômica, física e química da madeira de *Eucalyptus globulus***. 1994. 135p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Instituto Superior de Agricultura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 1994.
- JUDD, T.S.; ATTIWIL, P.M.; ADANS, A.M. Nutrient concentration in *Eucalyptus*: A synthesis in relation to differences between taxa, sites and components. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. **Nutrition of *Eucalyptus***. Australia: CSIRO/Australia, 1996. p.123-153.

KOLLMANN, F.F.P.; COTÊ, W.A. **Principles of woodscience and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. v.1. 592p.

KRZYSIK, A. M.; YOUNGQUIST, J. A.; MUEHL, J. H.; FRANCA, F. E. Medium density fiberboards from plantation grown *Eucalyptus saligna*. **Forest Products Journal**, Madison, v. 51, n. 10, p. 47-50, Oct. 2001.

LACERDA, M.P. Porque os fertilizantes subiram tanto? **HORTIFRUTI BRASIL** v.7, n. 77 p.8-15, mar. 1999. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil>> Acesso em: 10 jan. 2009.

LACLAU, J.P.; BOUILLET, J.P.; RANGER, J.; JOFFRE, R.; GOUMA, R.; SAYA, A. Dynamics of Nutrient Translocation in Stemwood across an Age Series of a *Eucalyptus* **Annals of Botany**, London, v. 88, p. 000-000, 2001.

LACLAU, J.P.; RANGER, J.; BOUILLET, J.P.; NIZLA, J.D.; DELEPORTE, P. Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savana ecosystem in Congo. 1. Chemical composition of rainfall. Troughfall and stemflow solutions. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.176, n.1/3, p.105-119, mar. 2003.

LACLAU, J.P.; RANGER, J.; DELEPORTE, P.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; MARLET, S.; BOUILLET, J.P. Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savanna ecosystem in Congo: 3. Input-output budgets and consequences for the sustainability of the plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.210, n.1/3, p. 375-391, May, 2005.

LACLAU, J.P.; POGGIANI, F.; RANGER, J.; GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; LIMA, W. P. de. **Resposta do *Eucalyptus grandis* a adubação potássica e a substituição do potássio por sódio**. 2010. 65p. (Relatório apresentado a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP).

LARSON, P.R. **Evaluating the environment for studies of the inheritance of wood properties**. In: WORLD CONSUL. FOR GEN. TREE IMPROVEMENT STOCKHOLM,1., 1963. 6p.

LARSON, P.R. **Wood formation and the concept of wood quality**. New Haven: Yale University, 1969. 54p.

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

LAUSBERG, M.J.F.; GILCHRIST, K.F.; SKIPWITH, J.H. Wood properties of *Eucalyptus nitens* grown in New Zealand. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Roturua, v.25, n.2, p.147-163, 1995.

LEAL, S.; PEREIRA, H.; GRABNER, M.; WIMMER, R. Clonal and site variation of vessels in 7 year old *Eucalyptus globulus*. **IAWA Journal**, Leiden, v.24, n.2, p.185-195, 2004.

LIM M.T.; COUSENS J.E. The internal transfer of nutrients in a Scots pine stand. 2. The patterns of transfer and of nitrogen availability. **Forestry**, Queen Victoria, v.59, p. 17±27, 1986

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

LIMA, I.L. do. **Influência do desbaste e da adubação na qualidade serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maden**. 2005. 137p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2005.

LOBÃO, M.S. ;DELLA LUCIA, R.M; MOREIRA, M.S.S; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.6, p.889-894, 2004

LOPES, A.S. **Solos sob “Cerrado”: Características, propriedades e Manejo**. 2ed. Piracicaba, POTAFÓS, 1984. 162p.

LOPES, M. C. **Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira**. 2003. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

LOUSADA, J.L.P.C. **Variação fenotípica e genética em características estruturais na madeira de *Pinus pinaster* Ait.**. 1999. 293p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal – Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. 1999.

MAEGLIN, R.R. Juvenile wood, tension wood, and growth stresses effects on processing hardwoods. In: APPLYING THE LATEST RESEARCH HARDWOODS: PROCEEDINGS OF THE ANNUAL HARDWOOD SYMPOSIUM OF THE HARDWOOD RESEARCH COUNCIL, 15., 1987, Memphis. **Proceedings...** Memphis: Hardwood Research Council, 1987. p.100-108.

MALAN, F. S. Eucalypts improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF;IPT;IUFRO;ESALQ. 1995. p. 1-19.

MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo. Ed. Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. 2<sup>nd</sup> ed. London: Academic Pres. 1991. 889p.

- MARIAUX, A. La périodicité des cernes dans les bois de limba. **Bois et Forêts dès Tropiques**, Nogent-sur-Marne, v.128, p.39-53, 1969.
- MARIAUX, A. La périodicité de formation des cernes dans le bois de l'Oukoume. **Bois et Forêts dès Tropiques**, Nogent-sur-Marne, v.131, p.37-50, 1970.
- MARIEN, J.N.; THIBOUT, H. Les *Eucalyptus* en France: rythmes de croissance en fonction des conditions climatiques. **Annales de Recherches Sylvicoles**, Paris, v4. p. 273-299, 1980.
- MELLO, H.A. **Aspectos do emprego de fertilizantes minerais no reflorestamento de solos de cerrado do estado de São Paulo com *Eucalyptus saligna***. 1968. 176p. Tese (Mestrado em Silvicultura) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.
- MELLO, J.L.P. **Análise de sensibilidade dos componentes da equação de Penman-Monteith-FAO**. 1998. 78p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1998.
- MELO, J.E.; SIQUEIRA, M.J. Correlação entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras da amazônia. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA 4, 1992, São Carlos. **Anais...** São Carlos: USP, EESC, SET, LaMEM, 1986. p. 67-76
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4.Ed. Bern, Switzerland.: International Potash Institute, 1987. 685p.
- MIGLIORINI, A. J.; BARRICHELO, L.E.G.; KAGEYAMA, P.Y.; CAMARGO, F.R.A. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* em função de diferentes níveis de floresta. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 21., 1988. São Paulo. **Anais ...** São Paulo: ABCP, 1988. p. 17-23.
- MILLER H.G.; COOPER J.M.; MILLER J.D.; PAULINE O.J.L. Nutrient cycles in pine and their adaptation to poor soils. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 9, p19-26, 1979
- 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.
- MOYA, R.R.; ZARATE, B.A.; TOMAZELLO FILHO, M. La utilización de la densitometria de rayos X para establecer la variabilidad de la densidad de la madera proveniente de plantaciones de rapido crecimiento en América Latina. In: REUNION SOBRE INVESTIGACION Y DESAROLLO DE PRODUCTOS FORESTALES,10., 2005, Concepcion. **Proceedings ...** Concepcion: Ubiobio, 2005. p. 73-84.
- NAMBIAR E.K.S.; Critical processes in forest nutrition and their importance for management. In: LANDSBERG J.J.; PARSONS W. (Ed.). Research for forest management. 1985. Australia. **Proceedings...**, Division of Forest Research. Australia: CSIRO, 1985. p. 52-72.

NAMBIAR E.K.S.; BOWEN G.D. Uptake, distribution and retranslocation of nitrogen by *Pinus radiata* from <sup>15</sup>N-labelled fertilizer applied to podzolized sandy soil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 15, p.269-284, 1986.

NICHOLLS, J.W.P.; GRIFFIN, A.R. Variation in wood characteristics in field trial of *Eucalyptus obliqua*, *E. regans* and some intermediate forms. **Australian Forestry Research**, Australia, n.8, p.93-102, 1978.

NICHOLLS, J.W.P.; MATHESON, A.C. Variation in wood characteristics in thinning from field trial of *Eucalyptus obliqua*. **Australian Forestry Research**, Austrália, n.10, p.239-247, 1980.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento do *Eucalyptus* spp.: Níveis críticos de implantação e manutenção. **Revista Árvore**, Viçosa, v.10, p.105-111, 1986.

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.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3<sup>rd</sup> ed. New York: Mcgraw-Hill, 1970. v.1.

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

PEREIRA, H.; ARAUJO, C. Raw-material quality of fast grow *Eucalyptus globulus* during the first year. **IAWA Bulletin**, Leiden v. 11, n.4, p.421-427, 1990.

PEREIRA, J.S.; LINDER, S.; ARAUJO, M.C.; PEREIRA, H.; ERICSSON, T.; BORRALHO N.; LEAL, L.C. 1989. Optimization of biomass production in *Eucalyptus globulus* plantations-a case study. In Biomass Production by Fast Growing Trees. Eds. J.S. PEREIRA AND J.J. LANDSBERG. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 101--121.

POOLE, D. J. Diameter growth of 4 - 7 year old *Eucalyptus regnans*. **New Zealand Forestry**, Wellington, v. 31, n. 1, p. 23, 1986.

RAIJ B.V., ANDRADE J.C., CANTARELLA H., QUAGGIO J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônômico, 2000. 285p.

RANGER J.; COLIN-BELGRAND M. Nutrient dynamics of chestnut tree (*Castanea sativa* Mill.) coppice stands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 86, p. 259-277, 1996.

RAYMOND, C.A. Wood properties, silviculture and growth: a review of published literature for eucalypts. **Cooperative Research Centre for Sustainable Production Forestry** Australia: CRC, 1998. 18p. Technical report, 6).

RAYMOND, C.A.; MUNERI, A. Effect of fertilizer on wood properties of *Eucalyptus globulus*. **Canadian Journal of Forest Research**, Canada, v.30, n.1, p.136-144, Jan. 2000.

REZENDE, M.A.; FERRAZ, E.S.B. Densidade anual da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista IPEF**, Piracicaba, n.30, p.37-41. ago. 1985.

RIBEIRO, F.A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. IPEF, Piracicaba (SP), v. 46, p. 76-85, 1993.

ROCHA, G.N.; GONÇALVES, J.L.M.; MOURA, I.M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.4, p.623-9, jul./ago. 2004.

ROCHA, F.T.; FLORSHEIM, S.M.B.; COUTO, H.T.Z.; SPEGIORIN, L. Variação da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus grandis* aos sete anos de idade. In: ENCONTRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DA MADEIRA, 7., 2002.Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: 2002. p.1-10.

SANTOS, C.F.O.; NOGUEIRA, I. R. A idade adulta do *Eucalyptus saligna*, em Rio Claro, São Paulo, determinada pelas dimensões das fibras. **Anais da ESALQ**, 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*. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, n.41, p.221-241, 1984.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User's Guide**: vertion 6.08. Carrey, v.2. 1997. 846p.

SCATOLINI, F.M.; FIRME, D.J.;GARCIA, C.H.; GOMES, F.P.; CAMARGO, F.R.A. Parcelamento da adubação potássica em *E. grandis* em áreas de reforma da Votorantim celulose e papel S.A. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Lindóia. **Solo-Suelo 96**: Anais eletrônicos... Piracicaba: SBCS; SLCS, 1996. 1 CD-ROOM.

SCHÖNGART, J., B. ORTHMANN, K.J. HENNENBERG, S. POREMBSKI; M. WORBES. Climate-growth relationships of tropical tree species in West Africa and their potential for climate reconstruction. **Global Change Biology**, Oxford. v.12:p.1139–1150, 2006.

SERPA, P.N.; VITAL, BR; DELLA LUCIA, R.M; PIMENTA, A.S. Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.5, p.723-733, 2003.

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. **Aplicação do lodo de esgoto e de fertilização mineral no crescimento, biomassa e propriedades da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden, em plantações florestais, visando usos múltiplos** 2008. 126p. Relatório apresentado a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP.

SHALLLHORNE, P.M.; HEINZE, H U. Hardwood vessel picking in the offset printing of uncoated fine papers. **Pulp and Paper Canada**, San Francisco, v.98, n.10, p. 21-24, 1997.

SHEIL, D. Growth assessment in tropical trees: large daily diameter fluctuations and their concealment by dendrometer bands. **Canadian Journal Forest Research**, Canadá, v. 33, n.10, p.2027-2035, Oct. 2003.

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.

SHIMOYAMA V.R. de S.; BARRICHELO, L.E.G. Importância da adubação na qualidade da madeira e celulose. In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO E QUALIDADE DOS PRODUTOS AGRÍCOLAS, 1, 1989, Ilha Solteira. **Anais...** Ilha Solteira, 1989. p.1-15.

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

SILVA, J.C.; OLIVEIRA, J.T.S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT JR.; S.; MATOS, J.L.M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Floresta**, Paraná, 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 R. **Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.6, p.1081-1090, 2007

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; GONÇALVES, A.N.; RAGOZZINI, P E.A.; MOREIRA, A. **Nutrição mineral de mudas de *Eucalyptus grandis*: crescimento, produção de matéria seca, concentração e acúmulo de nutrientes**, Piracicaba: IPEF, 1998. 21p.

SILVEIRA R.L.V. A. **Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* w. Hill ex Maiden cultivadas em solução nutritiva.** 2000. 169 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SILVEIRA, R.L.V.A.; MALAVOLTA, E. Produção e características químicas da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.63, p.115-135, jun.2003.

SKOLMEN, R.G. Specific gravity variation in *Eucalyptus robusta* grown in Hawaii. **U.S. For. Serv. Pacific Southwest** Forest Range Sta Res. Paper PSN-78. 1972.

SMETHURST, P.; BAILLIE, C.; CHERRY, M.; HOLZ, G. Fertilizer effects on LAI and growth of four *Eucalyptus nitens* plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.176, n.1/3, p.531-542, Mar, 2003.

SOUZA, A.P.; DELLA LUCIA, R.M.; RESENDE, G.C. Estudo da densidade básica da madeira de *Eucalyptus microcorys* cultivado na região de Dionísio. **Revista Árvore**, Viçosa, v.3, n.1, p.16-27, jan./jun. 1979.

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

STAPE, J.L. Potencial de crescimento do *Eucalyptus grandis* numa areia quartzosa do Estado de São Paulo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 172-173.

SUTCLIFFE, J.F.; BAKER, D.A. **As plantas e os sais minerais**. Trad. Antonio Lamberti, Viviane Maria Lotto. São Paulo: EPU. 1989. 80p. (Temas de Biologia. v.33).

SWITZER G.L.; NELSON L.E.; Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations ecosystems: the first twenty years. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madson, v.36:p.143-147. 1972.

TAYLOR, F.W. Anatomical wood properties of South African *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, África do Sul, n.84, p.20-24, 1973a.

TAYLOR, F.W. Difference in the wood of *Eucalyptus grandis* grown in different parts of South African. In: IUFRO CONGRESS. ÁFRICA DO SUL, 5., 1973b, Pretoria. **Anais...** Pretoria: IUFRO, 1973b. p. 1021-1026.

TISCHLER, K. Improvement of *Eucalyptus camaldulensis* wood. PhD. 1976. 125p. Thesis. Hebrew University Jerusalem. 1976.

THOMAS, R.J. The characteristics of juvenile wood. In: SYMPOSIUM ON UTILIZATION CHANGES ON WOOD RESEARCH OUTH US, 1985. **Proceedings...** Raleigh, North Carolina State University, 1985. p.1-18.

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

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

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

TOMAZELLO FILHO, M. **Formação e Anatomia da Madeira – Exercícios Práticos**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2002. 76p.

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.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M. P.; OLIVEIRA, T. S.; BALLARIN, A. W.; BENJAMIN, C. A. Application of x-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, Concepción, v. 10, n. 2, p. 139-149, 2008.

TSOUMIS, G. 1991. **Science and Technology of wood. Structure, Properties, Utilization**. Van Nostrand Reinhold. Nova Iorque. 494pp.

TRUGILHO, P.F. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*, **Cerne**, Lavras. v.2 n.1, p94-111, 1996

TURNER J.; LAMBERT M.J.; Nutrient cycling within a 27-year-old *Eucalyptus grandis* plantation in New South Wales. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.6: p.155-168. 1983.

VALENZIANO, S.; SCARAMUZZI, G. Preliminary observations on the seasonal diameter growth of *Eucalyptus camaldulensis* and *E. viminalis*. In: WORLD SYMPOSIUM ON MAN-MADE FORESTS AND THEIR INDUSTRIAL IMPORTANCE, 1967, Canberra. **Anais...** Canberra: Wood and Agriculture Organization of the United Nations, 1967. p.1923-1933.

VALERI, S. V.; ISMAEL, J. J.; TORRES, R.M., CORRADINI, L. Efeitos de potássio no crescimento e idade de corte de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em areia quartzosa e latossolo vermelho - escuro. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, 1996, Lindóia. **Solo-Suelo 96: Anais eletrônicos...** Piracicaba: SBCS; SLCS, 1996. 1 CD-ROM.

VALERI, S.V.; CORRADINI, L.; AGUIAR, I B.; SOUZA, E.C.A.; BANZATTO, D.A. Efeitos do fósforo e calcário dolomítico no desenvolvimento inicial de *Eucalyptus grandis* plantado em um regossolo. **Revista IPEF**, Piracicaba, n.29, p.55-60, abr. 1985.

VAN THUA, N. **Variation in vessels characteristics of *Eucalyptus dalrympleana* associated with samples position growth rate and climatic changes.** 1977. 76p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) Australian National University. Canberra, 1977.

VEENIN, T.; FUJITA, M.; NOBUCHI, T.; SIRIPATANADILOK, S. Radial variation of anatomical characteristics and specific gravity in *Eucalyptus camaldulensis* clones. **IAWA Journal**, Leiden, v.26, n.3, p.356-361, 2005.

VIGNERON, J.; GERARD, J.; BOUVET, J. M. Relationship between basic density and growth in a fertilization trial with clones of *Eucalyptus* hybrids in Congo. In: IUFRO CONFERENCE EUCALYPT PLANTATIONS: IMPROVING FIBRE YIELD AND QUALITY, 1995, Hobart. **Proceedings ...** Hobart: IUFRO, 1995. p. 68-71.

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

WASHUSEN, R.; BAKER, T.; MENZ, D.; MORROW, A. Effect of thinning and fertilizer on the cellulose crystallite width of *Eucalyptus globulus*. **Wood Science and Technology**, Berlin, v.39, n.7, p.569-578, out. 2005.

WILKES, J. The influence of rate of growth on the density and heartwood extractives content in eucalypt species. **Wood Science and Technology**, Berlin v.18, n.2, p. 113-120, jun.1984.

WILKES, J. Variations in wood anatomy within species of *Eucalyptus*. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.9, n.1, p.13-23, 1988.

WILKES, J.; ABBOTT, D. Influence of the rate of tree growth on the anatomy of eucalypt species. **Appita Journal**, Australia, v.37, n.3, p.231-232, nov. 1983.

WILKINS, A.P. Influence of silvicultural treatment on growth and wood density of *Eucalyptus grandis* grown on a previous pasture site. **Australian Forestry**, Australia, 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**, Amsterdam, v.40, n.1/2, p.39-50, maio 1991.

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.

WORBES, M. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and longterm growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 87, 391-403., 1999

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

ZHANG S.; ALLEN H.L. Foliar nutrient dynamics of 11-year-old loblolly pine (*Pinus taeda*) following nitrogen fertilization. **Canadian Journal of Forest Research** Ottawa, v.26:p. 1426-1439. 1996.

## **ANEXOS**

Anexo A – Dados dendrométricos das árvores de eucalipto no momento do corte das árvores (48 meses) para a avaliação das propriedades do lenho por classe de área basal

<b>Tratamento</b>	<b>Classe de Área Basal</b>	<b>DAP médio (cm)</b>	<b>Área Basal média (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume c/c médio (m<sup>3</sup>)</b>
Controle	1	5,8	0,0026	0,0153
	2	10,0	0,0079	0,0615
	3	11,4	0,0101	0,0812
	4	12,7	0,0127	0,1077
	5	14,6	0,0168	0,1508
Potássio	1	7,5	0,0044	0,0284
	2	11,6	0,0105	0,0929
	3	13,9	0,0152	0,1470
	4	15,2	0,0183	0,1827
	5	17,4	0,0239	0,2414
Sódio	1	5,9	0,0027	0,0138
	2	10,4	0,0085	0,0742
	3	12,9	0,0131	0,1225
	4	13,8	0,0151	0,1472
	5	15,7	0,0194	0,1998

Fator de forma para calculo do volume = 0,48; c/c indica: com casca

Anexo B – Dados dendrométricos das árvores de eucalipto no momento da instalação das faixas dendrométricas (22 meses) por classe de área basal

<b>Tratamento</b>	<b>Classe de Área Basal</b>	<b>DAP médio (cm)</b>	<b>Área Basal média (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume c/c médio (m<sup>3</sup>)</b>
Controle	1	4,1	0,0013	0,0057
	2	5,6	0,0025	0,0102
	3	6,7	0,0035	0,0161
	4	7,5	0,0044	0,0151
	5	8,8	0,0060	0,0223
Potássio	1	6,1	0,0029	0,0172
	2	7,3	0,0041	0,0247
	3	7,9	0,0049	0,0289
	4	9,0	0,0064	0,0317
	5	10,0	0,0079	0,0410
Sódio	1	5,9	0,0020	0,0084
	2	6,4	0,0032	0,0177
	3	7,7	0,0047	0,0249
	4	8,5	0,0057	0,0296
	5	9,8	0,0076	0,0406

Fator de forma para calculo do volume = 0,48; c/c indica: com casca

Anexo C - Raio das árvores monitoradas com dendrômetros e das utilizadas na microdensitometria de raios X

<b>Tratamento</b>	<b>Árvore</b>	<b>Raio* (cm)</b>	<b>Raio** (cm)</b>
Controle	1	2,6	2,5
	2	4,5	4,6
	3	5,1	5,0
	4	5,6	5,6
	5	6,5	6,5
Potássio	1	3,8	3,8
	2	5,1	5,0
	3	5,8	5,7
	4	6,1	6,1
	5	8,3	8,3
Sódio	1	3,2	3,2
	2	4,8	4,8
	3	6,3	6,2
	4	6,1	6,3
	5	8,0	8,3

\*raio das árvores monitoradas com dendrômetros; \*\* raio das árvores utilizadas na microdensitometria de raios X

## Anexo D - Incremento em diâmetro do tronco por data das árvores de eucalipto (continua)

Ano	Data	Tratamento			Média geral
		Controle	Potássio	Sódio	
Diâmetro inicial (cm)		6,60 (1,70)	8,30 (1,40)	7,50 (1,70)	
2006	16/2	0,08 (0,06) (1,6)	0,18 (0,06) (3,1)	0,11 (0,05) (2,0)	0,12 (0,05) (2,3)
	3/3	0,08 (0,05) (1,6)	0,13 (0,06) (2,1)	0,11 (0,05) (2,0)	0,11 (0,04) (2,0)
	15/3	0,04 (0,03) (0,9)	0,12 (0,08) (2,1)	0,08 (0,05) (1,4)	0,08 (0,05) (1,5)
	28/3	0,08 (0,05) (1,5)	0,15 (0,05) (2,5)	0,10 (0,06) (1,8)	0,11 (0,05) (2,0)
	11/4	0,07 (0,04) (1,5)	0,11 (0,05) (1,8)	0,08 (0,05) (1,5)	0,09 (0,05) (1,6)
	25/4	0,12 (0,05) (2,3)	0,14 (0,06) (2,5)	0,11 (0,04) (2,0)	0,12 (0,05) (2,3)
	10/5	0,08 (0,04) (1,7)	0,13 (0,06) (2,2)	0,09 (0,04) (1,5)	0,10 (0,05) (1,8)
	24/5	0,13 (0,06) (2,7)	0,14 (0,07) (2,4)	0,14 (0,05) (2,5)	0,14 (0,06) (2,5)
	7/6	0,11 (0,05) (2,3)	0,09 (0,06) (1,6)	0,10 (0,05) (1,9)	0,10 (0,05) (1,9)
	21/6	0,09 (0,05) (1,8)	0,06 (0,03) (1,1)	0,08 (0,04) (1,4)	0,08 (0,05) (1,4)
	5/7	0,13 (0,05) (2,6)	0,10 (0,03) (1,7)	0,11 (0,04) (1,9)	0,11 (0,04) (2,1)
	19/7	0,10 (0,05) (2,0)	0,08 (0,04) (1,3)	0,09 (0,03) (1,7)	0,09 (0,04) (1,6)
	2/8	0,08 (0,04) (1,6)	0,05 (0,02) (0,8)	0,08 (0,04) (1,5)	0,07 (0,03) (1,3)
	16/8	0,03 (0,02) (0,7)	0,00 (0,00) (0,0)	0,03 (0,02) (0,5)	0,02 (0,02) (0,4)
	30/8	0,07 (0,04) (1,4)	0,03 (0,02) (0,5)	0,07 (0,05) (1,3)	0,06 (0,05) (1,0)
	14/9	0,09 (0,04) (1,8)	0,08 (0,03) (1,4)	0,12 (0,04) (2,1)	0,10 (0,04) (1,8)
	27/9	0,11 (0,04) (2,1)	0,12 (0,03) (2,1)	0,14 (0,06) (2,6)	0,12 (0,04) (2,3)
	11/10	0,10 (0,04) (2,1)	0,11 (0,03) (1,8)	0,13 (0,04) (2,3)	0,11 (0,04) (2,1)
	25/10	0,05 (0,02) (1,0)	0,04 (0,02) (0,8)	0,05 (0,02) (1,0)	0,05 (0,02) (0,9)
	8/11	0,03 (0,02) (0,6)	0,03 (0,01) (0,5)	0,04 (0,02) (0,7)	0,03 (0,02) (0,6)
22/11	0,04 (0,02) (0,8)	0,04 (0,01) (0,7)	0,06 (0,03) (1,0)	0,05 (0,01) (0,8)	
6/12	0,08 (0,03) (1,6)	0,14 (0,04) (2,4)	0,12 (0,04) (2,2)	0,11 (0,02) (2,1)	
20/12	0,07 (0,03) (1,3)	0,10 (0,03) (1,7)	0,08 (0,03) (1,5)	0,08 (0,03) (1,5)	
2007	3/1	0,05 (0,02) (1,0)	0,09 (0,03) (1,5)	0,07 (0,03) (1,2)	0,07 (0,03) (1,3)
	18/1	0,03 (0,02) (0,5)	0,07 (0,03) (1,2)	0,04 (0,02) (0,7)	0,04 (0,02) (0,8)
	31/1	0,01 (0,01) (0,2)	0,04 (0,03) (0,6)	0,01 (0,01) (0,1)	0,02 (0,02) (0,3)
	14/2	0,03 (0,02) (0,6)	0,07 (0,04) (1,2)	0,03 (0,01) (0,6)	0,04 (0,03) (0,8)
	28/2	0,01 (0,01) (0,1)	0,05 (0,04) (0,9)	0,03 (0,02) (0,5)	0,03 (0,02) (0,5)
	14/3	0,03 (0,02) (0,7)	0,06 (0,03) (1,1)	0,04 (0,02) (0,7)	0,05 (0,03) (0,8)
	28/3	0,05 (0,04) (0,9)	0,08 (0,03) (1,3)	0,06 (0,04) (1,2)	0,06 (0,03) (1,2)
	12/4	0,10 (0,05) (1,9)	0,10 (0,04) (1,8)	0,10 (0,05) (1,9)	0,10 (0,05) (1,9)
	25/4	0,06 (0,03) (1,2)	0,07 (0,04) (1,2)	0,07 (0,04) (1,3)	0,07 (0,04) (1,2)
	9/5	0,08 (0,06) (1,7)	0,09 (0,06) (1,6)	0,11 (0,04) (2,0)	0,10 (0,05) (1,8)
	23/5	0,07 (0,05) (1,4)	0,08 (0,04) (1,4)	0,08 (0,05) (1,5)	0,08 (0,06) (1,4)
	6/6	0,06 (0,05) (1,1)	0,06 (0,04) (1,0)	0,07 (0,04) (1,3)	0,06 (0,04) (1,2)
	21/6	0,04 (0,03) (0,9)	0,03 (0,02) (0,5)	0,06 (0,04) (1,0)	0,04 (0,04) (0,8)
	4/7	0,07 (0,03) (1,5)	0,05 (0,04) (0,9)	0,06 (0,04) (1,1)	0,06 (0,05) (1,2)
	17/7	0,08 (0,06) (1,6)	0,10 (0,04) (1,7)	0,08 (0,06) (1,4)	0,09 (0,05) (1,6)
	1/8	0,06 (0,04) (1,1)	0,04 (0,03) (0,6)	0,07 (0,06) (1,3)	0,05 (0,04) (1,0)
	17/8	0,12 (0,07) (2,3)	0,11 (0,05) (1,8)	0,09 (0,05) (1,7)	0,10 (0,06) (1,9)
	28/8	0,06 (0,03) (1,2)	0,04 (0,03) (0,7)	0,05 (0,04) (0,9)	0,05 (0,03) (0,9)
	11/9	0,02 (0,02) (0,5)	0,01 (0,01) (0,3)	0,03 (0,01) (0,5)	0,02 (0,01) (0,4)
	25/9	0,01 (0,01) (0,2)	0,00 (0,00) (0,0)	0,00 (0,00) (0,0)	0,00 (0,00) (0,0)
9/10	0,02 (0,02) (0,4)	0,00 (0,00) (0,0)	0,02 (0,02) (0,3)	0,01 (0,01) (0,2)	
23/10	0,01 (0,01) (0,2)	0,00 (0,00) (0,0)	0,00 (0,00) (0,0)	0,00 (0,00) (0,0)	
5/11	0,08 (0,03) (1,6)	0,00 (0,00) (0,0)	0,08 (0,05) (1,4)	0,05 (0,05) (1,0)	
19/11	0,12 (0,03) (2,4)	0,10 (0,05) (1,7)	0,13 (0,05) (2,4)	0,12 (0,04) (2,1)	
3/12	0,03 (0,02) (0,6)	0,04 (0,05) (0,7)	0,04 (0,02) (0,8)	0,04 (0,02) (0,7)	
17/12	0,04 (0,02) (0,9)	0,05 (0,03) (0,9)	0,05 (0,02) (0,9)	0,05 (0,02) (0,9)	

## Anexo D - Incremento em diâmetro do tronco por data das árvores de eucalipto (conclusão)

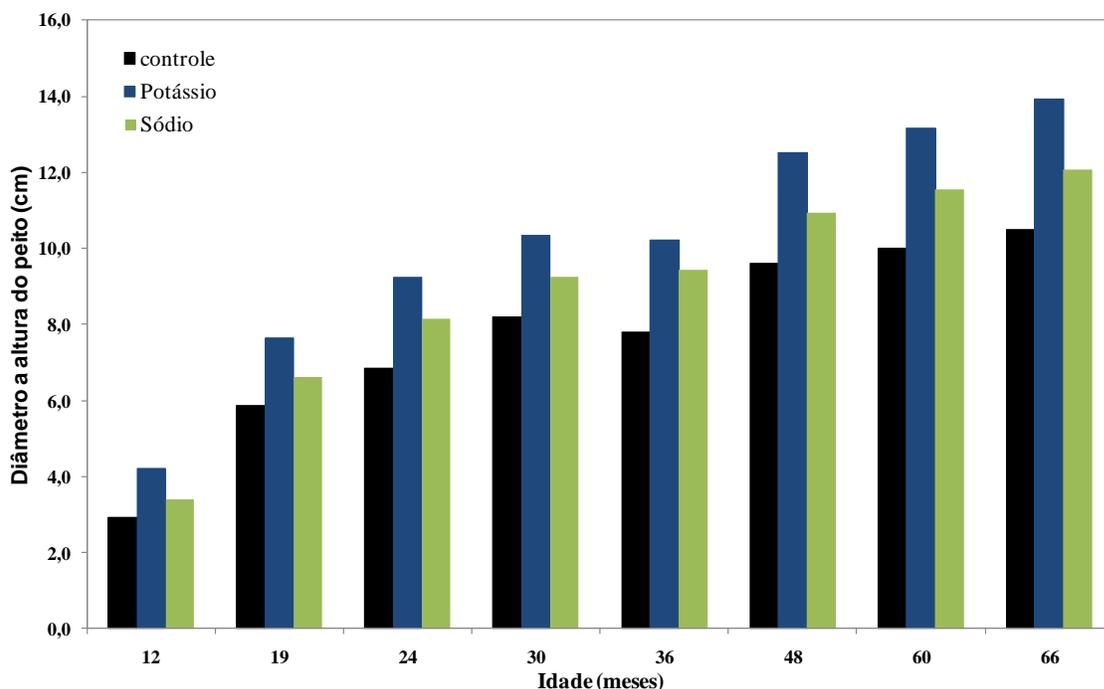
Ano	Data	Tratamento			Média geral
		Controle	Potássio	Sódio	
2008	2/1	0,03 (0,02) (0,6)	0,05 (0,04) (0,9)	0,04 (0,03) (0,7)	0,04 (0,01) (0,7)
	15/1	0,03 (0,02) (0,6)	0,05 (0,04) (0,9)	0,04 (0,03) (0,7)	0,04 (0,01) (0,7)
	28/1	0,04 (0,03) (0,7)	0,05 (0,04) (0,9)	0,05 (0,04) (0,8)	0,05 (0,01) (0,8)
	12/2	0,05 (0,04) (1,0)	0,09 (0,05) (1,5)	0,07 (0,04) (1,3)	0,07 (0,02) (1,3)
	26/2	0,04 (0,02) (0,7)	0,06 (0,04) (1,0)	0,05 (0,03) (0,9)	0,05 (0,02) (0,9)
	11/3	0,02 (0,02) (0,4)	0,05 (0,03) (0,9)	0,03 (0,02) (0,6)	0,03 (0,01) (0,6)
	25/3	0,04 (0,02) (0,8)	0,08 (0,04) (1,4)	0,05 (0,03) (0,9)	0,06 (0,03) (1,1)
	8/4	0,02 (0,02) (0,3)	0,05 (0,04) (0,8)	0,03 (0,03) (0,5)	0,03 (0,01) (0,6)
	22/4	0,05 (0,02) (1,0)	0,08 (0,05) (1,4)	0,07 (0,04) (1,3)	0,07 (0,02) (1,2)
	6/5	0,03 (0,02) (0,7)	0,06 (0,04) (1,0)	0,03 (0,02) (0,6)	0,04 (0,02) (0,8)
	20/5	0,06 (0,03) (1,3)	0,07 (0,04) (1,3)	0,07 (0,04) (1,3)	0,07 (0,03) (1,3)
	3/6	0,04 (0,01) (0,9)	0,05 (0,02) (0,8)	0,04 (0,01) (0,7)	0,04 (0,01) (0,8)
	17/6	0,04 (0,02) (0,9)	0,06 (0,03) (1,1)	0,05 (0,03) (0,8)	0,05 (0,01) (0,9)
	1/7	0,04 (0,02) (0,9)	0,05 (0,03) (0,8)	0,04 (0,03) (0,8)	0,04 (0,02) (0,8)
	15/7	0,03 (0,02) (0,6)	0,00 (0,00) (0,0)	0,03 (0,02) (0,5)	0,02 (0,02) (0,4)
	30/7	0,02 (0,01) (0,5)	0,00 (0,00) (0,0)	0,00 (0,00) (0,0)	0,01 (0,01) (0,2)
	13/8	0,05 (0,02) (1,1)	0,06 (0,04) (1,0)	0,04 (0,02) (0,7)	0,05 (0,03) (0,9)
	27/8	0,04 (0,02) (0,7)	0,03 (0,03) (0,6)	0,04 (0,02) (0,6)	0,04 (0,02) (0,6)
	10/9	0,02 (0,02) (0,4)	0,00 (0,00) (0,0)	0,00 (0,00) (0,0)	0,01 (0,02) (0,1)
	24/9	0,04 (0,03) (0,8)	0,03 (0,02) (0,5)	0,03 (0,02) (0,6)	0,03 (0,02) (0,6)
	7/10	0,07 (0,03) (1,4)	0,06 (0,04) (1,0)	0,08 (0,04) (1,4)	0,07 (0,04) (1,3)
	22/10	0,03 (0,02) (0,7)	0,06 (0,04) (1,0)	0,05 (0,03) (0,9)	0,05 (0,03) (0,9)
	5/11	0,03 (0,03) (0,5)	0,01 (0,01) (0,2)	0,02 (0,02) (0,4)	0,02 (0,02) (0,4)
	19/11	0,01 (0,01) (0,2)	0,00 (0,00) (0,0)	0,00 (0,00) (0,0)	0,00 (0,00) (0,0)
3/12	0,03 (0,01) (0,5)	0,01 (0,01) (0,1)	0,02 (0,01) (0,3)	0,02 (0,01) (0,3)	
17/12	0,01 (0,01) (0,3)	0,01 (0,01) (0,1)	0,01 (0,01) (0,1)	0,01 (0,01) (0,2)	
31/12	0,09 (0,03) (1,8)	0,05 (0,04) (0,9)	0,08 (0,04) (1,4)	0,07 (0,03) (1,3)	
2009	14/1	0,03 (0,02) (0,6)	0,04 (0,03) (0,8)	0,04 (0,02) (0,7)	0,04 (0,02) (0,7)
	28/1	0,08 (0,03) (1,6)	0,07 (0,05) (1,2)	0,07 (0,04) (1,2)	0,07 (0,02) (1,3)
	3/2	0,01 (0,01) (0,1)	0,01 (0,01) (0,1)	0,01 (0,01) (0,1)	0,01 (0,01) (0,1)
	11/2	0,01 (0,01) (0,3)	0,01 (0,01) (0,3)	0,01 (0,01) (0,2)	0,01 (0,01) (0,3)
	25/2	0,02 (0,02) (0,4)	0,02 (0,02) (0,4)	0,02 (0,01) (0,3)	0,02 (0,01) (0,3)
	11/3	0,01 (0,01) (0,2)	0,01 (0,01) (0,2)	0,01 (0,01) (0,1)	0,01 (0,01) (0,2)
	25/3	0,01 (0,01) (0,2)	0,02 (0,02) (0,3)	0,02 (0,01) (0,3)	0,01 (0,01) (0,3)
	8/4	0,03 (0,02) (0,7)	0,04 (0,04) (0,7)	0,03 (0,03) (0,6)	0,04 (0,02) (0,7)
	22/4	0,02 (0,03) (0,4)	0,01 (0,01) (0,2)	0,02 (0,02) (0,3)	0,02 (0,01) (0,3)
	6/5	0,05 (0,03) (0,9)	0,06 (0,05) (1,0)	0,06 (0,03) (1,1)	0,06 (0,01) (1,0)
	20/5	0,02 (0,03) (0,3)	0,04 (0,04) (0,6)	0,05 (0,03) (0,8)	0,03 (0,01) (0,6)
	3/6	0,07 (0,05) (1,4)	0,06 (0,04) (1,0)	0,05 (0,04) (0,9)	0,06 (0,02) (1,1)
	17/6	0,05 (0,02) (1,0)	0,05 (0,04) (0,9)	0,05 (0,02) (0,8)	0,05 (0,02) (0,9)
	1/7	0,04 (0,03) (0,9)	0,05 (0,04) (0,9)	0,04 (0,03) (0,8)	0,05 (0,02) (0,9)
	15/7	0,05 (0,02) (0,9)	0,06 (0,03) (1,1)	0,05 (0,02) (0,8)	0,05 (0,03) (1,0)
	29/7	0,04 (0,02) (0,7)	0,05 (0,04) (0,9)	0,04 (0,02) (0,8)	0,04 (0,01) (0,8)
	12/8	0,02 (0,02) (0,3)	0,03 (0,02) (0,4)	0,02 (0,02) (0,4)	0,02 (0,02) (0,4)
	26/8	0,03 (0,02) (0,5)	0,05 (0,05) (0,8)	0,04 (0,03) (0,7)	0,04 (0,02) (0,7)
	9/9	0,02 (0,02) (0,4)	0,04 (0,03) (0,8)	0,04 (0,03) (0,7)	0,03 (0,01) (0,6)
	23/9	0,02 (0,02) (0,4)	0,03 (0,02) (0,5)	0,03 (0,03) (0,5)	0,03 (0,01) (0,5)
	7/10	0,00 (0,00) (0,0)	0,02 (0,01) (0,4)	0,02 (0,02) (0,4)	0,02 (0,01) (0,3)
	21/10	0,01 (0,01) (0,3)	0,05 (0,05) (0,9)	0,03 (0,03) (0,5)	0,03 (0,02) (0,6)
	4/11	0,00 (0,00) (0,0)	0,02 (0,03) (0,4)	0,02 (0,02) (0,4)	0,01 (0,01) (0,3)
	19/11	0,03 (0,02) (0,5)	0,03 (0,03) (0,6)	0,03 (0,02) (0,6)	0,03 (0,01) (0,5)
1/12	0,03 (0,03) (0,5)	0,04 (0,04) (0,7)	0,05 (0,04) (0,9)	0,04 (0,01) (0,7)	
15/12	0,01 (0,01) (0,2)	0,01 (0,02) (0,2)	0,02 (0,02) (0,3)	0,01 (0,01) (0,2)	
29/12	0,05 (0,05) (0,9)	0,08 (0,08) (1,4)	0,06 (0,06) (1,1)	0,06 (0,01) (1,1)	
2010	12/1	0,03 (0,03) (0,7)	0,04 (0,05) (0,7)	0,05 (0,03) (0,9)	0,04 (0,01) (0,8)
	26/1	0,03 (0,03) (0,7)	0,04 (0,07) (0,7)	0,03 (0,04) (0,6)	0,04 (0,01) (0,7)
	10/2	0,00 (0,00) (0,0)	0,01 (0,02) (0,2)	0,01 (0,01) (0,1)	0,01 (0,01) (0,1)
	24/2	0,03 (0,02) (0,6)	0,05 (0,04) (0,8)	0,04 (0,03) (0,8)	0,04 (0,02) (0,8)
<b>Diâmetro final (cm)</b>		<b>11,67 (2,36)</b>	<b>14,24 (2,66)</b>	<b>13,17 (2,18)</b>	

Médias seguidas de desvio padrão e porcentagem em relação ao incremento acumulado (IA)

## Anexo E - Análise de variância do incremento em diâmetro do tronco das árvores

ORIGEM DE VARIACÃO	G.L.	Q.M.	F (sig.)	VAR.	VAR. (%)
Tratamentos	2	30,37	12,99*	3374,64	69,4
Bloco	3	8,37	3,58*	156,73	4,2
Resíduo	5879	2,34		1291,01	26,5

<sup>ns</sup> não significativo e \*significativo ( $p < 0,05$ )



Anexo F - Diâmetro a altura do peito (DAP) das árvores de eucalipto do experimento, obtido pelo inventário florestal, por tratamento de fertilização e idade. Fonte: Laclau (2010)

## Anexo G - Análise de variância da densidade aparente média do lenho das árvores

ORIGEM DE VARIACÃO	G.L.	Q.M.	F (sig.)	VAR.	VAR. (%)
Tratamentos (T)	2	0,0220	0,41 <sup>ns</sup>	0,00000	0,0
Classes de área basal (C)	4	0,0770	1,43 <sup>ns</sup>	0,00019	2,8
C x T	8	0,0748	1,38 <sup>ns</sup>	0,00052	7,7
Raios / (C) / (T)	15	0,0541	32,93*	0,00262	38,6
Posição no raio (P)	19	0,0291	17,75*	0,00092	13,5
(P) x (T)	38	0,0050	3,03 <sup>ns</sup>	0,00033	4,9
(P) x (C)	76	0,0033	2,02*	0,00028	4,1
(P) x (C) x (T)	152	0,0022	1,34*	0,00028	4,1
Resíduo (Posição / Raio / (C) / (T))	285	0,0016		0,00164	24,2

<sup>ns</sup> não significativo e \*significativo ( $p < 0,05$ )

## Anexo H - Análise de variância da densidade aparente mínima do lenho das árvores

ORIGEM DE VARIACÃO	G.L.	Q.M.	F (sig.)	VAR.	VAR. (%)
Tratamentos (T)	2	0,0190	0,32 <sup>ns</sup>	0,00000	0,0
Classes de área basal (C)	4	0,1484	2,52*	0,00075	9,8
C x T	8	0,0931	1,58 <sup>ns</sup>	0,00085	11,3
Raios / (C) / (T)	15	0,0589	32,83*	0,00285	37,6
Posição no raio (P)	19	0,0186	10,40*	0,00056	7,4
(P) x (T)	38	0,0055	3,05 <sup>ns</sup>	0,00037	4,8
(P) x (C)	76	0,0038	2,10*	0,00033	4,3
(P) x (C) x (T)	152	0,0020	1,10 <sup>ns</sup>	0,00009	1,2
Resíduo (Posição / Raio / (C) / (T))	285	0,0018		0,00179	23,6

<sup>ns</sup> não significativo e \*significativo (p<0,05)

## Anexo I - Análise de variância da densidade aparente máxima do lenho das árvores

ORIGEM DE VARIACÃO	G.L.	Q.M.	F (sig.)	VAR.	VAR. (%)
Tratamentos (T)	2	0,0325	0,76 <sup>ns</sup>	0,00000	0,0
Classes de área basal (C)	4	0,0328	0,77 <sup>ns</sup>	0,00000	0,0
C x T	8	0,0661	1,55 <sup>ns</sup>	0,00058	6,2
Raios / (C) / (T)	15	0,0427	16,30*	0,00200	21,3
Posição no raio (P)	19	0,0789	30,11*	0,00254	27,0
(P) x (T)	38	0,0084	3,20*	0,00058	6,1
(P) x (C)	76	0,0047	1,79*	0,00035	3,7
(P) x (C) x (T)	152	0,0041	1,56*	0,00073	7,8
Resíduo (Posição / Raio / (C) / (T))	285	0,0026		0,00262	27,9

<sup>ns</sup> não significativo e \*significativo (p<0,05)

## Anexo J - Análise de variância do índice de heterogeneidade do lenho das árvores

ORIGEM DE VARIACÃO	G.L.	Q.M.	F (sig.)	VAR.	VAR. (%)
Tratamentos (T)	2	0,0004	1,04 <sup>ns</sup>	0,00000	0,0
Classes de área basal (C)	4	0,0032	7,68*	0,00002	4,6
C x T	8	0,0011	2,71*	0,00002	3,5
Raios / (C) / (T)	15	0,0004	2,01*	0,00001	2,1
Posição no raio (P)	19	0,0056	27,96*	0,00018	35,1
(P) x (T)	38	0,0005	2,59*	0,00003	6,2
(P) x (C)	76	0,0003	1,52*	0,00002	3,4
(P) x (C) x (T)	152	0,0003	1,31*	0,00003	6,0
Resíduo (Posição / Raio / (C) / (T))	285	0,0002		0,00020	39,1

<sup>ns</sup> não significativo e \*significativo (p<0,05)

## Anexo K - Análise de variância da média da densidade básica do lenho das árvores

ORIGEM DE VARIAÇÃO	G.L.	Q.M.	F (sig.)	VAR.	VAR. (%)
Tratamentos (T)	2	0,00527	1,22 <sup>ns</sup>	0,00008	2,0
Classes de área basal (C)	4	0,00680	3,11*	0,00018	4,5
C x T	8	0,01523	6,32*	0,00134	33,3
Posição longitudinal / (C) / (T)	78	0,00333	2,92*	0,00129	32,0
Resíduo (Repetições / (C) / (T))	162	0,00114		0,00114	28,3

<sup>ns</sup> não significativo e \*significativo (p<0,05)

## Anexo L - Análise de variância da média do comprimento das fibras do lenho das árvores

ORIGEM DE VARIAÇÃO	G.L.	Q.M.	F (sig.)	VAR.	VAR. (%)
Tratamentos (T)	2	224481,15	16,28*	561,20	1,3
Classes de área basal (C)	3	434779,72	31,53*	1449,30	3,3
C x T	6	114213,68	8,28*	1142,10	2,6
Posições radiais (P)	3	7184043,63	520,97*	23946,80	55,1
(P) x (T)	6	47782,89	3,47*	477,80	1,1
(P) x (C)	9	55452,65	4,02*	739,40	1,7
(P) x (C) x (T)	18	34143,69	2,48*	1365,70	3,1
Resíduo (Fibras / (P) / (C) / (T))	1152	13789,84		13789,80	31,7

<sup>ns</sup> não significativo e \*significativo (p<0,05)

## Anexo M - Análise de variância da média da largura das fibras do lenho das árvores

ORIGEM DE VARIAÇÃO	G.L.	Q.M.	F (sig.)	VAR.	VAR. (%)
Tratamentos (T)	2	62,11	2,53 <sup>ns</sup>	0,079	0,87
Classes de Área basal (C)	3	50,96	2,08 <sup>ns</sup>	0,044	0,49
C x T	6	47,51	1,94 <sup>ns</sup>	0,194	2,12
Posições radiais (P)	3	133,57	5,45*	0,184	2,01
(P) x (T)	6	63,18	2,58*	0,327	3,56
(P) x (C)	9	31,39	1,28 <sup>ns</sup>	0,046	0,51
(P) x (C) x (T)	18	53,22	2,17*	0,973	10,57
Repetição / (P) / (C) / (T)	144	24,49	5,24*	2,687	29,19
Resíduo (Fibras / Repetição / (P) / (C) / (T))	1183	4,66		4,668	50,69

<sup>ns</sup> não significativo e \*significativo (p<0,05)

## Anexo N - Análise de variância da média da espessura da parede das fibras do lenho das árvores

ORIGEM DE VARIAÇÃO	G.L.	Q.M.	F (sig.)	VAR.	VAR. (%)
Tratamentos (T)	2	10,23	7,38*	0,0193	2,0
Classes de Área basal (C)	3	4,13	2,98*	0,0080	0,8
C x T	6	10,33	7,45*	0,0780	8,0
Posições radiais (P)	3	33,70	24,31*	0,0940	9,6
(P) x (T)	6	6,15	4,4*	0,0416	4,2
(P) x (C)	9	4,49	3,24*	0,0361	3,7
(P) x (C) x (T)	18	8,74	6,31*	0,2567	26,1
Repetição / (P) / (C) / (T)	144	1,39	4,68*	0,1522	15,5
Resíduo (Fibras / Repetição / (P) / (C) / (T))	1183	0,30		0,2961	30,1

<sup>ns</sup> não significativo e \*significativo (p<0,05)

## Anexo O - Análise de variância da média da diâmetro do lume das fibras do lenho das árvores

<b>ORIGEM DE VARIACÃO</b>	<b>G.L.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F (sig.)</b>	<b>VAR.</b>	<b>VAR. (%)</b>
Tratamentos (T)	2	179,79	9,61*	0,3515	3,8
Classes de Área basal (C)	3	61,35	3,28*	0,1240	1,3
C x T	6	96,14	5,14*	0,6757	7,3
Posições radiais (P)	3	363,20	19,40*	1,0022	10,8
(P) x (T)	6	72,63	3,88*	0,4705	5,1
(P) x (C)	9	72,82	3,89*	0,6296	6,8
(P) x (C) x (T)	18	35,52	1,90*	0,5866	6,3
Repetição / (P) / (C) / (T)	144	18,72	5,75*	2,1594	23,3
Resíduo (Fibras / Repetição / (P) / (C) / (T))	1183	3,26		3,2556	35,2

<sup>ns</sup> não significativo e \*significativo (p<0,05)

## Anexo P - Análise de variância da média do diâmetro tangencial dos vasos do lenho das árvores

<b>ORIGEM DE VARIACÃO</b>	<b>G.L.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F (sig.)</b>	<b>VAR.</b>	<b>VAR. (%)</b>
Tratamentos (T)	2	3578,49	67,25*	55,9100	8,7
Classes de área basal (C)	3	2067,84	38,86*	43,0800	6,7
C x T	6	1083,84	20,37*	67,7406	10,5
Posições radiais (P)	3	16415,55	308,52*	341,9900	53,0
(P) x (T)	6	214,11	4,02*	13,3800	2,0
(P) x (C)	9	178,11	3,34*	14,8400	2,3
(P) x (C) x (T)	18	207,62	3,90*	51,9000	8,0
Resíduo (Repetição / (P) / (C) / (T))	144	53,20		53,2000	8,2

<sup>ns</sup> não significativo e \*significativo (p<0,05)

## Anexo Q - Análise de variância da média da frequência dos vasos do lenho das árvores

<b>ORIGEM DE VARIACÃO</b>	<b>G.L.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F (sig.)</b>	<b>VAR.</b>	<b>VAR. (%)</b>
Tratamentos (T)	2	193,82	145,95*	3,0300	9,8
Classes de área basal (C)	3	220,62	166,12*	4,6000	14,8
C x T	6	78,38	59,02*	4,9000	15,8
Posições radiais (P)	3	639,88	481,81*	13,3300	42,9
(P) x (T)	6	12,31	9,27*	0,7700	2,5
(P) x (C)	9	14,30	10,77*	1,9200	3,8
(P) x (C) x (T)	18	7,64	5,75*	1,9100	6,2
Resíduo (Repetição / (P) / (C) / (T))	144	1,33		1,3300	4,3

<sup>ns</sup> não significativo e \*significativo (p<0,05)

## Anexo R - Análise de variância da média da % de área ocupada pelos vasos do lenho das árvores

ORIGEM DE VARIACÃO	G.L.	Q.M.	F (sig.)	VAR.	VAR. (%)
Tratamentos (T)	2	9,77	2,01 <sup>ns</sup>	0,1500	1,9
Classes de área basal (C)	3	19,64	18,90*	0,4100	5,0
C x T	6	34,16	32,88*	2,1300	26,2
Posições radiais (P)	3	103,33	99,44*	2,1500	26,4
(P) x (T)	6	6,78	6,53*	0,4200	5,2
(P) x (C)	9	7,41	7,13*	0,6100	7,6
(P) x (C) x (T)	18	4,89	4,71*	1,2200	15,0
Resíduo (Repetição / (P) / (C) / (T))	144	1,04		1,0400	12,7

<sup>ns</sup> não significativo e \*significativo (p<0,05)

Anexo S - Análise de variância da média da resistência ( $f_M$ ) na flexão estática

ORIGEM DE VARIACÃO	G.L.	Q.M.	F (sig.)	VAR.	VAR. (%)
Tratamentos (T)	2	474,56	10,44*	35750,0	43,8
Classes de área basal (C)	3	9,00	0,20 <sup>ns</sup>	0,0	0,0
C x T	6	29,04	0,64 <sup>ns</sup>	0,0	0,0
Posição longitudinal (P)	2	27,51	0,60 <sup>ns</sup>	0,0	0,0
P x T	4	47,14	1,04 <sup>ns</sup>	0,4	0,5
P x C	6	20,62	0,45 <sup>ns</sup>	0,0	0
Resíduo	12	45,45		45454,0	55,7

<sup>ns</sup> não significativo e \*significativo (p<0,05)

Anexo T - Análise de variância da média da rigidez ( $E_M$ ) na flexão estática

ORIGEM DE VARIACÃO	G.L.	Q.M.	F (sig.)	VAR.	VAR. (%)
Tratamentos (T)	2	15298611,0	7,12*	1095952,8	33,4
Classes de área basal (C)	3	1648838,3	0,77 <sup>ns</sup>	0,0	5,5
C x T	6	553091,8	0,26 <sup>ns</sup>	0,0	0,9
Posição longitudinal (P)	2	2571120,0	1,20 <sup>ns</sup>	35328,6	1,1
P x T	4	243773,7	0,17 <sup>ns</sup>	0,0	0,4
P x C	6	682107,8	0,21 <sup>ns</sup>	0,0	1,7
Resíduo	12	2147177,3		2147177,3	65,5

<sup>ns</sup> não significativo e \*significativo (p<0,05)

Anexo U - Análise de variância da média da resistência ( $f_{c0}$ ) na compressão paralela às fibras

<b>ORIGEM DE VARIAÇÃO</b>	<b>G.L.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F (sig.)</b>	<b>VAR.</b>	<b>VAR. (%)</b>
Tratamentos (T)	2	120,0	11,74*	9,1	45,9
Classes de área basal (C)	3	4,3	0,42 <sup>ns</sup>	0,0	0,0
C x T	6	10,6	1,04 <sup>ns</sup>	0,2	0,7
Posição longitudinal (P)	2	11,7	1,14 <sup>ns</sup>	0,1	0,6
P x T	4	11,4	1,11 <sup>ns</sup>	0,3	1,5
P x C	6	3,9	0,39 <sup>ns</sup>	0,0	0,0
Resíduo	12	10,2		10,2	51,3

<sup>ns</sup> não significativo e \*significativo ( $p < 0,05$ )