

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

**Efeito da aplicação do lodo de esgoto e de fertilização mineral no
crescimento e propriedades da madeira de árvores de *Eucalyptus
grandis* W. Hill ex. Maiden**

Carlos Roberto Sette Junior

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Recursos Florestais, com opção em
Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba
2007**

Carlos Roberto Sette Junior

Engenheiro Florestal

Efeito da aplicação do lodo de esgoto e de fertilização mineral no crescimento e propriedades da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden

Orientador:

Prof. Dr. **MÁRIO TOMAZELLO FILHO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Recursos Florestais, com opção em Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba
2007**

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

Sette Junior, Carlos Roberto

Efeito da aplicação do lodo de esgoto e de fertilização mineral no crescimento e propriedades da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden / Carlos Roberto Sette Junior. - - Piracicaba, 2007.
152 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Crescimento vegetal 2. Eucalipto 3. Fertilização 4. Lodo de esgoto 5. Madeira – Propriedade I. Título

CDD 674.172

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

À Ana Letícia, minha mulher, minha vida, parceira incondicional em todos os momentos pelo amor, admiração, estímulo e compreensão durante esta jornada.

Aos meus pais Carlos (de coração valente) e Katya por me mostrarem os caminhos honestos e dignos da vida e pelos incentivos que me fizeram crescer profissionalmente e como pessoa .

Aos meus irmãos Rafael e Guilherme pela amizade e amor que nos une.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus por abençoar e iluminar o meu caminho e por ter me concedido saúde para concluir mais esta etapa de minha vida;

Ao orientador Mário Tomazello Filho, pela dedicação e competência na orientação deste trabalho;

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

Ao prof. Tadeu dos Santos Dias pelas fundamentais orientações e apoio nas análises estatísticas;

Ao prof. Adriano Wagner Ballarin pelas importantes sugestões e orientações, enriquecendo este trabalho;

A Aila Tais Santos pela imensurável contribuição no desenvolvimento das análises laboratoriais;

Aos amigos e parceiros de trabalho, Matheus P. Chagas, Angel B. Ferreira, Maria Aparecida R. Bermudez, Cláudio S. Lisi, Ugo L. Belini e Wilson V. Jacintho (vulgo Leitão), que transformaram a convivência diária em amizades sólidas e duradouras;

Aos coordenadores do projeto de pesquisa de parceria CIRAD/ESALQ e a Estação Experimental de Itatinga, em especial ao Engenheiro Rildo Moreira, ao Estevão Araújo e a Aline Miranda ;

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

RESUMO.....	08
ABSTRACT	09
1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Madeira juvenil de eucalipto	12
2.2 Características anatômicas e físicas do lenho de eucalipto	15
2.2.1 Características anatômicas do lenho	15
2.2.2 Características físicas do lenho.....	17
2.3 Aplicação do lodo de esgoto e de fertilizantes minerais no crescimento e na produtividade de espécies florestais, com ênfase ao eucalipto	19
2.4 Crescimento e produtividade de eucalipto: aplicação de dendrômetros	22
2.5 Aplicação do lodo de esgoto e fertilizantes minerais nas propriedades do lenho de eucaliptos	24
2.6 Taxa de crescimento das árvores e a qualidade da madeira	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1 Local.....	30
3.2 Experimentos de aplicação de lodo de esgoto e de fertilização mineral	30
3.2.1 Experimento A: doses crescentes de adubo nitrogenado e dose de lodo de esgoto.....	30
3.2.2 Experimento B: doses crescentes de adubo potássico, dose de potássio com sódio e dose de sódio	32
3.3 Seleção das árvores e coleta das amostras do lenho das árvores de eucalipto	33
3.4 Crescimento e incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto	34
3.5 Condições climáticas.....	36
3.6 Variação da densidade do lenho no sentido radial e longitudinal do tronco das árvores.....	36
3.6.1 Variação da densidade aparente do lenho no sentido radial por	

densitometria de raios X.....	36
3.6.2 Variação da densidade básica do lenho no sentido longitudinal	38
3.7 Variação da estrutura anatômica do lenho	39
3.7.1 Variação das dimensões das fibras no sentido radial do lenho.....	39
3.7.2 Variação das dimensões e da freqüência dos vasos no sentido radial do lenho	40
3.8 Análises estatísticas.....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1 Experimento A: doses crescentes de adubo nitrogenado e dose de lodo de esgoto.....	43
4.1.1 Incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto.....	43
4.1.1.1 Incremento em diâmetro do tronco por classes de área basal.....	50
4.1.2 Variação da densidade do lenho no sentido radial e longitudinal do tronco das árvores.....	54
4.1.2.1 Variação da densidade aparente do lenho no sentido radial por densitometria de raios X.....	54
4.1.2.2 Densidade aparente do lenho por classes de área basal.....	61
4.1.2.3 Variação da densidade básica do lenho no sentido longitudinal das árvores	63
4.1.2.4 Densidade básica do lenho por classes de área basal	65
4.1.3 Variação da estrutura anatômica do lenho	67
4.1.3.1 Variação das dimensões das fibras no sentido radial do lenho.....	67
4.1.3.2 Dimensões das fibras por classes de área basal	70
4.1.3.3 Variação das dimensões e da freqüência dos vasos no sentido radial do lenho	71
4.1.3.4 Dimensões e freqüência de vasos por classes de área basal.....	78
4.2 Experimento B: doses crescentes de adubo potássico, potássio com sódio e dose de sódio.....	80
4.2.1 Incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto.....	80
4.2.1.1 Incremento em diâmetro do tronco por classes de área basal.....	85
4.2.2 Variação da densidade do lenho no sentido radial e longitudinal do	

tronco das árvores.....	89
4.2.2.1 Variação da densidade aparente do lenho no sentido radial por densitometria de raios X.....	89
4.2.2.2 Densidade aparente do lenho por classes de área basal.....	95
4.2.2.3 Variação da densidade básica do lenho no sentido longitudinal das árvores	97
4.2.2.4 Densidade básica do lenho por classes de área basal	99
4.2.3 Variação da estrutura anatômica do lenho	100
4.2.3.1 Variação das dimensões das fibras no sentido radial do lenho.....	100
4.2.3.2 Dimensões das fibras por classes de área basal	102
4.2.3.3 Variação das dimensões e da freqüência dos vasos no sentido radial do lenho	104
4.2.3.4 Dimensões e freqüência de vasos por classes de área basal.....	110
5 CONCLUSÕES	112
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
REFERÊNCIAS.....	117
ANEXOS	135

RESUMO

Efeito da aplicação do lodo de esgoto e de fertilização mineral no crescimento e propriedades da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden

As plantações sustentáveis e de alta produtividade de espécies de eucalipto podem contribuir para a solução dos desafios ligados a oferta de madeira para os diversos segmentos industriais, bem como os de ordem ambiental e social existentes no Brasil e no mundo. As pesquisas experimentais têm demonstrado que as fertilizações mineral e orgânica (biossólidos) aumentam a taxa de crescimento das árvores de eucalipto sendo, contudo, escassas as informações sobre as propriedades da madeira. A partir de dois experimentos de campo instalados na Estação Experimental de Itatinga-SP, foram realizadas avaliações da dinâmica do crescimento em diâmetro do tronco e das propriedades anatômicas e físicas do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis*. As árvores de eucalipto foram plantadas no espaçamento de 3x2 m e fertilizadas com nitrogênio (plantio, 6, 12, 18 meses) e lodo de esgoto (plantio, 8 meses) no Experimento A e potássio e sódio (plantio, 6, 12 meses) no Experimento B. Nos dois experimentos foram selecionadas, de acordo com as classes de área basal, as árvores de eucalipto com idade de 22 meses e instaladas faixas dendrométricas para o monitoramento do incremento em diâmetro do tronco no período de fevereiro de 2006 a janeiro de 2007. Árvores de eucalipto selecionadas em classes de área basal foram cortadas com a idade de 24 meses e coletadas amostras do lenho em diferentes porcentagens da sua altura total. De cada tratamento, foram analisadas as propriedades anatômicas e físicas da madeira, sendo (i) variação radial das dimensões das fibras, vasos e da densidade aparente do lenho por densitometria de raios X e (ii) variação longitudinal da densidade básica do lenho. Nos dois experimentos detectou-se o efeito da sazonalidade climática no incremento em diâmetro do tronco das árvores, com períodos de máximo (fevereiro-maio) e de mínimo (julho-agosto) crescimento. Foram, também, encontradas diferenças significativas entre os tratamentos de fertilização e as classes de área basal das árvores para o crescimento e para alguns parâmetros de densidade do lenho e dimensões das fibras e vasos. O modelo de variação da densidade aparente do lenho se caracterizou por valores elevados na região da medula, decrescendo e estabilizando em direção a casca. A densidade básica do lenho decresceu e/ou estabilizou da base até 25% da altura das árvores; aumentou entre 25 e 75% da altura e decresceu até o topo. A variação radial (medula-casca) foi caracterizada pelo aumento da largura, diâmetro do lume e comprimento e a diminuição da espessura da parede celular das fibras e pelo aumento do diâmetro tangencial e da área ocupada e redução da frequência dos vasos.

Palavras-chave: Crescimento; Faixas dendrométricas; Propriedades da madeira; Fertilização; Lodo de esgoto

ABSTRACT

Effect of the application of the sewage sludge and mineral fertilization in the growth and the wood properties of *Eucalyptus grandis* trees W. Hill. ex. Maiden

The sustainable and high productivity plantations of eucalyptus species can contribute to the solution of the challenges regarding the wood for the several industrial sectors, as well as the environmental and social aspects in Brazil and in the world. The researches experimental have been demonstrating that the mineral and organic fertilizations (biosolids) increase the growth rate of the eucalypt trees being, however, scarce the information on the wood properties. From two field experiments installed in the Experimental Station of Itatinga-SP, evaluations were done one the growth dynamics in of trees diameter and the anatomical and physical wood properties of *Eucalyptus grandis*. The eucalypt trees were planted in the spacing 3x2 m and fertilized with nitrogen (planting, 6, 12, 18 months) and sewage sludge (planting, 8 months) in the Experiment A and potassium and sodium (planting, 6, 12 months) in the Experiment B. In the two experiments were selected, according with the classes of basal area, the eucalypt trees with 22 months old and installed dendrometer bands for the monitoring of the increment in trees diameter from February 2006 to January 2007. Eucalypt trees selected in classes of basal area were cut with 24 months old and wood samples were collected in different % of the total height. The anatomical and physical wood properties were analyzed, being (i) the radial variation of the fibers, vessels and the wood apparent density by of X-ray densitometry and (ii) longitudinal variation of the wood basic density. In the two experiments the effect of the climatic seasonality was detected in increment of the trees diameter, with laugher grow periods (February-May) and lower periods (July-August). Significant differences between the treatments and classes of basal area of the trees for the growth and some parameters of wood density and fibers and vessels were also detected. The model of variation of the wood apparent density was elevated near to pith and decreased/stabilizes in bark direction. The wood basic density decreased and/or it stabilized of the base until 25%; increased up to 75% and decreased up to 100% of the trees height. The radial variation was characterized by the increase of the width, lumen diameter and length and the decrease of the cell wall thickness of the fibers and for the increase of the tangential diameter and the area and reduction of the frequency of the vessels.

Keywords: Growth; Dendrometer bands; Wood property; Fertilization; Sewage sludge

1 INTRODUÇÃO

As plantações de espécies de eucalipto no Brasil ocupam cerca de 3.5 milhões de ha, resultado de uma política de incentivos fiscais implantada na década de 60. 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. O setor florestal contribuiu no ano de 2005 com 4,5% do Produto Interno Bruto - PIB nacional (US\$ 36 bilhões), com 6,1% das exportações nacionais (US\$ 7,2 bilhões), sendo responsável pela geração de mais de 4 milhões de empregos diretos e indiretos (ALVES; KOEHLER; MELLO FILHO, 2007).

Atualmente, a discussão da possibilidade de escassez de madeira na próxima década e a redução da pressão sobre as florestas naturais tem estimulado uma inversão na tendência decrescente nas taxas de reflorestamento anuais, mostrando forte reação no ano de 2005, com 500.000 ha reflorestados em várias regiões do país. Para atender a demanda projetada, as universidades e instituições de pesquisa, associadas as empresas florestais, têm desenvolvido pesquisas para o aumento da produtividade das plantações florestais. Investimentos têm sido aplicados no melhoramento genético e clonagem, preparo do solo e nutrição das árvores e, mais recentemente, com a introdução experimental da prática de fertilização com lodo de esgoto e fertilização mineral (TOMAZELLO FILHO, 2006).

A forte pressão da sociedade face a poluição das águas tem resultado em significativo aumento no tratamento sanitário do esgoto nas Estações de Tratamento - ETE produzindo quantidades crescentes do resíduo sólido denominado lodo de esgoto ou bio-sólido. Este resíduo, devido ao aumento populacional constitui-se em recente problema ambiental sendo depositado em aterros sanitários ou incinerado gerando um impacto ambiental indesejável e onerando os municípios.

No entanto, o lodo de esgoto pode ser utilizado nas condições brasileiras como fertilizante em plantações florestais sendo uma das alternativas mais indicadas, considerando os aspectos sanitários, ambientais, silviculturais, sociais e econômicos (POGGIANI; SILVA, 2005). De acordo com Gobatto (2003), a disposição agrícola ou

florestal do biossólido, mesmo incluído os custos de transporte até 100 km, é mais vantajosa pelo aspecto econômico do que a disposição em aterro sanitário ou incineração. Kimberley et al. (2004) observaram que a aplicação do lodo pode aumentar significativamente os retornos econômicos de uma plantação florestal devido à maior produtividade obtida que compensa, dessa forma, os custos de transporte e aplicação do resíduo.

Quanto a fertilização mineral os ensaios de campo têm demonstrado que as plantações de eucalipto sem a fertilização apresentam produtividade de 34 m³/ha/ano e que podem ser ampliadas para 49-51 m³/ha/ano pela aplicação de fertilização mineral (www.ipef.br/beep).

Enquanto os tratamentos de aplicação de lodo de esgoto e de fertilização mineral aumentam consideravelmente as taxas de crescimento das árvores de eucalipto, são escassas as informações sobre os efeitos nas propriedades da madeira. Raymond (1998) e Beadle et al. (2001) destacam a importância da análise das alterações das propriedades da madeira das árvores de eucalipto das plantações florestais com elevadas taxas de crescimento.

A determinação das propriedades anatômicas e físicas da madeira atende aos princípios que regem o seu uso múltiplo em plantações florestais sustentáveis, direcionando as diferentes seções do tronco e demais constituintes das árvores, como madeira serrada, celulose e papel, painéis e chapas, energia, etc.

Cabe, finalmente, destacar a importância das florestas sustentáveis de alto crescimento pela possibilidade de redução do gás carbônico - CO₂ atmosférico (em concentrações atuais de mais de 379 ppm) e do aquecimento global, discutidos amplamente pela recente divulgação do relatório do Painel Intergovernamental de Mudança Climática - IPCC.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da aplicação de lodo de esgoto e de fertilizantes minerais na sazonalidade do crescimento em diâmetro do tronco e nas propriedades anatômicas e físicas da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis*.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Madeira juvenil de eucalipto

O caule de uma árvore pode ser dividido em duas regiões distintas, devido as diferenças nas suas estruturas e propriedades. Uma região, próxima à medula, proveniente do crescimento inicial, denominada madeira juvenil e outra na porção externa do tronco, formada pela atividade do câmbio fisiologicamente maduro, chamada de madeira adulta (JANKOWSKY, 1979).

Segundo Jankowsky (1979) a madeira juvenil corresponde ao xilema secundário produzido durante a fase inicial da vida da árvore, caracterizada anatomicamente por um progressivo aumento nas dimensões e mudanças correspondentes na forma, estrutura e disposição das células nas sucessivas camadas de crescimento.

As porcentagens de madeira juvenil e adulta no lenho das árvores refletem as diferenças das características anatômicas dos componentes celulares e atribuem à madeira diferenciação em algumas variáveis (Figura 1).

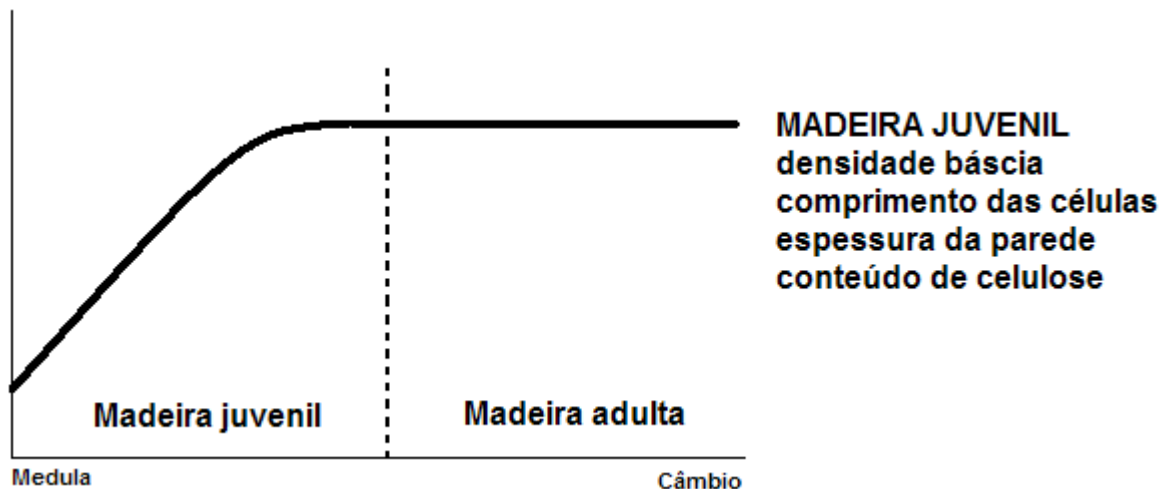


Figura 1 - Diferenciação de algumas variáveis entre madeira juvenil e adulta, menores e/ou inferiores para a madeira juvenil. (KRZYSIK et al, 2002 apud TOMAZELLO FILHO, 2002)

As diferenças da madeira juvenil em relação à adulta estão na magnitude das alterações anatômicas e físicas que ocorrem no sentido da medula para a casca do tronco das árvores. A estrutura anatômica da madeira juvenil, de transição e adulta de

árvores eucalipto (Figura 2) foi determinada por Tomazello Filho (2002) que evidenciou as diferenças nas dimensões e porcentagens dos elementos celulares no sentido radial.



Figura 2 - Caracterização da estrutura anatômica microscópica da madeira juvenil, de transição e adulta de *Eucalyptus sp.* (TOMAZELLO FILHO, 2002)

Segundo Tomazello Filho (2002), o perfil radial da densidade aparente da madeira de eucalipto se caracteriza pelo aumento dos valores no sentido medula-casca, evidenciando as diferenças da madeira juvenil, de transição e adulta (Figura 3).

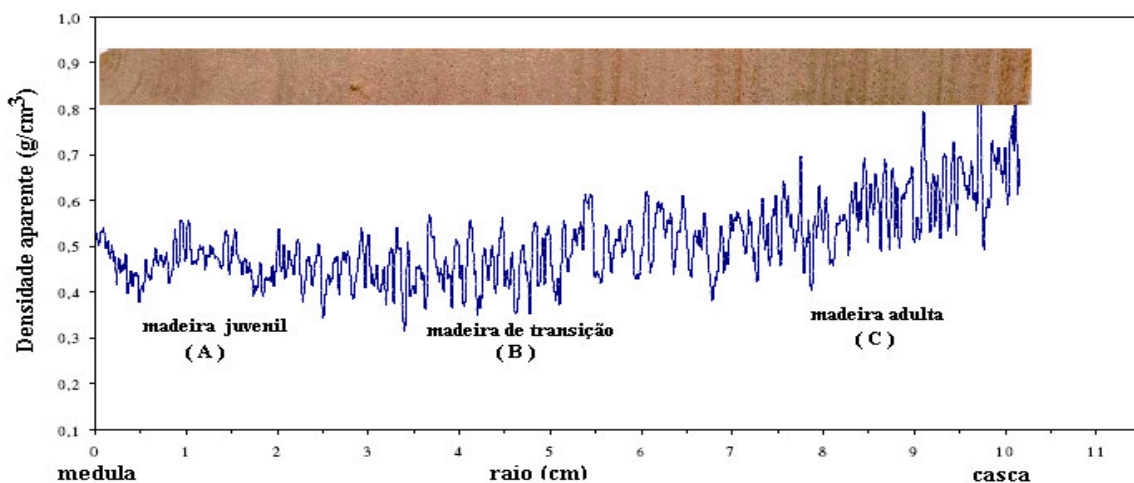


Figura 3 - Perfil da densidade radial da madeira de *Eucalyptus sp.*, por densitometria de raios X, evidenciando a madeira juvenil, transição e adulta. (TOMAZELLO FILHO, 2002)

De maneira geral, de acordo com Lima (2005), para a madeira de folhosas algumas características da madeira juvenil são menor comprimento dos elementos dos vasos e das fibras, menor diâmetro celular, 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.

Para madeiras de eucalipto, segundo Hillis & Brown (1984), os limites de formação de madeira juvenil ainda não estão claramente conhecidos, e poucas comparações têm sido feitas entre as propriedades da madeira próxima da medula com a madeira adulta. Ainda segundo esses autores, a densidade da madeira de árvores adultas é maior do que aquela de madeira juvenil, proveniente de árvores jovens.

De acordo com Malan (1995), a qualidade da madeira varia de árvore para árvore, bem como dentro de troncos individuais. A variação no sentido radial é a mais importante, sendo que a sua extensão é determinada pela proporção de madeira juvenil e de suas características físicas, mecânicas, químicas e anatômicas ao longo do raio.

A densidade da madeira tende a aumentar com a idade devido ao aumento da espessura da parede celular e diminuição do lume das células, ou seja, à medida que diminui a proporção de madeira juvenil no tronco da árvore (FERREIRA; KAGEYAMA, 1978 e VITAL, 1984).

Wilkes (1984) afirma que, em madeira de eucalipto, a taxa de crescimento tem pouca influência quanto à formação de madeira juvenil e esse tipo de madeira ocupa proporção semelhante ao diâmetro nas árvores de crescimento rápido e lento, sugerindo um grau de maturidade semelhante entre ambos os grupos de árvores.

A proporção de madeira juvenil existente em uma tora é uma característica que depende fundamentalmente da idade da árvore, do ambiente e do manejo florestal. Contudo, em uma mesma idade e em condições semelhantes de ambiente e de manejo, pode-se verificar que existe grande variabilidade neste aspecto (MALAN, 1995).

A duração do período juvenil, de 7 a 15 anos, varia de acordo com cada espécie e com o ambiente. Em uma árvore com 15 anos, esse período pode ocupar cerca de 85% do tronco e, a partir dos 30 anos 10% do tronco (KOGA, 1988).

2.2 Características anatômicas e físicas do lenho de eucalipto

2.2.1 Características anatômicas do lenho

As características anatômicas constituem-se em um índice de qualidade, além da composição química e as características físicas da madeira, compondo os fatores que estão relacionados as propriedades da madeira (HAYGREEN et al., 1982).

Na madeira das folhosas, ao contrário do que ocorre na das coníferas, existe uma variabilidade estrutural e complexidade anatômica bastante grande que integram vários tipos de células como as fibras, parênquima e elementos de vaso (JORGE; PEREIRA,1998).

Segundo Florsheim et al. (2000) os vasos apresentam características bastante variadas, sendo sua freqüência e diâmetro fatores de grande influência nas características superficiais dos papéis para impressão e afetam o movimento dos líquidos, fator importante no processo de tratamento para a preservação da madeira. A alta freqüência de vasos e a abundância de parênquima podem diminuir a resistência mecânica da madeira.

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 μm para comprimento, espessura da parede das fibras e diâmetro do lume, respectivamente.

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

Tomazello Filho (1985a) ao analisar a estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus grandis* com 10 anos verificou que os elementos de vaso apresentaram diâmetro tangencial variando de pequenos (53 μm) a médios (161 μm). Ainda, segundo o autor, o comprimento das fibras variou entre 0,89 e 1,52 mm, a largura de 17,0 a 33,5 μm , a espessura da parede de 5,0 a 6,0 μm e o diâmetro do lume de 7,0 a 23,0 μm .

Caracterizando a estrutura anatômica da madeira de *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 μm , diâmetro de lume de 9,58 μm e espessura da parede delgada de 5,7 μm .

Carvalho (2000, apud ROCHA; GONÇALVES; MOURA, 2004) relatou os valores médios de 1,07 mm, 17,48, 8,49 e 4,49 μm 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 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 (FLORSHEIM et al., 2000).

Tomazello Filho (1985b) verificou que o modelo de variação radial do comprimento e largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras tenderam a aumentar no sentido medula-casca para o *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* com 10 anos de idade. Verificou um aumento no diâmetro tangencial e uma diminuição na freqüência 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.

Florsheim et al. (2000) estudando a variação radial e longitudinal da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade constatou no sentido longitudinal (i) maiores valores das dimensões das fibras foram encontrados a 25% da altura comercial e (ii) o comprimento e a freqüência 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 freqüência 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 freqüência dos vasos no sentido radial.

Batista et al. (2003, apud ROCHA; GONÇALVES, 2004) ao caracterizar a madeira de *Eucalyptus grandis* verificaram que o modelo de variação radial mais

comum se caracteriza pelo aumento do comprimento das fibras e do diâmetro dos vasos, bem como na redução da frequência dos vasos.

2.2.2 Características físicas do lenho

Das características da madeira, a densidade é considerada como uma das mais importantes, fornecendo informações sobre as demais características, sendo um parâmetro comumente utilizado para a qualificação da madeira. Por um lado, a densidade resulta da integração dos aspectos físicos, anatômicos e químicos da madeira e, por outro lado, é a principal responsável pelas características de resistência, de energia etc, que condicionam a sua utilização (JORGE; PEREIRA,1998).

Segundo Tsoumis (1991, apud MOREIRA, 1999) a densidade da madeira é uma medida da quantidade de material da parede celular presente em certo volume, sendo um índice do volume de espaços vazios.

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, 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 secções 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.

Lima; Rosado e Oliveira (1992) avaliando a variação da densidade da madeira de três espécies de eucalipto com 3,5 anos de idade no sentido longitudinal do caule afirmaram que a densidade básica de *Eucalyptus grandis* 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/cm³.

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/cm³.

Lopes (2003) encontrou valores de densidade básica média da madeira de 0,46 g/cm³ para árvores de *Eucalyptus grandis*, verificando uma variação longitudinal com decréscimo até o DAP e a 25% e crescendo até 100% da altura comercial.

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 pela literatura, ou seja, com valores crescentes no sentido medula-casca.

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/cm³ (próximo a casca).

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/cm³) e maiores (0,63 g/cm³) valores de densidade aparente média foram encontrados nas árvores com 10 e 20 anos, respectivamente.

Alzate (2004) ao caracterizar a variação radial da densidade aparente do lenho das árvores de *Eucalyptus grandis* com 8 anos por densitometria de raios X, constatou

que esta é crescente no sentido medula-casca e que a densidade aparente média foi de 0,46 g/cm³.

A variação radial da densidade aparente da madeira para *Eucalyptus grandis x urophylla* com 7 anos foi determinada por Chagas et al. (2005) através da técnica de densitometria de raios X, indicando a tendência de aumento dos valores da medula (0,51-0,71 g/cm³) para a casca (0,63-0,82 g/cm³).

Tomazello Filho (2006) estudando a variação radial da densidade aparente do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis x urophylla* com 7 anos, por densitometria de raios X, constatou o modelo de variação constituído por valores crescentes da medula a casca, tendo uma densidade aparente média de 0,65 g/cm³.

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/cm³ e o modelo de variação radial mais comum para a espécie: valores crescentes no sentido medula-casca.

2.3 Aplicação do lodo de esgoto e de fertilizantes minerais no crescimento e na produtividade de espécies florestais, com ênfase ao eucalipto

Desde a década de 70 existem estudos referentes a aplicação de resíduos orgânicos em florestas localizadas em diversas partes do mundo, segundo Henry e Cole (1997), investigando o desenvolvimento de técnicas de aplicação, avaliação do crescimento e dos impactos ambientais e econômicos gerados pela aplicação desse resíduo.

Recentemente, Harrison et al. (2003) em ampla revisão sobre o uso de lodo de esgoto (biossólido) em sistemas agroflorestais assinalaram que diversas pesquisas foram realizadas sobre o crescimento das plantas em resposta à aplicação desse insumo orgânico, relatando o aumento na produtividade das espécies florestais em trabalhos realizados no Brasil e no exterior. Principalmente no estado de Washington (EUA) foram relatados que os resultados das pesquisas indicaram o efeito positivo no crescimento de árvores de espécies de coníferas (HARRISON et al., 1994; HENRY; COLE, 1993).

Segundo Poggiani; Guedes e Benedetti (2000) o lodo de esgoto apresenta vantagens em relação à adubação mineral devido à forma lenta e contínua de liberação dos nutrientes para o solo e para o sistema radicular das árvores, sendo que em culturas de ciclos longos, essa liberação lenta torna-se significativamente vantajosa. Souza Vaz e Gonçalves (2000) pesquisaram o efeito da aplicação do lodo de esgoto em plantações de eucalipto sobre a fertilidade do solo detectando significativas modificações pela aplicação de doses crescentes (5 a 40 ton/ha).

Em plantações de *Eucalyptus grandis*, Rocha et al. (2002) concluiu que a fertilidade do solo elevou-se gradualmente depois da aplicação do lodo de esgoto, com as árvores reagindo positivamente e evidenciando maiores ganhos de produtividade em relação à adubação convencional. Anteriormente, McNab e Bery (1985) estudando aplicação de lodo de esgoto em plantações florestais observaram que o tratamento com aplicação de lodo propiciou maior incremento volumétrico, comparativamente a adubação mineral.

Souza Vaz (2000) estudando o efeito de doses crescentes de lodo de esgoto em plantações de *Eucalyptus grandis* verificaram que o volume sólido de madeira no tratamento de fertilização mineral foi 10 e 30% inferior ao do tratamento com 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto mais K e P aos 17 e 24 meses, respectivamente. Esse efeito positivo no crescimento das árvores deve-se, de acordo com Souza Vaz (2000), a contínua e elevada disponibilidade de nutrientes do lodo de esgoto no decorrer do processo de mineralização.

O efeito da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto de 0 a 40 t ha⁻¹ foi analisado por Rocha; Gonçalves e Moura (2004) no crescimento de árvores de *Eucalyptus grandis* com 12, 24 e 36 meses, sendo detectado que a adubação com lodo aumentou a produção de madeira acima da convencional, sendo mais evidente aos 36 meses de idade. O retorno econômico da aplicação do lodo de esgoto em plantações florestais foi demonstrado por Kimberley et al. (2004) em função do aumento de produtividade de madeira, mesmo considerando os custos do transporte e da sua aplicação.

Mais recentemente, Guedes (2005) observou um efeito positivo do lodo de esgoto tratado com cal hidratada e cloreto férrico no crescimento de árvores de eucalipto, ao longo da sua rotação.

Silva (2006) com o objetivo de avaliar o efeito da adição de doses crescentes (5, 10, 20 e 30 t ha⁻¹) do lodo de esgoto úmido e seco, complementados com K e B, em árvores de *Eucalyptus grandis* com 18 e 36 meses constatou que os tratamentos com lodo propiciaram um maior incremento no volume de madeira produzida em relação a testemunha (Figura 4) e promoveu o aumento da concentração dos macro e micronutrientes do solo.

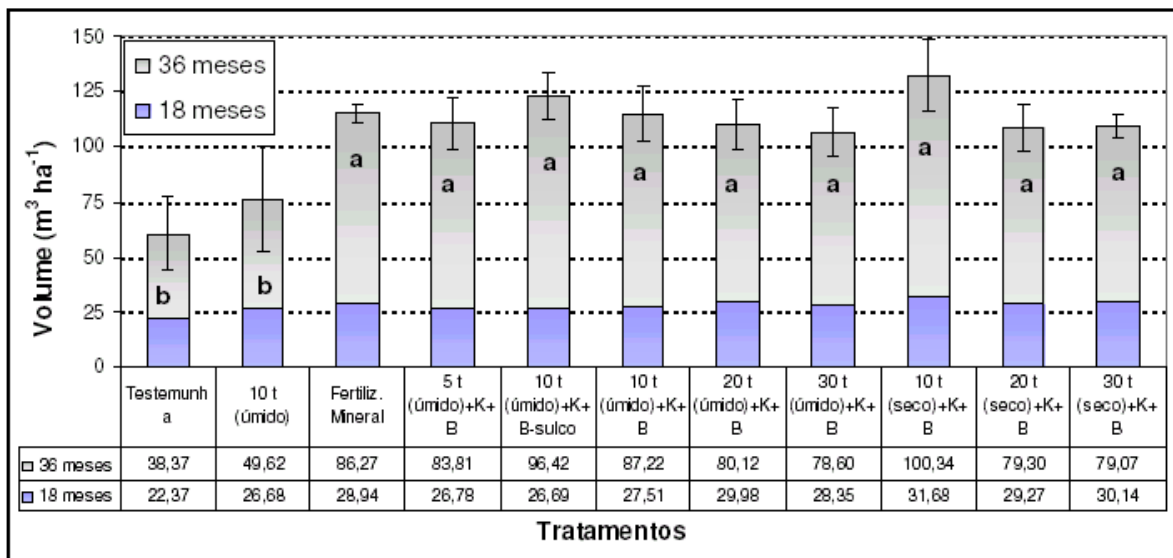


Figura 4 - Efeito da aplicação de biossólido úmido e seco no crescimento volumétrico das árvores de eucaliptos aos 18 e 36 meses (Silva, 2006)

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 m³/ha.

O aumento do volume de madeira de árvores de *Eucalyptus saligna* e *E. grandis* com a adubação potássica variou de 67 a 118% no cerrado do estado de Minas Gerais (BARROS et al., 1981 apud SILVEIRA e MALAVOLTA, 2003) e no sul do estado de São Paulo (GAVA, 1997), respectivamente.

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 et al. (1982).

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

Burger (2000) estudando o crescimento de clones de *Eucalyptus saligna* com 10,5 anos de idade sob o efeito do espaçamento e da fertilização com fosfato concluiu que o fator adubação não influenciou significativamente as variáveis diâmetro à altura do peito, altura total e volume comercial sem casca por árvore.

A produção de madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* foi determinada por Silveira e Malavolta (2003) em função das doses de potássio na solução nutritiva. As respostas das progênies foram diferenciadas à aplicação de potássio, sendo que somente algumas responderam.

2.4 Crescimento e produtividade de eucalipto: aplicação de dendrômetros

Diversos trabalhos têm apresentado o uso de faixas dendrométricas para a avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores tropicais (MARIAUX, 1969 e 1970; DÉTIENNE et al., 1988, DÉTIENNE, 1989, BOTOSSO e TOMAZELLO FILHO, 2001 e SHEIL, 2003).

Contudo, em plantações de eucalipto, os trabalhos que aplicam as faixas dendrométricas são escassos, destacando-se o desenvolvido na França por Marien e Thibout (1980) durante 2 anos mensurando o incremento do tronco de árvores de eucalipto com 5-7 anos. Observaram a existência de um ponto crítico de temperatura

(6°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.

A variação contínua em incremento do tronco de árvores de *Eucalyptus pauciflora* foi analisada por Green (1969) em duas diferentes altitudes em Canberra por 6 meses. As curvas de crescimento indicaram, crescimento reduzido no verão, devido às flutuações irregulares de precipitação.

Wimmer; Downes e Evans (2002) estudaram o incremento diário do tronco de árvores de *Eucalyptus nitens* estabelecidas na Tasmânia com 17 anos, em diferentes estações de crescimento, utilizando dendrômetros. As árvores sujeitas à seca severa tiveram baixos incrementos do tronco e as irrigadas eram suscetíveis às mudanças do clima. A temperatura teve, da mesma forma, grande efeito no incremento do tronco.

Valenziano e Scaramuzzi (1967) utilizaram faixas dendrométricas para estudar o crescimento em diâmetro do tronco de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. viminalis* com 9 anos no Centro de Experimentação Agrícola e Florestal, próximo a Roma - Itália. Concluíram que no inverno o crescimento do tronco das árvores foi zero devido, principalmente, a baixa temperatura. No verão, algumas árvores mostraram crescimento do tronco nulo atribuído a falta de água e outras mostraram crescimento do tronco considerável, devido a água disponível no solo a vários metros de profundidade.

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 5). 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 a 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.

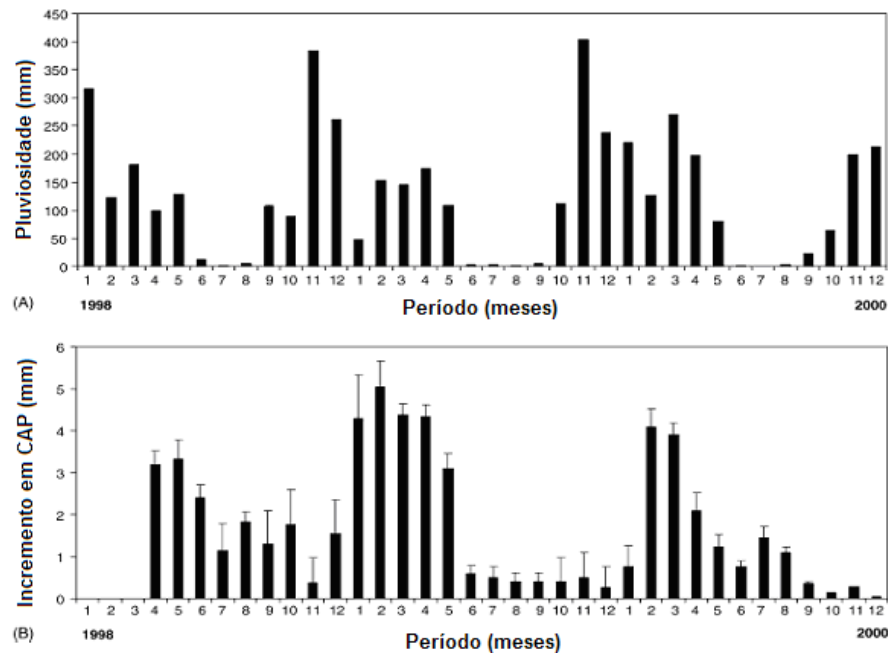


Figura 5 – Precipitação mensal (A) e incremento mensal do tronco de 30 árvores de eucalipto de abril de 1998 a dezembro de 2000 (B). (LACLAU et al, 2005)

2.5 Aplicação do lodo de esgoto e fertilizantes minerais nas propriedades do lenho de eucalipto

A literatura especializada sobre o efeito da aplicação do lodo de esgoto no lenho de eucalipto é escassa, sendo o único resultado apresentado por Barreiros (2005) ao verificar uma diminuição da densidade básica da madeira e da espessura da parede das fibras do lenho de árvores de *E. grandis* aos 7 anos, adubadas com lodo de esgoto tratado.

Por outro lado, existem inúmeros artigos científicos analisando o efeito de fertilizantes minerais nas propriedades da madeira de diferentes espécies de eucaliptos.

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, impedindo o desenvolvimento total das mesmas 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 consequência um decréscimo na densidade básica (SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989 e JACOB; BALLONI, 1978).

As variações da densidade do alburno e do cerne de 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 (1991).

Valeri et al. (1990) verificaram que a variação da densidade básica do lenho das árvores de *Eucalyptus grandis*, aos 7,5 anos, no sentido longitudinal do seu tronco não foi afetada pela aplicação de calcário dolomítico diminuindo, no entanto, com a incorporação no solo de 200 kg/ha de P_2O_5 .

A adubação fosfatada e/ou sulfatada e a calagem do solo induziram, de acordo com Andrade et al. (1994), uma redução da densidade básica do cerne e do alburno – embora não significativa – de árvores de *Eucalyptus grandis*, com 6 anos de idade. A aplicação de fosfato e gesso promoveu a formação de fibras de menor diâmetro e espessura da parede celular; na calagem, as fibras foram de maior diâmetro e espessura de parede e os vasos de maior diâmetro.

A fertilização não mostrou influência no comprimento das fibras do lenho de árvores de *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.

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. 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.

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. (2006). A densidade do lenho diminuiu de 0,84 para 0,79 g/cm³ e o ângulo fibrilar aumentou com a intensidade de desbaste e pela aplicação de fertilizantes.

2.6 Taxa de crescimento das árvores e a qualidade da madeira

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.

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.

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 (1984).

Em *Eucalyptus grandis*, com 7 anos, Carpim 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 diamétrais e (iii) África do Sul (especial), não apresentou diferença significativa entre a densidade básica do lenho e as classes diamétrais das árvores.

Carpim e Barrichelo (1983) analisando a variabilidade da densidade básica da madeira de 4 espécies de *Eucalyptus*, 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 *Eucalyptus 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° de vasos/mm²) 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.

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 ($0,57 \text{ g/cm}^3$) em relação as dominantes (DAP > 15 cm, densidade: $0,61 \text{ g/cm}^3$).

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.

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 a maior densidade 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).

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).

Ferreira (1970, 1971, 1972 a,b, 1973) informa que a densidade básica média do lenho das árvores de *Eucalyptus alba* (*E. urophylla*), aos 5-7anos, não apresenta relação com o diâmetro do tronco, com variações pronunciadas de $0,44-0,67 \text{ g/cm}^3$; 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.

Em árvores de *Eucalyptus grandis*, de 20 anos (plantação) e 45-250 anos (florestas naturais), de acordo com Bamber et al. (1982, 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 *Eucalyptus grandis*, de 5-25 anos de diferentes diâmetros e altura.

Wilkins (1990) avaliou a influência de tratamentos silviculturais – fertilização, controle de ervas daninhas, de pragas - no crescimento e na densidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis*, com 11,3 anos, implantadas em sítios anteriormente cultivados como pastagem: não foram detectadas correlações entre a densidade do lenho e a taxa de crescimento das árvores.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 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, segundo Köeppen, é caracterizado como mesotérmico úmido (Cwa), com precipitação média anual de 1308 mm. A temperatura média do mês mais frio é 12,8°C e a média do mês mais quente de 19,4°C. O solo é do tipo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico de textura média (200 g kg⁻¹ de argila) cuja litologia é composta por arenito, formação Marília, pertencendo ao Grupo Bauru .

3.2 Experimentos de aplicação de lodo de esgoto e de fertilização mineral

As avaliações do crescimento e das propriedades da madeira das árvores de eucalipto do presente trabalho foram realizadas em 2 experimentos (A e B) instalados em abril/2004 e que compõem os Projetos de Pesquisa “Processos de transferência e balanço de água e de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* que receberam aplicações de nitrogênio e de biossólido: reflexos sobre a sustentabilidade” e “Resposta do *Eucalyptus grandis* a adubação potássica e a substituição do potássio por sódio”, a saber:

3.2.1 Experimento A: doses crescentes de adubo nitrogenado e dose de lodo de esgoto

O ensaio foi implantado em um delineamento experimental em blocos casualizados com 5 tratamentos e 6 blocos (Figura 6). Cada parcela era constituída de 100 árvores e foram desprezadas 2 linhas de bordadura, para reduzir a influência potencial dos tratamentos das parcelas adjacentes. Do total de blocos, 2 foram reservados para amostragem destrutiva das árvores de forma inteiramente aleatorizada

e seguindo a distribuição de área basal dos tratamentos e os demais utilizados para o acompanhamento e monitoramento do incremento em diâmetro do tronco, considerando delineamento em blocos casualizados.

Na área experimental, antes do plantio, foram distribuídos a lanço e sem incorporação 2000 kg de calcário dolomítico por hectare. As aplicações de N (sulfato de amônio) foram parceladas, conforme os procedimentos usuais da silvicultura regional (plantio, 6, 12 e 18 meses). Todos os tratamentos, com exceção do T₃, receberam 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo, 50 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl, 45 kg ha⁻¹ de Borogran e 45 kg ha⁻¹ de FTE Br 12 (“Fritted Trace Elements”) como fonte de micronutrientes. Nas adubações de cobertura, realizadas aos 6, 12 e 18 meses pós-plantio, foram aplicados 50 kg ha⁻¹ de KCl e a dose de N (sulfato de amônio), em função do tratamento:

T₁: Testemunha, sem aplicação de N;

T₂: Aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N. Esta dose de N é usada em solos semelhantes numa grande empresa florestadora da região, por isso, constituindo-se numa importante referência;

T₃: Aplicação de 10 t ha⁻¹ de biossólidos (350 kg ha⁻¹ de N-total) provenientes da ETE de Barueri (SP), aplicados em duas faixas de cada lado da linha do plantio para simular um modo de aplicação de grande escala nas empresas.

T₄: Aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N;

T₅: Aplicação de 360 kg ha⁻¹ de N;

No T₃ foram aplicadas 5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto no plantio e 5 t ha⁻¹ complementares aos 8 meses, além de 50 kg ha⁻¹ de KCl, para prevenir a deficiência de K, que é pobre no lodo de esgoto. O T₃ recebeu 38 kg ha⁻¹ de KCl em cobertura aos 6 e 12 meses pós-plantio. Este tratamento recebeu, no total, a mesma dose de K prevista para os demais tratamentos. No presente trabalho foram avaliadas as respostas das árvores de eucalipto dos Tratamentos 1, 2 e 3.

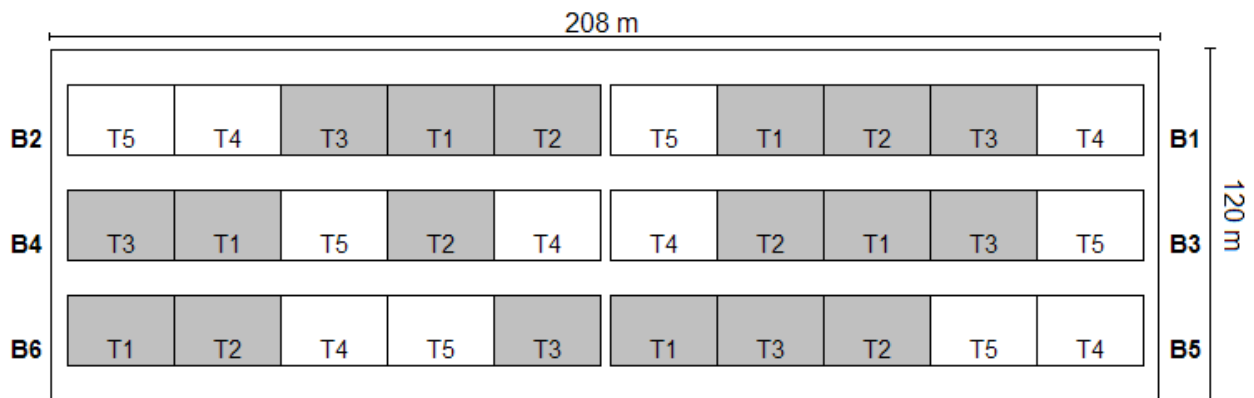


Figura 6 – Croqui do experimento A com os Tratamentos 1, 2 e 3 destacados. Fonte: Laclau et al. (2007)

3.2.2 Experimento B: doses crescentes de adubo potássico, dose de potássio com sódio e dose de sódio

O ensaio foi implantado em um delineamento experimental em blocos casualizados com 7 tratamentos e 4 blocos (Figura 7). Cada parcela era constituída de 81 árvores e foram desprezadas 2 linhas de bordadura, para reduzir a influência potencial dos tratamentos de fertilização das parcelas adjacentes. A amostragem destrutiva das árvores foi realizada de forma inteiramente aleatorizada, seguindo a distribuição de área basal dos tratamentos e na bordadura interna das mesmas parcelas utilizadas no acompanhamento e monitoramento do incremento em diâmetro do tronco. Tomou-se o cuidado de amostrar as árvores distantes das reservadas para o monitoramento do incremento em diâmetro do tronco, para não prejudicar o processo de competição e, assim, não influenciar nos resultados de crescimento do tronco.

Na área experimental, antes do plantio, foram distribuídos a lanço sem incorporação 2000 kg de calcário dolomítico por hectare. As aplicações de K e Na foram parceladas em 3 vezes no decorrer do primeiro ano (plantio, 6, 12 meses). Todos os tratamentos receberam 80 kg de P_2O_5 , 45 kg de N ($NH_4(SO_4)_2$) e 45 kg de FTE (BR-12) por hectare como fonte de micronutrientes. Nas adubações de cobertura, realizadas aos 6 e 12 meses pós-plantio, foram aplicados 90 kg de N ($NH_4(SO_4)_2$) e a dose de K e Na, em função do tratamento:

T₀: Aplicação de 70 Kg/ha de K na forma de K₂O;

T₁: Testemunha, sem aplicação de K;

T₂: Aplicação de 140 Kg/ha de K na forma de K₂O. Esta dose de K é usada em solos semelhantes numa grande empresa florestadora da região, por isso, constituindo-se numa importante referência;

T₃: Aplicação de 174,4 Kg/ha de Na na forma de NaCl;

T₄: Aplicação de 140 Kg/ha de K na forma de K₂O;

T₅: Aplicação de 210 Kg/ha de K na forma de K₂O;

T₆: Aplicação de 70 Kg/ha de K na forma de K₂O mais suplementação de 87,2 Kg/ha de Na na forma de NaCl.

Da mesma forma que para o experimento A, foram avaliadas as respostas das árvores de eucalipto dos Tratamentos 1, 2 e 3.

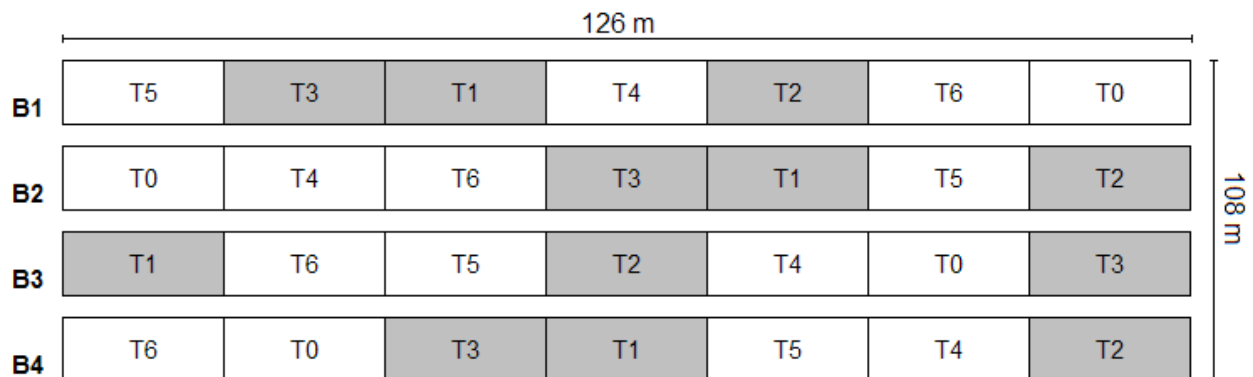


Figura 7 – Croqui do experimento B com os Tratamentos 1, 2 e 3 destacados. Fonte: Laclau et al. (2007)

3.3 Seleção das árvores de eucalipto e coleta das amostras do lenho

Para os dois experimentos, na avaliação do crescimento e incremento em diâmetro do tronco foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, sendo selecionadas 20 árvores de eucalipto por tratamento (1, 2 e 3) de acordo com a distribuição de área basal dos tratamentos (Anexos F e G, pág. 139). Na avaliação das propriedades do lenho foi utilizado o delineamento inteiramente aleatorizado, sendo selecionadas dos experimentos A e B, 10 e 8 árvores, respectivamente, de cada tratamento (1, 2 e 3) e de acordo com a distribuição de área basal, totalizando 54 árvores amostradas.

As árvores de eucalipto selecionadas foram abatidas, desramadas e cortados discos de madeira do lenho em diferentes posições do tronco (base, DAP, 3, 6, 9 e 12 m da altura total) (Figura 8). As amostras do lenho das árvores foram identificadas com um código numérico (experimento, tratamento, bloco, árvore e posição), armazenadas em sacos plásticos e transportadas para o Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras do Departamento de Ciências Florestais – ESALQ/USP. As superfícies transversais dos discos do lenho das árvores de eucalipto foram polidas para a visualização dos segmentos de ramos (nós internos), fissuras e rachaduras, podridão, etc.

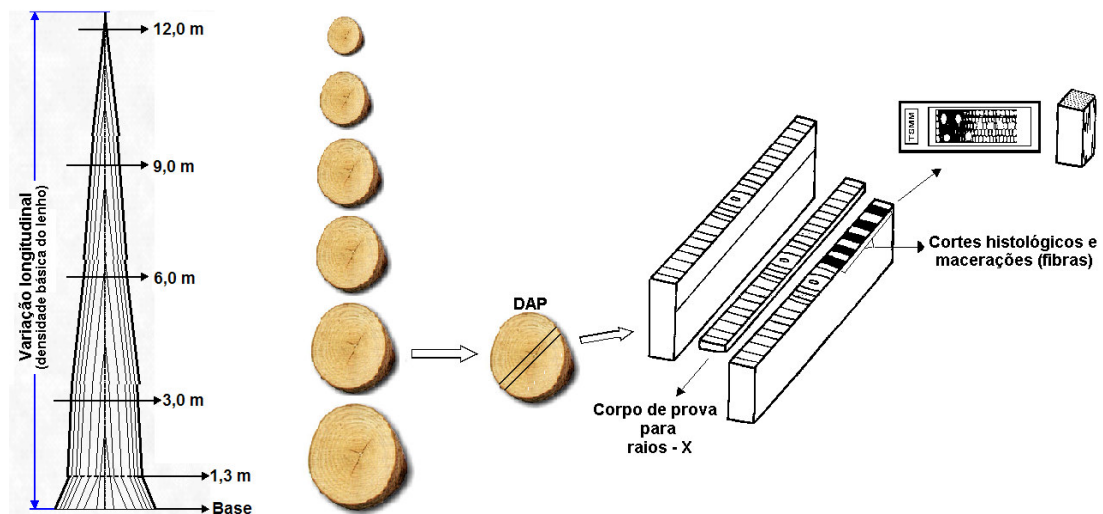


Figura 8 - Amostragem das árvores de eucalipto para a obtenção dos corpos-de-prova para as análises do lenho: densidade básica, anatomia e densitometria de raios X

3.4 Crescimento e incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto

Para essa avaliação foram instaladas faixas dendrométricas permanentes no DAP (1,30 m) do tronco das árvores de eucalipto (Figura 9d). As faixas dendrométricas foram confeccionadas de acordo com a metodologia descrita por Botosso e Tomazello Filho (2001): fitas de aço inoxidável de 12,7mm x 0,15 mm (largura e espessura), dotadas de escala em mm e nônio com precisão na leitura de 0,2 mm, sendo mantidos sob tração por uma mola de aço inoxidável de 100 x 8 mm (comprimento e diâmetro) ao redor do tronco das árvores.

Para a montagem das faixas dendrométricas determinou-se previamente a circunferência do tronco das árvores no DAP, cortou-se a fita de aço adicionando, no mínimo, um segmento de 17 cm ao valor da circunferência, necessário para as extremidades e sobreposição da escala e nônio. Posteriormente demarcaram-se as graduações da escala e nônio na fita de aço com gabarito (Figura 9a), tendo a borda de uma das placas 41 fendas espaçadas por 2 mm, formando uma graduação de 80 mm (borda inferior da placa – escala de leitura) e outra com 11 fendas espaçadas por 1,8 mm formando as 10 divisões do nônio (borda superior da placa).

A avaliação contínua do incremento em diâmetro do tronco das árvores (em mm) foi feita pela leitura do deslocamento das escalas sobrepostas das faixas dendrométricas a intervalos de 14 dias, no período da manhã e em um mesmo percurso, com a leitura feita aproximadamente no mesmo horário. Os dados foram registrados em fichas de campo, transferidos para planilhas eletrônicas, confeccionados na forma de gráficos, analisados e interpretados para posterior correlação com os diferentes níveis de fertilização, classes de área basal e com as condições climáticas da área experimental.

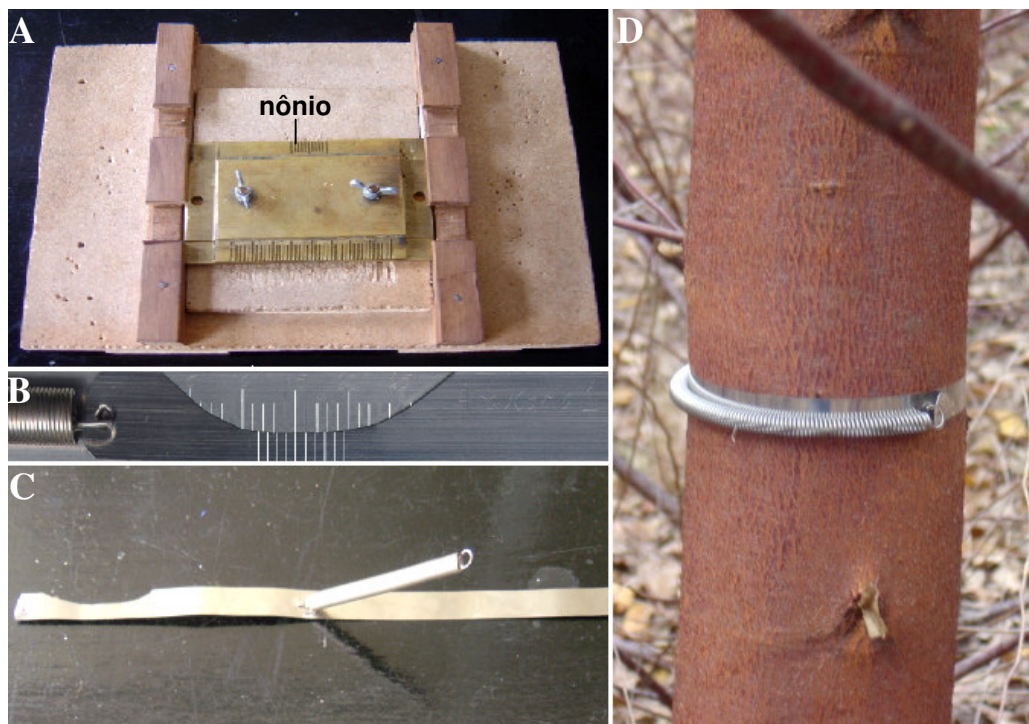


Figura 9 – Etapas da montagem e instalação da faixa dendrométrica no tronco da árvore: (A) gabarito para gravação da escala e nônio. (B) sobreposição da escala e nônio. (C) aspecto geral da faixa dendrométrica. (D) instalação da faixa dendrométrica no tronco da árvore

3.5 Condições climáticas

Foram coletados os dados climáticos das temperaturas médias ($^{\circ}\text{C}$) e da precipitação média mensal (mm) no período de janeiro/2006 a janeiro/2007 para posterior relação com os valores de incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto. Estes dados foram obtidos da Estação Meteorológica da Estação Experimental de Itatinga/SP.

3.6 Variação da densidade do lenho no sentido radial e longitudinal do tronco das árvores

3.6.1 Variação da densidade aparente do lenho no sentido radial por densitometria de raios X

Preparo das amostras do lenho: foram selecionados os discos do lenho da altura do DAP das árvores (total de 54 árvores – Experimento A: 30 árvores e Experimento B: 24 árvores). Na seção transversal foram demarcadas e cortadas amostras diametraais (20x10 mm, largura x altura), coladas em suporte de madeira e seccionadas no sentido transversal (2,0 mm de espessura), em aparelho de dupla serra circular paralela (Figura 10a). As seções transversais do lenho (Figura 10b) foram acondicionadas em câmara de climatização (20 $^{\circ}\text{C}$, 50% UR) até atingirem 12% de umidade.

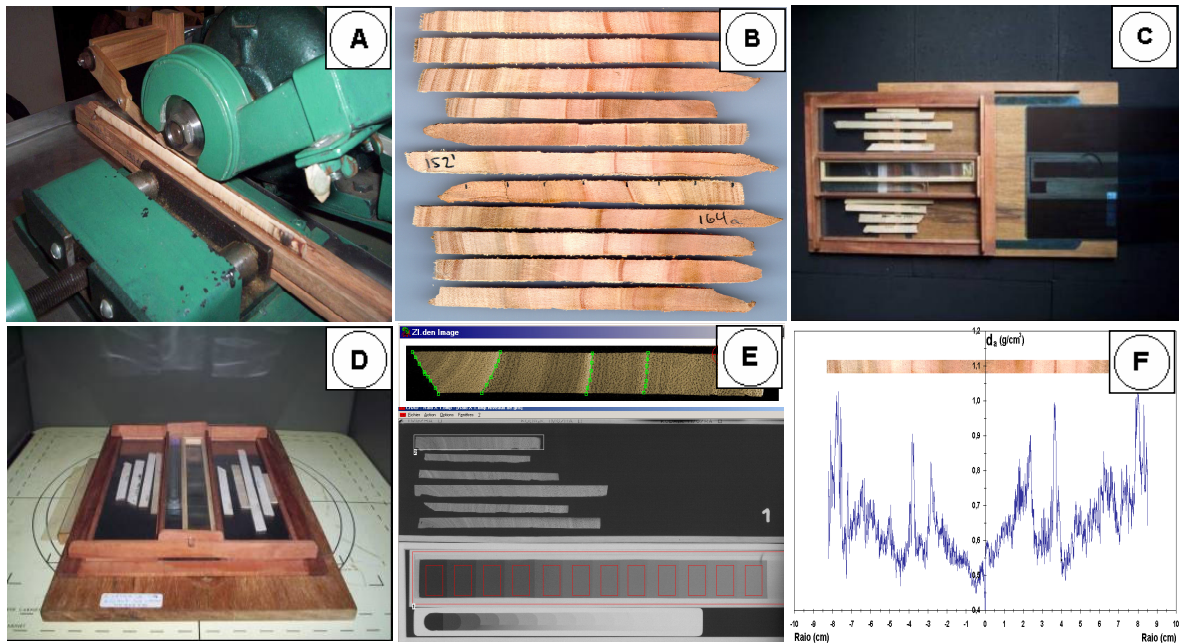


Figura 10 - A metodologia de raios X e a obtenção das imagens radiográficas do lenho das árvores de eucalipto: (A) corte das amostras em equipamento de dupla serra; (B) seções transversais das amostras; (C) suporte com as amostras sobre o filme radiográfico; (D) irradiação das amostras em equipamento de raios X; (E) imagem radiográfica e sua análise nos programas CRAD e CERD e (F) perfil da densidade aparente e respectiva amostra do lenho

Obtenção dos filmes radiográficos: as seções transversais do lenho e a cunha de calibração de acetato de celulose (densidade: $1,48 \text{ g/cm}^3$) foram dispostas sobre suporte com filme de raios X (Kodak, Diagnostic Film T-Mat, 240x180 mm) (Figura 10c), em condições de câmara escura. Em seguida, as amostras do lenho e a cunha de calibração de acetato de celulose foram transferidas para equipamento de raios X (Hewlett Packard, Faxitron 43805 N; 1,20 m distância da fonte de raios X-filme) e radiografadas (5 min de exposição, 16 Kv de tensão aceleradora no tubo, 3 mA de corrente de aquecimento do cátodo) (Figura 10d). Os filmes radiográficos das amostras de madeira + cunha de calibração foram revelados em aparelho Macrotec MX-2 (AMARAL; TOMAZELLO FILHO, 1997).

Análise dos filmes radiográficos: os filmes radiográficos das amostras do lenho foram digitalizados em scanner Hewlett Packard ScanJet 6100C/T a uma resolução de 1000 dpi (pixel por polegada) em escala de cinza de 256 graus. Na imagem digitalizada foram feitas comparações entre a escala de cinza das amostras de

madeira com a da curva padrão (com valores conhecidos de densidade: 1,48 g/cm³), sendo determinados os valores de densidade e convertidos para o arquivo tipo DEN, através do software CRAD. Na seqüência, o arquivo DEN é lido com auxílio do software CERD (Figura 10e) considerando 500 x 10 (comprimento x largura) determinações de densidade para os segmentos de 25% do comprimento das amostras do lenho.

Montagem do perfil radial de densidade aparente do lenho: as análises das seções transversais do lenho originam um arquivo tipo TXT contendo os valores pontuais de densidade e os respectivos gráficos dos perfis de densidade aparente do lenho das árvores de eucaliptos (Figura 10f) (MOTHE et al., 1998).

Parâmetros de densidade aparente do lenho: a partir dos perfis radiais de densidade aparente do lenho foram determinadas as densidades aparente média, máxima e mínima do lenho das árvores de eucalipto e sua relação com os níveis de fertilização e com as classes de área basal das árvores. As curvas de variação radial da densidade aparente do lenho e as respectivas equações de regressões polinomiais foram, também, determinadas.

3.6.2 Variação da densidade básica do lenho no sentido longitudinal

Foram selecionados os discos do lenho na altura da base, DAP, 3, 6, 9 e 12 m do tronco das árvores de acordo com sua altura total (total de 54 árvores – Experimento A: 30 árvores e Experimento B: 24 árvores). Os discos do lenho foram imersos em água até a sua saturação completa e obtidos os pesos úmidos (P_u), imersos (P_i) e secos (P_s), após permanecerem em estufa a 103°C 2°C por 48 h, para a determinação do valor da densidade básica (d_B) do lenho, utilizando-se da eq. (1), pelo método da balança hidrostática (TOMAZELLO FILHO, 2002).

$$d_B = \frac{P_s}{P_u - P_i} \quad (1)$$

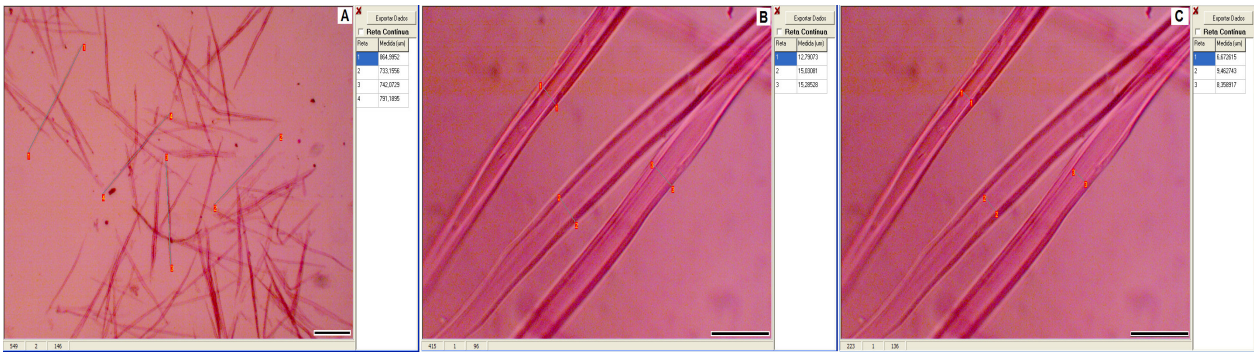
Os valores de densidade básica do lenho foram utilizados na determinação da variação longitudinal da densidade, da densidade básica média ponderada e sua relação com os níveis de fertilização e classes de área basal das árvores.

3.7 Variação da estrutura anatômica do lenho

3.7.1 Variação das dimensões das fibras no sentido radial do lenho

Preparo das amostras do lenho: foram selecionados os discos do lenho da altura do DAP de 3 árvores representativas das classes de área basal (total de 18 árvores – Experimento A: 9 árvores e Experimento B: 9 árvores) e na sua seção transversal cortadas amostras radiais (20 x 20 mm, largura x altura). Nestas foram demarcadas 3 posições representando as regiões próxima a medula, intermediária e próxima a casca, das quais foram cortadas sub-amostras do lenho e submetidas ao processo de maceração pelo método de Franklin. As sub-amostras do lenho foram transferidas para tubos de ensaios (ácido acético + peróxido de hidrogênio –120 vol 1:1) perfeitamente fechados e mantidos em estufa (60 °C, 48 h) (JOHANSEN, 1940; SASS, 1951). A solução macerante é esgotada e a suspensão de células do lenho lavadas em água, coradas (safranina + glicerina) para a montagem das lâminas histológicas.

Avaliação das dimensões das fibras: foram coletadas imagens das fibras sob microscopia de luz para a mensuração do comprimento (ampliação de x 25) (Figura 11-a), largura, espessura da parede e diâmetro do lume (ampliação de x 400) (Figura 11-b-c), aplicando o programa de análise de imagens - SAIM e de acordo com as normas da IAWA (IAWA Committee, 1989). Os valores das dimensões das fibras foram relacionados com os níveis de fertilização e com as classes de área basal das árvores de eucalipto.



Figuras 11 - Lenho das árvores de eucalipto dissociado para a avaliação do (a) comprimento, (b) largura e (c) diâmetro do lume da fibra em programa de análise de imagem SAIM. Barra = 300µm

3.7.2 Variação das dimensões e da freqüência dos vasos no sentido radial do lenho

Preparo das amostras do lenho: foram selecionados os discos do lenho da altura do DAP de 3 árvores representativas das classes de área basal (total de 18 árvores – Experimento A: 9 árvores e Experimento B: 9 árvores) e na sua seção transversal foram cortadas amostras radiais (20 x 20 mm, largura x altura) e demarcados corpos de prova orientados e seriados que foram imersos em água para a sua saturação e amolecimento em água à ebulição, fixados em micrótomo de deslize e cortadas seções transversais (15-20 µm de espessura). Em vidros de relógio, os cortes histológicos do lenho foram clarificados (água cãndida, 1:1), lavados (água destilada, ácido acético 1%), desidratados (série alcoólica, 30-100%), lavados (xilol), corados (safranina) e montadas (sob lamínula, bálsamo de Canadá) as lâminas histológicas.

Avaliação dos elementos de vaso: das lâminas histológicas das seções transversais do lenho foram coletadas imagens digitais a cada 1 cm de distância no sentido radial (coletadas 3 imagens digitais/posição/cm, total de 250 imagens) sob microscopia de luz (ampliação de 50x) para a mensuração dos elementos de vaso. Pela aplicação do programa SAIM foram determinados o diâmetro tangencial em 50% da área da imagem (Figura 12a) e a freqüência e área ocupada pelos vasos (Eq. 2 e 3)

(Figura 12b). Os valores das dimensões e da freqüência dos vasos foram relacionados com os tratamentos e com as classes de área basal das árvores de eucalipto.

$$\text{Freqüência dos vasos} = (\text{n}^\circ \text{ de vasos}/\text{área da imagem}) \times 100 \quad (2)$$

$$\% \text{ de área de vasos} = (\text{área total vasos}/\text{área da imagem}) \times 100 \quad (3)$$

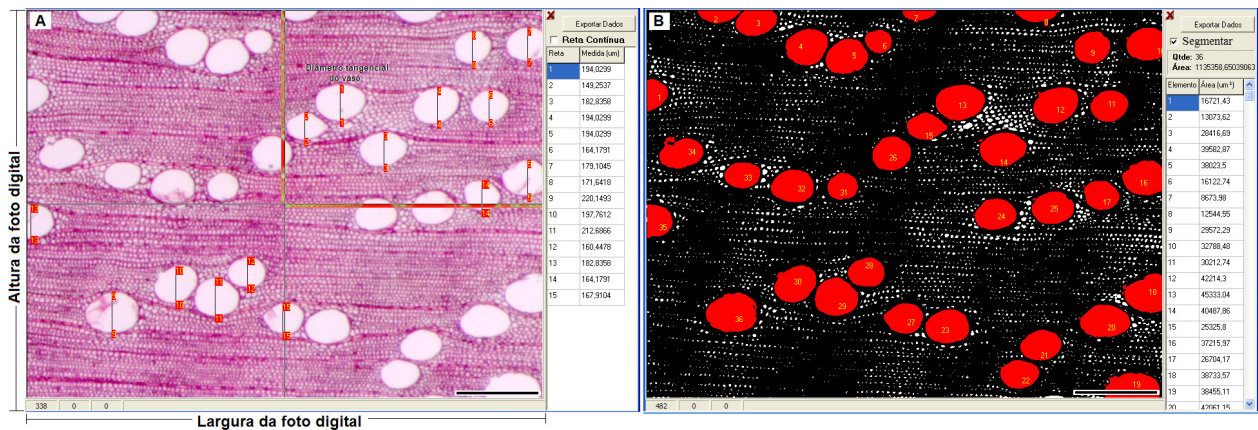


Figura 12 - Seção transversal do lenho de *Eucalyptus grandis* para avaliação do diâmetro e da área ocupada pelos vasos em programa de análise de imagem SAIM. Barra = 300 µm

3.8 Análises estatísticas

Foram aplicadas várias análises utilizando o programa SAS (SAS Institute Inc, 1997). Os “outliers”, heterogeneidade da variância e escala foram aferidas e, para a escolha da melhor transformação, foi aplicado o Método de Potência Ótima de Box-Cox (BOX e COX, 1964). Os dados que mostraram não-normalidade foram transformados e estão relacionados no Anexo E, pág 138.

Os dados de incremento em circunferência do tronco (mm/mês) foram analisados considerando o delineamento em blocos ao acaso com 4 repetições e 3 tratamentos para cada experimento. Na análise dos dados referentes as propriedades do lenho das árvores foi utilizado o delineamento inteiramente aleatorizado. Em todos os dados foi utilizada a análise de variância (ANOVA) para verificar o efeito dos tratamentos e das classes de diâmetro. Sempre que a ANOVA indicasse efeito significativo de tratamento e/ou classe de diâmetro era aplicado o teste de Tukey com nível descritivo ajustado a 95% de probabilidade.

Na análise dos dados de incremento em circunferência do tronco foram realizados também os seguintes testes: (i) regressão “stepwise” para seleção das variáveis que melhor explicam o incremento e (ii) análise de covariância.

Para os dados de densidade aparente do lenho foi aplicada a análise de regressão, para avaliar sua variação radial, onde a densidade do lenho foi considerada como variável dependente e as distâncias do raio como variável independente. Para os dados de densidade básica foi realizada a análise de regressão para avaliação da variação longitudinal da densidade básica do lenho, onde a densidade básica foi considerada como variável dependente e a % da altura do tronco como variável independente.

Com relação aos dados das dimensões das fibras também foi realizada a análise de regressão na avaliação de sua variação radial, onde a dimensão da fibra foi considerada como variável dependente e a distância medula-casca como variável independente. Na análise dos dados dos elementos de vaso a análise de regressão foi utilizada, assim como para as fibras, para avaliar sua variação radial, onde a dimensão do vaso foi considerada como variável dependente e a distância medula-casca como variável independente.

O tipo de regressão ajustada para todos os dados é apresentado no item Resultados e Discussão. Para a definição do melhor modelo polinomial das equações de regressão levou-se em consideração a significância (95% de probabilidade), o coeficiente de determinação (R^2) e a distribuição gráfica dos resíduos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento A: doses crescentes de adubo nitrogenado e dose de lodo de esgoto

4.1.1 Incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto

Os resultados dos incrementos mensais em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto são apresentados nas Tabelas 1-2 e Figura 15. Os períodos com incrementos máximo e mínimo em diâmetro do tronco das árvores ocorreram nos meses de fevereiro-maio e julho-agosto, respectivamente.

Tabela 1 – Incremento mensal em diâmetro (cm) do tronco das árvores de eucalipto na altura do DAP

Mês	Tratamento						Média geral
	1		2		3		
Diâmetro inicial (cm)	7,20	(1,40)	7,10	(2,16)	7,50	(1,80)	
fev-06	0,27 a	(0,13) (11)	0,19 ab	(0,11) (10)	0,17 b	(0,16) (09)	0,21 (0,15) (10)
mar-06	0,34 a	(0,11) (13)	0,24 b	(0,15) (13)	0,29 ab	(0,13) (14)	0,29 (0,14) (13)
abr-06	0,27 a	(0,10) (10)	0,20 a	(0,14) (11)	0,21 a	(0,14) (10)	0,23 (0,13) (11)
mai-06	0,31 a	(0,15) (12)	0,22 b	(0,18) (12)	0,25 ab	(0,13) (12)	0,26 (0,16) (12)
jun-06	0,25 a	(0,08) (10)	0,12 b	(0,15) (07)	0,17 ab	(0,09) (08)	0,18 (0,12) (08)
jul-06	0,18 a	(0,11) (07)	0,12 a	(0,10) (07)	0,15 a	(0,10) (07)	0,15 (0,10) (07)
ago-06	0,09 a	(0,06) (03)	0,06 a	(0,06) (03)	0,07 a	(0,06) (04)	0,07 (0,06) (03)
set-06	0,23 a	(0,07) (09)	0,17 a	(0,10) (09)	0,20 a	(0,09) (10)	0,20 (0,09) (09)
out-06	0,21 a	(0,14) (08)	0,17 a	(0,13) (09)	0,19 a	(0,13) (10)	0,19 (0,13) (09)
nov-06	0,11 a	(0,09) (04)	0,08 a	(0,08) (04)	0,08 a	(0,07) (04)	0,09 (0,09) (04)
dez-06	0,23 a	(0,08) (09)	0,19 a	(0,17) (10)	0,16 a	(0,08) (08)	0,19 (0,12) (09)
jan-07	0,11 a	(0,04) (04)	0,09 a	(0,07) (05)	0,07 a	(0,06) (03)	0,09 (0,07) (04)
Diâmetro final (cm)	9,80	(2,30)	8,95	(1,70)	9,51	(2,20)	

Médias seguidas de desvio padrão e porcentagem mensal em relação ao incremento acumulado (IA); numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p>0,05$)

No que concerne as maiores taxas de crescimento em diâmetro do tronco correspondente a fevereiro-maio, os incrementos acumulados foram de 1,19, 0,85 e 0,92 cm, ou seja, 46, 46 e 45% do incremento no período de 12 meses de monitoramento, nos tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente (Tabelas 1 e 2).

Nesse período destacaram-se os meses de março e maio, com valores mensais de 12 a 14% do crescimento anual em diâmetro do tronco das árvores. Com relação ao mês de março, o incremento do tronco das árvores pode ser explicado pelo seu estágio fenológico (copa formada; folhas maduras com limbo expandido), disponibilidade de

água no solo e temperatura favorável, bem como de horas de luz/dia, induzindo um aumento das taxas de fotossíntese. Desta forma, os hormônios e carboidratos produzidos deslocam-se no sentido descendente, através do floema, induzindo maiores taxas de divisões das células cambiais e do crescimento em diâmetro do tronco.

Tabela 2 – Incremento em diâmetro do tronco (cm) das árvores de eucalipto

Parâmetro (cm)	Tratamento					
	1		2		3	
IA ¹	2,59	(0,08) (100)	1,86	(0,06) (100)	2,01	(0,07) (100)
IAmáx ²	1,19	(0,03) (46)	0,85	(0,02) (46)	0,92	(0,05) (45)
IAmín ³	0,27	(0,08) (10)	0,18	(0,04) (10)	0,22	(0,05) (11)
IMM ⁴	0,22	(0,08)	0,15	(0,06)	0,17	(0,07)
IMMmáx ⁵	0,30	(0,03)	0,21	(0,02)	0,23	(0,05)
IMMmín ⁶	0,13	(0,08)	0,09	(0,04)	0,11	(0,05)

Médias seguidas de desvio padrão e porcentagem dos incrementos acumulados máximo (IAmáx) e mínimo (IAmín) em relação ao incremento acumulado no período (IA);¹incremento em diâmetro do tronco acumulado no período (fev/2006 a jan/2007);²incremento em diâmetro do tronco acumulado no período de máximo crescimento (fev-maio/2006);³incremento em diâmetro do tronco acumulado no período de mínimo crescimento (jul-ago/2006);⁴incremento médio em diâmetro do tronco/mês; ⁵incremento médio em diâmetro do tronco/mês no período de máximo crescimento (fev-maio/2006);⁶Incremento médio em diâmetro do tronco/mês no período de mínimo crescimento (jul-ago/2006).

Por outro lado, no mês de maio, caracterizado pela baixa pluviosidade e redução da temperatura, a taxa de crescimento em diâmetro do tronco das árvores é resultado da disponibilidade de água armazenada e disponível nas camadas mais profundas do solo, decorrente do período chuvoso da estação (Figura 13). Valenziano e Scaramuzzi (1967) obtiveram reações semelhantes para árvores de eucalipto no período de seca, com crescimento satisfatório, atribuído a água disponível para as raízes a vários metros de profundidade do solo.

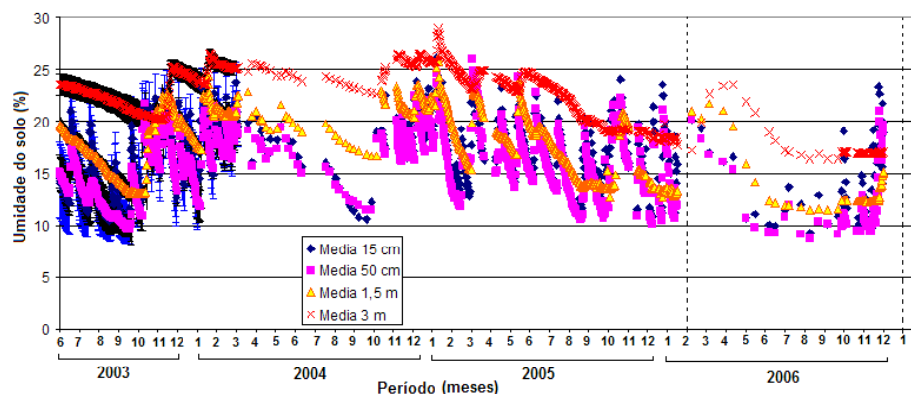


Figura 13 – Umidade do solo de junho/2003 a janeiro/2007, com destaque para fevereiro/2006 a janeiro/2007. Fonte: Laclau et al. (2007)

Com referência ao período julho-agosto, de menores taxas de crescimento em diâmetro do tronco das árvores, os incrementos acumulados de 0,27, 0,18 e 0,22 cm, ou seja, de 10, 10 e 11% do incremento total no período de monitoramento, nos Tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente (Tabelas 1 e 2). O período de julho-agosto e, de forma mais intensa, no mês de agosto os níveis de precipitação e de temperatura foram limitantes ao crescimento do tronco das árvores, com valores médios de 14,6 mm e de 16,8°C, respectivamente (Figura 14). Esse comportamento tem sido verificado para várias espécies de eucalipto, conforme demonstrado por inúmeros pesquisadores, como Valenziano e Scaramuzzi (1967), Marien e Thibout, (1980) e Wimmer, Downes e Evans (2002). Para Fahn et al. (1981) a periodicidade da atividade do câmbio parece ser decorrente de alterações na temperatura, comprimento do dia e precipitação pluviométrica, com os fatores endógenos inerentes a cada espécie controlando o seu ritmo de crescimento.

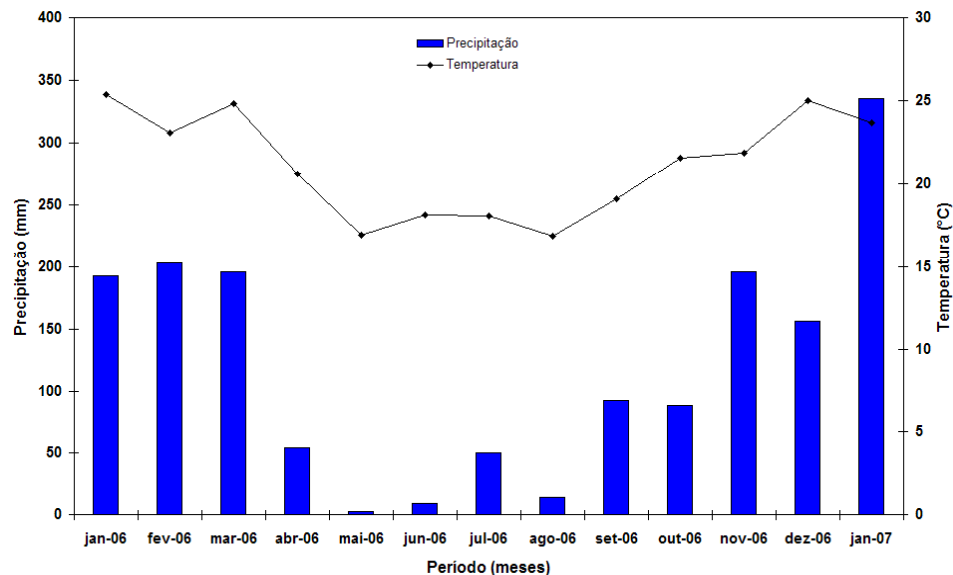


Figura 14 – Dados de precipitação mensal e temperatura média da Estação Experimental de Itatinga (janeiro/2006 a janeiro/2007). Fonte: Laclau et al. (2007)

Apesar da redução do diâmetro do tronco das árvores estar caracterizada em agosto observa-se, no entanto, o mesmo comportamento nos meses de novembro e de janeiro que, ao contrário, são caracterizados por precipitações de maior intensidade, atingindo valores de 196 e 335 mm, respectivamente e de temperaturas de cerca de

22,8 °C. A redução do crescimento em diâmetro do tronco no mês de novembro 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, sendo interpretada como uma resposta das árvores que alocam preferencialmente os nutrientes e carboidratos para os meristemas das folhas e formação de raízes finas em detrimento do meristema cambial.

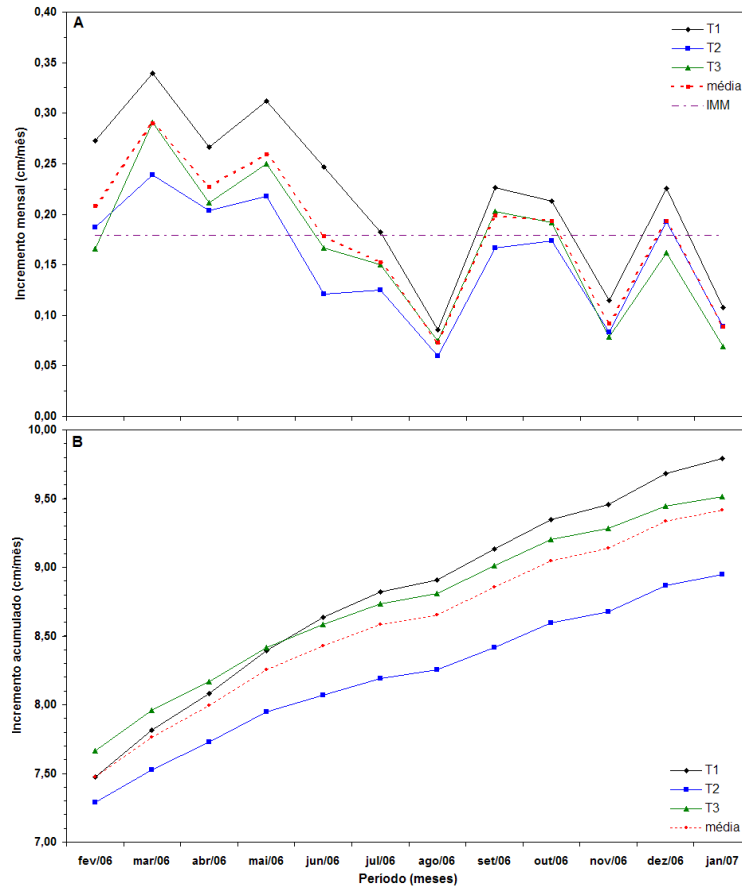


Figura 15 – Incremento mensal em DAP (A) e incremento acumulado (B) das árvores de eucalipto

Por outro lado, a redução do crescimento em diâmetro do tronco das árvores no mês de janeiro, pode ser parcialmente atribuída a quantidade de dias nublados no referido mês afetando, possivelmente, os processos fisiológicos das árvores como a fotossíntese, a respiração das raízes e a translocação de nutrientes, com reflexo no incremento do tronco. Outros fatores relacionados com a dilatação/contração da casca em função da umidade do ambiente poderiam, da mesma forma, estar relacionados com este comportamento, embora não quantificados neste estudo.

Cabe destacar que a presente série temporal de 12 meses de avaliação do crescimento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto restringe a explicação do seu comportamento, havendo necessidade de ampliação do período de mensuração para, pelo menos, 3-4 anos.

Os incrementos acumulados em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto (Figura 15B) indicam, a exemplo da Figura 15A, períodos de incremento baixo (julho, agosto, novembro e janeiro) e alto (fevereiro-maio, setembro, outubro e dezembro). Da mesma forma, mostram as diferenças entre os Tratamentos 1 e 3 em relação ao Tratamento 2, resultado dos diâmetros iniciais e taxas de incremento diferentes.

Dentre as variáveis relacionadas com o crescimento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto, analisadas através de regressão Stepwise ao nível de probabilidade de 5%, foram selecionadas e analisadas a precipitação e a temperatura para compor o modelo de regressão. Pela análise de covariância (Anexo H, pág. 139) determinou-se que a variação do diâmetro do tronco das árvores de eucalipto é dependente da precipitação, a 5% de significância.

Com relação ao efeito dos 3 tratamentos de adubação sobre o crescimento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto verifica-se que as maiores diferenças nos incrementos mensais ocorrem na estação chuvosa, principalmente no período fevereiro-junho, característicos dos 2 meses finais da estação chuvosa e 3 meses iniciais da estação seca. Nos demais meses e principalmente em agosto, novembro e janeiro o efeito dos tratamentos de fertilização mostram significativa redução (Figura 15A).

As árvores de eucalipto do Tratamento 1 (controle, sem adubação nitrogenada) apresentaram taxas de crescimento em diâmetro do tronco superiores e significativas em relação as árvores dos dois tratamentos, principalmente do Tratamento 2, no período de fevereiro-maio, exceto para o mês de abril (Tabela 1). O incremento acumulado em diâmetro do tronco no período (IA) das árvores foi de 2,6, 1,9 e de 2,0 cm nos Tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente. Os demais parâmetros de incremento em diâmetro do tronco (Tabela 2) indicam a superioridade do Tratamento 1, durante o período de monitoramento, ou seja, para os períodos de máximo (IAM_{máx}) e de mínimo (IAM_{mín}) crescimento, para o incremento médio mensal (IMM) nos 12 meses e nos períodos de máximo (IMM_{máx}) e de mínimo (IMM_{mín}) crescimento.

Os valores do diâmetro do tronco e de volume real de lenho das árvores de eucalipto dos três tratamentos no período inicial (fevereiro/2006) e final (janeiro/2007), as variações (Δ) (cm/m³ e %) são apresentados na Tabela 3. O volume do tronco foi calculado a partir de equações de cubagem estabelecidas com as árvores amostradas. Da mesma forma, o Tratamento 1, com variação (Δ) do diâmetro do tronco e do volume real do lenho de 2,6 cm-0,03 m³, mostrou superioridade, não significativa pelo teste estatístico, em relação aos Tratamentos 2 e 3, com 1,8 cm-0,02 m³ e 2,0 cm-0,02 m³, respectivamente. Em valores percentuais os aumentos para diâmetro do tronco-volume do lenho foram de 36-125, 26-91 e 27-93 %, para os Tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 - Diâmetro do tronco e volume real do lenho com casca das árvores de eucalipto com faixas dendrométricas nos períodos inicial (22 meses) e final (33 meses)

Parâmetro	Período	Tratamento		
		1	2	3
Diâmetro do tronco (cm)	inicial	7,20 a (1,4)	7,10 a (2,2)	7,50 a (1,8)
	final	9,80 a (1,9)	8,95 a (2,9)	9,51 a (2,5)
	Δ	2,60	1,85	2,00
	%	36	26	27
Volume real c/c (m ³)	inicial	0,0223 a (0,0094)	0,0232 a (0,0142)	0,0248 a (0,0133)
	final	0,0502 a (0,0221)	0,0444 a (0,0277)	0,0478 a (0,0272)
	Δ	0,0279	0,0212	0,0230
	%	125	91	93

médias seguidas de desvio padrão; numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$); Δ - variação do diâmetro e volume real do tronco das árvores do início ao final do período de monitoramento; % - porcentagem da variação (Δ) em relação ao diâmetro e volume real inicial.

Os resultados dos inventários florestais conduzidos de forma sistemática nos três tratamentos têm mostrado as mesmas tendências obtidas através do uso de dendrômetros de aço (Tabela 4; Anexo A e B, pág. 136). O uso de faixas dendrométricas permanentes tem se mostrado indispensável na medição contínua do crescimento em diâmetro do tronco das árvores, pela possibilidade de avaliar pequenas mudanças no seu crescimento em intervalos de tempo reduzidos e por apresentar alta precisão e baixo custo.

Tabela 4 - Diâmetro do tronco e volume real do lenho com casca das árvores de eucalipto das parcelas do experimento nos períodos inicial (24 meses) e final (30 meses)

Parâmetro	Período	Tratamento		
		1	2	3
Diâmetro do tronco (cm)	inicial	8,40 (1,4)	8,90 (1,4)	8,70 (1,7)
	final	9,70 (1,5)	10,10 (1,6)	9,90 (1,9)
	Δ	1,30	1,20	1,20
	%	15	13	14
Volume real c/c (m ³)	inicial	0,0299 (0,0104)	0,0357 (0,0117)	0,0351 (0,0139)
	final	0,0503 (0,0173)	0,0548 (0,0177)	0,0530 (0,0209)
	Δ	0,0204	0,0191	0,0179
	%	68	54	51

médias seguidas de desvio padrão; letras diferentes em uma mesma linha diferem entre si ao nível de 5%; Δ - variação do diâmetro e volume real do tronco das árvores do início ao final do período de monitoramento; % - porcentagem da variação (Δ) em relação ao diâmetro e volume real inicial. Fonte: Laclau et al. (2007)

Uma resposta clara a adubação nitrogenada foi observada no primeiro ano após o plantio (Anexo B, pág 136), contudo o potencial de fertilidade do solo não se alterou e a resposta das árvores foi temporária.

A área utilizada para a instalação do experimento foi ocupada anteriormente com plantações de eucalipto, por um período de 60 anos, sem a reposição dos nutrientes exportados do solo. Desta forma, os maiores incrementos (embora nem sempre significativos) observados em diâmetro do tronco das atuais árvores de eucalipto das parcelas do Tratamento 1, até a presente data, podem ser resultado da absorção do N existente no solo, que não foi utilizado pelas antigas plantações de eucalipto de baixa produtividade (com pouca exportação de N na biomassa), além da possibilidade de deposições atmosféricas. Essa diferença para o crescimento do tronco não está relacionada com a densidade de raízes finas que foi semelhante nos 3 tratamentos (Figura 16).

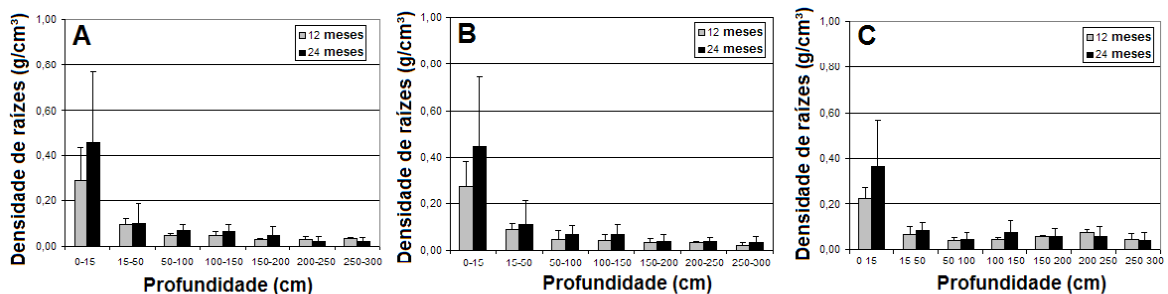


Figura 16 – Densidade de raízes a diferentes profundidades (0-300 cm): Tratamento 1 (A); Tratamento 2 (B) e Tratamento 3 (C). Fonte: Laclau et al. (2007)

Tem sido citado na literatura que, em algumas regiões tropicais e subtropicais, as primeiras rotações das plantações de árvores de eucalipto de rápido crescimento não responderam à fertilização com N (BARROS; NOVAES; NEVES, 1990; GONÇALVES et al., 1997; GONÇALVES; MENDES; SASAKI, 2001). A resposta das árvores de eucalipto deve-se as fontes naturais de N do sistema principalmente, pela mineralização do solo orgânico, suficientes para suprir a demanda das árvores (GONÇALVES e BARROS, 1999; GONÇALVES; MENDES; SASAKI, 2001). Contudo, as árvores das florestas de eucalipto manejadas intensivamente podem responder a aplicação de N após algumas rotações devido as altas taxas de exportação do mineral e sua possível exaustão das reservas naturais no solo orgânico, (GONÇALVES; MENDES; SASAKI, 2001).

As árvores de eucalipto do Tratamento 3 (aplicação de 10 t/ha de lodo de esgoto) quando comparadas com as do Tratamento 2 (aplicação de 120 kg N/ha) apresentaram crescimento maior, apesar de não significativo, corroborando o que apresenta Rocha et al. (2002), McNab e Bery (1985) e Souza Vaz (2000) para plantações de eucalipto. Esse efeito positivo no crescimento das árvores deve-se, de acordo com Souza Vaz (2000), à contínua e elevada disponibilidade de nutrientes do lodo de esgoto no decorrer do processo de mineralização. Segundo Poggiani; Guedes e Benedetti (2000) o lodo de esgoto apresenta vantagens em relação à adubação mineral devido à forma lenta e contínua de liberação dos nutrientes para o solo e para o sistema radicular das árvores, sendo que em culturas de ciclos longos, essa liberação lenta torna-se significativamente vantajosa. Contudo os inventários mostram (Anexo B, pág 136) que o crescimento inicial foi maior no Tratamento 2 e uma parte do atraso do Tratamento 3 é compensado entre 18,5 e 30,0 meses de idade.

É imprescindível que o acompanhamento do crescimento em diâmetro do tronco das árvores nos diferentes tratamentos seja feita por um período maior, contemplando toda a rotação da plantação de eucalipto.

4.1.1.1 Incremento em diâmetro do tronco por classes de área basal

Os resultados das avaliações dendrométricas (DAP, altura e volume de lenho) das árvores de eucalipto por classe de área basal para os três tratamentos são

apresentados na Tabela 5 e os intervalos e diâmetro médio de cada classe são apresentados no Anexo F e G, pág. 139, evidenciando as diferenças existentes aos 24 meses de idade.

Tabela 5 – Dados dendrométricos das árvores de eucalipto aos 24 meses por classe de área basal

Tratamento	Classe	DAP médio (cm)	H média (m)	Volume real c/c médio (m ³)
1	inferior	6,3 (0,9)	10,3 (0,8)	0,0157 (0,0051)
	média	8,5 (0,2)	11,4 (0,8)	0,0308 (0,0030)
	superior	9,2 (0,7)	11,4 (1,0)	0,0363 (0,0022)
2	inferior	5,7 (1,6)	9,5 (2,3)	0,0135 (0,0083)
	média	8,8 (0,2)	11,7 (0,5)	0,0338 (0,0029)
	superior	10,0 (0,5)	11,9 (0,4)	0,0442 (0,0028)
3	inferior	6,2 (1,3)	10,0 (1,2)	0,0150 (0,0067)
	média	8,9 (0,7)	11,7 (1,4)	0,0347 (0,0068)
	superior	10,5 (1,1)	12,6 (1,5)	0,0520 (0,0071)

Médias seguidas de desvio padrão; fator de forma para cálculo do volume real = 0,48.

Os resultados do incremento mensal em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto por classe de área basal são apresentados nas Tabelas 6 - 7 e Figura 17.

Os incrementos mensais em diâmetro do tronco das árvores no período de avaliação do experimento mostraram as variações sazonais gerais observadas anteriormente (ver item 4.1.1), com as árvores de todas as classes de área basal apresentando nítida redução das taxas de crescimento nos meses de agosto, novembro e janeiro.

Para cada tratamento foram detectadas diferenças significativas de incremento mensal entre as classes de área basal, sendo para o Tratamento 1 (maio, junho, setembro), Tratamento 2 (março, junho, julho) e Tratamento 3 (março, abril, setembro). Houve predominância dos períodos com maiores taxas de crescimento (março, abril, maio e setembro), a exceção dos meses de junho-julho das árvores do Tratamento 2.

De modo geral, as árvores de eucalipto das classes superior e média obtiveram maiores (nem sempre significativas) taxas de incremento em diâmetro do tronco em comparação com as da classe inferior. 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.

Tabela 6 – Incremento em diâmetro do tronco (cm) das árvores de eucalipto por classe de área basal

Tratamento	Mês	Classe de área basal						Média geral
		Inferior		Média		Superior		
1	Diâmetro inicial (cm)	6,30	(0,90)	8,50	(0,02)	9,20	(0,07)	
	fev-06	0,23 a	(0,15) (10)	0,34 a	(0,05) (11)	0,38 a	(0,02) (13)	0,32 (0,08)
	mar-06	0,31 a	(0,12) (14)	0,37 a	(0,09) (12)	0,44 a	(0,05) (15)	0,38 (0,07)
	abr-06	0,23 a	(0,08) (10)	0,33 a	(0,13) (10)	0,33 a	(0,03) (11)	0,30 (0,06)
	mai-06	0,26 a	(0,07) (11)	0,41 b	(0,20) (13)	0,34 ab	(0,20) (11)	0,34 (0,08)
	jun-06	0,21 a	(0,06) (09)	0,31 b	(0,04) (10)	0,29 ab	(0,08) (10)	0,27 (0,06)
	jul-06	0,15 a	(0,10) (07)	0,24 a	(0,10) (08)	0,19 a	(0,11) (06)	0,19 (0,04)
	ago-06	0,08 a	(0,07) (03)	0,11 a	(0,08) (03)	0,06 a	(0,06) (02)	0,08 (0,02)
	set-06	0,20 a	(0,06) (09)	0,28 b	(0,05) (09)	0,24 ab	(0,05) (08)	0,24 (0,04)
	out-06	0,20 a	(0,10) (09)	0,23 a	(0,19) (07)	0,21 a	(0,19) (07)	0,22 (0,01)
	nov-06	0,10 a	(0,09) (05)	0,14 a	(0,10) (04)	0,10 a	(0,11) (03)	0,11 (0,02)
	dez-06	0,20 a	(0,06) (09)	0,27 a	(0,09) (08)	0,23 a	(0,17) (08)	0,23 (0,03)
	jan-07	0,08 a	(0,03) (04)	0,13 a	(0,05) (04)	0,19 a	(0,05) (06)	0,13 (0,05)
	Diâmetro final (cm)	8,55	(0,11)	11,66	(0,09)	12,20	(0,15)	
2	Diâmetro inicial (cm)	5,70	(0,16)	8,80	(0,02)	10,00	(0,05)	
	fev-06	0,15 a	(0,12) (10)	0,23 a	(0,10) (11)	0,28 a	(0,06) (09)	0,22 (0,06)
	mar-06	0,19 a	(0,15) (13)	0,27 ab	(0,10) (12)	0,44 b	(0,08) (15)	0,30 (0,12)
	abr-06	0,16 a	(0,14) (11)	0,26 a	(0,11) (12)	0,32 a	(0,14) (11)	0,25 (0,08)
	mai-06	0,18 a	(0,17) (12)	0,26 a	(0,12) (12)	0,30 a	(0,28) (10)	0,25 (0,06)
	jun-06	0,06 a	(0,16) (04)	0,19 b	(0,06) (09)	0,24 b	(0,04) (08)	0,17 (0,10)
	jul-06	0,09 a	(0,09) (06)	0,13 ab	(0,07) (06)	0,25 b	(0,10) (08)	0,16 (0,08)
	ago-06	0,04 a	(0,04) (03)	0,08 a	(0,05) (03)	0,12 a	(0,10) (04)	0,08 (0,04)
	set-06	0,13 a	(0,10) (09)	0,20 a	(0,09) (09)	0,25 a	(0,06) (08)	0,19 (0,06)
	out-06	0,13 a	(0,12) (09)	0,21 a	(0,10) (10)	0,28 a	(0,17) (09)	0,21 (0,08)
	nov-06	0,07 a	(0,09) (05)	0,09 a	(0,08) (04)	0,13 a	(0,11) (04)	0,10 (0,03)
	dez-06	0,18 a	(0,20) (12)	0,17 a	(0,10) (08)	0,28 a	(0,09) (09)	0,21 (0,06)
	jan-07	0,08 a	(0,08) (05)	0,09 a	(0,05) (04)	0,13 a	(0,10) (04)	0,10 (0,03)
	Diâmetro final (cm)	7,16	(0,19)	10,98	(0,05)	13,02	(0,09)	
3	Diâmetro inicial (cm)	6,20	(0,13)	8,80	(0,06)	10,50	(0,01)	
	fev-06	0,13 a	(0,15) (08)	0,22 a	(0,23) (09)	0,18 a	(0,06) (06)	0,18 (0,04)
	mar-06	0,21 a	(0,13) (13)	0,38 b	(0,09) (16)	0,46 b	(0,03) (15)	0,35 (0,13)
	abr-06	0,15 a	(0,11) (09)	0,28 b	(0,13) (11)	0,41 b	(0,01) (14)	0,28 (0,13)
	mai-06	0,20 a	(0,13) (12)	0,29 a	(0,11) (12)	0,41 a	(0,02) (14)	0,30 (0,10)
	jun-06	0,14 a	(0,09) (08)	0,20 a	(0,08) (08)	0,23 a	(0,01) (08)	0,19 (0,05)
	jul-06	0,13 a	(0,10) (08)	0,16 a	(0,10) (07)	0,23 a	(0,15) (08)	0,18 (0,05)
	ago-06	0,07 a	(0,05) (04)	0,08 a	(0,06) (04)	0,11 a	(0,09) (04)	0,09 (0,02)
	set-06	0,17 a	(0,09) (10)	0,23 b	(0,08) (10)	0,35 b	(0,01) (12)	0,25 (0,09)
	out-06	0,19 a	(0,12) (11)	0,20 a	(0,13) (08)	0,21 a	(0,29) (07)	0,20 (0,01)
	nov-06	0,07 a	(0,07) (05)	0,08 a	(0,08) (03)	0,10 a	(0,07) (03)	0,09 (0,01)
	dez-06	0,12 a	(0,06) (08)	0,21 a	(0,09) (09)	0,22 a	(0,13) (07)	0,18 (0,05)
	jan-07	0,07 a	(0,07) (04)	0,07 a	(0,08) (03)	0,07 a	(0,01) (02)	0,07 (0,01)
	Diâmetro final (cm)	7,85	(0,15)	11,20	(0,11)	13,48	(0,05)	

Médias seguidas de desvio padrão e porcentagem mensal em relação ao incremento acumulado por classe de área basal; numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p>0,05$)

As árvores do Tratamento 1 apresentaram incrementos em diâmetro no período (IA) de 2,25, 3,15 e 3,02 cm nas classes inferior, média e superior, respectivamente. O melhor desempenho das árvores da classe média foi resultante, principalmente, das taxas de crescimento no período de mínimo crescimento (IA_{mín}), com valores de 0,34 cm em relação a 0,25 e 0,23 cm das classes superior e inferior, respectivamente. No entanto, não foram detectadas diferenças significativas entre as árvores das classes superior e média (Tabela 6), devido provavelmente a pequena diferença nos dados dendrométricos nas árvores destas classes no início das avaliações (Tabela 5).

Tabela 7 – Incrementos em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto por classe de área basal

Tratamento	Parâmetro (cm)	Classe de área basal								
		Inferior		Média		Superior				
1	IA ¹	2,25	(0,07)	(100)	3,15	(0,10)	(100)	3,02	(0,11)	(100)
	IAmáx ²	1,02	(0,04)	(45)	1,45	(0,04)	(46)	1,50	(0,05)	(50)
	IAmín ³	0,23	(0,06)	(10)	0,34	(0,10)	(11)	0,25	(0,11)	(08)
	IMM ⁴	0,18	(0,07)		0,26	(0,10)		0,25	(0,11)	
	IMMmáx ⁵	0,25	(0,04)		0,36	(0,04)		0,38	(0,05)	
	IMMmín ⁶	0,12	(0,06)		0,17	(0,10)		0,13	(0,11)	
2	IA	1,46	(0,05)	(100)	2,19	(0,07)	(100)	3,02	(0,09)	(100)
	IAmáx	0,68	(0,02)	(47)	1,02	(0,01)	(47)	1,34	(0,07)	(45)
	IAmín	0,13	(0,03)	(09)	0,21	(0,06)	(09)	0,37	(0,07)	(12)
	IMM	0,12	(0,05)		0,18	(0,07)		0,25	(0,09)	
	IMMmáx	0,17	(0,02)		0,26	(0,01)		0,33	(0,07)	
	IMMmín	0,06	(0,03)		0,10	(0,06)		0,18	(0,07)	
3	IA	1,65	(0,05)	(100)	2,40	(0,09)	(100)	2,98	(0,13)	(100)
	IAmáx	0,69	(0,04)	(42)	1,17	(0,07)	(48)	1,46	(0,12)	(49)
	IAmín	0,20	(0,04)	(12)	0,24	(0,06)	(11)	0,34	(0,07)	(12)
	IMM	0,14	(0,05)		0,20	(0,09)		0,25	(0,13)	
	IMMmáx	0,17	(0,04)		0,29	(0,07)		0,37	(0,12)	
	IMMmín	0,10	(0,04)		0,12	(0,06)		0,17	(0,07)	

Médias seguidas de desvio padrão e porcentagem dos incrementos acumulados máximo (IAmáx) e mínimo (IAmín) em relação ao incremento acumulado no período (IA); ¹incremento em diâmetro do tronco acumulado no período (fev/2006 a jan/2007); ²incremento em diâmetro do tronco acumulado no período de máximo crescimento (fev-maio/2006); ³incremento em diâmetro do tronco acumulado no período de mínimo crescimento (jul-ago/2006); ⁴incremento médio em diâmetro do tronco/mês; ⁵incremento médio em diâmetro do tronco/mês no período de máximo crescimento (fev-maio/2006); ⁶Incremento médio em diâmetro do tronco/mês no período de mínimo crescimento (jul-ago/2006).

Nas árvores do Tratamento 2 os incrementos em diâmetro do tronco acumulados foram de 1,46, 2,19 e 3,02 cm nas classes inferior, média e superior, respectivamente, com 45-47% ocorrendo período de máximo crescimento (IAmáx.) representado pelos meses de fevereiro-maio (Tabela 6). Nas árvores do Tratamento 3 os incrementos em diâmetro do tronco acumulado foram de 2,98, 2,40 e 1,65 cm nas classes superior, média e inferior. Observa-se ainda que as árvores das classes superior e média de todos os tratamentos sofreram maior redução no incremento, no período de mínimo crescimento (IAmín), se comparadas com as árvores da classe inferior (Figura 17).

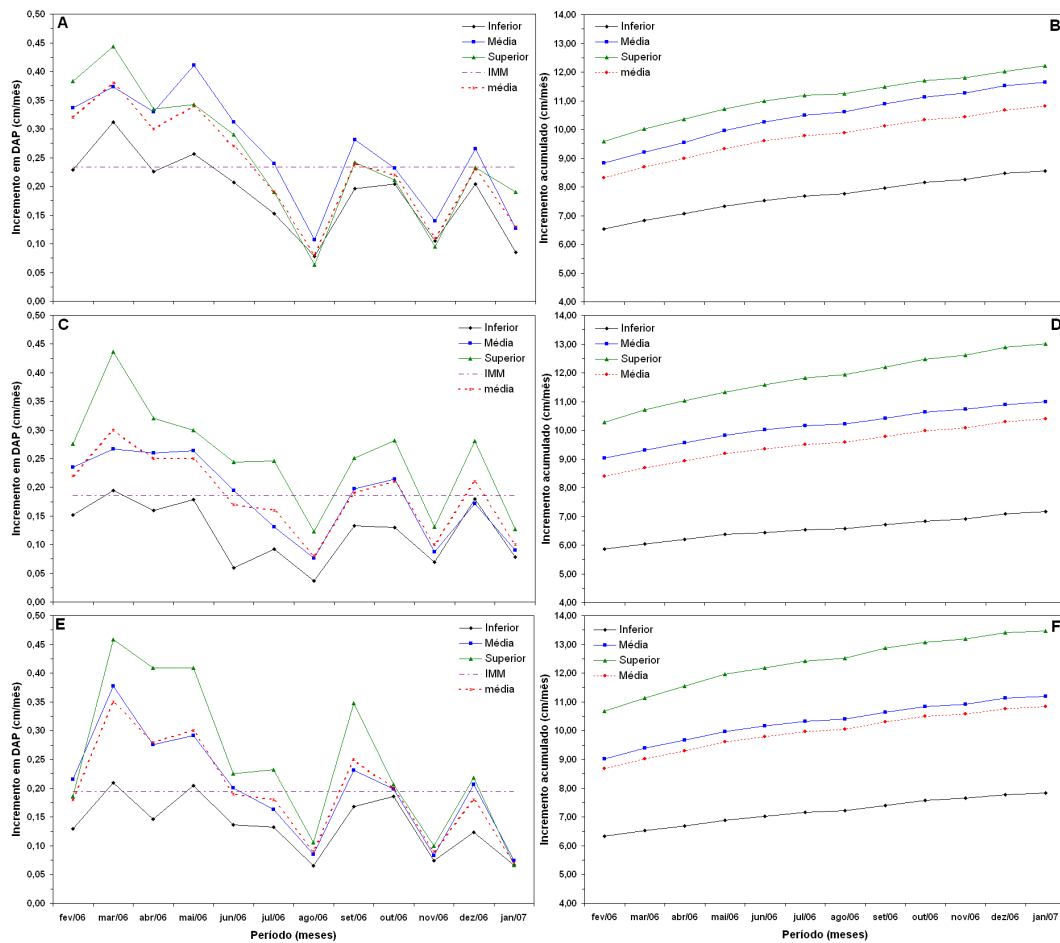


Figura 17 - Incremento mensal em diâmetro do tronco e incremento acumulado das árvores de eucalipto por classe de área basal: Tratamento 1 (A;B); Tratamento 2 (C;D) e Tratamento 3 (E;F)

4.1.2 Variação da densidade do lenho no sentido radial e longitudinal do tronco das árvores

4.1.2.1 Variação da densidade aparente do lenho no sentido radial por densitometria de raios X

Os perfis de densidade aparente do lenho das amostras radiais do DAP das árvores de eucalipto, representativas de cada classe de área basal dos Tratamentos 1, 2 e 3 são apresentados nas Figuras 18 a 20 e para todas as árvores analisadas no Anexo K, pág. 152.

No perfil densitométrico é indicada pelas setas a posição da camada cambial no tronco das árvores de eucalipto, no final do 1º ano de crescimento. No final das mensurações (2º ano) as árvores das classes de área basal inferior, média e superior

mostraram raios de 2,5-3,5, 3,0-4,5 e 4,0-5,0 cm, respectivamente. A demarcação no perfil densitométrico evidencia que as árvores de eucalipto no primeiro ano apresentaram menor crescimento devido, possivelmente, a fase de desenvolvimento inicial de estabelecimento, caracterizado pela alocação preferencial dos nutrientes para a formação das raízes, em detrimento do crescimento em diâmetro do tronco. Os perfis densitométricos das árvores não evidenciam em valores de densidade aparente do lenho, até a presente idade, as variações significativas do incremento em diâmetro, com a sua redução no período de baixa pluviometria e temperatura (julho-agosto), obtidas através das faixas dendrométricas.

Os perfis de densidade aparente do lenho evidenciam um modelo de variação radial comum para todas as árvores de eucalipto nos três tratamentos, com maiores valores de densidade na região da medula (0,80-1,10 g/cm³), redução e estabilização dos valores na faixa de 0,30 - 0,50 g/cm³ em direção a casca.

Analisando os perfis densitométricos do lenho das árvores de eucalipto verificam-se diferenças com os perfis apresentados na literatura por Tomazello Filho et al. (1995); Oliveira (1997); Silva (2002); Silva et al. (2004); Alzate (2004) Moya et al. (2005); Benjamim (2006) e Tomazello filho (2006), caracterizados pelos valores menores de densidade do lenho na região próxima a medula, seguindo-se uma região de transição e um aumento gradativo em direção a casca (Figura 3). Este modelo de variação foi apresentado para o lenho de árvores de eucalipto de idades mais avançadas (10 a 30 anos), sendo nítida a presença da madeira juvenil, transição e adulta. Portanto, o modelo de variação da densidade aparente do lenho das árvores de eucalipto do presente estudo é característico de árvores jovens (2 anos) mostrando somente a madeira juvenil. Algumas variações de densidade aparente do lenho encontradas nos perfis densitométricos devem-se a presença de elementos de vaso e de linhas ou faixas de fibras de parede mais espessadas. Os modelos de variação radial da densidade aparente do lenho, obtidos através das equações de regressão (Anexo J, pág 140) e sumarizados na Figura 21, evidenciam os maiores valores próximos a medula, seguidos de redução e estabilização/aumento em direção a casca.

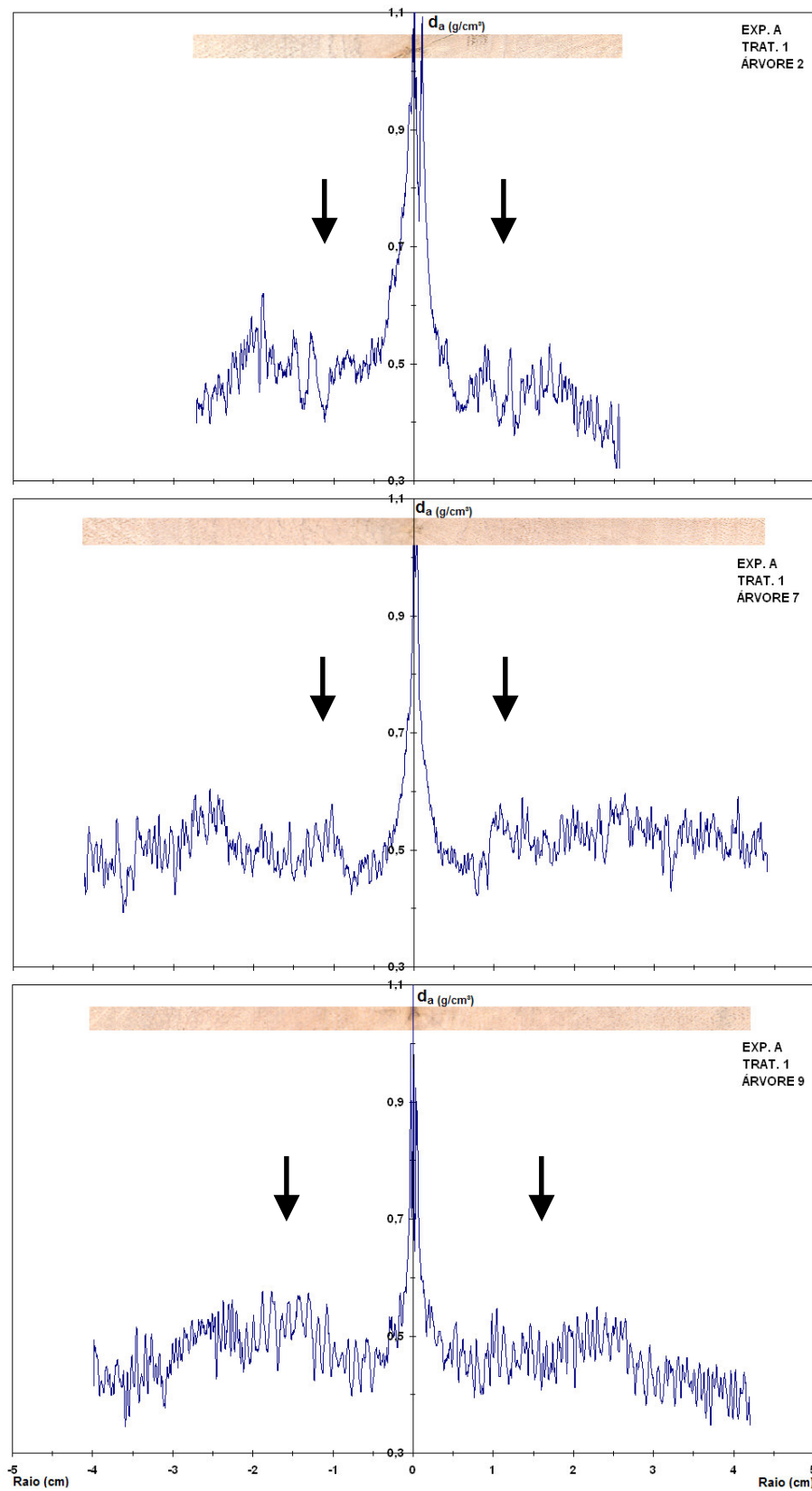


Figura 18 – Perfis de densidade aparente do lenho das amostras radiais das árvores de eucalipto: Tratamento 1 (árvores 2 - inferior, 7 - média e 9 - superior). Setas indicam a posição da camada cambial no final do 1º ano de crescimento

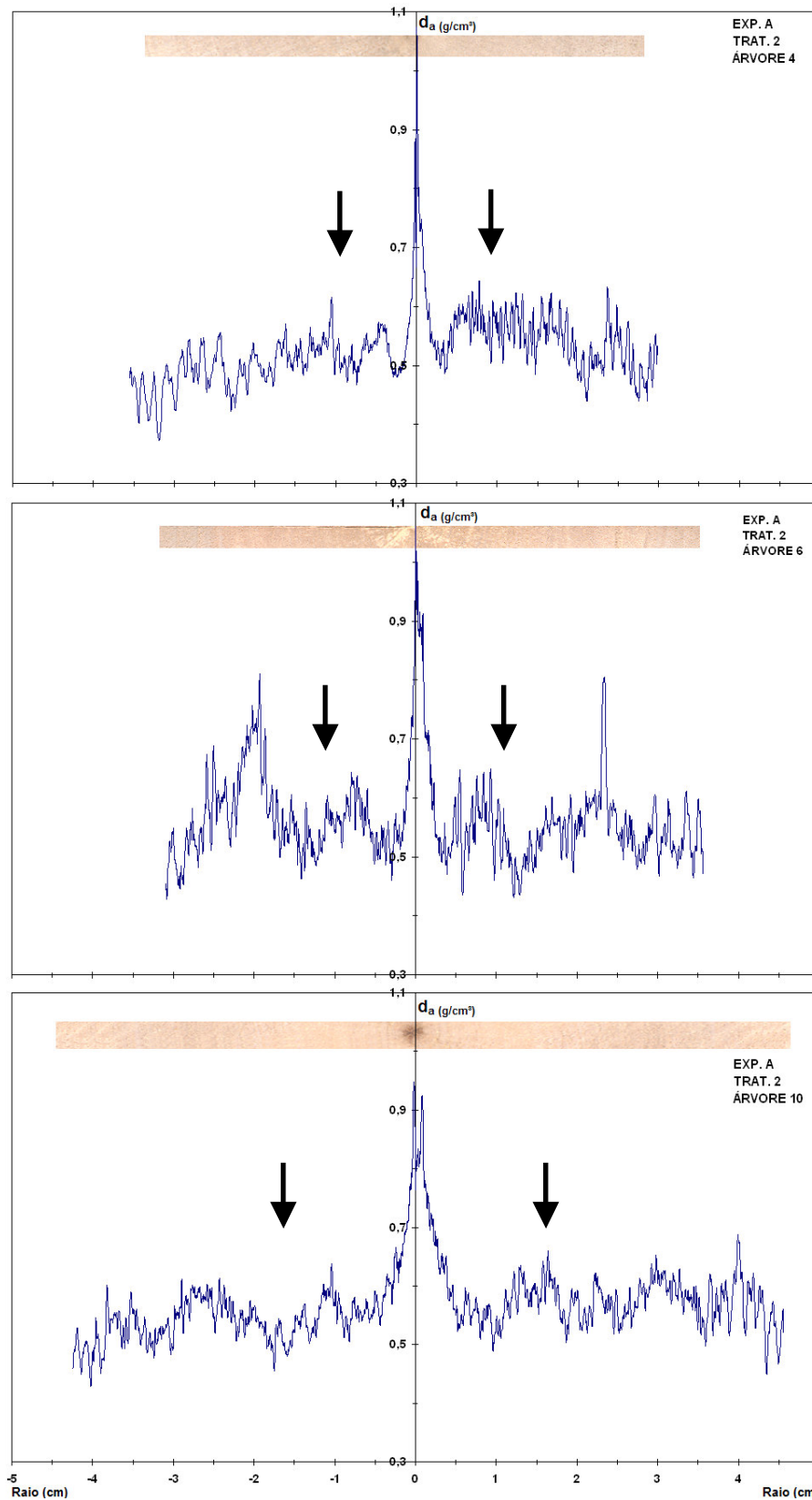


Figura 19 – Perfis de densidade aparente do lenho das amostras radiais das árvores de eucalipto: Tratamento 2 (árvores 4 - inferior, 6 - média e 10 - superior). Setas indicam a posição da camada cambial no final do 1º ano de crescimento

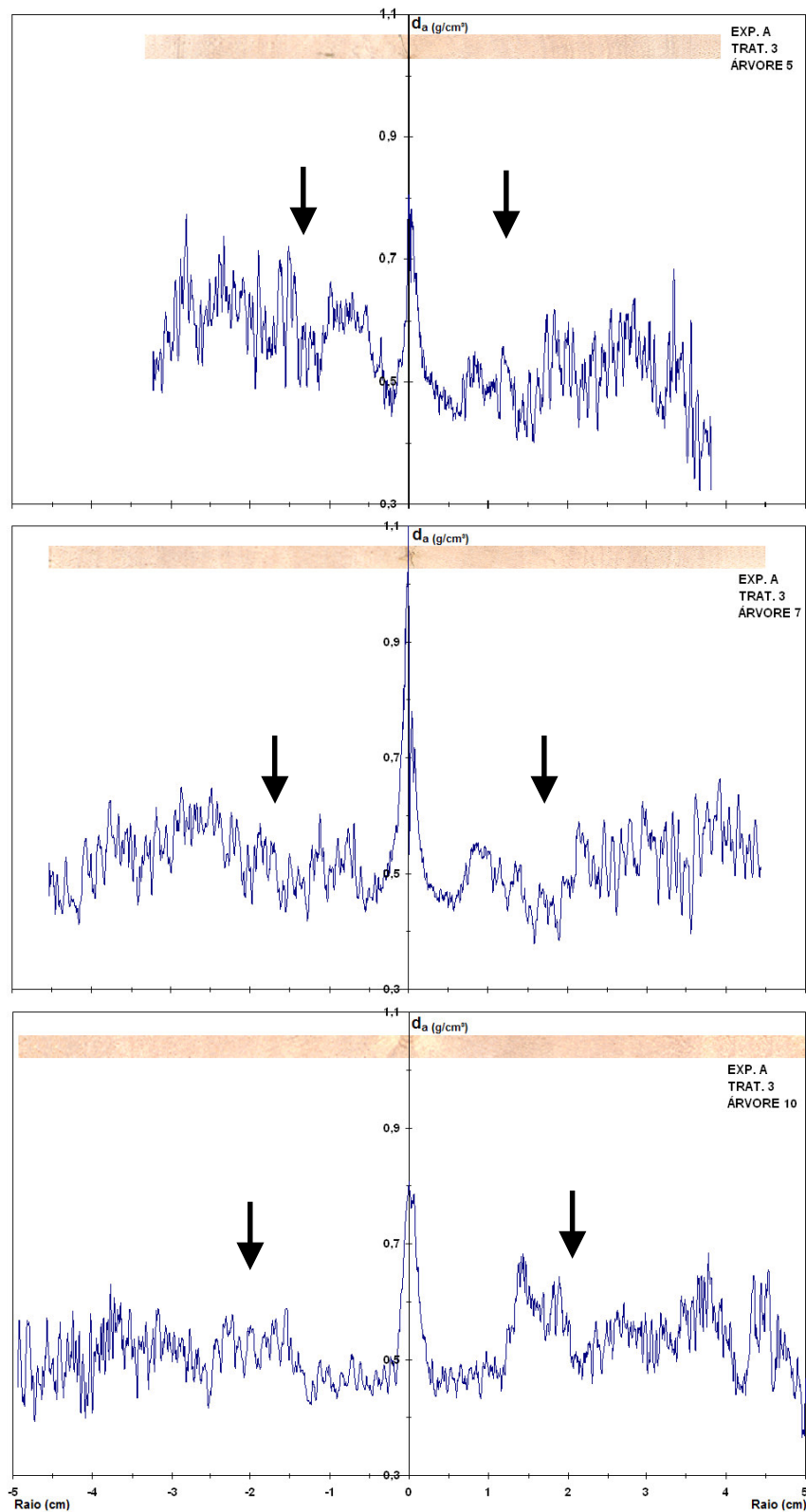


Figura 20 – Perfis de densidade aparente do lenho das amostras radiais das árvores de eucalipto: Tratamento 3 (árvores 5 - inferior, 7 - média e 10 - superior). Setas indicam a posição da camada cambial no final do 1º ano de crescimento

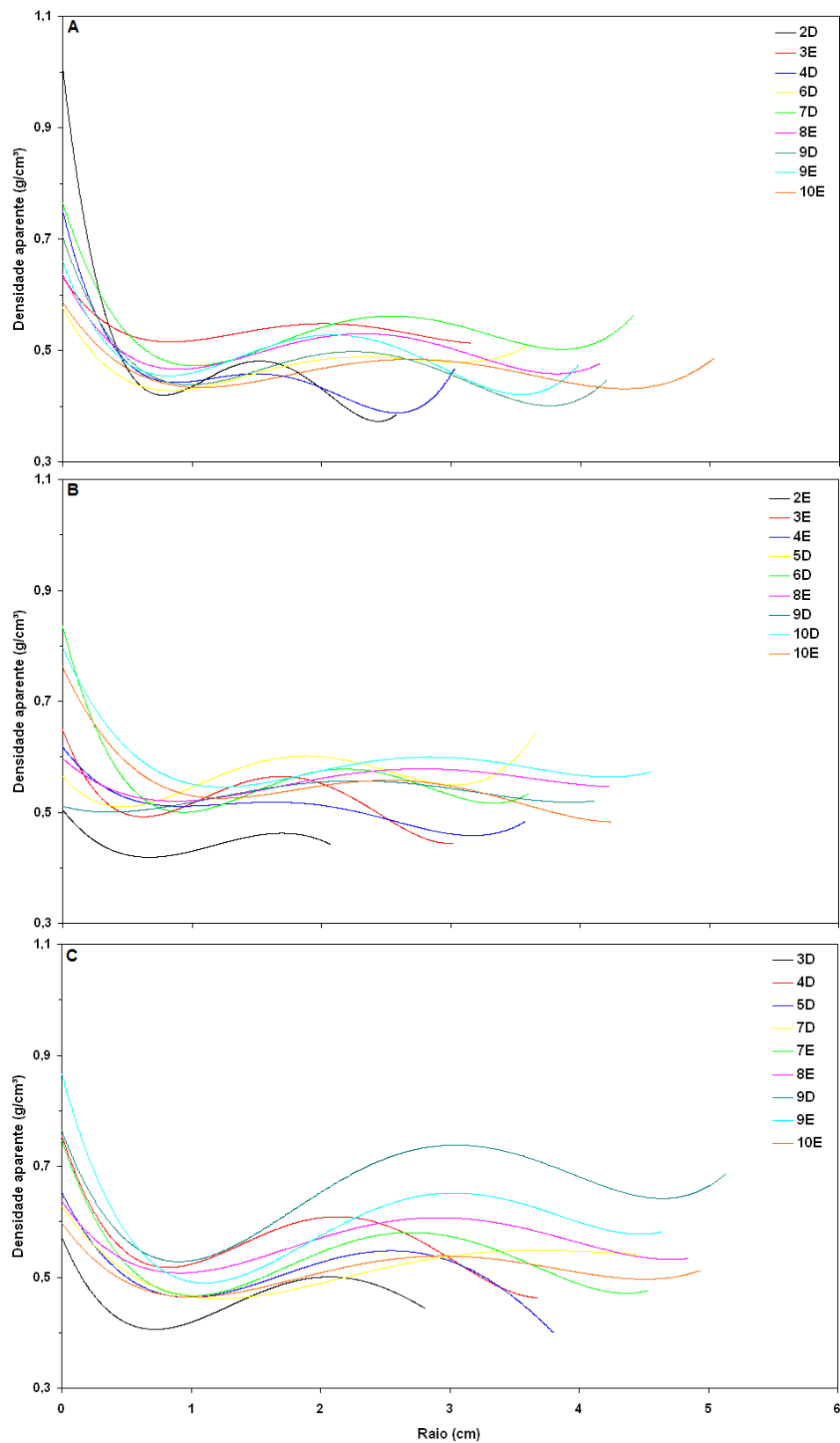


Figura 21 – Variação radial da densidade aparente do lenho das amostras radiais das árvores de eucalipto – Tratamentos 1 (A) , 2 (B) e 3 (C). Legenda indica n° da árvore e o raio: direito (D) e esquerdo (E)

Os valores de densidade aparente média, máxima e mínima do lenho na altura do DAP das árvores de eucalipto para os 3 tratamentos são apresentados na Tabela 8.

A densidade aparente média do lenho das árvores para os Tratamentos 1, 2 e 3 foi de 0,50, 0,53 e 0,54 g/cm³, respectivamente. Os valores de densidade aparente média do lenho dos tratamentos com a aplicação de adubo nitrogenado e de biossólido foram superiores, embora não significativos, em relação a testemunha para as árvores de eucalipto com 24 meses de idade. Os resultados corroboram os obtidos por Wilkins (1991); Vigneron; Gerard e Bouvet (1995); Bouvet et al. (1999) e Smethurst et al. (2003) para o adubo nitrogenado, embora para árvores de espécies de eucalipto de maiores idades. No entanto, Shimoyama; Barrichelo (1989); Jacob; Balloni (1978) Andrade et al. (1994) e Washusen et al. (2006) indicam uma redução da densidade do lenho das árvores de eucalipto com a aplicação de fertilizantes e Barreiros (2005) com a aplicação de lodo de esgoto. Conforme discutido anteriormente, tratam-se de árvores jovens, com 24 meses de idade, sendo necessária a avaliação desse parâmetro de qualidade da madeira nas fases de transição e adulta.

Os valores de densidade média aparente do lenho de eucalipto obtidos no presente estudo (0,50-0,54 g/cm³) são inferiores aos apontados por Benjamin (2006) e Tomazello Filho (2006) (0,65-0,70 g/cm³). Esta diferença está associada aos teores de madeira juvenil e adulta, sendo que a madeira juvenil, proveniente de árvores jovens, apresenta geralmente menor densidade que a das árvores adultas (HILLIS E BROWN, 1984). A densidade mínima aparente do lenho do Tratamento 1 (0,27 g/cm³) foi menor e significativamente diferente em comparação com os Tratamentos 2 e 3, com 0,35 e 0,34 g/cm³, respectivamente, com reflexo no valor de densidade média. A densidade aparente máxima dos lenhos não mostraram diferenças significativas, sendo de 0,96, 0,88 e 0,93 g/cm³, nos Tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 8 – Valores de densidade aparente média, máxima e mínima do lenho na altura do DAP das árvores de eucalipto

Tratamento	Densidade aparente (g/cm ³)		
	Média	Máxima	Mínima
1	0,4976 a (0,0338)	0,9591 a (0,1471)	0,2685 a (0,0508)
2	0,5344 a (0,0404)	0,8777 a (0,1280)	0,3531 b (0,0704)
3	0,5387 a (0,0423)	0,9288 a (0,2456)	0,3395 b (0,0483)

Médias seguidas de desvio padrão; numa mesma coluna, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$)

4.1.2.2 Densidade aparente do lenho por classes de área basal

Os valores de densidade aparente do lenho na altura do DAP das árvores de eucalipto nos três tratamentos por classe de área basal são apresentados na Tabela 9 e Figura 22.

Os resultados mostram que no Tratamento 1 as árvores de eucalipto da classe inferior apresentaram valores de densidade aparente média do lenho maiores, embora não significativos, em relação as das classes média e superior, na ordem de 6-9%. Ainda no Tratamento 1 os valores de densidade aparente máxima e mínima das árvores das classes inferior-média estiveram próximos em comparação com os das árvores da classe superior.

Tabela 9 - Densidade aparente média, máxima e mínima do lenho das árvores de eucalipto por classe de área basal

Tratamento	Classe de Área basal	Densidade aparente do lenho (g/cm ³)		
		Média	Máxima	Mínima
1	Inferior	0,5152 a (0,0347)	0,9511 a (0,1572)	0,2527 a (0,0174)
	Média	0,4861 a (0,0322)	0,9278 a (0,1357)	0,2422 a (0,0556)
	Superior	0,4711 a (0,0084)	1,0261 a (0,1357)	0,3478 a (0,0044)
2	Inferior	0,5044 a (0,0454)	0,9113 a (0,1202)	0,3585 a (0,0305)
	Média	0,5614 a (0,0029)	0,9093 a (0,1982)	0,3160 a (0,1571)
	Superior	0,5566 a (0,0139)	0,8119 a (0,1205)	0,3707 a (0,0649)
3	Inferior	0,5218 a (0,0424)	0,8014 a (0,1525)	0,3210 a (0,0409)
	Média	0,5476 a (0,0211)	1,0298 a (0,2411)	0,3445 a (0,0297)
	Superior	0,5674 a (0,0687)	1,0959 a (0,4078)	0,3781 a (0,0882)

Médias seguidas de desvio padrão; **para cada tratamento**, numa mesma coluna, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$)

Para os Tratamentos 2 e 3, as árvores da classe inferior mostraram valores de densidade aparente média do lenho inferior as das classes média-superior (na ordem de 5-11%), embora não significativas. As densidades aparentes máximas do lenho foram mais altas nas árvores das classes inferior-média em relação a superior (na ordem de 12%) no Tratamento 2 e as das classes média-superior em relação a inferior (na ordem de 28-36%) no Tratamento 3, embora não significativas. As densidades aparentes mínima do lenho mostraram variações, sendo próximas nas árvores inferior-superior e inferior-média nos Tratamentos 2 e 3, respectivamente, embora não significativas.

A literatura referente a relação entre o diâmetro e/ou dimensões das árvores e densidade do lenho de eucalipto é bastante controversa. Alguns autores, como Souza; Della Lucia e Resende (1979); Ferreira (1970, 1971, 1972a,b, 1973) e Souza et al (1986) indicaram que árvores pertencentes as maiores classes de diâmetro apresentaram densidades do lenho mais elevadas. No entanto, outros pesquisadores, como Hans; Burley; Williamson, 1972; Ferreira; Freitas e Ferreira (1978); Migliorini et al. (1988); Carpim e Barrichelo (1984) relataram que as árvores com menores dimensões diamétricas do tronco apresentaram maior densidade do lenho. Neste aspecto, 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, também, resultado dos estudos de Bamber; Floyd e Humphreys (1969), Skolmen (1972). e Taylor (1973b).

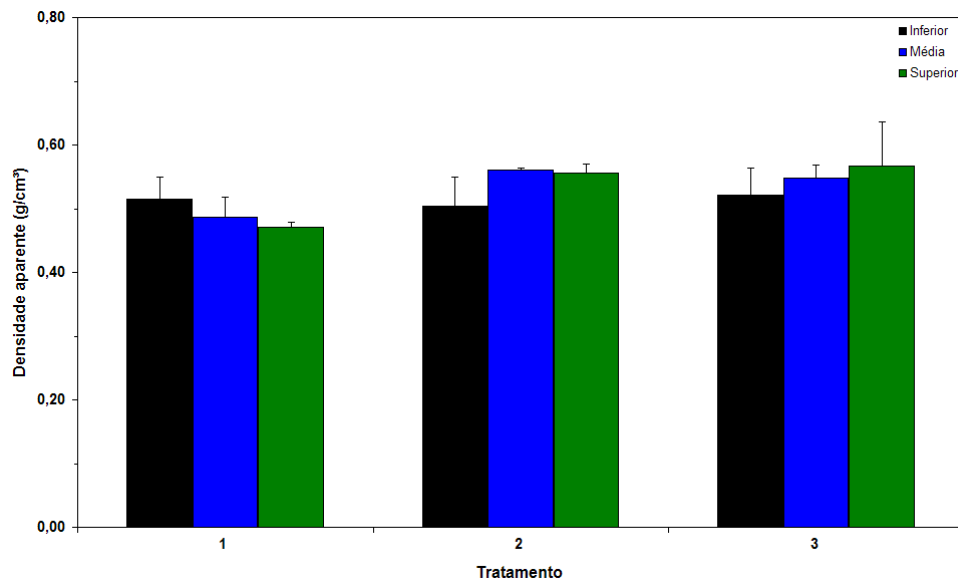


Figura 22 - Densidade aparente média do lenho por tratamento e classe de área basal das árvores de eucalipto. Barras indicam desvio padrão

4.1.2.3 Variação da densidade básica do lenho no sentido longitudinal das árvores

Os valores de densidade básica do lenho nas diferentes posições do tronco das árvores de eucalipto nos Tratamentos 1, 2 e 3 são apresentados na Tabela 10 e Figura 23.

Tabela 10 – Variação da densidade básica do lenho no sentido longitudinal do tronco das árvores de eucalipto

Altura (m)	Tratamento		
	1	2	3
0,0	0,3920 a (0,0213)	0,4192 a (0,0215)	0,4241 a (0,0346)
1,3	0,3608 a (0,0277)	0,3775 a (0,0301)	0,3988 a (0,0245)
3,0	0,3595 a (0,0276)	0,3814 ab (0,0201)	0,4065 b (0,0200)
6,0	0,3686 a (0,0241)	0,3890 ab (0,0305)	0,4146 b (0,0208)
9,0	0,3981 a (0,0170)	0,3909 a (0,0337)	0,4084 a (0,0186)
12,0	—	—	0,3851 (0,0221)

Médias seguidas de desvio padrão; numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$)

Os modelos de variação da densidade básica se caracterizam pelo seu decréscimo até 3 m de altura do tronco nas árvores do Tratamento 1 ($0,39 \rightarrow 0,36$ g/cm³) e até o DAP nos Tratamentos 2 ($0,42 \rightarrow 0,38$ g/cm³) e 3 ($0,42 \rightarrow 0,39$ g/cm³); segue-se um aumento até 9,0 m nos tratamentos 1 ($0,40$ g/cm³) e 2 ($0,39$ g/cm³) e até 6,0 m no 3 ($0,41$ g/cm³), com decréscimo ($0,41 \rightarrow 0,38$ g/cm³) até a porção terminal do tronco.

Os maiores valores de densidade básica do lenho das árvores de eucalipto nas regiões basal e apical do tronco devem-se, provavelmente, as exigências mecânicas de sustentação de seu tronco e copa. A equação de ajuste da curva de variação longitudinal da densidade básica do lenho mostrou uma tendência polinomial do 3° com altos valores de R² ($0,83 - 0,96$).

Os valores de densidade básica do lenho das árvores foram maiores em todas as posições para o Tratamento 3, embora sem diferenças significativas, exceto a 3,0 e 6,0 m de altura do tronco com valores significativamente maiores em relação ao Tratamento 1.

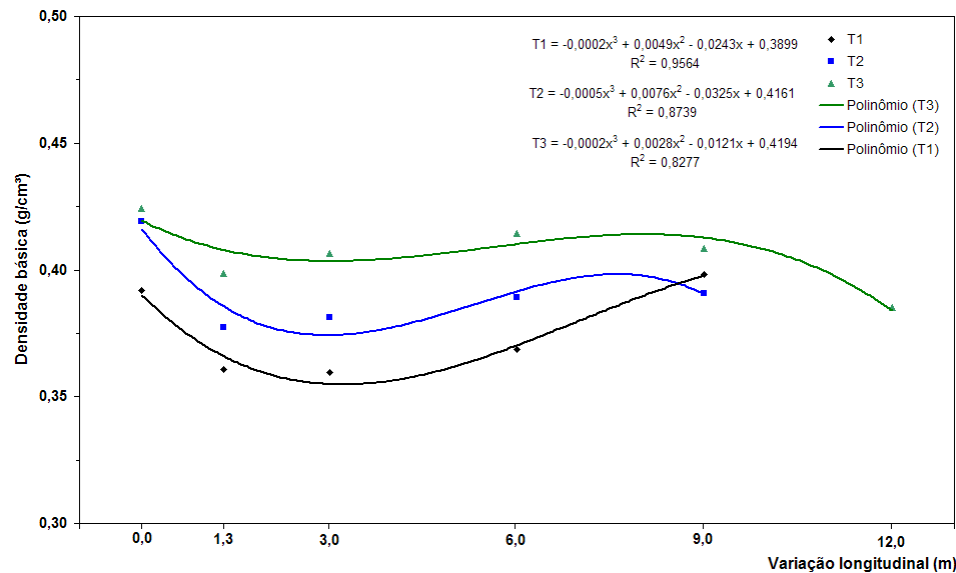


Figura 23 – Variação da densidade básica do lenho no sentido longitudinal do tronco das árvores de eucalipto

Os valores longitudinais de densidade básica do lenho refletem na densidade básica média das árvores (Tabela 11): no Tratamento 1 a densidade básica média foi menor ($0,38 \text{ g/cm}^3$) e significativamente diferente do que a observada no Tratamento 3 ($0,40 \text{ g/cm}^3$). A densidade básica média do lenho no Tratamento 2 ($0,39 \text{ g/cm}^3$) não apresentou diferenças significativas em relação às observadas nos Tratamentos 1 e 3.

Os valores de densidade básica média do lenho dos tratamentos com a aplicação de adubo nitrogenado (não significativo) e de lodo de esgoto (significativo) foram superiores em relação a testemunha para as árvores de eucalipto com 24 meses de idade. Conforme mencionado no item 4.1.2.1, os resultados descritos na literatura apontam tanto redução como aumento da densidade com a aplicação de fertilizantes.

Tabela 11 – Densidade básica média das árvores de eucalipto

Tratamento	Densidade básica (g/cm^3)
1	0,3762 a (0,0271)
2	0,3874 ab (0,0259)
3	0,4047 b (0,0192)

Médias seguidas de desvio padrão; médias seguidas de pelo menos uma letra igual na coluna não diferem significativamente ($p > 0,05$)

Os resultados encontrados para os valores médios da densidade básica da madeira das árvores de eucalipto corroboram os obtidos por Cromer e Hansen (1972)

citados por Valeri et al. (1990) em *E. globulus*, de 2 anos, que não observaram alterações na densidade básica da madeira pela aplicação de níveis crescentes de nitrogênio na época do plantio. Por outro lado, Raymond e Muneri (2000) relataram que a fertilização tem pequena influência nos valores de densidade do lenho de árvores de *Eucalyptus globulus*, sendo negativa, positiva ou mesmo negligível.

O modelo de variação da densidade básica do lenho (decréscimo ou estabilização da base até 25%; aumento até 75%; decréscimo até 100% da altura comercial) das árvores de eucalipto e suas variações tem sido regularmente indicado na literatura por Lima; Rosado; Oliveira, 1992; Souza; Carpin; Barrichelo, 1986; Barrichelo; Brito; Migliorini, 1983; Carpin; Barrichelo, 1984; Migliorini et al., 1988; Lopes, 2003; Barrichelo; Brito, 1984; Oliveira, 1997; Alzate; Tomazello Filho; Piedade, 2005; Frederick; Madgwick; Oliver, 1982; Lausberg; Gilchrist; Skipwith, 1995; Ferreira, 1972; Brasil; Veiga; Ferreira, 1977; Wilkes, 1988.

Os valores de densidade básica média da madeira encontrados para as árvores de eucalipto, nos três tratamentos, são menores do que os normalmente citados na literatura, por diversos autores, como Souza; Carpin e Barrichelo (1986), Lima; Rosado e Oliveira (1992), Alzate; Tomazello Filho e Piedade (2005) e outros. As diferenças na densidade básica devem estar associadas a idade das árvores considerando que, normalmente, observa-se um aumento da densidade com a idade das árvores, resultado da formação da madeira adulta (TOMAZELLO FILHO, 1985b, 1987).

4.1.2.4 Densidade básica do lenho por classes de área basal

Os valores de densidade básica da madeira por classe de área basal das árvores de eucalipto nos três tratamentos são apresentados na Tabela 12 e Figura 24.

Os resultados mostram que as árvores de eucalipto das classes de área basal média e superior apresentam maiores valores de densidade básica do lenho em relação as da classe inferior, na ordem de 2-9%, apesar de não significativo. Esses resultados concordam com os obtidos para a densidade aparente do lenho das árvores na altura do DAP (item 4.1.2.2) dos Tratamentos 2 e 3, bem como os citados por diversos autores, como Souza; Della Lucia e Resende (1979); Ferreira (1970, 1971, 1972 a,b, 1973), Souza et al (1986) e Souza; Carpin; Barrichelo (1986) que verificaram que

árvores das maiores classes de diâmetro mostram densidade básica da madeira mais elevada.

Tabela 12 – Densidade básica do lenho das árvores de eucalipto por classes de área basal

Tratamento	Classe de Área basal	Densidade básica do lenho (g/cm ³)
1	Inferior	0,3669 a (0,0255)
	Média	0,3935 a (0,0350)
	Superior	0,3736 a (0,0146)
2	Inferior	0,3731 a (0,0300)
	Média	0,4030 a (0,0069)
	Superior	0,3961 a (0,0235)
3	Inferior	0,3958 a (0,0185)
	Média	0,4139 a (0,0066)
	Superior	0,4134 a (0,0328)

Médias seguidas de desvio padrão; **para cada tratamento**, numa mesma coluna, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p>0,05$)

Da mesma forma e como apontado anteriormente, os trabalhos na literatura que relacionam dimensões das árvores e densidade da madeira apresentam outros modelos de variação que divergem do apresentado neste trabalho.

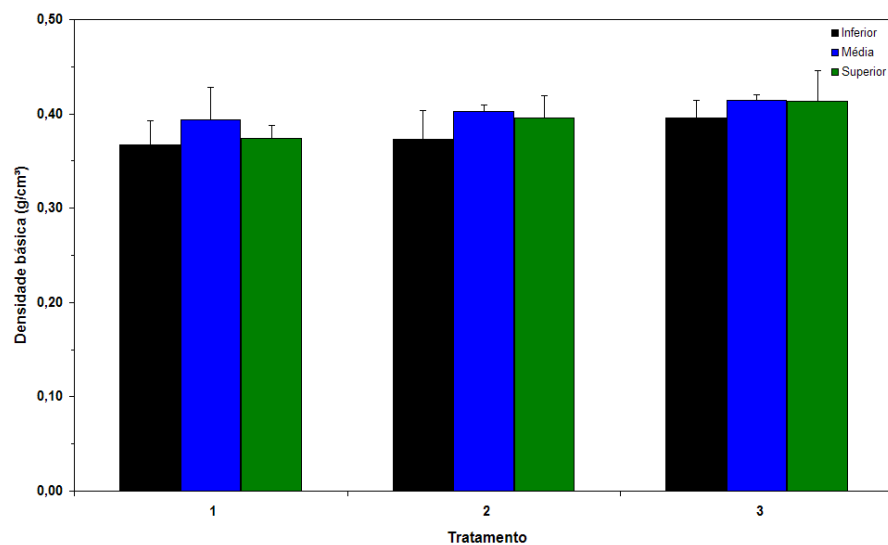


Figura 24 – Densidade básica do lenho das árvores de eucalipto por classe de área basal. Barras indicam desvio padrão

4.1.3 Variação da estrutura anatômica do lenho

4.1.3.1 Variação das dimensões das fibras no sentido radial do lenho

Os resultados da avaliação das dimensões das fibras e sua variação radial nas amostras do lenho do DAP das árvores de eucalipto nos três tratamentos estão apresentados na Tabela 13 e Figura 25.

A largura das fibras apresenta um modelo de variação radial crescente para os Tratamentos 1 e 2, sendo as de menor largura (16,70-17,50 μm) próximas a região da medula e as de maior largura (19,87-20,92 μm) próximas à casca. A largura das fibras não diferiu nas três posições radiais entre os tratamentos, exceto a 50% do raio no Tratamento 3, em relação ao 1 e 2, com fibras menos largas. A equação da curva de ajuste dos valores segue modelo polinomial do 2º grau, com baixos valores de coeficiente de determinação, indicando uma alta variabilidade dos dados (Tabela 13 e Figura 25a)

Tabela 13 – Variação das dimensões das fibras no sentido radial das amostras do lenho das árvores de eucalipto

Parâmetros	Posição radial (%)	Tratamentos		
		1	2	3
Largura (μm)	0	17,15 a (4,24)	16,70 a (2,73)	18,03 a (2,83)
	50	19,38 a (3,10)	19,35 a (2,86)	17,51 b (2,98)
	100	19,87 a (3,75)	20,92 a (3,98)	19,20 a (3,28)
Diâmetro do lume (μm)	0	9,45 a (3,37)	9,52 a (2,32)	10,57 a (2,54)
	50	12,11 a (2,84)	12,16 a (2,55)	10,17 b (2,61)
	100	13,10 ab (3,38)	13,82 a (3,33)	11,95 b (2,83)
Espessura da parede (μm)	0	3,85 a (1,24)	3,58 a (0,61)	3,73 a (0,64)
	50	3,63 a (0,66)	3,59 a (0,55)	3,67 a (0,69)
	100	3,38 a (0,58)	3,55 a (0,68)	3,62 a (0,64)
Comprimento (μm)	0	624,49 a (194,70)	537,45 b (123,07)	655,40 a (118,46)
	50	773,40 ab (167,36)	826,72 a (175,22)	741,67 b (139,56)
	100	936,44 a (172,67)	938,04 a (189,82)	966,70 a (177,81)

Médias seguidas de desvio padrão; numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p>0,05$)

Os valores de diâmetro do lume das fibras aumentaram no sentido radial nos Tratamentos 1 e 2, em relação ao Tratamento 3. Neste tratamento, o diâmetro do lume foi significativamente menor, a 50% e 100% (10,17 e 11,95 μm) do raio em relação ao 1 (12,11 μm) e 2 (12,16 e 13,82 μm) (Tabela 13 e Figura 25b)

A espessura da parede das fibras não mostrou um modelo de variação radial e diferença significativa nos três tratamentos. A curva de ajuste dos seus valores segue modelo linear, com baixos valores de coeficiente de determinação, indicando que não se altera com a posição radial, principalmente nos Tratamentos 2 e 3 (Tabela 13 e Figura 25c).

O comprimento das fibras mostrou uma tendência de aumento no sentido radial, com diferenciação entre tratamentos. Na região próxima a medula foi menor e significativamente diferente no Tratamento 2 (537,45 μm) em relação ao 1 (624,49 μm) e 3 (655,40 μm); na região intermediária foi maior e significativamente diferente no Tratamento 2 (826,72 μm) em relação ao 3 (741,67 μm); na região próxima à casca não houve diferença significativa (Tabela 13 e Figura 25d).

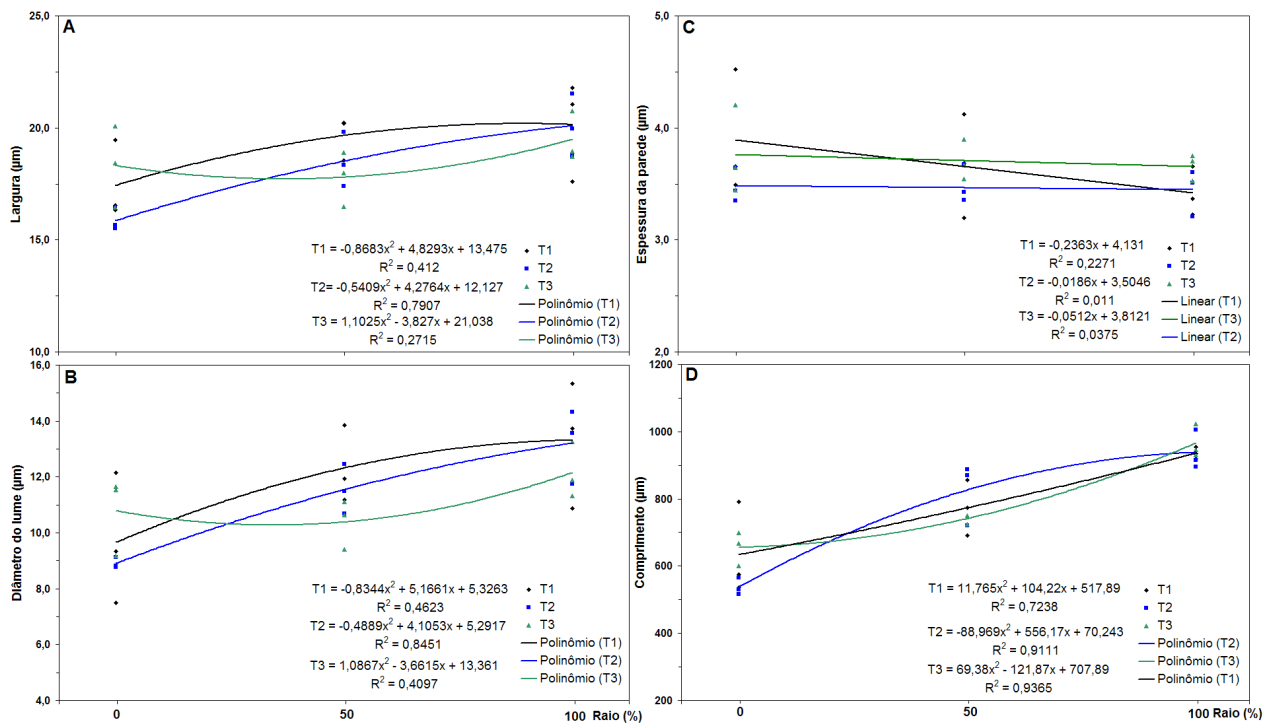


Figura 25 – Variação das dimensões das fibras no sentido radial das amostras do lenho das árvores de Eucalipto: largura (A), diâmetro do lume (B), espessura da parede (C) e comprimento (D)

Tomazello Filho (1985b); Ferreira (1972); Florsheim et al. (2000); Rocha et al. (2002), Dadswell (1958); Maeglin (1987); Oliveira (1997) e Thomas (1985) demonstraram variação radial similar ao encontrado para largura das fibras.

Para o diâmetro do lume das fibras, as referências da literatura indicam, dentre vários modelos, o aumento de seu valor no sentido medula-casca (TOMAZELLO FILHO, 1985b; FLORSHEIM et al., 2000 e ROCHA et al., 2002)

A literatura indica, de modo geral, que existe um aumento no valor da espessura da parede das fibras no sentido medula-casca (BRASIL; FERREIRA, 1972; TAYLOR, 1973a; FOELKEL et al., 1983; TOMAZELLO FILHO, 1985a, b, 1987 e ALZATE, 2004).

Com respeito ao modelo de variação as referências da literatura como Hans; Burley; Williamson (1972); Santos; Nogueira (1971); Brasil; Ferreira (1972, 1979); Taylor (1973a); Foelkel et al. (1983); Tomazello Filho (1985a, b, 1987); Bhat; Bhat; Dhamodaran (1990) e Jorge (1994) indicam, de modo geral, que o comprimento das fibras do lenho de eucalipto aumenta no sentido medula-casca. Os valores médios das fibras apresentados na Tabela 13 divergem dos citados por Tomazello Filho (1985) para árvores de *Eucalyptus grandis* com 10 anos de idade para largura (23,0 μ m), espessura (5,4 μ m) e comprimento (1,2 μ m) e se aproximam dos valores de diâmetro do lume (12,2 μ m). Esta diferença está relacionada a idade das árvores deste estudo (2 anos), sendo nítida a presença de somente madeira juvenil.

No presente estudo, verificaram-se diferenças significativas entre os tratamentos de fertilização para somente algumas dimensões das fibras e posições radiais, conforme apontado anteriormente. No entanto, não foram detectados modelos de variação que possam definir um efeito da fertilização nas árvores de eucalipto, até a presente idade de 24 meses. A literatura apresenta diversos resultados como os de Lamber; Horne e Graham-Higgs (1982) que não verificaram diferenças nas dimensões das fibras de árvores de *Eucalyptus grandis*, de 2,5 anos, induzidas a altas taxas de crescimento pela fertilização. Da mesma forma, Jianju; Wenbin e Xiuzhen (1995) não detectaram influência da fertilização no comprimento das fibras do lenho de árvores de *Eucalyptus urophylla*, com 9 anos, de 5 áreas experimentais na China. Ao contrário, Shimoyama e Barrichelo (1989) apontam que o aumento do ritmo de crescimento em função da fertilização provocou diminuição do comprimento e da espessura da parede das fibras.

4.1.3.2 Dimensões das fibras por classes de área basal

Os resultados da avaliação das dimensões das fibras na altura do DAP por classe de área basal das árvores de eucalipto nos três tratamentos são apresentados na Tabela 14 e Figura 26.

O Tratamento 1 apresenta um maior número de diferenças significativas para as dimensões das fibras entre as classes de área basal, sendo maior largura e diâmetro do lume e menor comprimento das fibras no lenho das árvores da classe superior, em relação a inferior-média. Com relação a parede das fibras no lenho das árvores da classe inferior foi mais espessa em relação as demais classes, apesar de não significativa.

Tabela 14 – Variação das dimensões das fibras por classe de área basal das árvores de eucalipto

Tratamento	Classes de Área basal	Largura (μm)	Diâmetro do lume (μm)	Espessura da parede (μm)	Comprimento (μm)
1	Inferior	19,27 ab (4,49)	11,69 ab (4,12)	3,79 a (1,24)	853,56 a (203,49)
	Média	17,50 b (2,72)	10,47 b (2,30)	3,52 a (0,59)	754,91 b (228,49)
	Superior	20,48 a (3,71)	13,14 a (3,49)	3,67 a (0,70)	728,17 b (196,31)
2	Inferior	18,50 a (3,94)	11,53 a (3,48)	3,49 a (0,59)	760,74 ab (235,06)
	Média	18,33 a (3,58)	11,11 a (3,04)	3,61 a (0,63)	819,61 a (232,28)
	Superior	17,63 a (3,46)	11,02 a (3,31)	3,31 a (0,59)	721,86 b (232,74)
3	Inferior	17,88 a (2,76)	10,75 a (2,63)	3,56 a (0,66)	824,08 a (199,22)
	Média	19,60 a (3,15)	11,85 a (2,61)	3,88 a (0,69)	779,81 a (182,34)
	Superior	18,10 a (3,14)	10,72 a (2,91)	3,69 a (0,58)	759,87 a (205,42)

Médias seguidas de desvio padrão; **para cada tratamento**, numa mesma coluna, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p>0,05$)

No Tratamento 2 as diferenças significativas das dimensões das fibras relacionam-se com o seu comprimento, sendo superior na classe média em relação a classe superior. No Tratamento 3 não foram detectadas diferenças significativas para as dimensões das fibras no lenho das árvores de eucalipto das classes inferior, média e superior.

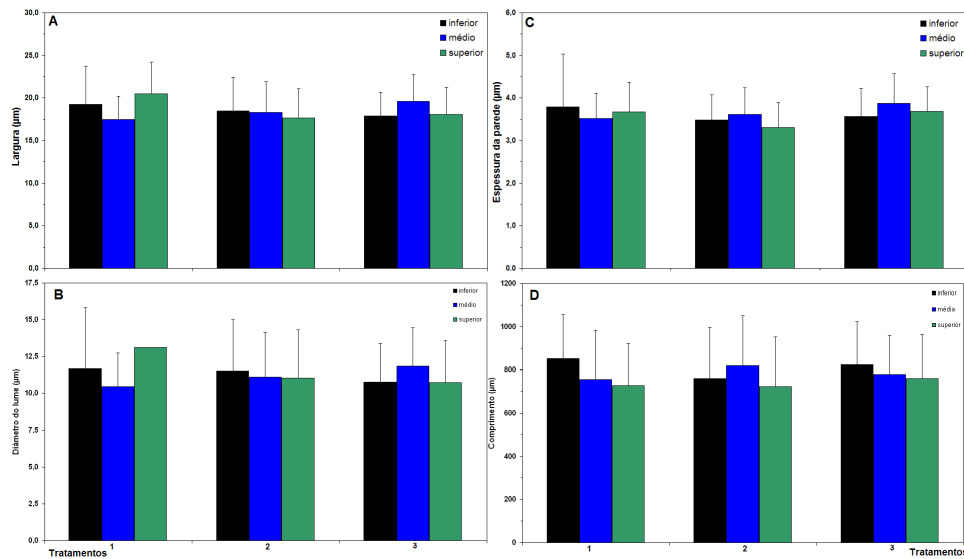


Figura 26 – Variação das dimensões das fibras por classe de área basal das árvores de eucalipto: largura (A), diâmetro do lume (B), espessura da parede (C) e comprimento (D). Barras indicam desvio padrão

Florshein et al. (2000) estudando a influência da posição sociológica de árvores de *Eucalyptus saligna* constataram que: (i) as árvores pertencentes a posição sociológica dominada apresentaram os maiores valores de comprimento e diâmetro do lume, (ii) as árvores pertencentes a posição sociológica dominante apresentaram maiores valores de largura e espessura da parede.

4.1.3.3 Variação das dimensões e da freqüência dos vasos no sentido radial do lenho

Os resultados da avaliação das dimensões e da freqüência dos vasos no sentido radial do lenho na altura do DAP das árvores de eucalipto dos três tratamentos são apresentados na Tabela 15 e Figura 27.

Tabela 15 – Variação das dimensões dos vasos no sentido radial das amostras do lenho das árvores de eucalipto

Parâmetros	Posição radial (cm)	Tratamentos		
		1	2	3
Frequência (n°/mm ²)	0	29,07 a (10,97)	37,12 a (9,07)	25,64 a (8,65)
	1	18,48 a (2,87)	18,60 a (4,02)	17,20 a (1,52)
	2	15,57 a (0,50)	12,03 a (1,85)	15,88 a (1,93)
	3	13,72 a (2,56)	13,15 a (3,49)	13,93 a (3,23)
	4	12,49 a (0,36)	12,96 a (1,21)	13,13 a (1,17)
Diâmetro (µm)	0	51,02 a (9,00)	49,82 a (8,40)	54,47 a (4,04)
	1	70,50 a (5,14)	68,87 a (8,55)	61,41 a (4,06)
	2	81,77 a (8,66)	85,73 a (15,50)	66,04 b (6,64)
	3	91,21 a (6,33)	91,56 a (17,27)	82,08 a (5,53)
	4	99,37 a (5,69)	82,95 a (6,36)	90,33 a (6,82)
Porcentagem da área (%)	0	11,66 a (2,62)	13,97 a (2,03)	12,97 a (2,12)
	1	12,84 a (1,51)	11,90 a (1,73)	11,81 a (1,59)
	2	15,31 a (1,34)	12,24 ab (1,73)	10,87 b (1,13)
	3	15,60 a (1,48)	14,83 a (3,13)	13,35 a (2,48)
	4	18,67 a (2,03)	14,97 a (0,64)	15,11 a (2,19)

Médias seguidas de desvio padrão; numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p>0,05$)

Nos Tratamentos 1, 2 e 3 observou-se uma redução da frequência dos vasos no sentido radial do lenho das árvores, de 25-37 (próximo a medula) para 12-13 vasos/mm² (próximo a casca), sem diferença significativa entre os três tratamentos, exceto para algumas posições. A equação de ajuste dos valores segue modelo polinomial do 3° grau com altos valores de coeficiente de determinação.

O diâmetro tangencial dos vasos mostrou tendência de aumento no sentido radial do lenho das árvores em todos os tratamentos, a exceção do Tratamento 2 com redução do 3° → 4° cm (91,56→82,95 µm). A diferença significativa foi detectada no Tratamento 3 (2° cm), com vasos de menor diâmetro em relação a mesma posição nos Tratamentos 1 e 2. A equação da curva de ajuste dos valores segue modelo polinomial do (i) 3° grau para o Tratamento 2 e (ii) 2° grau para os Tratamentos 1 e 3 todos com altos valores de coeficiente de determinação.

A variação radial do diâmetro tangencial e da frequência dos vasos, no sentido medula-casca das amostras do lenho das árvores dos Tratamentos 1, 2 e 3 é apresentada nas Figuras 28 a 30.

No Tratamento 1 observa-se uma tendência do aumento da área ocupada pelos vasos no sentido radial do lenho das árvores de eucalipto. Nos Tratamentos 2 e 3 a % de área de vasos foi de 13-14% próximo a medula; de 11-12% no 1-2° cm; aumentando até a região próxima a casca (13-15%). A menor porcentagem de área ocupada pelos vasos ocorreu no Tratamento 3 (2° cm) diferindo significativamente dos demais tratamentos. A equação da curva de ajuste dos valores segue modelo polinomial do 3° grau para todos os tratamentos.

O modelo de variação radial do diâmetro e freqüência dos vasos no lenho das árvores de eucalipto apresentado neste estudo é o mesmo descrito para inúmeras espécies do gênero, como em *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* por Dadswell, 1958; Davidson, 1972; Bamber; Humphreys, 1963; Taylor, 1973a,b,c; Bamber; Floyd; Humphreys, 1969; Tomazello Filho, 1985a,b, 1987, 2006; Foelkel et al., 1983; Santos; Santin, 1984; Van Thua, 1977; Hudson; Wilson; Beveren, 1998; Leal et al., 2004; Veenin et al., 2005. É importante salientar a importância da dimensão e do número de vasos no lenho, considerando sua influência nos processos fisiológicos de transporte da seiva bruta no sentido ascendente e nas propriedades de utilização da madeira, afetando a penetração do licor, densidade e qualidade superficial dos papéis de impressão (CHEN; EVANS, 2004; COLLEY, 1975; SHALLHORNE; HEINZE, 1997).

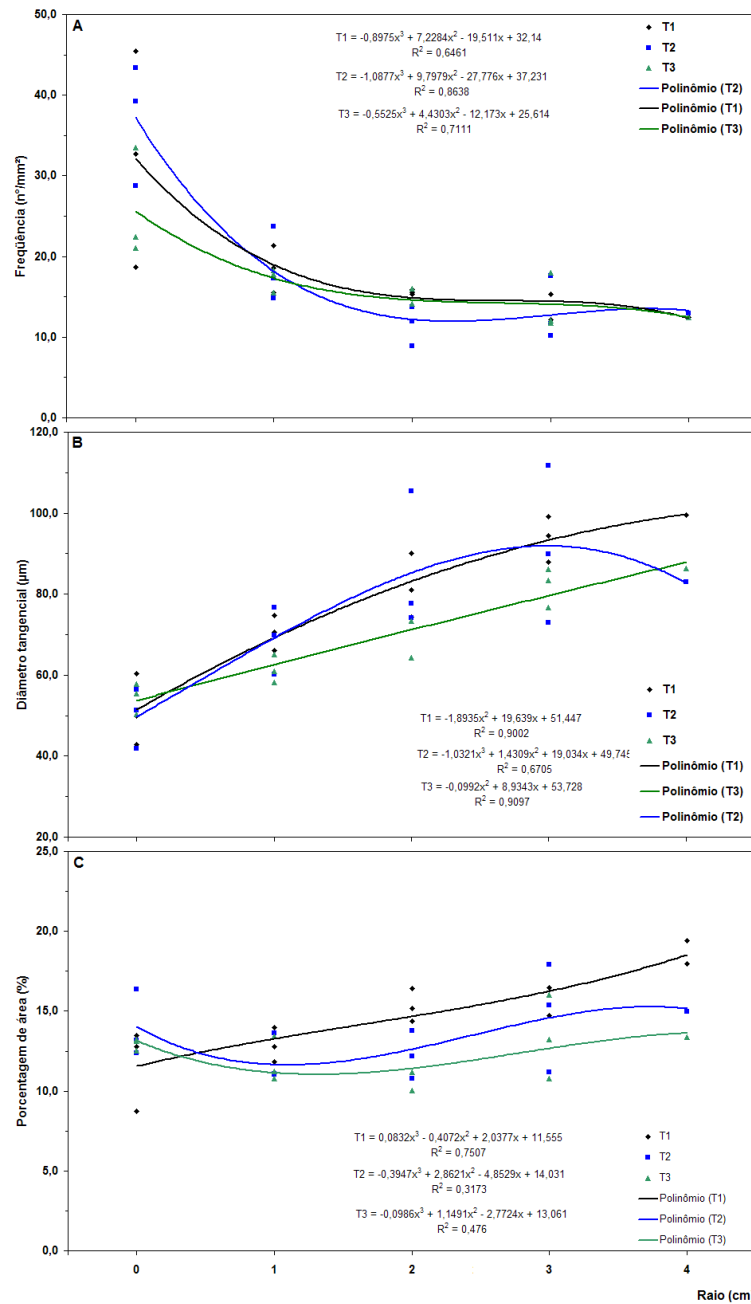


Figura 27 – Variação das dimensões dos vasos das amostras do lenho das árvores de eucalipto: freqüência (A), diâmetro tangencial (B) e porcentagem de área (C)

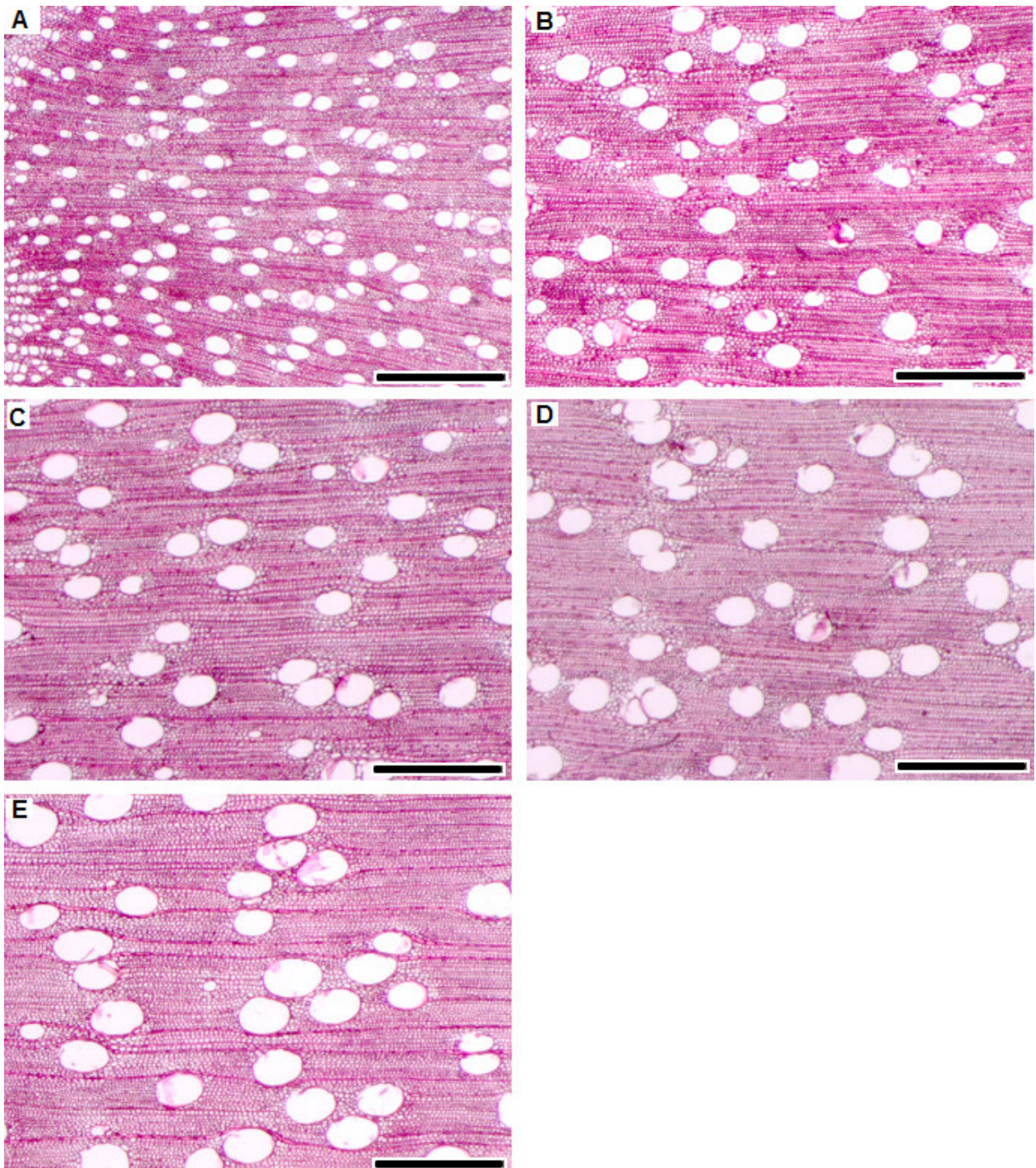


Figura 28 - Variação radial do diâmetro tangencial e da freqüência dos vasos no lenho das árvores de eucalipto do Tratamento 1 evidenciando redução da freqüência e aumento do diâmetro tangencial da região próxima a medula (A) até próxima a casca (E) . Aumento: 50 x. Barra = 200 μ m

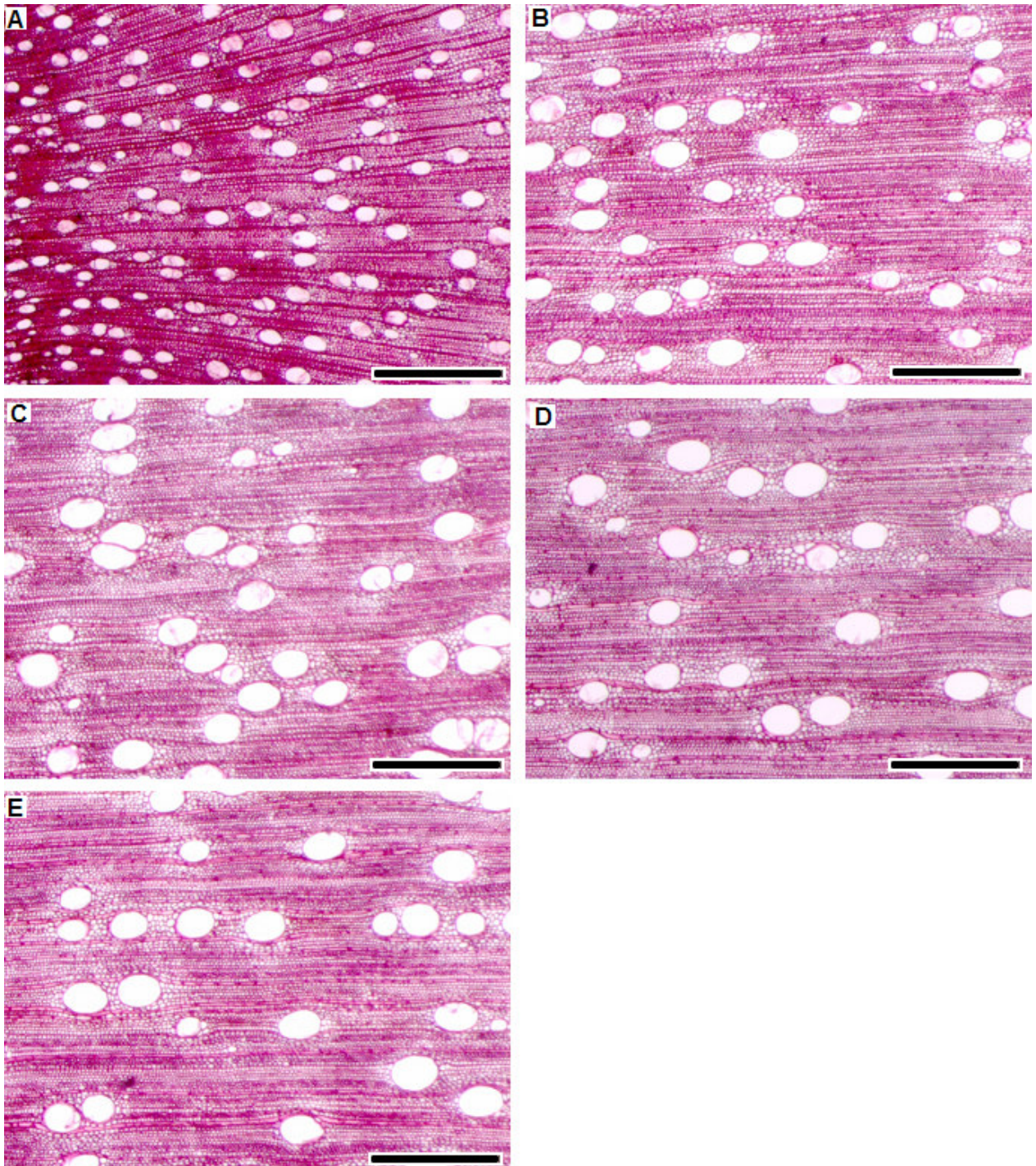


Figura 29 - Variação radial do diâmetro tangencial e da freqüência dos vasos no lenho das árvores de eucalipto do Tratamento 2 evidenciando redução da freqüência e aumento do diâmetro tangencial da região próxima a medula (A) até próxima a casca (E) . Aumento: 50 x. Barra = 200 µm

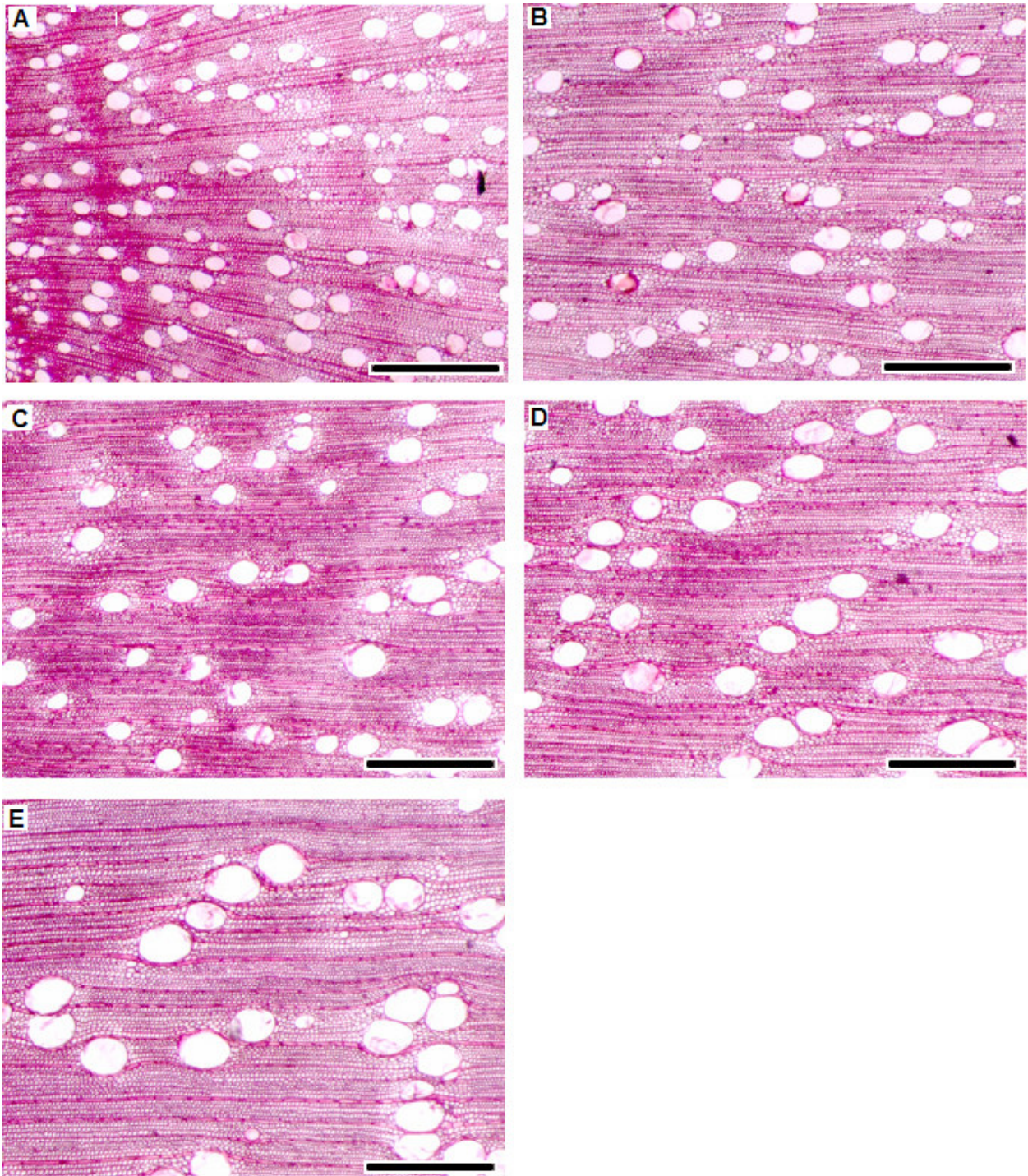


Figura 30 - Variação radial do diâmetro tangencial e da freqüência dos vasos no lenho das árvores de eucalipto do Tratamento 3 evidenciando redução da freqüência e aumento do diâmetro tangencial da região próxima a medula (A) até próxima a casca (E) . Aumento: 50 x. Barra = 200 µm

No presente estudo, as dimensões dos vasos não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos de fertilização, exceto no 2° cm do raio (menor diâmetro e porcentagem da área no Tratamento 3), não sendo detectados modelos de variação que possam definir um efeito da fertilização nas árvores de eucalipto, até a presente idade de 24 meses. Destaca-se que os vasos constituem o sistema de fluxo ascendente de seiva bruta das árvores, provendo a sua copa de água e sais minerais e, através do processo fotossintético, gerando carboidratos e hormônios para o seu crescimento (altura e diâmetro) e desenvolvimento e o excedente armazenado como carboidratos de reserva (amido). Como os resultados do inventário florestal e das avaliações acuradas dos dendrômetros não apontaram diferenças no volume de lenho (Tabelas 3 e 4), pressupõe-se que estas árvores desenvolveram um sistema de fluxo de seiva bruta similar, com respeito aos parâmetros dimensionais dos vasos. Para detectar o efeito da fertilização nas dimensões dos vasos faz-se necessária a realização de avaliação anatômicas posteriores, quando as árvores atingirem idades mais avançadas.

As referências sobre o efeito da fertilização nos elementos de vaso do lenho das árvores de eucalipto são raras na literatura, restringindo a discussão dos resultados. Bamber; Horne e Graham-Higgs (1982) reportaram a formação de vasos de menor diâmetro e de mais baixa freqüência no lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* de 2,5 anos, induzidas a altas taxas de crescimento pela aplicação de fertilizantes. Por outro lado, Andrade et al. (1994) verificaram que a calagem do solo induziu a formação de vasos de maior diâmetro no lenho de árvores de *Eucalyptus grandis*, de 6 anos e Tomazello Filho (2006) não observou significativas diferenças para as dimensões dos vasos em árvores de *Eucalyptus grandis x urophylla* submetidos a tratamentos de fertilização e irrigação.

4.1.3.4 Dimensões e freqüência de vasos por classes de área basal

Os resultados da avaliação das dimensões dos vasos na altura do DAP por classe de área basal das árvores de eucalipto nos três tratamentos são apresentados na Tabela 16 e Figura 31.

Tabela 16 – Variação das dimensões dos vasos por classe de área basal das árvores de eucalipto

Tratamento	Classes de Área basal	Frequência (n ^o /mm ²)	Diâmetro (µm)	Porcentagem da área (%)
1	Inferior	23,31 a (9,12)	66,29 a (20,94)	12,31 a (3,65)
	Média	18,86 ab (9,10)	79,85 a (18,73)	15,25 a (2,26)
	Superior	14,83 b (2,85)	78,58 a (14,84)	14,96 a (2,69)
2	Inferior	24,63 a (11,97)	63,13 a (14,82)	13,13 a (1,94)
	Média	20,34 ab (12,71)	87,58 b (23,84)	15,02 a (2,60)
	Superior	15,71 b (8,10)	73,61 ab(14,61)	12,24 a (1,94)
3	Inferior	18,71 a (1,86)	66,70 a (10,86)	13,36 a (2,06)
	Média	15,64 a (4,80)	68,14 a (12,48)	11,84 a (1,83)
	Superior	18,23 a (9,05)	73,03 a (17,03)	12,90 a (2,73)

Médias seguidas de desvio padrão; **para cada tratamento**, numa mesma coluna, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$)

Nos Tratamentos 1 e 2 a frequência dos vasos foi significativamente menor no lenho das árvores da classe superior (14,8-15,7 µm) em relação as da classe inferior (23,3-24,6 µm). No Tratamento 2 o diâmetro tangencial dos vasos foi significativamente maior no lenho das árvores médias (87,6 µm) do que nas árvores da classe inferior (63,1 µm). A porcentagem da área ocupada pelos vasos não mostrou diferença significativa para os 3 tratamentos.

Estes resultados corroboram os encontrados por Florshein et al (2000) que estudou a influência da posição sociológica de árvores de *Eucalyptus saligna* e constatou que as árvores pertencentes a posição sociológica dominante apresentaram maiores diâmetros tangenciais e menor frequência de vasos. De modo geral, as árvores de eucalipto pertencentes a classe de diâmetro inferior apresentam maior frequência de vasos (18,7-24,6 µm) e menor diâmetro tangencial (63,1-66,7 µm).

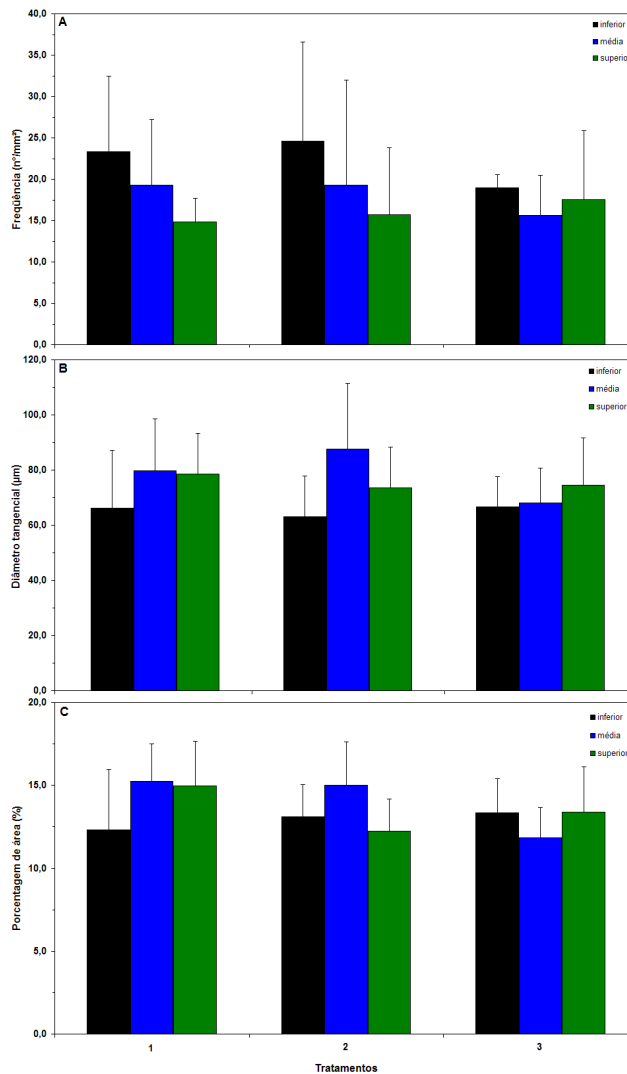


Figura 31 – Variação das dimensões dos vasos por classe de área basal das árvores de Eucalipto: freqüência (A), diâmetro tangencial (B) e porcentagem de área (C). Barras indicam desvio padrão

4.2 Experimento B: doses crescentes de adubo potássico, potássio com sódio e dose de sódio

4.2.1 Incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto

Os resultados dos incrementos mensais em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto são apresentados nas Tabelas 17-18 e Figura 32. Os períodos com incrementos máximo e mínimo em diâmetro do tronco das árvores, a exemplo do

Experimento A, ocorreram nos meses de fevereiro-maio e julho-agosto, respectivamente.

No que concerne as maiores taxas de crescimento em diâmetro do tronco correspondentes a fevereiro-maio, os incrementos acumulados foram de 0,62, 1,11 e 0,67 cm, ou seja, 37, 47 e 38% do incremento no período de 12 meses de monitoramento, nos Tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente (Tabela 18). Nesse período destacaram-se os meses de março e maio, com valores mensais de 7 a 14% do incremento anual em diâmetro do tronco das árvores.

Tabela 17 - Incremento mensal em diâmetro (cm) do tronco das árvores de eucalipto na altura do DAP

Mês	Tratamento						Média geral
	1		2		3		
Diâmetro inicial (cm)	6,60	(1,70)	8,30	(1,40)	7,50	(1,70)	
fev-06	0,13 a	(0,10) (08)	0,23 b	(1,30) (10)	0,14 a	(0,08) (08)	0,17 (0,12) (09)
mar-06	0,12 a	(0,09) (07)	0,32 b	(1,50) (14)	0,16 a	(0,11) (09)	0,20 (0,15) (10)
abr-06	0,15 a	(0,10) (09)	0,27 b	(1,20) (11)	0,16 a	(0,11) (09)	0,19 (0,12) (10)
mai-06	0,22 a	(0,12) (13)	0,29 a	(1,40) (12)	0,21 a	(0,12) (12)	0,24 (0,13) (13)
jun-06	0,18 a	(0,16) (11)	0,17 a	(1,40) (07)	0,15 a	(0,09) (08)	0,16 (0,14) (08)
jul-06	0,19 a	(0,11) (12)	0,19 a	(0,80) (08)	0,16 a	(0,08) (09)	0,18 (0,09) (09)
ago-06	0,13 a	(0,12) (07)	0,06 a	(0,60) (02)	0,09 a	(0,06) (05)	0,09 (0,11) (05)
set-06	0,15 a	(0,14) (09)	0,16 a	(0,12) (07)	0,20 a	(0,08) (12)	0,17 (0,13) (09)
out-06	0,14 a	(0,13) (08)	0,18 a	(0,18) (07)	0,15 a	(0,13) (09)	0,16 (0,16) (08)
nov-06	0,07 a	(0,04) (04)	0,07 a	(0,03) (03)	0,07 a	(0,03) (04)	0,07 (0,04) (04)
dez-06	0,14 a	(0,06) (08)	0,26 b	(0,08) (11)	0,17 a	(0,10) (10)	0,19 (0,10) (10)
jan-07	0,07 a	(0,07) (04)	0,16 b	(0,08) (07)	0,07 a	(0,06) (04)	0,10 (0,10) (05)
Diâmetro final (cm)	8,29	(2,30)	10,66	(2,10)	9,23	(2,00)	

Médias seguidas de desvio padrão e porcentagem mensal em relação ao incremento acumulado (IA); numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p>0,05$)

Com referência ao período julho-agosto, de menores taxas de crescimento em diâmetro do tronco das árvores, os incrementos acumulados foram de 0,32, 0,25 e 0,25 cm, ou seja, de 19, 10 e 14% do incremento total no período de monitoramento, nos Tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente (Tabela 18). Apesar da redução do diâmetro do tronco das árvores estar caracterizada em agosto observa-se, no entanto, o mesmo comportamento nos meses de novembro e de janeiro.

Cabe destacar que a presente série temporal de 12 meses de avaliação do crescimento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto restringe a explicação do seu comportamento havendo, necessidade, de ampliação do período de mensuração para, pelo menos, 3-4 anos, conforme já apontado no item 4.1.1.

Tabela 18 – Incremento em diâmetro do tronco (cm) das árvores de eucalipto

Parâmetro (cm)	Tratamento					
	1		2		3	
IA ¹	1,69	(0,04) (100)	2,36	(0,08) (100)	1,73	(0,05) (100)
IAmáx ²	0,62	(0,05) (37)	1,11	(0,04) (47)	0,67	(0,03) (38)
IAmín ³	0,32	(0,04) (19)	0,25	(0,04) (10)	0,25	(0,04) (14)
IMM ⁴	0,14	(0,04)	0,20	(0,08)	0,14	(0,05)
IMMmáx ⁵	0,15	(0,05)	0,28	(0,04)	0,17	(0,03)
IMMmín ⁶	0,16	(0,04)	0,13	(0,07)	0,12	(0,04)

Médias seguidas de desvio padrão e porcentagem dos incrementos acumulados máximo (IAmáx) e mínimo (IAmín) em relação ao incremento acumulado no período (IA);¹incremento em diâmetro do tronco acumulado no período (fev/2006 a jan/2007);²incremento em diâmetro do tronco acumulado no período de máximo crescimento (fev-maio/2006);³incremento em diâmetro do tronco acumulado no período de mínimo crescimento (jul-ago/2006);⁴incremento médio em diâmetro do tronco/mês;⁵incremento médio em diâmetro do tronco/mês no período de máximo crescimento (fev-maio/2006);⁶Incremento médio em diâmetro do tronco/mês no período de mínimo crescimento (jul-ago/2006)

Os incrementos acumulados em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto (Figura 32B) indicam, a exemplo da Figura 32A, períodos de incremento baixo (junho-agosto, novembro e janeiro) e alto (fevereiro-maio, setembro-outubro e dezembro) mais evidentes para o tratamento 2. Da mesma forma, mostram as diferenças entre os Tratamentos 1 e 3 em relação ao Tratamento 2, resultado dos diâmetros iniciais e taxas de incremento diferentes.

Dentre as variáveis susceptíveis de explicar o crescimento em diâmetro do tronco que foram testadas e analisadas numa regressão Stepwise ao nível de probabilidade de 5%, somente as variáveis, precipitação e temperatura foram selecionadas para compor o modelo de regressão. Através da análise de covariância (Anexo I, pág 139) determinou-se que a variabilidade do incremento em diâmetro do tronco é dependente da precipitação e da temperatura (significativos a 5%).

Com relação ao efeito dos 3 tratamentos de adubação sobre o crescimento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto verificou-se que as maiores diferenças nos incrementos mensais ocorrem, principalmente no período fevereiro-abril. Nos demais meses e principalmente em agosto, novembro e janeiro o efeito dos tratamentos de fertilização mostram significativa redução (Figura 32A).

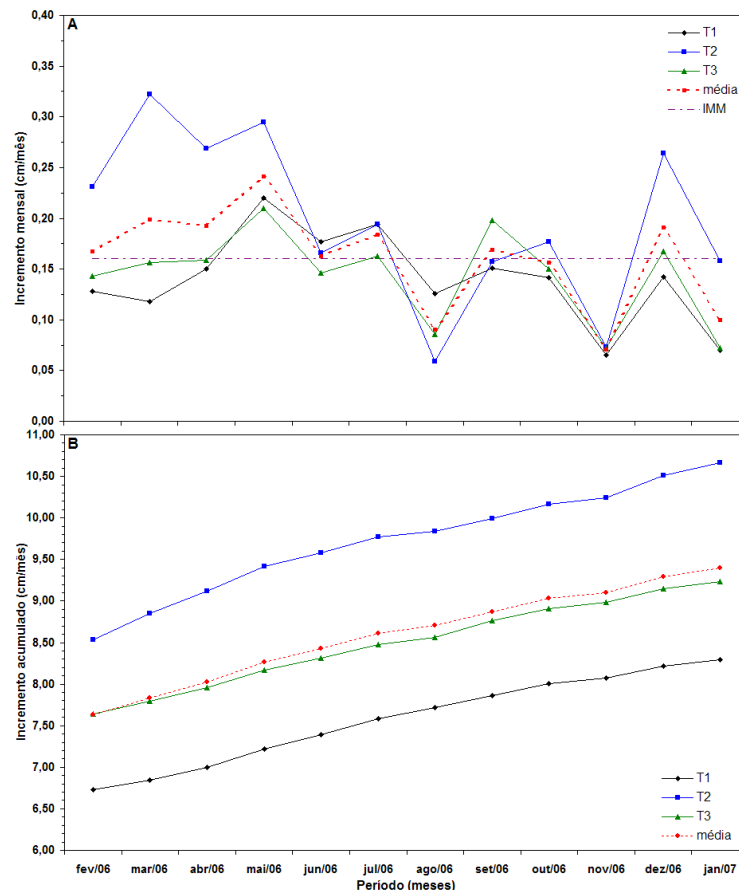


Figura 32 – Incremento mensal em DAP (A) e incremento acumulado (B) das árvores de eucalipto

O efeito da adubação sobre o crescimento em diâmetro do tronco das árvores é mais forte do que no experimento A, ocorrendo uma maior resposta das árvores a adubação com K do que com N. As árvores de eucalipto do Tratamento 2 (adubação convencional + suplementação de K) apresentaram taxas de crescimento em diâmetro do tronco superiores e significativas em relação as árvores dos dois outros tratamentos, no período de fevereiro-abril e dezembro-janeiro (Tabela 17). O incremento acumulado anual do diâmetro do tronco (IA) das árvores foi de 1,69, 2,36 e de 1,73 cm nos Tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente. Os demais parâmetros de incremento em diâmetro do tronco (Tabela 18) indicam a superioridade do Tratamento 2, ou seja, para o período de máximo (IAM_{máx}) crescimento, para o incremento médio mensal (IMM) nos 12 meses e no período de máximo (IMM_{máx}) crescimento. Contudo no período de mínimo crescimento (IAM_{mín} e IMM_{mín}), com destaque para o mês de agosto, as árvores de eucalipto do Tratamento 1 mostraram maiores incrementos em relação aos Tratamentos 2 e 3 (Tabelas 17 e 18), na ordem de 22%. Como as árvores de eucalipto

do Tratamento 1 possuem menores dimensões (diâmetro e volume real - Tabela 19) esse comportamento pode ser atribuído a menor superfície foliar e biomassa comparativamente as árvores dos demais tratamentos, face a baixa pluviosidade no mês de agosto, o que possivelmente propiciou menor estresse hídrico.

Os valores do diâmetro do tronco e de volume real de lenho das árvores de eucalipto dos três tratamentos no período inicial (fevereiro/2006) e final (janeiro/2007), as variações (Δ) (cm/m³ e %) são apresentados na Tabela 19. Da mesma forma, o Tratamento 2, com variação (Δ) do diâmetro do tronco e do volume real do lenho de 2,4 cm-0,03 m³, mostrou superioridade, significativa pelo teste estatístico em relação ao tratamento 1 (1,7cm-0,02m³) e não significativo em relação ao tratamento 3 (1,7 cm-0,02m³). Em valores percentuais os aumentos para diâmetro do tronco-volume do lenho foram de 26-121, 28-114 e 23-87%, para os Tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente (Tabela 19).

Tabela 19 - Diâmetro do tronco e volume real do lenho com casca das árvores de eucalipto com faixa dendrométrica nos períodos de medição inicial (22 meses) e final (33 meses)

Parâmetro	Período	Tratamento		
		1	2	3
Diâmetro do tronco (cm)	inicial	6,60 a (1,7)	8,30 b (1,4)	7,50 ab (1,7)
	final	8,29 a (2,3)	10,66 b (1,9)	9,23 ab (2,2)
	Δ	1,69	2,36	1,73
	%	26	28	23
Volume real c/c (m ³)	inicial	0,0147 a (0,0067)	0,0301 b (0,0085)	0,0243 b (0,0115)
	final	0,0325 a (0,0183)	0,0644 b (0,0260)	0,0455 a (0,0249)
	Δ	0,0178	0,0343	0,0212
	%	121	114	87

médias seguidas de desvio padrão; numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$); Δ - variação do diâmetro do tronco e volume real das árvores do início ao final do período de monitoramento; % - porcentagem da variação (Δ) em relação ao diâmetro e volume real inicial.

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); Gava (1997); Novais; Barros; Neves (1986); Barros; Novais; Neves (1990); Scatolini et al. (1996); Valeri et al. (1996) e Faria et al. (2002).

Os resultados dos inventários florestais conduzidos de forma sistemática nos três tratamentos têm mostrado as mesmas tendências obtidas através do uso de dendrômetros de aço (Tabela 20; Anexo C e D, pág. 137).

As árvores de eucalipto do Tratamento 3 (aplicação de Na) apresentaram crescimento ligeiramente superior ao das árvores no Tratamento 1 (controle) com incremento acumulado de 1,73 e 1,69 cm, respectivamente. Os inventários mostraram uma resposta significativa inicial do crescimento em altura e diâmetro à aplicação de Na no primeiro ano, sendo que está diferença se mantém depois durante o período de medição com dendrômetros. (Anexo C e D, pág.137)

O efeito positivo do Na no crescimento das árvores é de interesse econômico, pois a utilização do Na juntamente com o K, poderia reduzir os custos de implantação de reflorestamentos. Embora não se tenha informação na literatura a respeito do efeito do sódio ou da substituição de potássio por sódio nas espécies do gênero *Eucalyptus* alguns trabalhos fazem referências a esse elemento com os de Judd; Attiwil; Adan (1996) e Laclau et al. (2003). Marschner (1995) considera que a substituição do potássio por sódio é de interesse prático e científico, pois possibilitaria a utilização de fertilizantes mais baratos para algumas espécies tolerantes.

Tabela 20 - Diâmetro do tronco e volume real do lenho com casca das árvores de eucalipto das parcelas do experimento nos períodos inicial (24 meses) e final (30 meses)

Parâmetro	Período	Tratamento		
		1	2	3
Diâmetro do tronco (cm)	inicial	7,10 (2,1)	9,20 (1,7)	8,10 (2,0)
	final	8,00 (2,3)	10,40 (1,5)	9,10 (2,1)
	Δ	0,90	1,20	1,00
	%	12	13	12
Volume real c/c (m ³)	inicial	0,0203 (0,0195)	0,0402 (0,0148)	0,0299 (0,0156)
	final	0,0301 (0,0233)	0,0605 (0,0189)	0,0447 (0,0216)
	Δ	0,0098	0,0203	0,0148
	%	48	50	49

médias seguidas de desvio padrão; Δ - variação do diâmetro e volume real do tronco das árvores do início ao final do período de monitoramento; % - porcentagem da variação (Δ) em relação ao diâmetro e volume real inicial.

4.2.1.1 Incremento em diâmetro do tronco por classes de área basal

Os resultados das avaliações dendrométricas (DAP, altura e volume de lenho) das árvores de eucalipto por classe de área basal para os três tratamentos são apresentados na Tabela 21 e os intervalos e diâmetro médio de cada classe são apresentados no Anexo F e G, pág. 139, evidenciando as diferenças existentes aos 24 meses de idade.

Tabela 21 – Dados dendrométricos das árvores de eucalipto aos 24 meses por classe de área basal

Tratamento	Classe	DAP médio (cm)	H média (m)	Volume real c/c médio (m ³)
1	inferior	5,7 (1,0)	8,9 (1,2)	0,0101 (0,0039)
	média	8,3 (0,6)	8,2 (0,6)	0,0216 (0,0045)
	superior	8,9 (0,2)	7,6 (1,8)	0,0226 (0,0058)
2	inferior	7,2 (0,8)	12,4 (0,6)	0,0246 (0,0053)
	média	9,3 (0,4)	10,6 (0,6)	0,0346 (0,0047)
	superior	10,4 (0,1)	11,1 (1,8)	0,0447 (0,0067)
3	inferior	5,7 (0,8)	10,5 (2,8)	0,0131 (0,0055)
	média	8,1 (0,5)	11,1 (1,1)	0,0273 (0,0036)
	superior	9,8 (0,2)	11,3 (1,2)	0,0406 (0,0042)

Médias seguidas de desvio padrão

Os resultados do incremento mensal em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto por classe de área basal são apresentados nas Tabelas 22 e 23 e Figura 33.

Os incrementos mensais em diâmetro do tronco das árvores no período de avaliação do experimento mostraram as variações sazonais gerais observadas anteriormente (ver item 4.2.1), com as árvores de todas as classes de área basal apresentando nítida redução das taxas de crescimento nos meses de agosto, novembro e janeiro.

Para cada tratamento foram detectadas diferenças significativas entre os meses do ano para as classes de área basal, sendo para o Tratamento 1 (março e julho), Tratamento 2 (fevereiro-maio e julho) e Tratamento 3 (março-maio e julho). Houve predominância dos períodos com maiores taxas de crescimento (fevereiro, março, abril e maio), a exceção do mês de julho das árvores dos 3 tratamentos.

De modo geral, assim como apresentado no experimento A, as árvores de eucalipto das classes superior e média obtiveram maiores e significativas taxas de incremento em diâmetro do tronco em comparação com as da classe inferior. 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.

Tabela 22 – Incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto por classe de área basal

Tratamento	Mês	Classe de área basal						Média geral				
		Inferior		Média		Superior						
1	Diâmetro inicial (cm)	5,70	(0,10)		8,30	(0,06)		8,90	(0,02)			
	fev-06	0,11 a	(0,10)	(07)	0,17 a	(0,10)	(08)	0,17 a	(0,08)	(08)	0,15	(0,04)
	mar-06	0,08 a	(0,08)	(06)	0,20 b	(0,09)	(09)	0,17 ab	(0,08)	(08)	0,15	(0,06)
	abr-06	0,13 a	(0,09)	(09)	0,19 a	(0,11)	(08)	0,20 a	(0,11)	(09)	0,17	(0,04)
	mai-06	0,19 a	(0,11)	(14)	0,27 a	(0,07)	(12)	0,27 a	(0,17)	(12)	0,24	(0,05)
	jun-06	0,14 a	(0,19)	(10)	0,25 a	(0,09)	(11)	0,25 a	(0,12)	(12)	0,21	(0,06)
	jul-06	0,15 a	(0,10)	(11)	0,27 b	(0,08)	(12)	0,29 b	(0,11)	(13)	0,24	(0,07)
	ago-06	0,12 a	(0,14)	(08)	0,14 a	(0,09)	(06)	0,14 a	(0,11)	(07)	0,13	(0,01)
	set-06	0,13 a	(0,18)	(09)	0,21 a	(0,12)	(09)	0,18 a	(0,10)	(08)	0,17	(0,04)
	out-06	0,12 a	(0,15)	(09)	0,19 a	(0,12)	(08)	0,17 a	(0,10)	(08)	0,16	(0,03)
	nov-06	0,06 a	(0,04)	(05)	0,07 a	(0,07)	(03)	0,06 a	(0,30)	(03)	0,06	(0,01)
	dez-06	0,13 a	(0,07)	(09)	0,19 a	(0,07)	(08)	0,21 a	(0,05)	(06)	0,18	(0,03)
	jan-07	0,06 a	(0,07)	(04)	0,10 a	(0,05)	(04)	0,16 a	(0,29)	(07)	0,11	(0,05)
	Diâmetro final (cm)	7,11	(0,15)		10,55	(0,10)		11,17	(0,05)			
2	Diâmetro inicial (cm)	7,20	(0,08)		9,30	(0,04)		10,40	(0,01)			
	fev-06	0,19 a	(0,11)	(09)	0,26 ab	(0,16)	(10)	0,34 b	(0,12)	(11)	0,27	(0,08)
	mar-06	0,28 a	(0,17)	(14)	0,35 ab	(0,11)	(13)	0,45 b	(0,09)	(14)	0,36	(0,09)
	abr-06	0,21 a	(0,09)	(10)	0,33 b	(0,09)	(12)	0,40 b	(0,13)	(13)	0,31	(0,10)
	mai-06	0,24 a	(0,07)	(12)	0,34 ab	(0,19)	(13)	0,45 b	(0,08)	(14)	0,34	(0,11)
	jun-06	0,14 a	(0,16)	(07)	0,18 a	(0,14)	(07)	0,25 a	(0,06)	(08)	0,19	(0,05)
	jul-06	0,17 a	(0,06)	(08)	0,21 ab	(0,09)	(08)	0,27 b	(0,06)	(09)	0,22	(0,05)
	ago-06	0,06 a	(0,13)	(03)	0,05 a	(0,08)	(02)	0,06 a	(0,10)	(02)	0,06	(0,01)
	set-06	0,10 a	(0,06)	(09)	0,13 a	(0,17)	(05)	0,11 a	(0,13)	(03)	0,14	(0,04)
	out-06	0,14 a	(0,16)	(07)	0,23 a	(0,25)	(09)	0,19 a	(0,09)	(06)	0,19	(0,05)
	nov-06	0,06 a	(0,03)	(03)	0,09 a	(0,04)	(03)	0,08 a	(0,01)	(02)	0,08	(0,02)
	dez-06	0,23 a	(0,07)	(11)	0,30 a	(0,08)	(11)	0,33 a	(0,12)	(10)	0,29	(0,05)
	jan-07	0,13 a	(0,07)	(06)	0,19 a	(0,08)	(07)	0,23 a	(0,07)	(07)	0,18	(0,05)
	Diâmetro final (cm)	9,15	(0,12)		11,96	(0,08)		13,56	(0,03)			
3	Diâmetro inicial (cm)	5,70	(0,08)		8,10	(0,05)		9,80	(0,02)			
	fev-06	0,11 a	(0,06)	(09)	0,16 a	(0,09)	(08)	0,19 a	(0,10)	(08)	0,15	(0,04)
	mar-06	0,09 a	(0,07)	(07)	0,18 ab	(0,11)	(10)	0,23 b	(0,10)	(10)	0,17	(0,07)
	abr-06	0,09 a	(0,05)	(07)	0,17 ab	(0,08)	(09)	0,26 b	(0,16)	(12)	0,18	(0,08)
	mai-06	0,15 a	(0,10)	(12)	0,23 ab	(0,11)	(12)	0,31 b	(0,14)	(14)	0,23	(0,08)
	jun-06	0,09 a	(0,06)	(07)	0,17 a	(0,07)	(09)	0,22 a	(0,10)	(10)	0,16	(0,06)
	jul-06	0,11 a	(0,06)	(09)	0,20 b	(0,08)	(11)	0,19 ab	(0,07)	(08)	0,17	(0,05)
	ago-06	0,08 a	(0,08)	(07)	0,08 a	(0,05)	(04)	0,10 a	(0,07)	(04)	0,09	(0,01)
	set-06	0,16 a	(0,08)	(13)	0,21 a	(0,09)	(11)	0,24 a	(0,08)	(11)	0,21	(0,04)
	out-06	0,13 a	(0,15)	(10)	0,16 a	(0,11)	(09)	0,17 a	(0,13)	(08)	0,15	(0,02)
	nov-06	0,07 a	(0,03)	(05)	0,07 a	(0,03)	(04)	0,08 a	(0,05)	(04)	0,07	(0,01)
	dez-06	0,13 a	(0,06)	(10)	0,20 a	(0,11)	(10)	0,18 a	(0,11)	(08)	0,17	(0,04)
	jan-07	0,05 a	(0,03)	(04)	0,08 a	(0,07)	(04)	0,08 a	(0,08)	(04)	0,07	(0,02)
	Diâmetro final (cm)	6,96	(0,11)		10,01	(0,09)		12,05	(0,09)			

Médias seguidas de desvio padrão e porcentagem mensal em relação ao incremento acumulado (IA) das classes de área basal; numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p>0,05$)

Tabela 23 – Incrementos em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto por classe de área basal

Tratamento	Parâmetro (cm)	Classe de área basal		
		Inferior	Média	Superior
1	IA ¹	1,41 (0,04) (100)	2,25 (0,07) (100)	2,27 (0,06) (100)
	IAmáx ²	0,51 (0,05) (36)	0,83 (0,05) (37)	0,81 (0,05) (37)
	IAMin ³	0,27 (0,02) (19)	0,41 (0,07) (18)	0,43 (0,07) (20)
	IMM ⁴	0,12 (0,04)	0,18 (0,07)	0,18 (0,06)
	IMMmáx ⁵	0,13 (0,05)	0,21 (0,05)	0,20 (0,05)
	IMMmin ⁶	0,14 (0,02)	0,21 (0,07)	0,21 (0,07)
2	IA	1,95 (0,07) (100)	2,66 (0,10) (100)	3,16 (0,14) (100)
	IAmáx	0,92 (0,04) (45)	1,27 (0,04) (48)	1,64 (0,05) (52)
	IAMin	0,23 (0,05) (11)	0,27 (0,08) (10)	0,33 (0,12) (10)
	IMM	0,16 (0,07)	0,22 (0,10)	0,26 (0,14)
	IMMmáx	0,23 (0,04)	0,32 (0,04)	0,41 (0,05)
	IMMmin	0,11 (0,05)	0,13 (0,08)	0,16 (0,12)
3	IA	1,26 (0,03) (100)	1,91 (0,05) (100)	2,25 (0,07) (100)
	IAmáx	0,44 (0,03) (35)	0,74 (0,03) (38)	0,99 (0,05) (44)
	IAMin	0,19 (0,01) (16)	0,28 (0,06) (15)	0,29 (0,06) (13)
	IMM	0,10 (0,03)	0,16 (0,05)	0,19 (0,07)
	IMMmáx	0,11 (0,03)	0,18 (0,03)	0,25 (0,05)
	IMMmin	0,10 (0,01)	0,14 (0,06)	0,14 (0,06)

Médias seguidas de desvio padrão e porcentagem dos incrementos acumulados máximo (IAmáx) e mínimo (IAMin) em relação ao incremento acumulado no período (IA);¹ incremento em diâmetro do tronco acumulado no período (fev/2006 a jan/2007);² incremento em diâmetro do tronco acumulado no período de máximo crescimento (fev-maio/2006);³ incremento em diâmetro do tronco acumulado no período de mínimo crescimento (jul-ago/2006);⁴ incremento médio em diâmetro do tronco/mês; ⁵ incremento médio em diâmetro do tronco/mês no período de máximo crescimento (fev-maio/2006);⁶ incremento médio em diâmetro do tronco/mês no período de mínimo crescimento (jul-ago/2006).

As árvores do Tratamento 1 apresentaram incrementos em diâmetro no período de 1,41, 2,25 e 2,27 cm nas classes inferior, média e superior, respectivamente. O melhor desempenho das árvores das classes média e superior foi resultante, principalmente, das taxas de crescimento no período de máximo crescimento (IAmáx.), com valores de 0,83 e 0,81 cm, respectivamente em relação a 0,51 cm da classe inferior. No entanto, não foram evidenciadas diferenças significativas entre as árvores das classes superior e média (Tabela 22), devido provavelmente a pequena diferença nos dados dendrométricos nas árvores destas classes no início das avaliações (Tabela 21).

Nas árvores do Tratamento 2 os incrementos em diâmetro do tronco acumulados foram de 1,95, 2,66 e 3,16 cm nas classes inferior, média e superior, respectivamente, com 45-52% ocorrendo no período de máximo crescimento (IAmáx.) representado pelos meses de fevereiro-maio (Tabela 23).

Nas árvores do Tratamento 3 os incrementos em diâmetro do tronco acumulado foram de 1,26, 1,91 e 2,25 cm nas classes superior, média e inferior. Assim como para o experimento A, as árvores da classe superior e média sofreram maior redução no incremento, no período de mínimo crescimento (IAMín), se comparados as árvores da classe inferior.

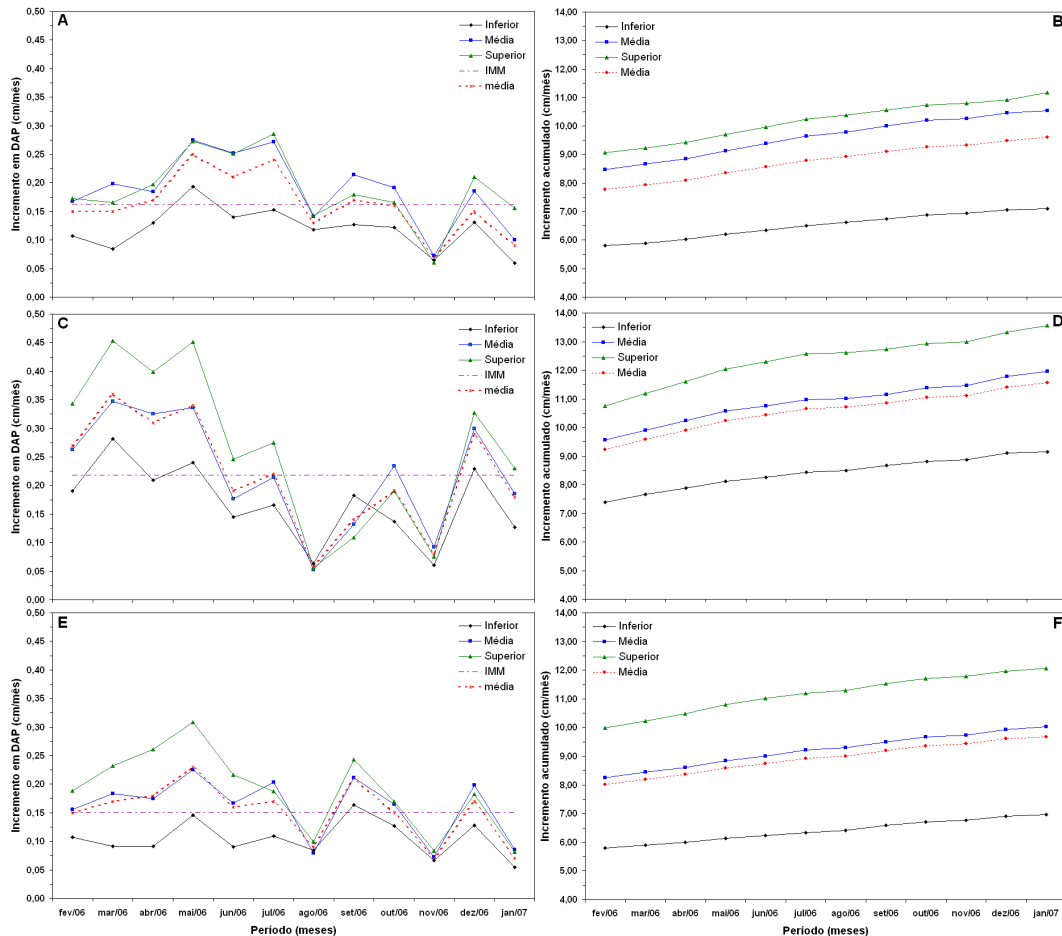


Figura 33 - Incremento em diâmetro do tronco e acumulado por classe de área basal das árvores de eucalipto: Tratamento 1 (A;B); Tratamento 2 (C;D) e Tratamento 3 (E;F)

4.2.2 Variação da densidade do lenho no sentido radial e longitudinal do tronco das árvores

4.2.2.1 Variação da densidade aparente do lenho no sentido radial por densitometria de raios X

Os perfis de densidade aparente do lenho das amostras radiais na altura do DAP das árvores de eucalipto, representativas de cada classe de área basal dos

Tratamentos 1, 2 e 3 são apresentados nas Figuras 34-36 e para todas as árvores analisadas no Anexo K (pág. 152).

No perfil densitométrico é indicada, através de setas, a posição da camada cambial no final do primeiro ano de crescimento do tronco das árvores de eucalipto e que variaram de 2,0-3,0; 3,5-4,0 e 4,0-5,0 cm no final das mensurações referente ao 2º ano nas árvores das classes de área basal inferior, média e superior, respectivamente. Da mesma forma do que o apresentado para o Experimento A, através da marcação no perfil densitométrico pode-se evidenciar um menor crescimento das árvores de eucalipto no primeiro ano e que os perfis, até a presente idade, não evidenciam a diminuição do crescimento (julho-agosto), bastante evidente através das faixas dendrométricas.

Os perfis de densidade aparente do lenho evidenciam um modelo de variação radial comum para todas as árvores de eucalipto nos três tratamentos com maiores valores de densidade na região da medula (0,80-1,30 g/cm³) com redução e estabilização dos valores na faixa de 0,35-0,50 g/cm³ em direção a casca. Conforme discutido para o experimento A, as diferenças encontradas nos perfis densitométricos analisados em relação aos citados na literatura se devem as variações entre madeira juvenil, de transição e adulta.

Os modelos de variação radial da densidade aparente do lenho das árvores de eucalipto dos três tratamentos, estabelecidos através de equações de regressão (Anexo J, pág 140) e sumarizados na Figura 37, evidenciam os maiores valores próximos a medula, seguidos de redução/estabilização e aumento em direção a casca.

Os valores de densidade aparente média, máxima e mínima do lenho na altura do DAP das árvores de eucalipto para os 3 tratamentos são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 – Valores de densidade aparente média, máxima e mínima do lenho das árvores de eucalipto

Tratamento	Densidade aparente (g/cm ³)		
	Média	Máxima	Mínima
1	0,5409 a (0,0278)	0,9101 a (0,1796)	0,3757 a (0,0420)
2	0,5243 a (0,0437)	0,9688 a (0,2726)	0,3716 a (0,0529)
3	0,5328 a (0,0525)	0,9444 a (0,1722)	0,3772 a (0,0870)

Médias seguidas de desvio padrão; numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente (p>0,05)

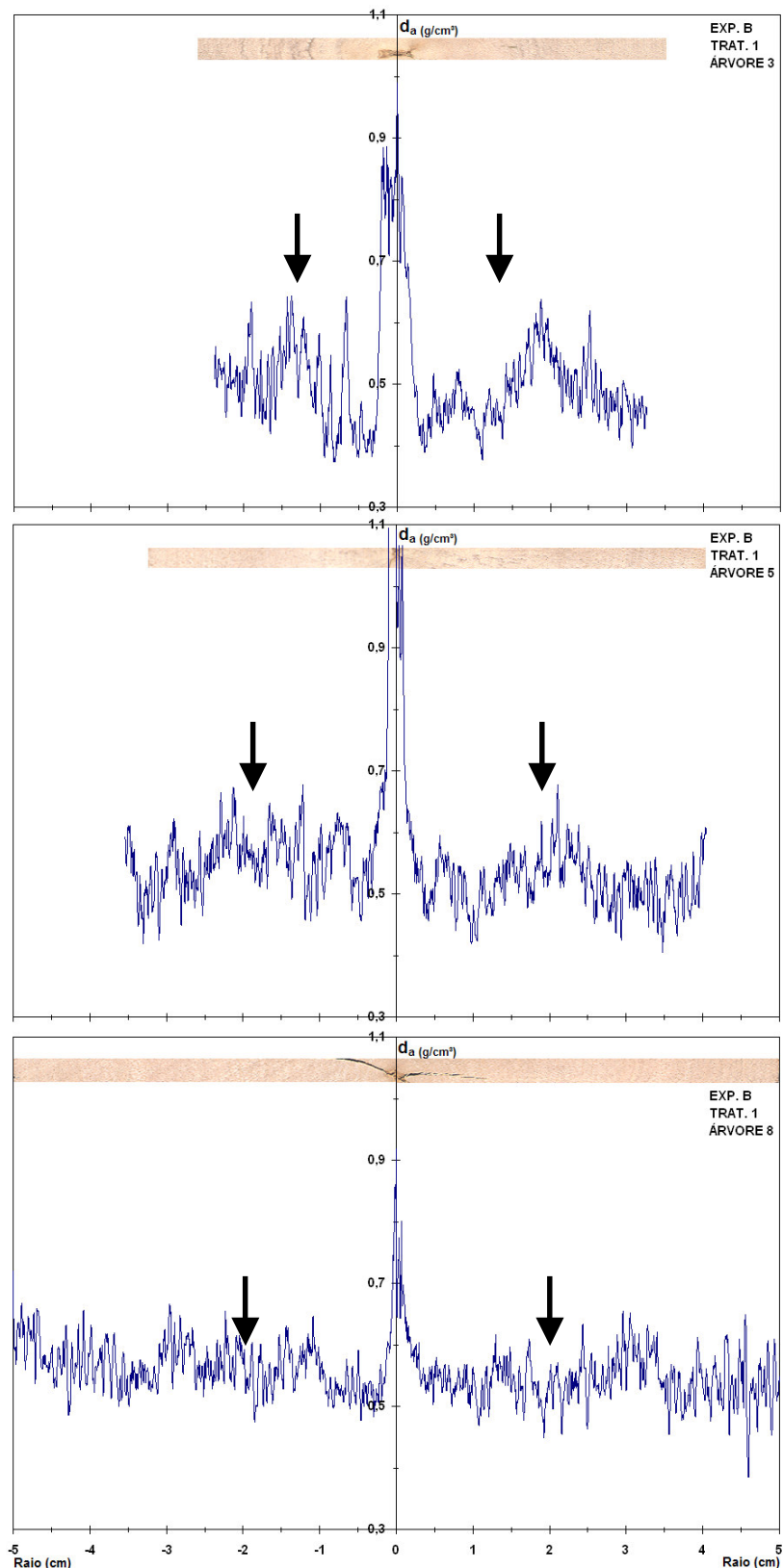


Figura 34 – Perfis de densidade aparente do lenho das amostras radiais das árvores de eucalipto: Tratamento 1 (árvores 3 - inferior, 5 - média e 8 - superior). Setas indicam a posição da camada cambial no final do 1º ano de crescimento

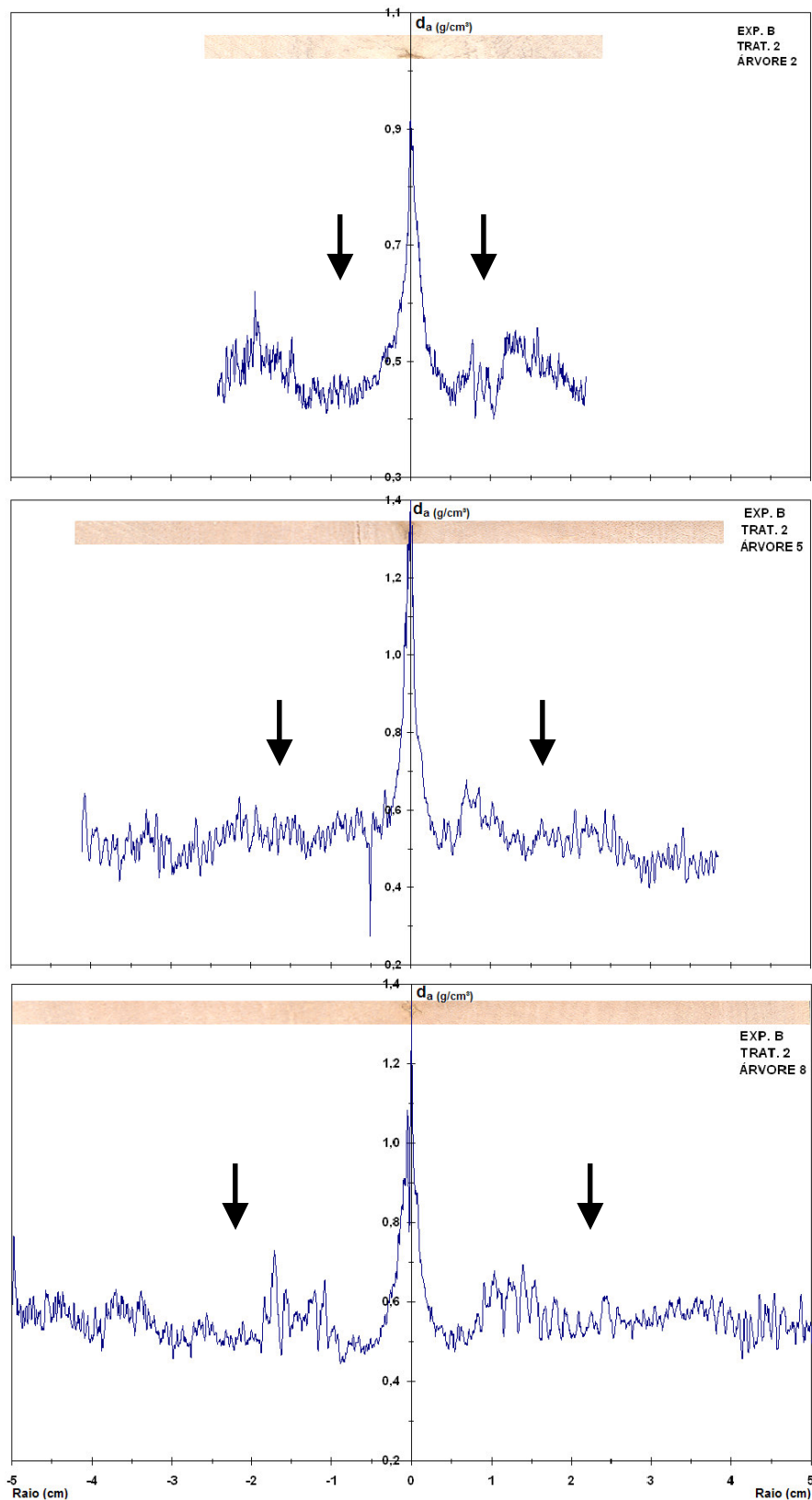


Figura 35 – Perfis de densidade aparente do lenho das amostras radiais das árvores de eucalipto: Tratamento 2 (árvores 2 - inferior, 5 - média e 8 - superior). Setas indicam a posição da camada cambial no final do 1º ano de crescimento

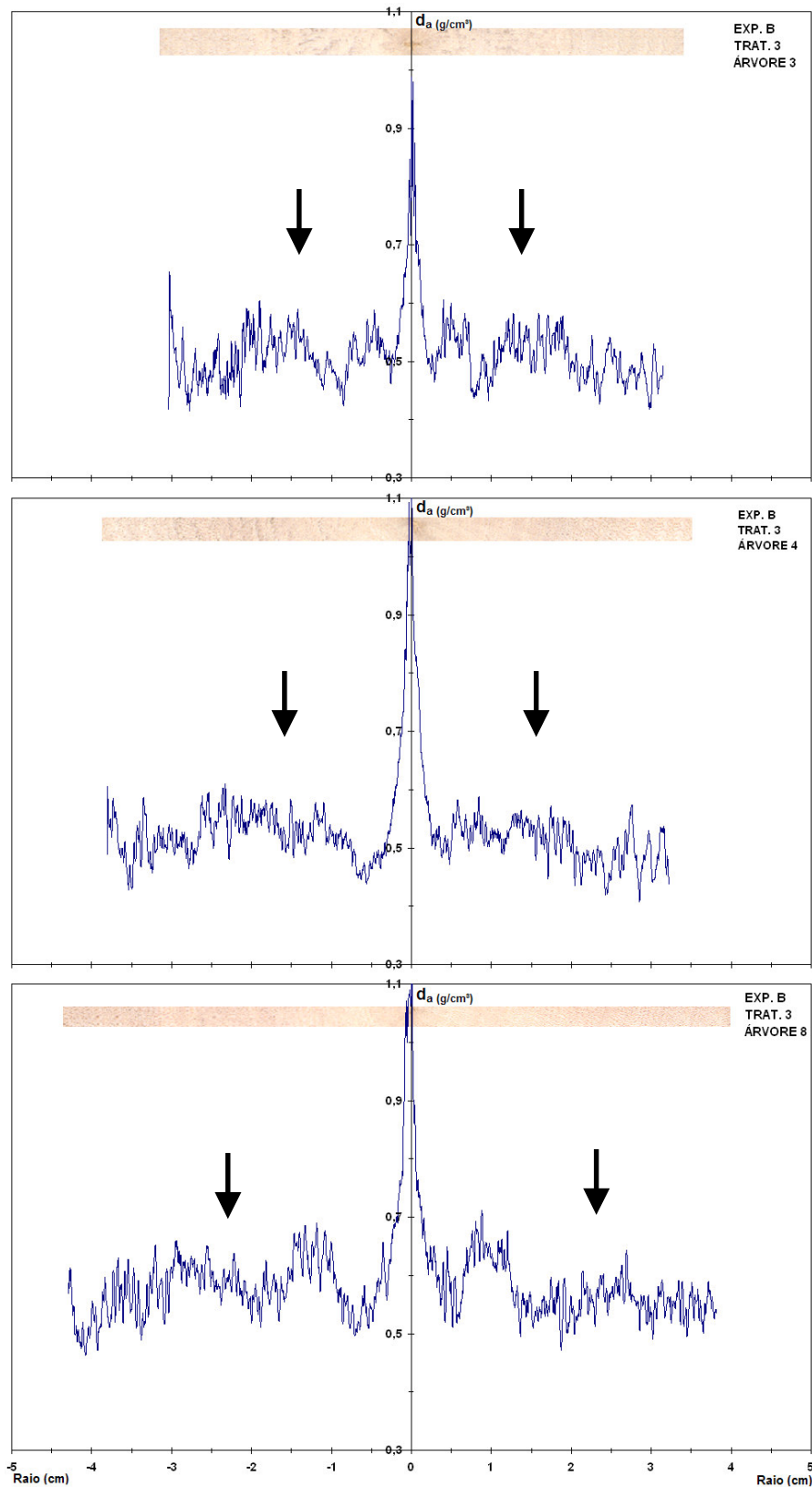


Figura 36 – Perfis de densidade aparente do lenho das amostras radiais das árvores de eucalipto: Tratamento 3 (árvores 3 - inferior, 4 - média e 8 - superior). Setas indicam a posição da camada cambial no final do 1º ano de crescimento

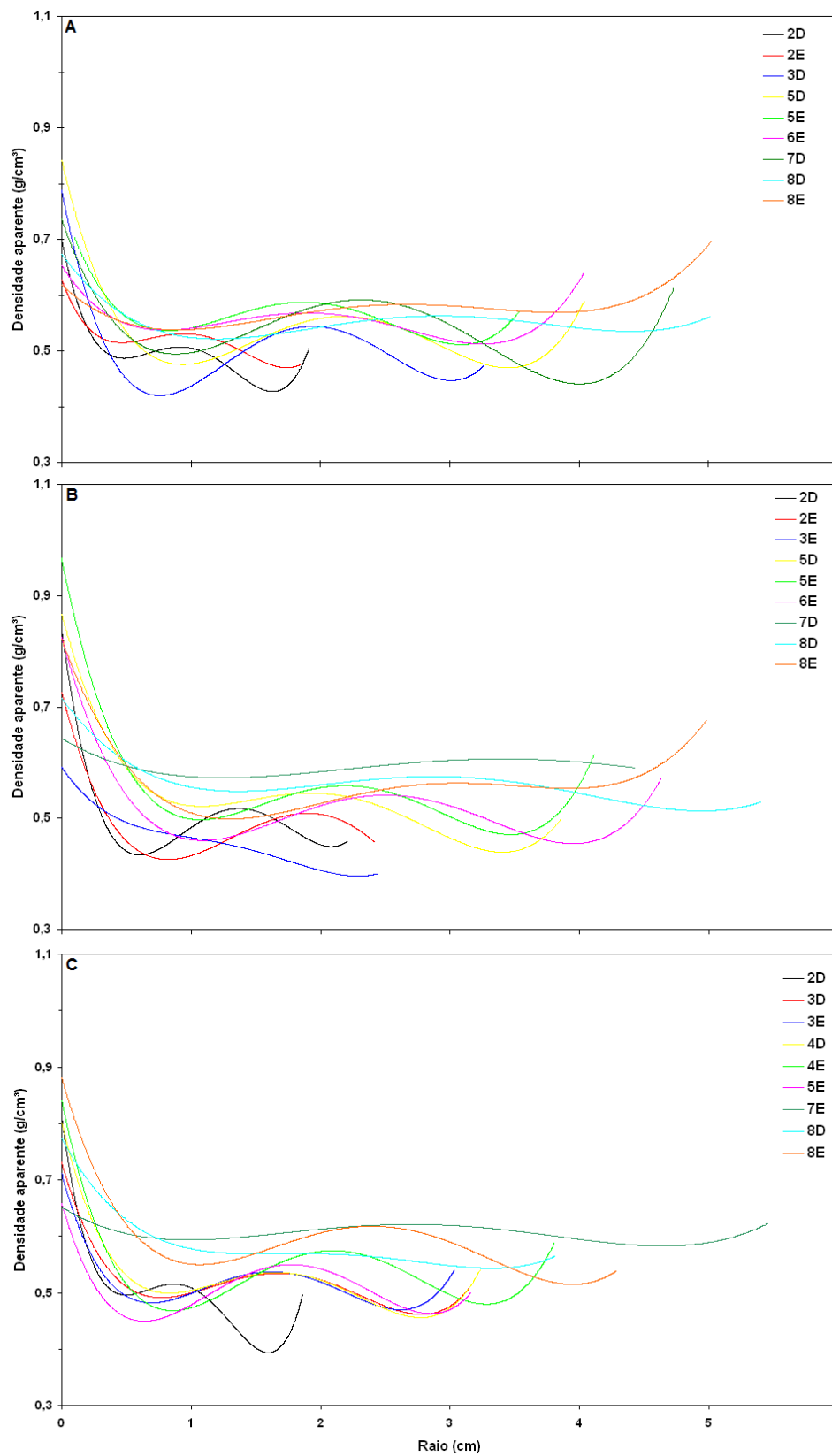


Figura 37 – Variação radial da densidade aparente do lenho das amostras radiais das árvores de eucalipto – Tratamentos 1 (A), 2 (B) e 3 (C). Legenda indica n° da árvore e o raio: direito (D) e esquerdo (E)

A densidade aparente média do lenho das árvores para os Tratamentos 1, 2 e 3 foi de 0,54, 0,52 e 0,53 g/cm³, respectivamente. Os valores de densidade do lenho dos tratamentos controle e com aplicação de sódio foram superiores, embora não significativos, em relação ao tratamento que recebeu potássio. Lamber; Horne e Graham-Higgs (1982) também não verificaram diferenças significativas 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. 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.

Conforme já mencionado e discutido para o experimento A os valores de densidade média aparente do lenho do eucalipto obtidos (0,52-0,54 g/cm³) são inferiores aos apontados por Benjamin (2006) e Tomazello Filho (2006) (0,65-0,70 g/cm³). Esta diferença está associada aos teores de madeira juvenil e adulta, sendo que a madeira juvenil, proveniente de árvores jovens, apresenta geralmente menor densidade que a das árvores adultas (HILLIS E BROWN, 1984). A densidade mínima aparente do lenho foi a mesma para os 3 tratamentos (0,37 g/cm³) e a densidade aparente máxima do lenho foi maior nos Tratamentos 2 (0,97 g/cm³) e 3 (0,94 g/cm³) em relação ao Tratamento 1 (0,91 g/cm³), apesar de não significativa.

4.2.2.2 Densidade aparente do lenho por classes de área basal

Os valores de densidade aparente do lenho na altura do DAP das árvores de eucalipto nos três tratamentos por classe de área basal são apresentados na Tabela 25 e Figura 38.

Tabela 25 - Densidade aparente média, mínima e máxima do lenho das árvores de eucalipto por classes de área basal

Tratamento	Classe de Área basal	Densidade aparente do lenho (g/cm ³)		
		Média	Máxima	Mínima
1	Inferior	0,5326 a (0,0371)	0,7768 a (0,1447)	0,3928 a (0,0391)
	Média	0,5541 a (0,0153)	1,0864 a (0,0129)	0,3331 a (0,0529)
	Superior	0,5444 a (0,0196)	1,0004 a (0,1150)	0,3839 a (0,0019)
2	Inferior	0,4751 a (0,0169)	0,7544 a (0,1426)	0,3501 a (0,0264)
	Média	0,5469 ab (0,0198)	1,1090 a (0,2664)	0,3632 a (0,0788)
	Superior	0,5642 b (0,0020)	1,0802 a (0,3401)	0,4166 a (0,0133)
3	Inferior	0,4902 a (0,0332)	0,8746 a (0,1658)	0,3212 a (0,1060)
	Média	0,5130 ab (0,0259)	1,0043 a (0,1493)	0,3553 a (0,0580)
	Superior	0,5887 b (0,0204)	0,9744 a (0,2300)	0,4479 a (0,0300)

Médias seguidas de desvio padrão; **para cada tratamento**, numa mesma coluna, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$)

Os resultados mostram que no Tratamento 1 as árvores de eucalipto da classe inferior apresentaram valores de densidade aparente média do lenho menores, embora não significativos, em relação as das classes média e superior, na ordem de 2-4%. Ainda no Tratamento 1 o valor de densidade aparente máxima das árvores da classe inferior foi de 0,78 g/cm³, menor porém, não significativo, do que os das árvores das classes média (1,08 g/cm³) e superior (1,00 g/cm³), na ordem de 30-40% .

Para o Tratamento 2 as árvores de eucalipto da classe inferior apresentaram valores de densidade aparente média do lenho menores, significativos em relação as das classe superior, na ordem de 19% e não significativos em relação a classe média, na ordem de 15%. Ainda no Tratamento 2 os valores de densidade aparente máxima e mínima das árvores não diferiram significativamente nas diferentes classes de área basal, apesar de terem sido constatados maiores valores de densidade aparente máxima na classe média (na ordem de 3-32%) e mínima na classe superior (na ordem de 13-16%).

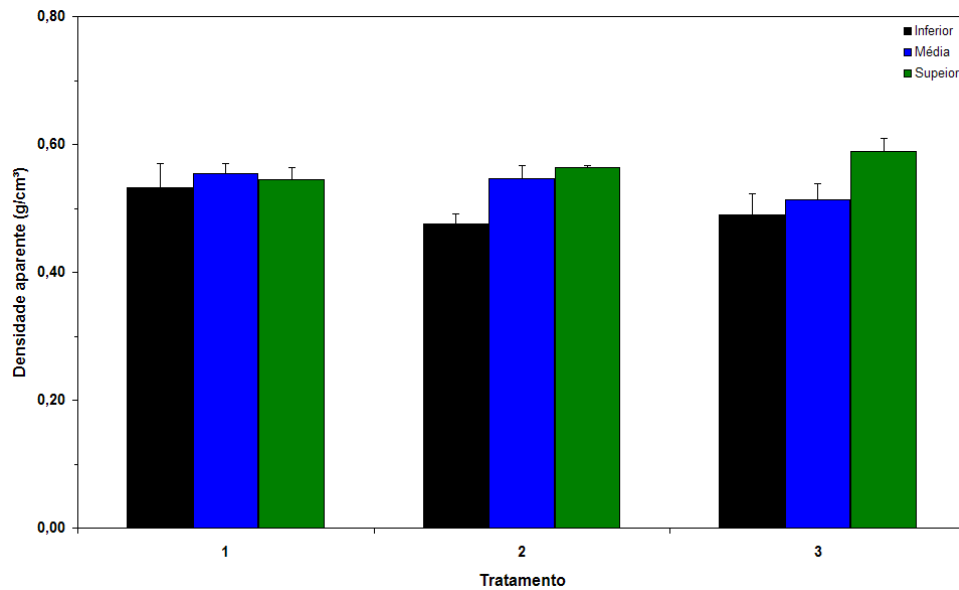


Figura 38 - Densidade aparente média do lenho por tratamento e classes de área basal das árvores de eucalipto. Barras indicam desvio padrão

No Tratamento 3 as árvores de eucalipto da classe inferior apresentaram valores de densidade aparente média do lenho menores ($0,49 \text{ g/cm}^3$), significativos em relação as das classe superior ($0,59 \text{ g/cm}^3$), na ordem de 20% e não significativos em relação a classe média ($0,51 \text{ g/cm}^3$), na ordem de 5%. Ainda no Tratamento 3 os valores de densidade aparente máxima e mínima das árvores não deferiram significativamente nas diferentes classes de área basal, apesar de terem sido constatados maiores valores de densidade aparente máxima na classe média (na ordem de 3-13%) e mínima na classe superior (na ordem de 21-28%). Assim como nos Tratamentos 2 e 3 do Experimento A, as árvores pertencentes as classes média e superior apresentaram densidade aparente média superior nos 3 tratamentos.

4.2.2.3 Variação da densidade básica do lenho no sentido longitudinal das árvores

Os valores de densidade básica do lenho nas diferentes posições do tronco das árvores de eucalipto nos Tratamentos 1, 2 e 3 são apresentados na Tabela 26 e Figura 39.

Tabela 26 – Variação da densidade básica do lenho no sentido longitudinal do tronco das árvores de eucalipto

Altura (m)	Tratamento		
	1	2	3
0,0	0,4144 a (0,0236)	0,4259 a (0,0166)	0,4085 a (0,0225)
1,3	0,3940 a (0,0263)	0,3919 a (0,0253)	0,3791 a (0,0264)
3,0	0,3928 a (0,0238)	0,3884 a (0,0245)	0,3770 a (0,0230)
6,0	0,3974 a (0,0228)	0,4043 a (0,0381)	0,3910 a (0,0376)
9,0	0,4144 a (0,0196)	0,4324 a (0,0228)	0,3940 a (0,0425)
12,0	0,3623 a (0,0125)	0,4262 b (0,0195)	0,3870 ab (0,0139)

Médias seguidas de desvio padrão; numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p>0,05$)

Os modelos de variação da densidade básica se caracterizam pelo seu decréscimo até 3 m de altura do tronco nas árvores do Tratamento 1 (0,41→0,39 g/cm³), 2 (0,42→0,38 g/cm³) e 3 (0,40→0,37g/cm³); segue-se um aumento até 9,0 m (0,39→0,41 g/cm³) no Tratamento 1, (0,38→0,43 g/cm³) no Tratamento 2 e (0,37→0,39 g/cm³) no Tratamento 3 e decréscimo até a porção terminal do tronco para todos os tratamentos. A equação de ajuste da curva de variação longitudinal da densidade básica do lenho mostrou uma tendência polinomial do 3º com altos valores de R² (0,92-0,97).

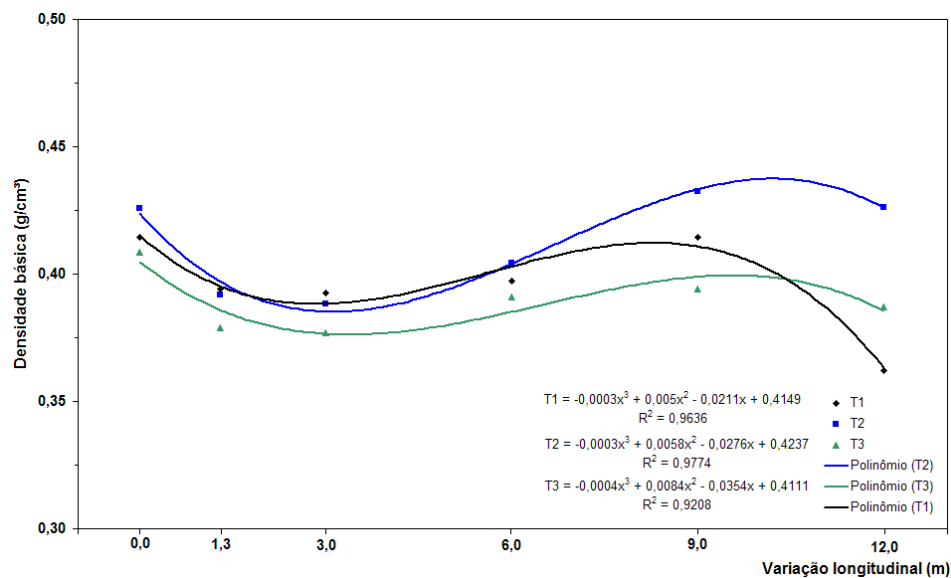


Figura 39 – Variação da densidade básica do lenho no sentido longitudinal do tronco das árvores de eucalipto

Os valores de densidade básica do lenho das árvores nos três tratamentos não mostraram diferenças significativas, exceto a 12,0 m de altura do tronco no Tratamento 2 com valores significativamente maiores em relação ao Tratamento 1.

Os valores longitudinais de densidade básica do lenho refletem na densidade básica média do lenho das árvores (Tabela 27): não houve diferença significativa entre os valores nos Tratamentos 1 (0,40 g/cm³), 2 (0,40 g/cm³) e 3 (0,39 g/cm³).

Tabela 27 – Densidade básica média das árvores de eucalipto

Tratamento	Densidade básica (g/cm ³)
1	0,3995 a (0,0194)
2	0,4005 a (0,0246)
3	0,3900 a (0,0301)

Médias seguidas de desvio padrão; médias seguidas de pelo menos uma letra igual na coluna não diferem significativamente ($p > 0,05$)

4.2.2.4 Densidade básica do lenho por classes de área basal

Os valores de densidade básica da madeira por classe de área basal das árvores de eucalipto nos três tratamentos são apresentados na Tabela 28 e Figura 40.

Tabela 28 – Densidade básica do lenho das árvores de eucalipto por classes de área basal

Tratamento	Classe de Área basal	Densidade básica do lenho (g/cm ³)
1	Inferior	0,4022 a (0,0192)
	Média	0,4012 a (0,0223)
	Superior	0,3923 a (0,0298)
2	Inferior	0,3748 a (0,0041)
	Média	0,4087 a (0,0181)
	Superior	0,4265 a (0,0039)
3	Inferior	0,3636 a (0,0160)
	Média	0,3795 a (0,0022)
	Superior	0,4234 a (0,0095)

Médias seguidas de desvio padrão; **para cada tratamento**, numa mesma coluna, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$)

Os resultados mostram que as árvores de eucalipto das classes de área basal média e superior apresentam maiores valores de densidade básica da madeira em relação as da classe inferior nos tratamentos 2 e 3, na ordem de 4-12%, apesar de não significativo e menores no Tratamento 1, na ordem de (0,5-2,5%), apesar de não significativo.

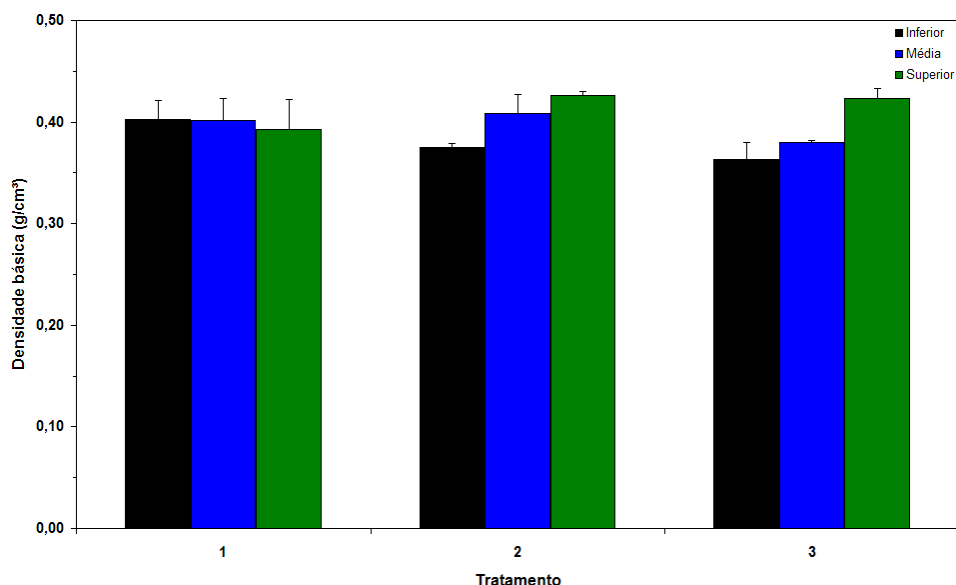


Figura 40 – Densidade básica por classe de área basal das árvores de eucalipto. Barras indicam desvio padrão (n=)

4.2.3 Variação da estrutura anatômica do lenho

4.2.3.1 Variação das dimensões das fibras no sentido radial do lenho

Os resultados da avaliação das dimensões das fibras e sua variação radial nas amostras do lenho do DAP das árvores de eucalipto nos três tratamentos estão apresentados na Tabela 29 e Figura 41.

Com relação a largura das fibras (Tabela 29 e Figura 41a) observa-se um modelo de variação radial similar ao encontrado no experimento A, com fibras de menor largura (16,13 – 17,38 μm) próxima a região da medula e de maior largura (17,81 – 19,28 μm) na região próxima à casca. Os valores radiais da largura das fibras não diferem entre os tratamentos, exceto na região intermediária (50% do raio), mostrando valores significativamente maiores nos Tratamentos 2 e 3. A equação da curva de ajuste dos valores segue modelo polinomial do 2º grau, com baixos valores de coeficiente de determinação, indicando uma alta variabilidade dos dados.

Tabela 29 – Variação das dimensões das fibras no sentido radial das amostras do lenho das árvores de eucalipto

Parâmetros	Posição radial (%)	Tratamentos		
		1	2	3
Largura (µm)	0	16,13 a (2,92)	17,38 a (3,60)	16,63 a (3,23)
	50	16,73 a (2,67)	18,95 b (3,06)	18,51 b (3,23)
	100	17,81 a (3,13)	19,09 a (3,54)	19,28 a (3,49)
Diâmetro do lume (µm)	0	8,74 a (2,51)	9,60 a (3,05)	9,61 a (2,49)
	50	9,72 a (2,21)	11,47 b (2,45)	11,74 b (2,87)
	100	10,91 a (2,61)	11,25 a (3,21)	12,00 a (2,80)
Espessura da parede (µm)	0	3,70 a (0,77)	3,73 a (0,98)	3,51 a (0,64)
	50	3,50 ab (0,66)	3,74 a (0,59)	3,39 b (0,56)
	100	3,45 a (0,67)	3,92 b (0,60)	3,64 ab (0,81)
Comprimento (µm)	0	558,15 a (129,73)	651,62 b (273,35)	610,46 ab (120,34)
	50	728,44 ab (140,78)	805,39 a (205,06)	717,88 b (123,39)
	100	785,57 a (168,25)	926,10 b (171,31)	932,68 b (193,16)

Médias seguidas de desvio padrão; numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p>0,05$)

O diâmetro do lume das fibras (Tabela 29 e Figura 41b) mostrou tendência de aumento no sentido radial, porém menos pronunciadas do que no experimento A, sendo significativamente menores a 50% do raio no Tratamento 1 (9,72 µm) em relação aos Tratamentos 2 e 3 (11,47 e 11,74 µm, respectivamente).

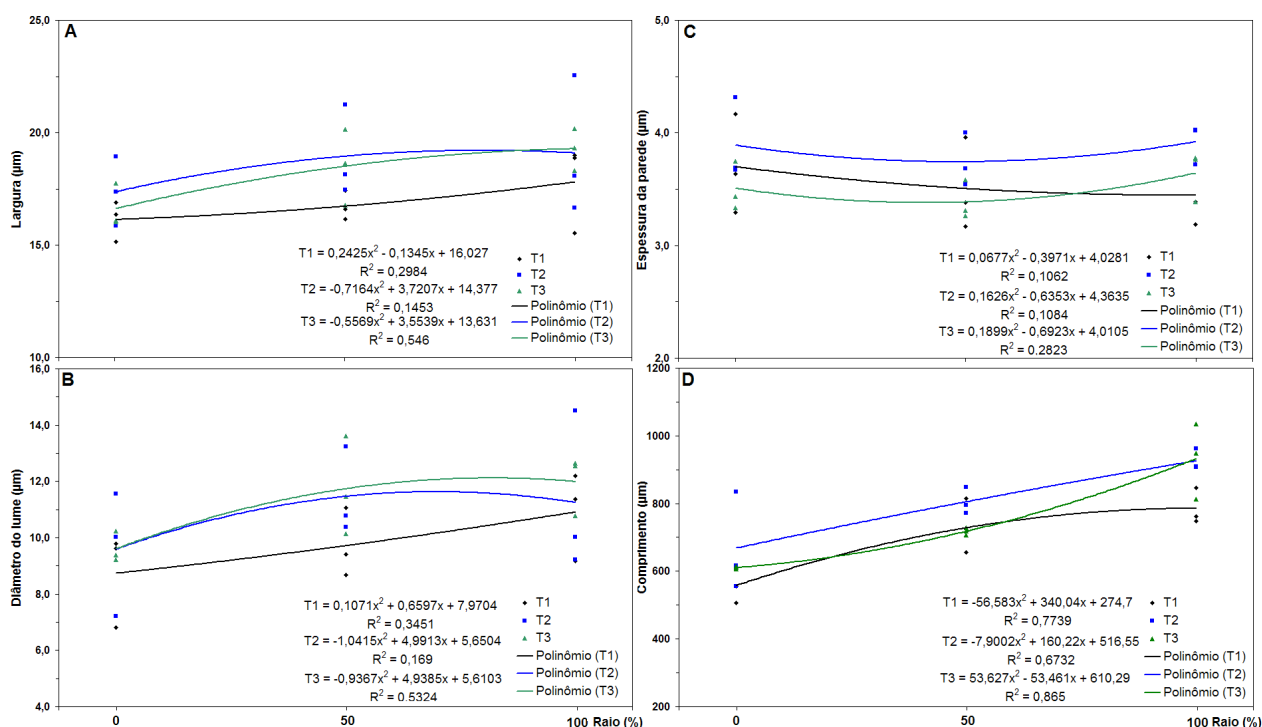


Figura 41 – Variação das dimensões das fibras no sentido radial das amostras do lenho das árvores de eucalipto: largura (A), diâmetro do lume (B), espessura da parede (C) e comprimento (D)

Com relação a espessura da parede das fibras (Tabela 29 e Figura 41c), assim como no experimento A, observou-se a indicação de inexistência de um modelo de variação radial. A curva de ajuste dos valores segue modelo quadrático, com baixos valores de coeficiente de determinação. Os Tratamentos 2 (3,74 μm) e 3 (3,39 μm) apresentam diferenças a 50% do raio e os Tratamentos 1 (3,45 μm) e 2 (3,92 μm) diferem significativamente entre si a 100% do raio.

O modelo de variação do comprimento das fibras segue o padrão do experimento A, também com diferenciação entre alguns tratamentos. O comprimento das fibras na região próxima a medula foi menor e significativamente diferente no Tratamento 1 (558,15 μm) se comparado ao Tratamento 2 (651,62 μm), na região intermediária (50% do raio) foi menor e significativamente diferente no Tratamento 3 (717,88 μm) se comparado ao Tratamento 2 (805,39 μm) e na região próxima à casca (100% do raio) no Tratamento 1 (785,57 μm) foi menor e significativamente diferente do que nos Tratamentos 2 (926,10 μm) e 3 (932,68 μm).

De maneira geral, as dimensões das fibras apresentaram maiores valores (nem sempre significativos) no lenho das árvores adubadas com potássio e sódio, conforme apontado anteriormente. A literatura apresenta diversos modelos de variação sobre o efeito da fertilização sobre os parâmetros das fibras, dentre eles o encontrado neste estudo (ver item 4.1.3.1)

Os valores médios das fibras apresentados na Tabela 29 divergem dos citados por Tomazello Filho (1985) para árvores de *Eucalyptus grandis* com 10 anos de idade para largura (23,0 μm), espessura (5,4 μm) e comprimento (1,2 μm) e se aproximam dos valores de diâmetro do lume (12,2 μm). Conforme já discutido esta diferença pode estar relacionada com a idade das árvores deste estudo.

4.2.3.2 Dimensões das fibras por classes de área basal

Os resultados da avaliação das dimensões das fibras na altura do DAP por classe de área basal das árvores de eucalipto nos três tratamentos são apresentados na Tabela 30 e Figura 42.

Tabela 30 – Variação das dimensões das fibras por classes de área basal das árvores de eucalipto

Tratamento	Classes de Área basal	Largura (μm)	Diâmetro do lume (μm)	Espessura da parede (μm)	Comprimento (μm)
1	Inferior	17,15 a (2,93)	9,75 a (2,84)	3,70 a (0,79)	640,73 a (154,64)
	Média	16,03 a (3,14)	9,45 a (2,45)	3,29 b (0,59)	706,34 ab (182,96)
	Superior	17,49 a (2,69)	10,17 a (2,47)	3,66 a (0,65)	725,09 b (178,57)
2	Inferior	19,88 a (4,32)	11,66 a (3,97)	3,96 a (0,96)	848,80 a (272,78)
	Média	17,86 b (2,85)	10,28 a (2,36)	3,79 a (0,60)	765,19 a (205,13)
	Superior	17,68 b (2,63)	10,39 a (2,28)	3,65 a (0,54)	771,12 a (238,49)
3	Inferior	19,35 a (3,34)	12,17 a (2,89)	3,59 a (0,67)	763,72 a (194,16)
	Média	17,68 b (2,77)	10,48 b (2,39)	3,60 a (0,67)	710,58 a (159,87)
	Superior	17,38 b (3,96)	10,69 b (3,16)	3,34 a (0,68)	786,72 a (234,66)

Médias seguidas de desvio padrão; **para cada tratamento**, numa mesma coluna, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p>0,05$)

Os Tratamentos 1, 2 e 3 apresentam diferenças significativas para algumas dimensões das fibras entre as classes de diâmetro, sendo maior largura nos Tratamentos 2 (19,88 μm) e 3 (19,35 μm) e diâmetro do lume no Tratamento 3 (12,17 μm) e menor comprimento das fibras para o Tratamento 1 (640,73 μm) no lenho das árvores da classe inferior, em relação a média e superior. Com relação a parede das fibras no lenho das árvores da classe inferior foi mais espessa em relação as demais classes, com diferenças significativas no Tratamento 1.

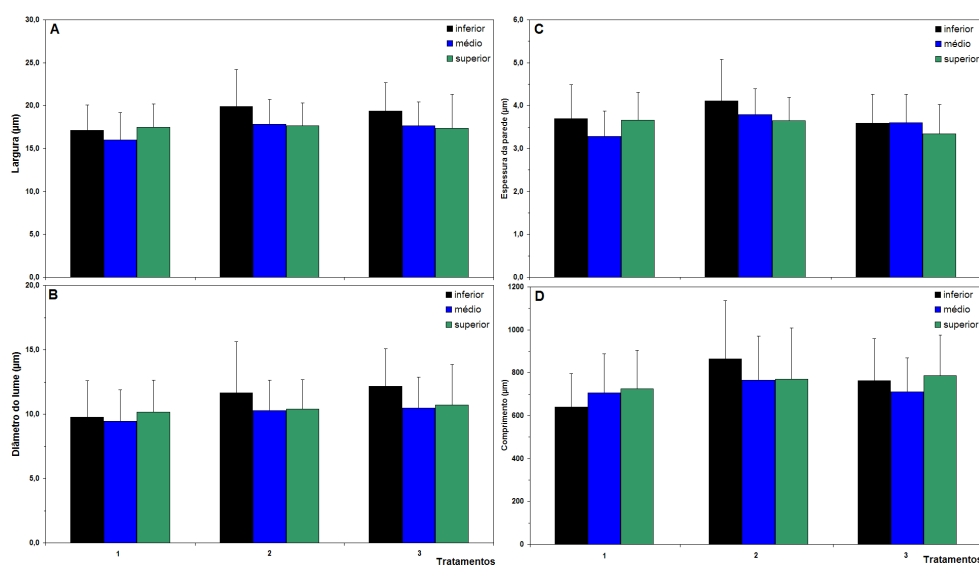


Figura 42 – Variação das dimensões das fibras por classe de área basal das árvores de eucalipto: largura (A), diâmetro do lume (B), espessura da parede (C) e comprimento (D). Barras indicam desvio padrão

4.2.3.3 Variação das dimensões e da freqüência dos vasos no sentido radial do lenho

Os resultados da avaliação das dimensões e da freqüência dos vasos e sua variação radial nas amostras do lenho do DAP das árvores de eucalipto dos três tratamentos são apresentados na Tabela 31 e Figura 43.

Tabela 31 – Variação das dimensões dos vasos no sentido radial das amostras do lenho das árvores de eucalipto

Parâmetros	Posição radial (cm)	Tratamentos		
		1	2	3
Freqüência (n°/mm ²)	0	33,74 a (9,83)	30,94 a (10,42)	34,40 a (8,90)
	1	19,53 a (1,97)	20,43 a (3,14)	20,58 a (2,37)
	2	15,76 a (1,29)	15,06 a (1,73)	14,01 a (2,14)
	3	14,83 a (2,38)	10,33 b (1,41)	12,61 a (1,53)
	4	13,31 a (1,26)	11,27 a (0,87)	10,39 a (1,23)
	5	13,66 a (0,93)	11,91 a (1,95)	
Diâmetro (µm)	0	51,46 a (7,09)	46,44 a (4,51)	46,50 a (5,67)
	1	64,21 a (6,95)	61,80 a (5,77)	63,86 a (4,63)
	2	75,28 a (6,90)	67,75 b (5,87)	80,73 a (6,21)
	3	88,02 a (6,95)	83,87 a (9,67)	90,42 a (7,14)
	4	87,57 a (2,26)	102,31 ab (8,89)	107,46 b (4,74)
	5	89,00 a (6,02)	104,21 a (6,52)	
Porcentagem da área (%)	0	11,79 a (1,14)	12,64 a (3,77)	11,46 a (1,08)
	1	10,61 a (2,01)	12,50 a (2,08)	12,09 a (0,80)
	2	11,91 a (1,51)	10,59 a (1,55)	13,11 a (1,20)
	3	13,98 ab (2,83)	11,16 b (0,74)	15,24 a (1,86)
	4	15,12 a (1,23)	17,23 a (1,02)	18,86 a (1,77)
	5	18,88 a (2,03)	18,59 a (1,29)	

Médias seguidas de desvio padrão; numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$)

Para a freqüência dos vasos observa-se a tendência de diminuição dos valores no sentido radial, com diferença significativa somente no 3° cm com menores valores (10,33 vasos/mm²) para o Tratamento 2 se comparado aos Tratamentos 1 (14,83 vasos/mm²) e 3 (12,61 vasos/mm²). Os Tratamentos 1 e 2 apresentaram diminuição da freqüência até o 4° e 3° cm, respectivamente com aumento na região próxima a casca. A freqüência dos vasos variou de 31-34 a 10-13 vasos/mm² nos Tratamentos 1, 2 e 3, da medula até a casca. A equação de ajuste dos valores segue modelo polinomial do 3° grau com altos valores de R².

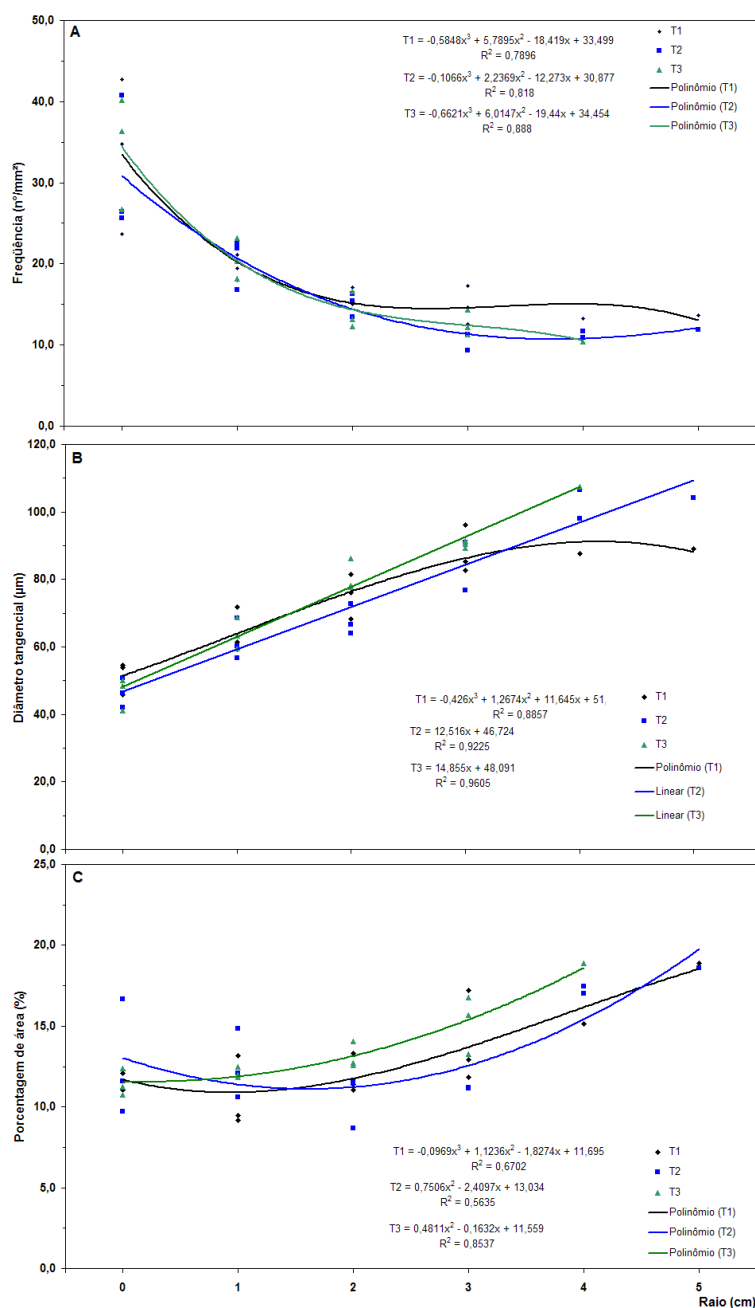


Figura 43 – Variação das dimensões dos vasos das amostras do lenho das árvores de eucalipto: frequência (A), diâmetro tangencial (B) e porcentagem de área (C)

Para o diâmetro tangencial dos vasos verifica-se uma tendência de aumento dos seus valores no sentido radial. No 2° cm, o Tratamento 2 mostrou um diâmetro tangencial menor e significativamente diferente dos demais tratamentos, bem como no 4° cm do tratamento 3, onde os vasos possuem o maior valor em diâmetro tangencial (107,46 µm) e significativamente diferente. A equação da curva de ajuste dos valores

segue modelo polinomial do (i) 3° grau para o Tratamento 1 e (ii) linear para os Tratamentos 2 e 3 todos com altos valores de coeficiente de determinação.

A variação radial do diâmetro tangencial e da frequência dos vasos, no sentido medula-casca das amostras do lenho das árvores dos Tratamentos 1, 2 e 3 é apresentada nas Figuras 44 a 46.

A área ocupada pelos vasos mostra uma tendência de aumento nos valores no sentido radial para o Tratamento 3. Nos demais tratamentos a tendência mostra valores altos próximo à medula (11,8-12,6%) com redução até o 1 - 2° cm (10,6%) e a partir destas posições aumenta até a região próxima a casca (19,0%). No 3° cm o Tratamento 2 apresentou a menor área ocupada pelos vasos e diferiu significativamente dos demais tratamentos. A equação da curva de ajuste dos valores segue modelo polinomial do (i) 3° grau para o Tratamento 1 e (ii) 2° grau para os Tratamentos 2 e 3.

As dimensões dos vasos não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos de fertilização, exceto em algumas posições do raio, conforme mencionado anteriormente. Como os resultados do inventário florestal e das avaliações acuradas dos dendrômetros apontaram diferenças no volume de lenho (Tabelas 19 e 20), pressupõe-se que estas desenvolveram um sistema de fluxo de seiva bruta diferente, apresentando xilema funcional e não funcional, que não foram determinados neste estudo.

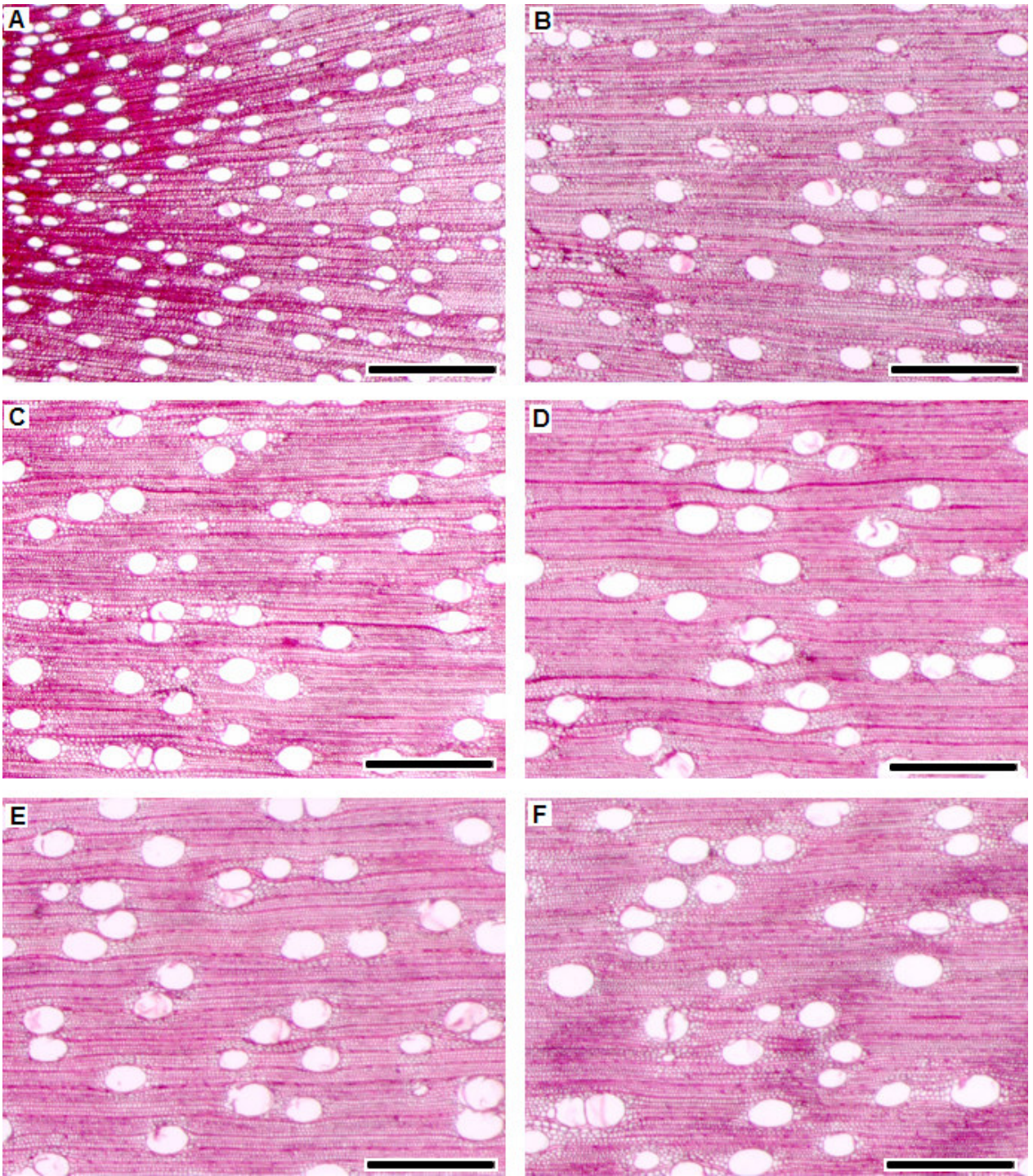


Figura 44 - Variação radial do diâmetro tangencial e da freqüência dos vasos no lenho das árvores de eucalipto do Tratamento 1 evidenciando redução da freqüência e aumento do diâmetro tangencial da região próxima a medula (A) até próxima a casca (F) . Aumento: 50 x. Barra = 200 μ m

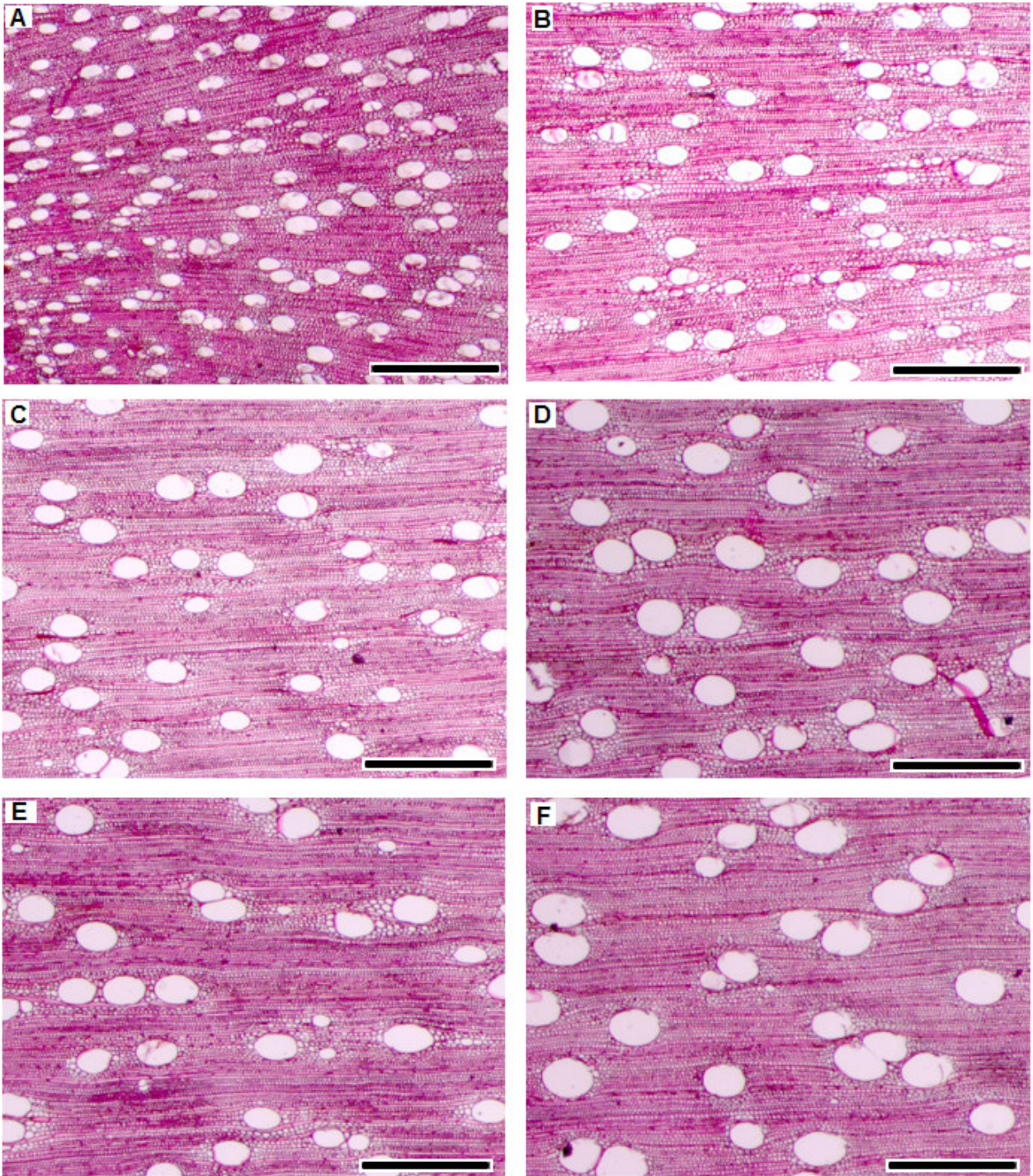


Figura 45 - Variação radial do diâmetro tangencial e da freqüência dos vasos no lenho das árvores de eucalipto do Tratamento 2 evidenciando redução da freqüência e aumento do diâmetro tangencial da região próxima a medula (A) até próxima a casca (F) . Aumento: 50 x. Barra = 200 μ m

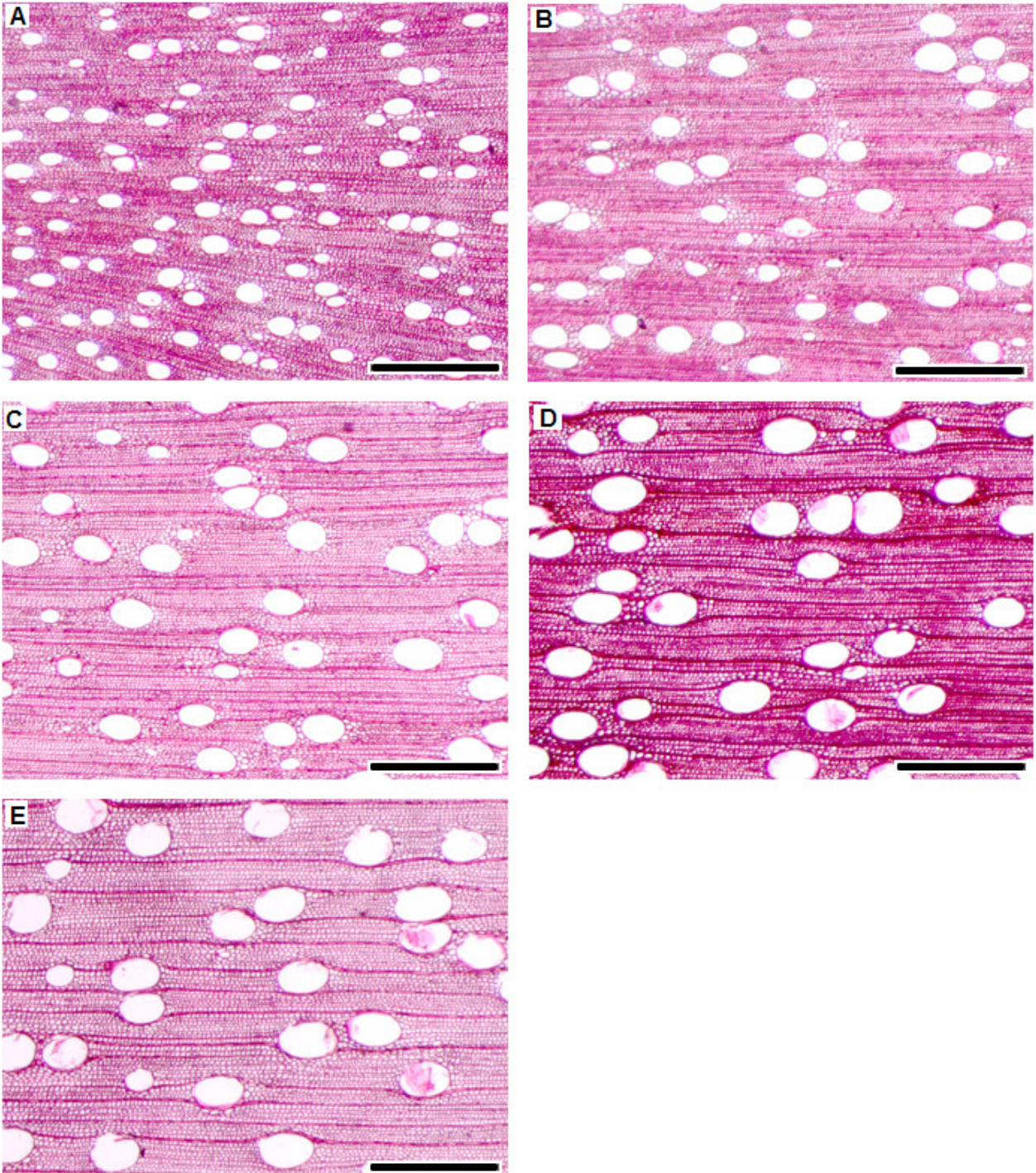


Figura 46 - Variação radial do diâmetro tangencial e da freqüência dos vasos no lenho das árvores de eucalipto do Tratamento 3 evidenciando redução da freqüência e aumento do diâmetro tangencial da região próxima a medula (A) até próxima a casca (E) . Aumento: 50 x. Barra = 200 μ m

4.2.3.4 Dimensões e freqüência de vasos por classes de área basal

Os resultados da avaliação das dimensões dos vasos por classe de área basal das árvores de eucalipto nos três tratamentos são apresentados na Tabela 32 e Figura 47.

Tabela 32 – Variação das dimensões dos vasos por classe de área basal das árvores de eucalipto

Tratamento	Classes de Área basal	Freqüência (n°/mm ²)	Diâmetro (µm)	Porcentagem da área (%)
1	Inferior	23,38 a (12,63)	69,14 a (15,12)	12,07 a (1,20)
	Média	21,31 a (8,53)	73,40 a (18,03)	12,94 a (3,34)
	Superior	16,64 a (4,27)	73,88 a (14,76)	13,14 a (3,33)
2	Inferior	21,21 a (5,54)	64,06 a (10,44)	12,05 a (2,57)
	Média	15,36 a (7,17)	74,13 a (22,95)	11,90 a (3,17)
	Superior	18,99 a (11,34)	73,62 a (23,22)	14,49 a (3,39)
3	Inferior	19,73 a (10,53)	73,74 a (18,11)	12,58 a (0,92)
	Média	23,58 a (11,42)	67,91 a (19,39)	13,51 a (2,45)
	Superior	16,39 a (7,03)	77,07 a (22,02)	14,04 a (3,17)

Médias seguidas de desvio padrão; **para cada tratamento**, numa mesma coluna, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente ($p > 0,05$)

Os resultados demonstram que não houve diferença significativa entre as classes de área basal nos diferentes tratamentos. Nos Tratamentos 1 e 2 a freqüência dos vasos foi maior no lenho das árvores da classe inferior (21,2 - 23,4 µm) em relação as da classe média (15,4-21,3 µm) e superior (16,6-19,0 µm). Ainda nos Tratamentos 1 e 2 o diâmetro tangencial dos vasos foi menor no lenho das árvores inferiores (64,0-69,0 µm) do que nas árvores da classe média (73,0-74,0 µm) e superior (73,0-74,0 µm). A área ocupado pelos vasos no lenho das árvores foi menor na classe inferior dos Tratamentos 1 (12,1µm) e 3 (12,6µm).

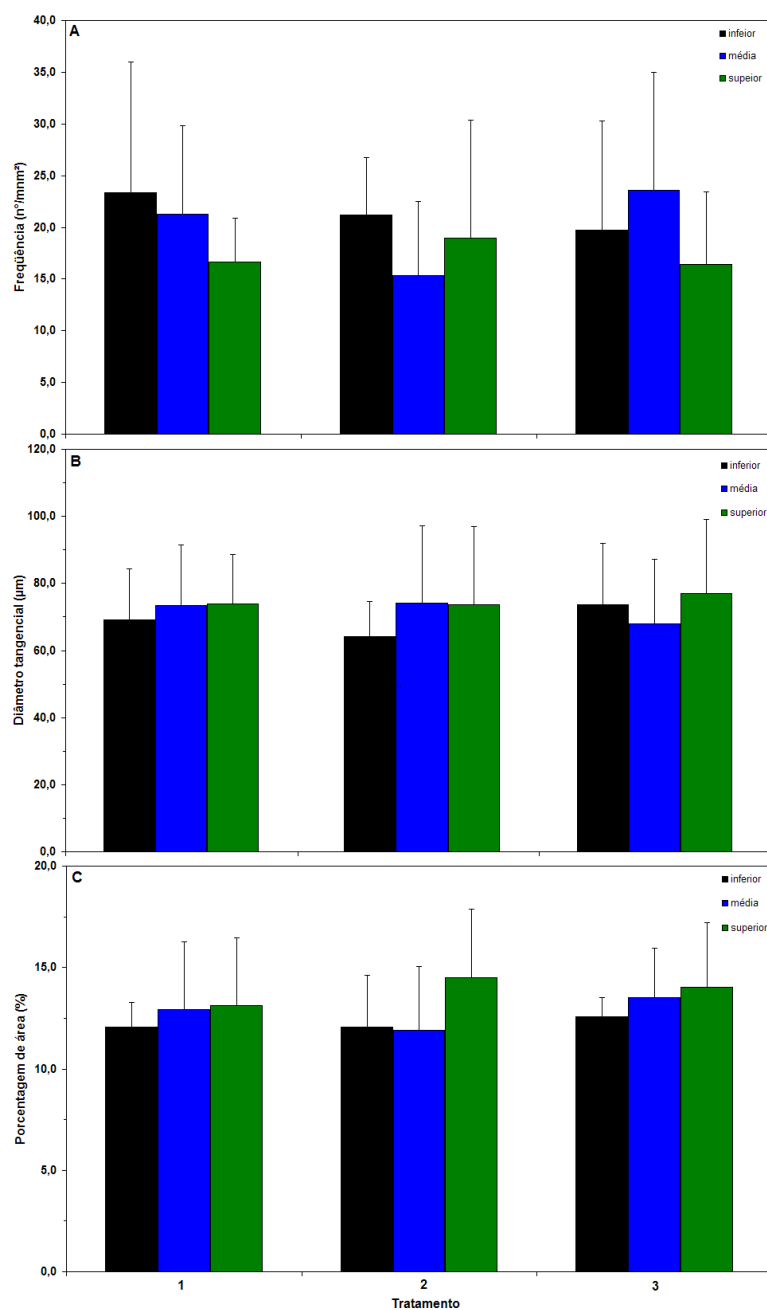


Figura 47 – Variação das dimensões dos vasos por classe de área basal das árvores de eucalipto: freqüência (A), diâmetro tangencial (B) e porcentagem de área (C). Barras indicam desvio padrão

5 CONCLUSÕES

Os resultados do **Experimento A** permitem concluir que:

- Para o incremento em diâmetro do tronco das árvores detectou-se um efeito da sazonalidade climática, com períodos de máximo (fevereiro-maio) e de mínimo (julho-agosto) crescimento.

- No tratamento testemunha (sem adubação nitrogenada) a taxa de crescimento em diâmetro do tronco das árvores foi maior e significativa nos meses de fevereiro-maio, exceto abril, caracterizado como o período de máximo crescimento, em relação as árvores dos tratamentos com aplicação de sulfato de amônio e lodo de esgoto.

- As árvores das classes de área basal superior e média apresentaram, em comparação com as da classe inferior, taxas de incremento em diâmetro do tronco maiores e significativas, principalmente nos períodos com maiores taxas de crescimento (março, abril, maio e setembro).

- Os perfis de densidade aparente do lenho evidenciam um modelo de variação radial comum e característico de madeira juvenil para todas as árvores de eucalipto nos três tratamentos, com maiores valores de densidade na região da medula, redução e estabilização dos valores em direção a casca.

- A densidade aparente média do lenho das árvores nos tratamentos com aplicação de adubo nitrogenado e lodo de esgoto foram maiores, embora não significativas, em relação as árvores testemunha, sem diferenças significativas entre as classes de área basal.

- A densidade básica do lenho mostra decréscimo da base até o 1,3-3,0 m; aumento até 6-9 m e decréscimo até o topo das árvores, não havendo diferenças entre as classes de área basal.

- A densidade básica média do lenho das árvores nos tratamentos com a aplicação de adubo nitrogenado (não significativo) e de lodo de esgoto (significativo) foram superiores em relação a testemunha.

- O modelo de variação radial das dimensões das fibras é caracterizado pelo aumento da largura, diâmetro do lume e comprimento com diferenças significativas para algumas dimensões nos 3 tratamentos e nas classes de área basal e a espessura da parede das fibras não apresentou um modelo definido de variação radial e diferenças entre os tratamentos.

- O modelo de variação radial dos elementos de vaso é caracterizado com aumento do diâmetro tangencial e da área ocupada e redução da frequência, sem apresentar diferenças significativas entre tratamentos e com diferenças significativas entre as classes de área basal.

Os resultados do **Experimento B** permitem concluir que:

- Para o incremento em diâmetro do tronco das árvores detectou-se um efeito da sazonalidade climática, com períodos de máximo (fevereiro-maio) e de mínimo (julho-agosto) crescimento.

- No tratamento com aplicação de potássio a taxa de crescimento em diâmetro do tronco das árvores foi maior e significativa nos meses de fevereiro-abril e dezembro-janeiro, em relação as árvores dos tratamentos testemunha e com aplicação de sódio.

- As árvores das classes de área basal superior e média apresentaram, em comparação com as da classe inferior, taxas de incremento em diâmetro do tronco maiores e significativas.

- Os perfis de densidade aparente do lenho evidenciam um modelo de variação radial comum e característico de madeira juvenil para todas as árvores de eucalipto nos três tratamentos, com maiores valores de densidade na região da medula, redução e estabilização dos valores em direção a casca.

- Não foram detectadas diferenças significativas para a densidade aparente do lenho das árvores de eucalipto nos diferentes tratamentos.

- A densidade básica do lenho mostra decréscimo da base até 3,0 m; aumento até 9,0 m e decréscimo até a porção terminal do tronco das árvores, sem diferenças significativas entre os tratamentos e classes de área basal.

- A densidade básica do lenho média não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos e classes de área basal.

- O modelo de variação radial das dimensões das fibras é caracterizado pelo aumento da largura, diâmetro do lume e comprimento e a inexistência de um modelo de variação para a espessura da parede celular, com diferenças significativas para algumas dimensões nos 3 tratamentos e nas classes de área basal.

- O modelo de variação radial dos elementos de vaso é caracterizado com aumento do diâmetro tangencial e da área ocupada e redução da frequência, com diferenças significativas para alguns parâmetros e posições radiais entre tratamentos e sem diferenças significativas entre classes de área basal.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Experimento A

As árvores de eucalipto adubadas com nitrogênio e lodo de esgoto apresentaram taxas mensais de incremento em diâmetro do tronco menores do que as testemunhas principalmente no período de máximo crescimento (Figura 15, pág 46). Como resultado no período final da avaliação o volume do lenho das árvores testemunha foi maior, embora não significativo, em relação aos demais tratamentos (Tabela 3, pág 48). Com relação as propriedades do lenho das árvores, (i) a densidade aparente média com a aplicação de adubo nitrogenado e de lodo de esgoto foi superior, embora não significativo em relação a testemunha (Tabela 8, pág 60), com perfis radiais de densidade comum para todas as árvores, sem diferença entre os tratamentos (Figuras 18-20, págs. 56-58); (ii) a densidade básica média do lenho foi superior e não significativa no tratamento com adubo nitrogenado e significativo para o de lodo de esgoto em relação a testemunha (Tabela 11, pág 64); (iii) as dimensões das fibras e vasos não mostraram variação em resposta a fertilização das árvores (Figuras 25 e 27, págs 68 e 74). Como síntese, as árvores de eucalipto de dimensões (diâmetro e altura) ou volume do lenho similares nos três tratamentos mostraram, da mesma forma, uma estrutura anatômica interna do lenho e densidade, de modo geral, sem diferenças significativas. As dimensões similares das árvores resultaram em estruturas internas do lenho semelhantes, face às idênticas demandas de sustentação do seu tronco (conferida pelas fibras) e de transporte de seiva bruta (conferidas pelos vasos). Destaque-se a necessidade das avaliações do crescimento e desenvolvimento das árvores de eucalipto nos três tratamentos por período mais extenso, compreendendo o ciclo de rotação para as diferentes aplicações da madeira, visando determinar as correspondentes alterações na estrutura e propriedades da madeira.

Experimento B

As árvores de eucalipto adubadas com potássio apresentaram taxas mensais de incremento em diâmetro do tronco maiores do que as testemunhas e adubadas com sódio principalmente no período de máximo crescimento e nos meses de dezembro e janeiro (Tabela 17, pág 81). Como resultado, no período final da avaliação o volume do lenho das árvores adubadas com potássio foi significativamente maior, em relação aos demais tratamentos (Tabela 19, pág 84). Com relação as propriedades do lenho das árvores (i) a densidade aparente média nas árvores testemunhas e com a aplicação de sódio foi superior, embora não significativa em relação as árvores adubadas com potássio (Tabela 24, pág 90), com perfis radiais de densidade comum para todas as árvores, sem diferença entre os tratamentos (Figuras 34 a 36, págs. 91 a 93); (ii) para a densidade básica média do lenho não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos de fertilização (Tabela 27, pág 99); (iii) as dimensões das fibras apresentaram maiores valores (nem sempre significativos) no lenho das árvores adubadas com potássio e sódio em relação as árvores testemunha (Tabela 29, pág 101) e as dimensões dos vasos não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos de fertilização, exceto em algumas posições do raio (Tabela 31, pág 104). As dimensões diferenciadas das árvores nos tratamentos resultaram em estruturas internas do lenho semelhantes com diferenças nos tecidos de sustentação do seu tronco (conferida pelas fibras), embora sem diferenças nos sistema de transporte de seiva bruta (conferidas pelos vasos). Destaque-se a necessidade da avaliação do xilema não funcional (cerne, com vasos obstruídos por tiloses) e funcional (alburno, vasos abertos) do lenho das árvores para explicar essa relação entre a sua dimensão e efetivo sistema condutor de seiva bruta. Da mesma forma, recomenda-se a necessidade de avaliações do crescimento e desenvolvimento das árvores por período mais extenso.

REFERÊNCIAS

ALVES M. V. G.; KOEHLER H. S.; MELLO FILHO B. de. **Tendências e Perspectivas para o Setor Florestal Brasileiro**. Disponível em:

<<http://www.iufro.org/uploads/media/t1-alves-marcos-diag-for-br.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2007.

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.

AMARAL, A. C. B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda*, através da microdensitometria de raios X. In: MEETING ON NUCLEAR APPLICATIONS, 4, 1997, Poços de Calda. **Programas e resumos...** São Paulo: SBF, 1997. p.202.

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.

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.; 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.; 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.; 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.

BARREIROS, R. M. **Modificações na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado**. 2005. 111p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2005.

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. 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.

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.

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.

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.

BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A. Nutrientes minerais e crescimento de árvores adubadas de *Eucalyptus grandis*, na região do cerrado, no estado de São Paulo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.26/27, p.17-28, jan./dez.1993.

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.

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.

BOUCHARDET, J. A. **Crescimento, características físicas e anatômicas da madeira juvenil de dois clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em resposta à aplicação de boro.** 2002. 69p. Tese (Mestrado em Recursos Florestais – Manejo de Florestas de Produção) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BOUVET, J. M.; BAILLERES, H. Expression of some growth and wood property traits among *Eucalyptus urophylla* x *grandis* clones in Congo. In: CRCTHF- IUFRO CONFERENCE, 1995, Hobart. Eucalypt plantations: improving fibre yield and quality; **Proceedings...** Hobart: CRC for Temperate Hardwood Forestry, 1995. p. 19-24.

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.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of Royal Statistical Society**, Series B, Canada, v. 26, p.211-246. 1964.

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.; 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.; 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., 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.

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.

CHAGAS, M. P. C.; TOMAZELLO FILHO, M.; LISI, C. S.; BRITO, J. O.; SCOLFORO, J. R. Caracterização dos anéis de crescimento e densidade da madeira de árvores de candeia *Eremanthus erithropappus* pela densitometria de raios x. Separata In: INTERNACIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE, 2005, Santos. **Anais...** Santos: ABEN, v.166, p.1-6, 2005.

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.

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

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.

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.

DAVIDSON, J. **Variation association and inheritance of morphological and wood characteres in an improvement programe for *Eucalyptus deglupta***. 1972. 263p . Tese (Doutorado em Tecnologia da Madeira) - Australian National University. Camberra. 1972.

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./set.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.

DIAS, R. L. V.; CLÁUDIO-DA-SILVA JR. E. A influência da densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* em suas características químicas e propriedades de polpação e do papel. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 18, 1985, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1985. p. 31-56.

EVANS. R.; DOWNES, G. Recent developments in automated wood quality assessment. In: IUFRO CONGRESS, 1995, Hobart. *Eucalypt* plantation: improving fibre 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: neu directions for research. Yale University, School of Forestry & Environmental Studies, Bulletin n.94, 9g. 31-54. 1981

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.

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, M.; KAGEYAMA, P. Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. **Silvicultura**, São Paulo, v. 2, n.14, p.148-152, 1978.

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.

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, p.179-191, 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.

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.

GOBATTO, G. **O biossólido como insumo agrícola**: subsídios para formação de preço – o estudo de caso da ETE Franca. 2003. 100p. Dissertação (Mestrado em Gestão Empresarial) - Centro Universitário de Franca – Administração, Franca, 2003.

GONÇALVES, J. L. M., MENDES, K. C. F. S.; SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p.601–616, 2001.

GONÇALVES, J. L. M., BARROS, N. F., NAMBIAR, E. K. S., NOVAIS, R. F. Soil and stand management for short-rotation plantations In: NAMBIAR, E. K. S., BROWN, A. G. (Ed.). **Management of Soil, Water, and Nutrients in Tropical Plantation Forests**. Canberra (Aciar, Monograph, 43). 1997, p. 379–418.

GREEN, J. W. Continuous measurements of radial variation in *Eucalyptus paniciflora* Sieb. Ex. Spreng. **Australian Journal of Botany**, Australia, v.17, p.191-198, fev. 1969.

GUEDES, M. C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis***. 2005. 154p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

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.

HARRISON, R. B.; GUERRINI, I. A.; HENRY, C. L.; COLE, D. W. Reciclagem de resíduos industriais e urbanos em áreas de reflorestamento. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n.198, p.1-21, jul. 2003.

HARRISON, R. B.; XUE, D.; HENRY, C.; COLE, D. W. Long-term effects of heavy applications of biosolids on organic matter and nutrient content of a coarse-textured forest soil. **Forest Ecology and Management**, Madison, v.66, n.1/3, p.165-177, jul. 1994.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. **Forest products and wood science**: an introduction. Ames: Iowa Sate University, 1982. 459p.

HENRY, C. L.; COLE, D. W. Use of biosolids in the forest: Technology, economics and regulations. **Biomass and Bioenergy**, New York, v.13, n.4/5, p.269-277, 1997.

HENRY, C. L.; COLE, D. W.; HINCKLEY, T. M.; HARRISON, R. B. The use of municipal and pulp paper sludge to increase production in forestry. **Journal of Sustainable Forestry**, New Haven, v.1, n.3, p.41-45, 1993.

HIGGINS, M. L.; RUDMAN, P. The effects of fertilizing and thinning on wood properties of *Eucalyptus regnans*. **Appita Journal**, Austrália, 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 fibre 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. 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.; ATTIWWIL, 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**. Austrália: CSIRO/Austrália, 1996. p.123-153.

KARSCHON, R. Soil evolution affected by Eucalyptus the effects of fertilizer applications on growth. In: CONFERENCIA MUNDIAL DO EUCALIPTO, 2, 1961, São Paulo. **Relatório e documentos...** São Paulo: FAO, 1961. v.2, p.897-910.

KIMBERLEY, M. O. A; WANG, H. A; WILKS, P. J. B; FISHER, C. R. B; MAGESAN, G. N. Economic analysis of growth response from a pine plantation forest applied with biosolids. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.189, n.1/3, p.345-351, Feb. 2004.

KOGA, M. E. T. Matérias-primas fibrosas. In: D' ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel: tecnologia da fabricação do papel**. 2 ed. São Paulo: IPT, 1988. v. 1. cap.3, p. 15-44.

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

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, maio 2005.

LACLAU, J. P.; POGGIANI, F. RANGER, J.; GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; LIMA, W. P. de. **Processos de transferência e balanço de água e de nutrientes em povoamentos de Eucalyptus que receberam aplicações de nitrogênio e de bio sólido: reflexos sobre a sustentabilidade.** 2007. 65p. Relatório apresentado a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP.

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.

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.

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.

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

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.

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.

MACNAB, W. H.; BERY, C. R. Distribution of aboveground in three pine species planted on a devastated site amended with sewage sludge or inorganic fertilizer. **Forest Science**, Bethesda, v.31, n.2, p.373-382, 1985.

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.

MALAN, F. S. Properties, processing and utilization of eucalypts: the South African experience. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1, 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 1998. p.134-143.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press. 1995. 889p.

MARIAUX, A. La périodicité des cernes dans les bois de limba. **Bois et Forêts des 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 des 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**. 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.

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.

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.

MOTHE, F.; DUCHANOIS, G. ZANNIER, B; LEBAN, J. M. Microdensitometric analysis of wood samples; data computation method used at Inra-ERQB (Cerd program). **Annals dès Foresters Sciences**, Nanci, v.55, n.3, p.301-313. 1998.

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.

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**, Austrália, 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**. 3rd ed. New York: Mcgraw-Hill, 1970. v.1.

POGGIANI, F.; SILVA, P. H. M. Biossólido aumenta produtividade de eucaliptos. **Revista Visão Agrícola**, Piracicaba, n.4, p.105-107, dez. 2005.

POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: I. reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. cap.8, p.163-178.

QUEIROZ, S. C. S.; GOMIDE, J. L. Efeito das características anatômicas e químicas na densidade básica da madeira de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **O Papel**, São Paulo, v.64, n.5, p.79-84, jun. 2003.

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

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.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serrarias**. 2000. 185p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

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.

ROGERS, R. W.; WESTMAN, W. E. Growth rhythms and productivity of a coastal subtropical eucalypt forest. **Austral Ecology**, Australia, v.6, n.1, p.85-98, mar. 1981.

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**: version 6.08. Carrey, v.2. 1997. 846p.

SASS, J. E. **Botanical microtechnique**. 2nd ed. Iowa: State College Press, 1951. 228p.

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-Rom.

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.

SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. Influências de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica de madeira de *Eucalyptus*. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 24, 1991, São Paulo. **Trabalhos apresentados....** São Paulo: ABTCP, 1991. p.23-36.

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, P. H. M. **Produção de madeira, ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo em plantios de *Eucalyptus grandis*, após aplicação de lodo de esgoto.** 2006. 118p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

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.

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.

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 VAZ, L. **Crescimento inicial, fertilidade do solo e nutrição de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido.** 2000. 41p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SOUZA VAZ, L.; GONÇALVES, J. L. M. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: II. Efeitos na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. cap. 9, p. 179-198.

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.

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, 1973, Pretoria. **Anais...** Pretoria: IUFRO, 1973b. p. 1021-1026.

TAYLOR, F. W. Variations in the anatomical properties of South African grown *Eucalyptus grandis*. **Appita Journal**, Austrália, v. 27, n.3, p.171-178. 1973c.

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.

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.; AGUIAR, I. B.; BANZATTO, D. A.; ALVARENGA, S. F. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* com a altura do caule e aplicação de fósforo e calcário dolomítico. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, 1990, Campos de Jordão. **Anais ...** Campos de Jordão: SBS, 1990. p. 746-750.

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: SBSCS; 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**, 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. Camberra, 1977.

VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. L. M. Uso de bio sólidos em povoamento de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.3, p.747-58, jul./set. 2002.

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.

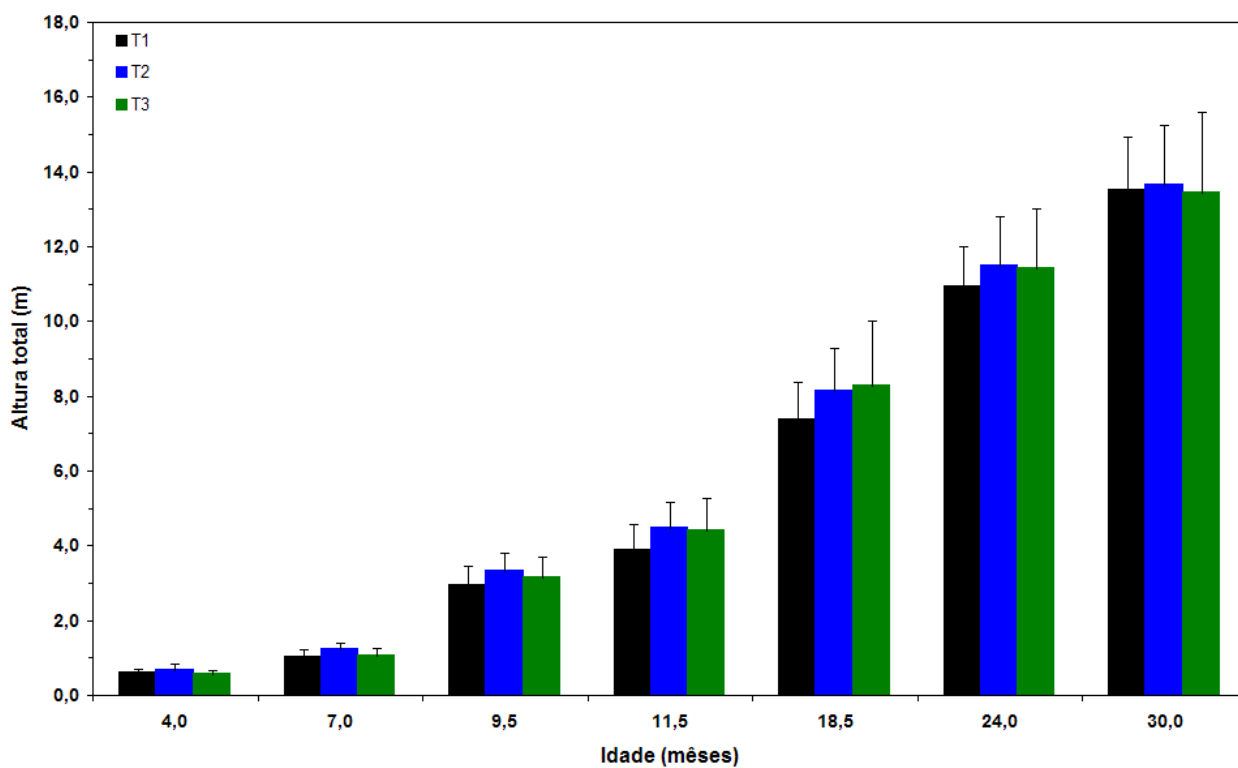
WILKES, J.; ABBOTT, D. Influence of the rate of tree growth on the anatomy of eucalypt species. **Appita Journal**, Australia, v.37, n.3, p.231-232, nov. 1983.

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.

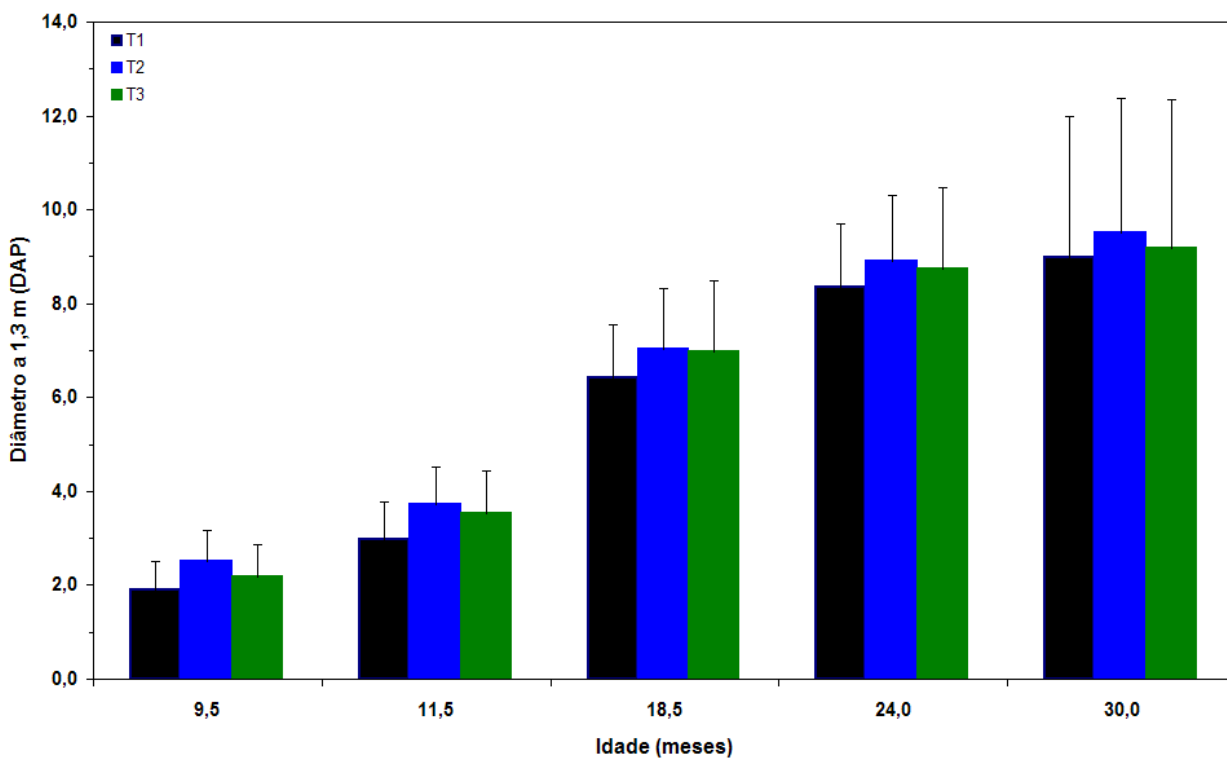
WILKINS, A. P.; HORNE, R. Wood density variation of young plantation grown *Eucalyptus grandis* in response to silvicultural treatments. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.40, n.1/2, p.39-50, maio 1991.

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.

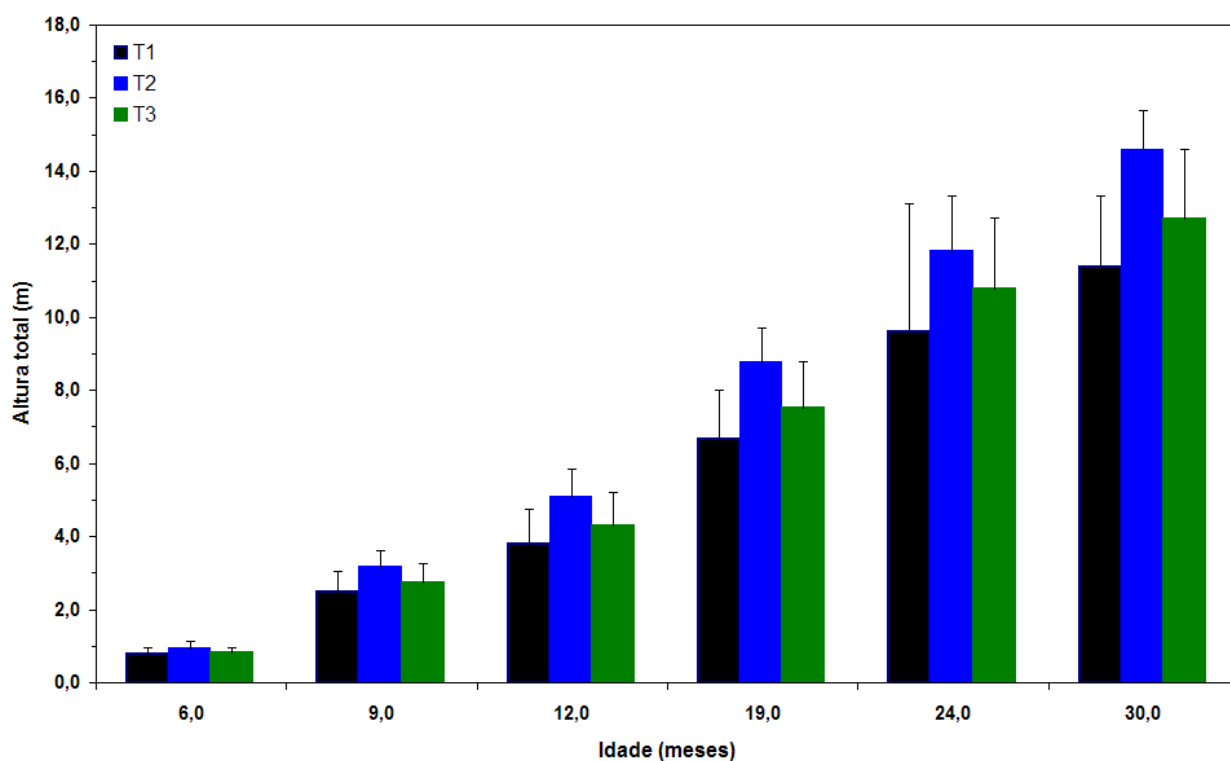
ANEXOS



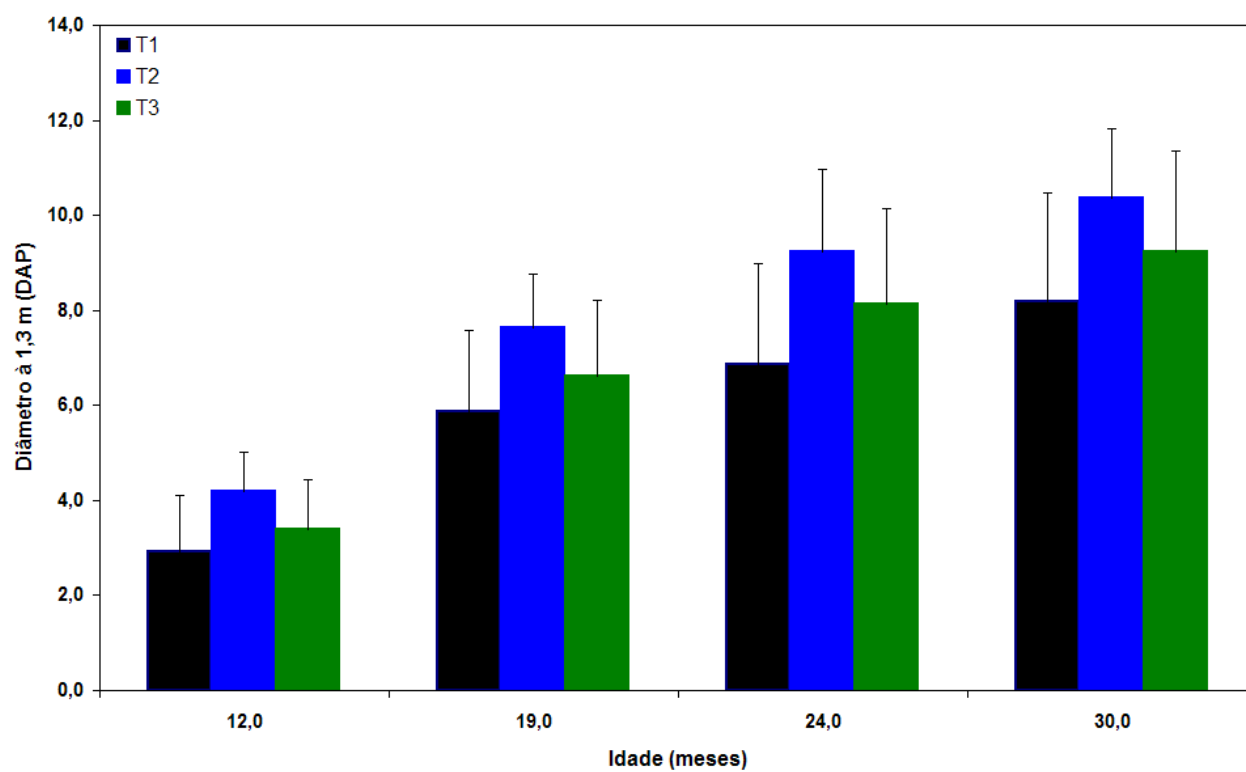
Anexo A – Evolução da altura total das árvores de eucalipto do experimento A. Barras indicam desvio padrão



Anexo B – Evolução do DAP (1,3 m) das árvores de eucalipto do experimento A. Barras indicam desvio padrão



Anexo C – Evolução da altura total das árvores de eucalipto do experimento B. Barras indicam desvio padrão



Anexo D – Evolução do DAP (1,3 m) das árvores de eucalipto do experimento B. Barras indicam desvio padrão

Anexo E – Relação das transformações aplicadas para os dados que não mostraram normalidade na análise estatística

Experimento	Análise	Condição	Parâmetro	Transformação	
A	Fibras	Tratamento	espessura	$(x)^{0,7}$	
			diâmetro do lume	$(x)^{0,7}$	
			largura	$(x)^{0,8}$	
			comprimento	$\sqrt[3]{x}$	
		Classes de Área basal	espessura	$(x)^{0,7}$	
			diâmetro do lume	$(x)^{0,8}$	
	Vasos	Tratamento	freqüência	$\frac{1}{\sqrt[3]{x}}$	
			diâmetro tangencial	$\log_{10}(x)$	
			Classes de Área basal	freqüência	$\frac{1}{\text{freq}}$
				diâmetro do lume	$(x)^{0,7}$
		Densidade	Tratamento	aparente	$\log_{10}(x)$
		Crescimento	Tratamento	incremento	$(x)^{0,7}$
Classes de Área basal	incremento		$(x)^{0,7}$		
B	Fibras	Tratamento	diâmetro do lume	$(x)^{0,7}$	
			comprimento	$\log_{10}(x)$	
		Classes de Área basal	comprimento		$\log_{10}(x)$
			Vasos	Tratamento	freqüência
	porcentagem da área			$\log_{10}(x)$	
	Classes de Área basal	freqüência	$\frac{1}{\text{freq}}$		
		porcentagem da área		$\log_{10}(x)$	
	Densidade	Tratamento	aparente	$(x)^{2,9}$	
		Classes de Área basal	aparente	$(x)^2$	
	Crescimento	Tratamento	Incremento	$(x)^{0,7}$	
		Classes de Área basal	Incremento	$(x)^{0,7}$	

Anexo F – Intervalo das 3 classes de área basal (g/cm^3) dos tratamentos 1, 2 e 3 - experimentos A e B

Experimento	Classes	Tratamentos		
		1	2	3
A	inferior	20 - 45	21 - 44	20 - 51
	média	45 - 71	44 - 68	51 - 83
	superior	71 - 96	68 - 91	83 - 114
B	inferior	14 - 46	24 - 56	13 - 41
	média	46 - 79	56 - 87	41 - 69
	superior	79 - 111	87 - 119	69 - 97

Anexo G – DAP médio (cm) das 3 classes de área basal dos tratamentos 1, 2 e 3 - experimentos A e B

Experimento	Classes	Tratamentos		
		1	2	3
A	inferior	6,4	6,4	6,7
	média	8,6	8,6	9,2
	superior	10,2	10,2	11,1
B	inferior	6,0	7,0	5,7
	média	8,9	9,5	8,3
	superior	11,1	11,5	10,2

Anexo H – Análise de covariância para o experimento A

Fontes de variação	gl	SQ	QM	F
Bloco	3	19,51	6,50	24,34 *
Tratamento	2	24,50	12,25	45,84 *
Mês	11	191,85	17,44	65,26 *
Temperatura	1	0,82	0,82	3,07 ^{ns}
Precipitação	1	27,25	27,25	101,97*

* significativo a 5% de probabilidade

^{ns} não significativo a 5 % de probabilidade

Anexo I – Análise de covariância para o experimento B

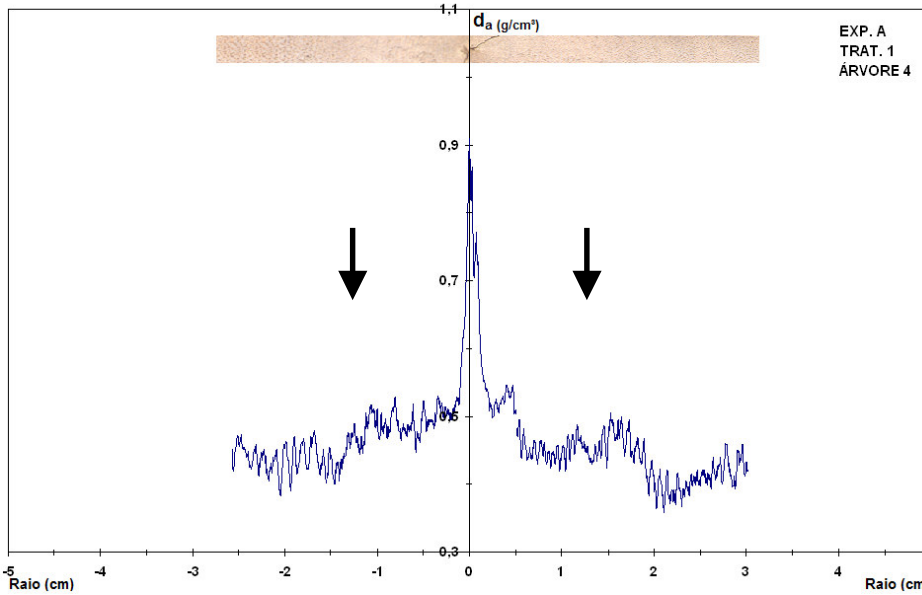
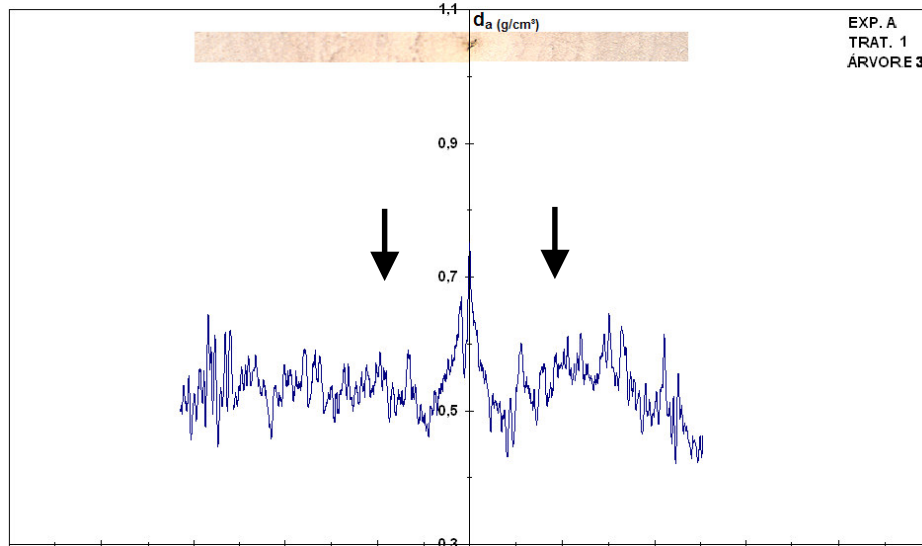
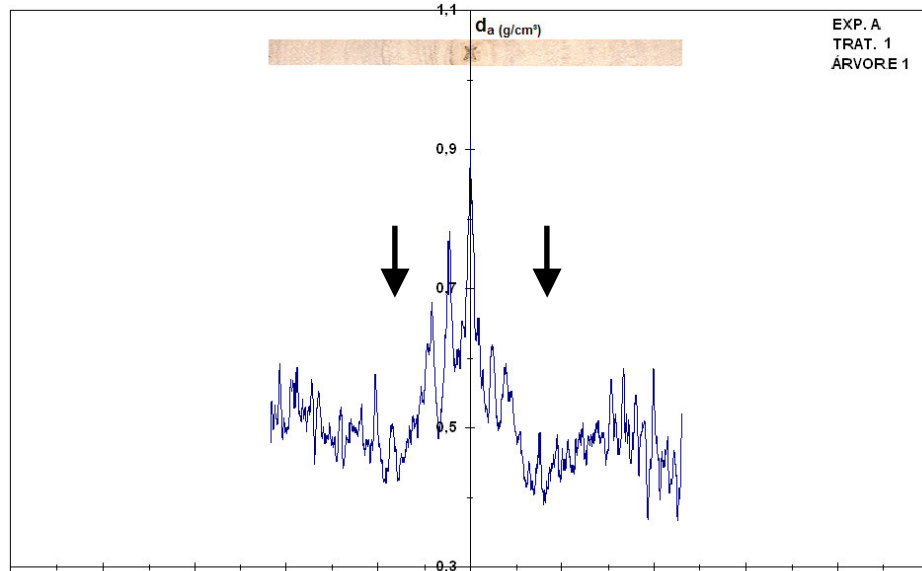
Fontes de variação	gl	SQ	QM	F
Bloco	3	43,89	14,63	23,73 *
Tratamento	2	50,90	25,45	41,29 *
Mês	11	194,42	17,67	28,67 *
Temperatura	1	13,67	13,67	22,18*
Precipitação	1	4,54	4,54	7,37*

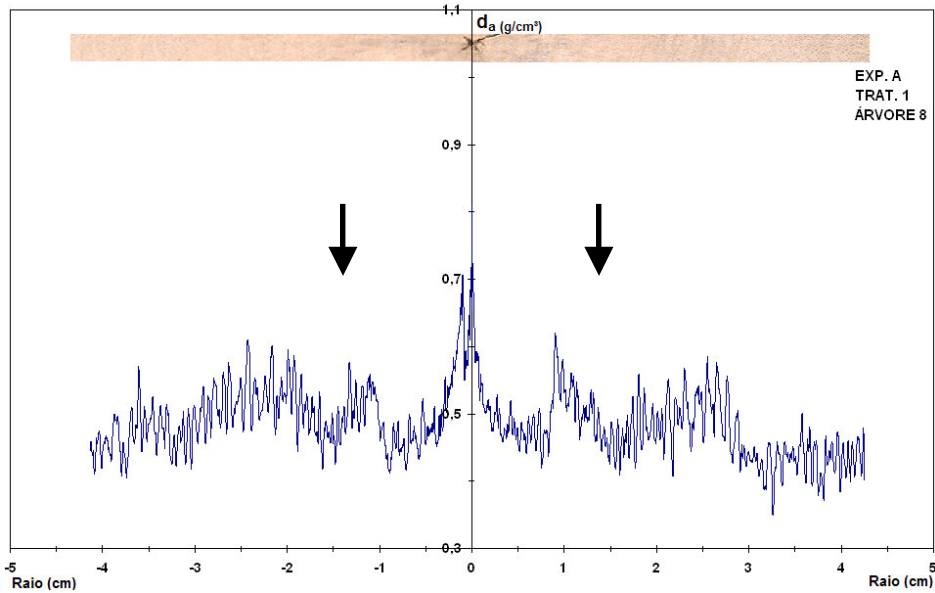
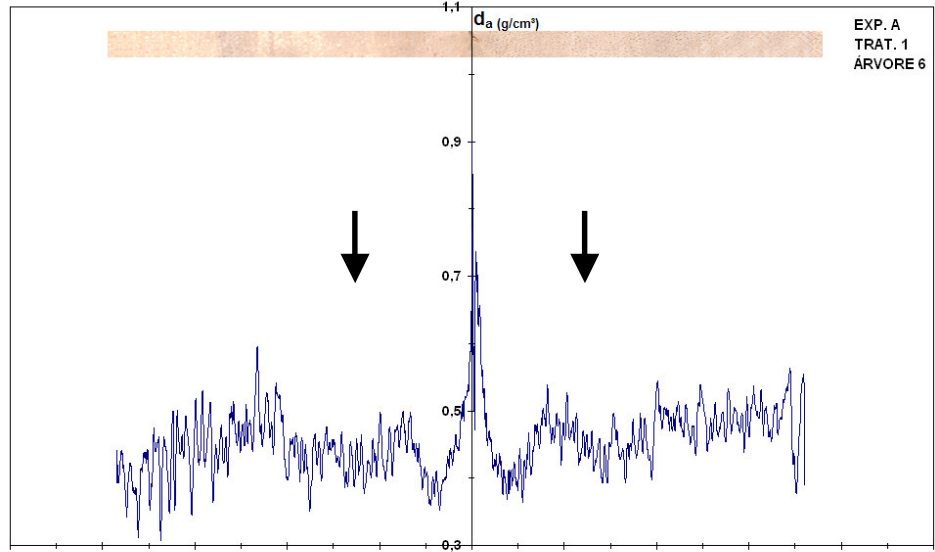
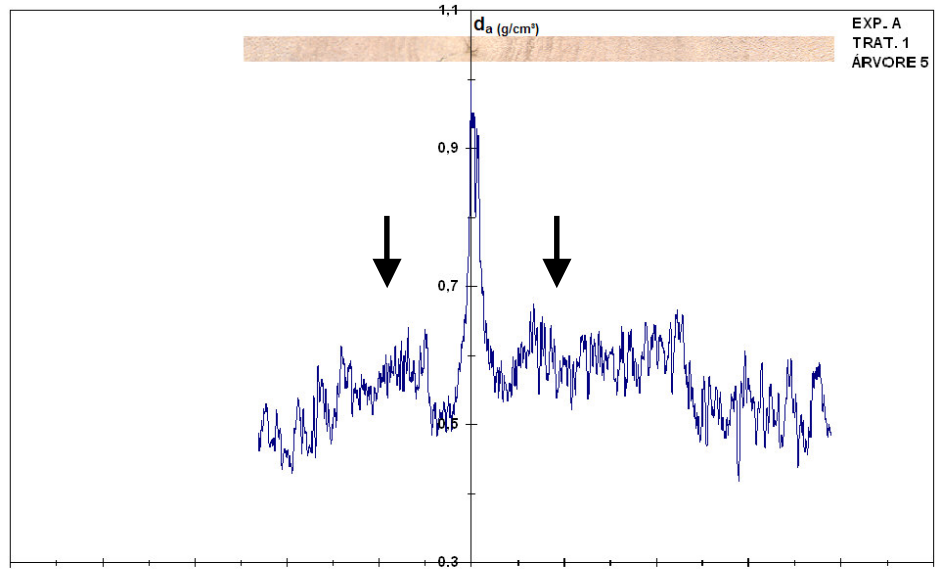
* significativo a 5% de probabilidade

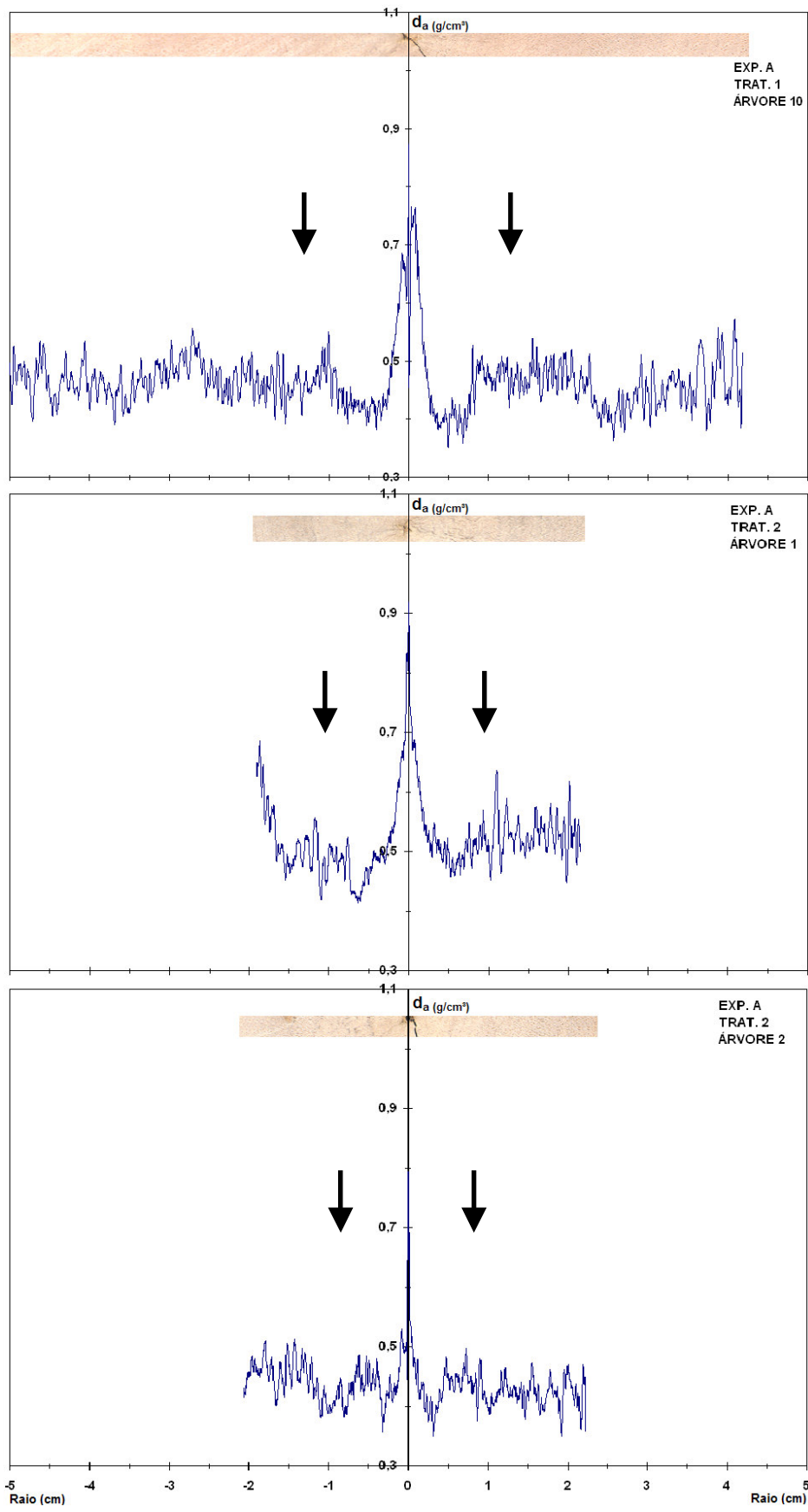
^{ns} não significativo a 5 % de probabilidade

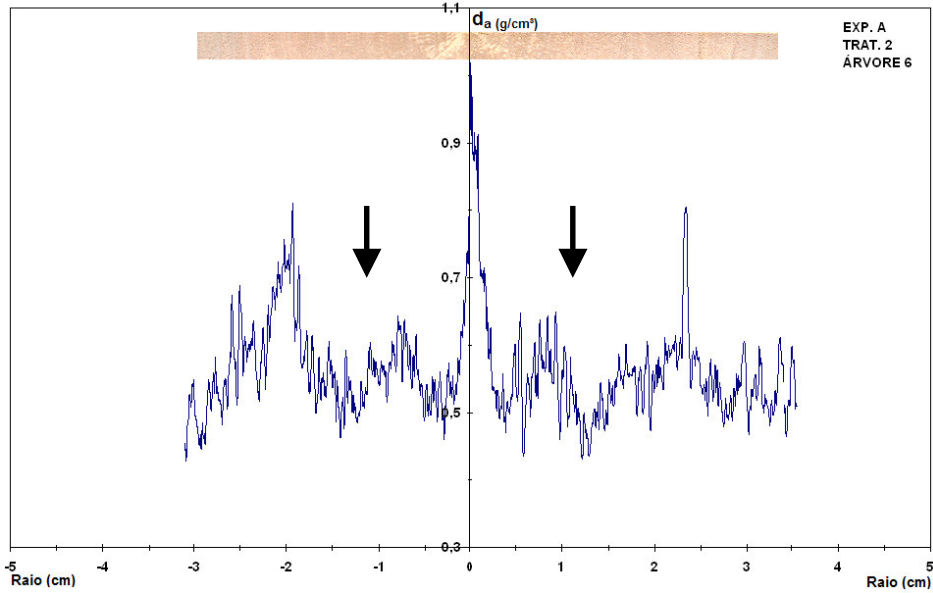
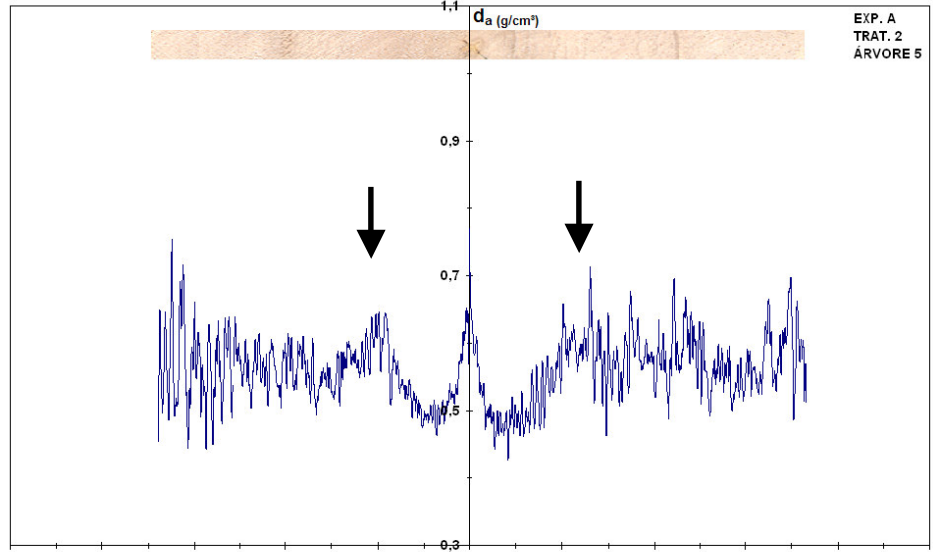
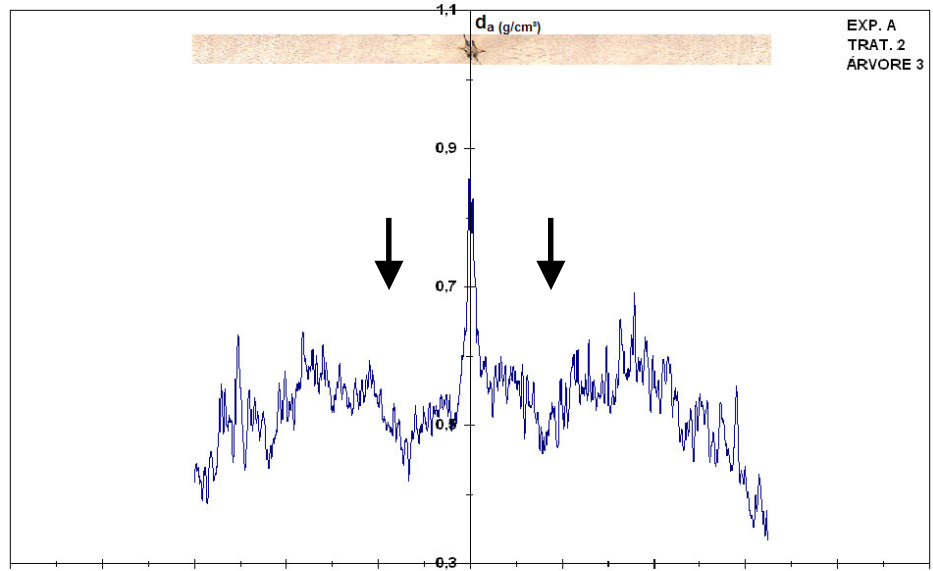
Anexo J – Equações de regressão polinomial da densidade aparente do lenho (y) em função da distância radial (x) das árvores de eucalipto do experimento A e B

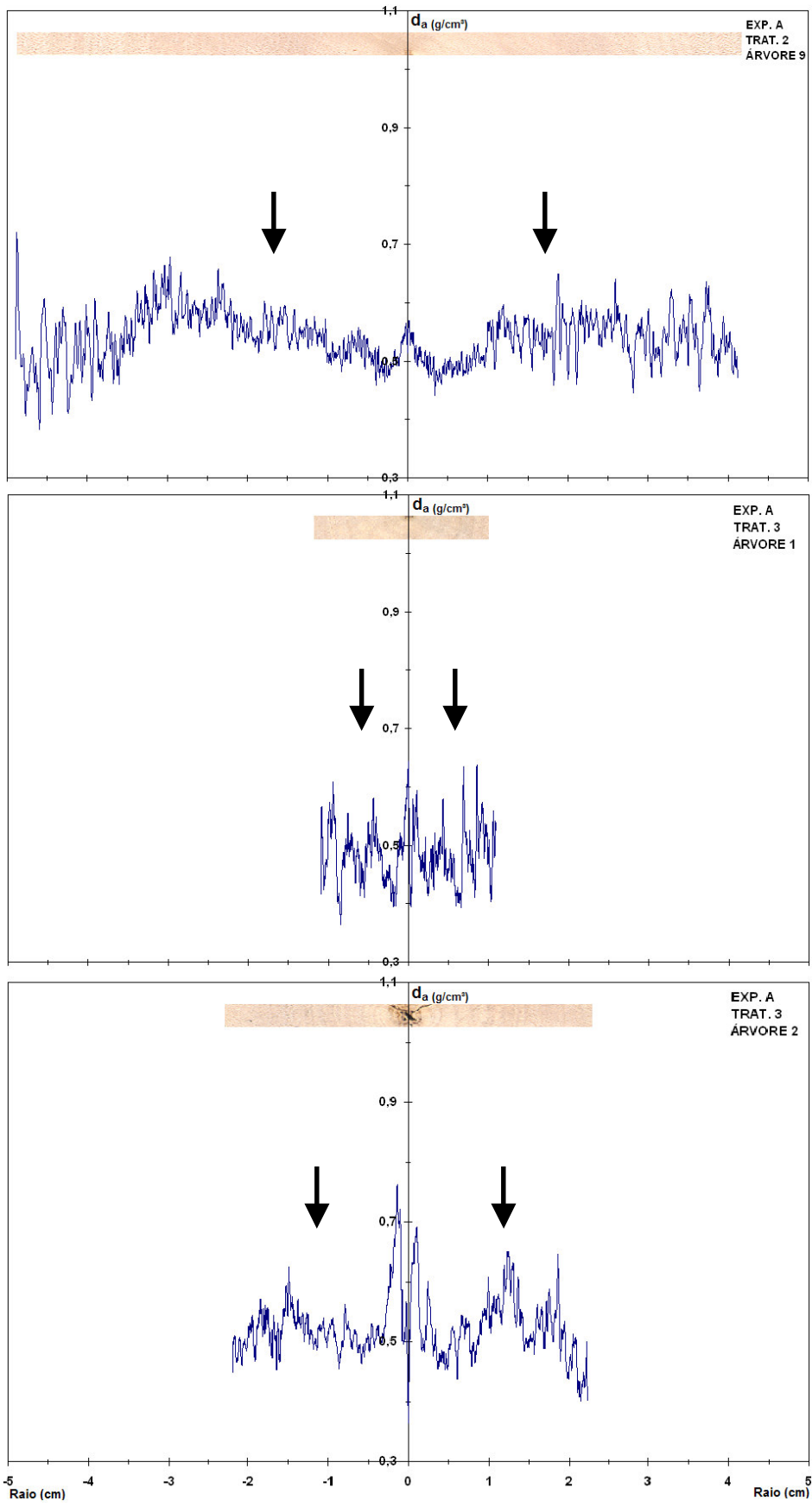
Experimento	Tratamento	Árvore	Raio	Equação	R ²
A	1	2	D	$y = 0,1747x^4 - 1,1039x^3 + 2,3743x^2 - 2,0202x + 1,0101$	0,87
		3	E	$y = 0,0161x^4 - 0,1309x^3 + 0,3522x^2 - 0,3514x + 0,6317$	0,28
		4	D	$y = 0,0715x^4 - 0,4724x^3 + 1,0645x^2 - 0,9708x + 0,7516$	0,83
		6	D	$y = 0,0186x^4 - 0,1543x^3 + 0,4323x^2 - 0,4431x + 0,5775$	0,28
		7	D	$y = 0,0182x^4 - 0,1798x^3 + 0,5927x^2 - 0,7238x + 0,7652$	0,50
		8	E	$y = 0,0149x^4 - 0,1396x^3 + 0,4269x^2 - 0,4709x + 0,6364$	0,49
		9	D	$y = 0,0208x^4 - 0,1937x^3 + 0,5961x^2 - 0,6893x + 0,7044$	0,63
		9	E	$y = 0,0258x^4 - 0,2217x^3 + 0,6182x^2 - 0,6221x + 0,6595$	0,54
		10	E	$y = 0,0072x^4 - 0,0777x^3 + 0,2759x^2 - 0,3583x + 0,5869$	0,33
		2	2	E	$y = 0,0051x^4 - 0,1038x^3 + 0,3228x^2 - 0,2986x + 0,5042$
	3	E	$y = 0,0488x^4 - 0,3448x^3 + 0,7772x^2 - 0,6142x + 0,6488$	0,53	
	4	E	$y = 0,0166x^4 - 0,1265x^3 + 0,3175x^2 - 0,3146x + 0,6181$	0,37	
	5	D	$y = 0,0258x^4 - 0,1849x^3 + 0,4115x^2 - 0,2721x + 0,5647$	0,35	
	6	D	$y = 0,0338x^4 - 0,2906x^3 + 0,8399x^2 - 0,9186x + 0,8361$	0,53	
	8	E	$y = 0,0051x^4 - 0,0540x^3 + 0,1843x^2 - 0,2114x + 0,5971$	0,19	
	9	D	$y = 0,0047x^4 - 0,0411x^3 + 0,1050x^2 - 0,0612x + 0,5105$	0,25	
	10	D	$y = 0,0089x^4 - 0,0984x^3 + 0,368x^2 - 0,5248x + 0,7969$	0,58	
	10	E	$y = 0,0095x^4 - 0,1016x^3 + 0,363x^2 - 0,5025x + 0,7614$	0,67	
	3	3	D	$y = 0,0250x^4 - 0,2167x^3 + 0,5924x^2 - 0,5540x + 0,5719$	0,48
		4	D	$y = 0,0275x^4 - 0,2438x^3 + 0,6968x^2 - 0,7125x + 0,7553$	0,48
5		D	$y = 0,0078x^4 - 0,0985x^3 + 0,3663x^2 - 0,4640x + 0,6523$	0,43	
7		D	$y = 0,0040x^4 - 0,0509x^3 + 0,2180x^2 - 0,3339x + 0,6279$	0,33	
7		E	$y = 0,0142x^4 - 0,1530x^3 + 0,5385x^2 - 0,6795x + 0,7464$	0,48	
8		E	$y = 0,0067x^4 - 0,0763x^3 + 0,2775x^2 - 0,3368x + 0,6373$	0,24	
9		D	$y = 0,0120x^4 - 0,1376x^3 + 0,5071x^2 - 0,6155x + 0,7637$	0,48	
9		E	$y = 0,0141x^4 - 0,1617x^3 + 0,6149x^2 - 0,8415x + 0,8658$	0,39	
10		E	$y = 0,0060x^4 - 0,0677x^3 + 0,2495x^2 - 0,321x + 0,5973$	0,26	
B		1	2	D	$y = 0,4071x^4 - 1,6431x^3 + 2,212x^2 - 1,1697x + 0,6985$
	2		E	$y = 0,2074x^4 - 0,8704x^3 + 1,1977x^2 - 0,632x + 0,6274$	0,49
	3		D	$y = 0,0685x^4 - 0,5211x^3 + 1,3128x^2 - 1,2119x + 0,7885$	0,67
	5		D	$y = 0,0355x^4 - 0,3108x^3 + 0,9078x^2 - 0,9985x + 0,8424$	0,61
	5		E	$y = 0,0379x^4 - 0,2921x^3 + 0,7464x^2 - 0,7184x + 0,7672$	0,34
	6		E	$y = 0,0185x^4 - 0,1467x^3 + 0,3801x^2 - 0,364x + 0,6525$	0,22
	7		D	$y = 0,0206x^4 - 0,1978x^3 + 0,6116x^2 - 0,6739x + 0,7361$	0,48
	8		D	$y = 0,0052x^4 - 0,0591x^3 + 0,2252x^2 - 0,3212x + 0,6736$	0,34
	8		E	$y = 0,006x^4 - 0,0591x^3 + 0,1922x^2 - 0,2192x + 0,6183$	0,24
	2		2	D	$y = 0,2515x^4 - 1,3598x^3 + 2,4811x^2 - 1,7282x + 0,8386$
	2	E	$y = 0,0344x^4 - 0,3196x^3 + 0,902x^2 - 0,9106x + 0,7265$	0,79	
	3	E	$y = 0,0373x^4 - 0,2039x^3 + 0,3845x^2 - 0,3446x + 0,5917$	0,75	
	5	D	$y = 0,0309x^4 - 0,2638x^3 + 0,7588x^2 - 0,8708x + 0,867$	0,59	
	5	E	$y = 0,0356x^4 - 0,3193x^3 + 0,9713x^2 - 1,1562x + 0,9668$	0,63	
	6	E	$y = 0,0200x^4 - 0,201x^3 + 0,6754x^2 - 0,8582x + 0,825$	0,61	
	7	D	$y = 0,0013x^4 - 0,0188x^3 + 0,086x^2 - 0,1369x + 0,6429$	0,10	
	8	D	$y = 0,0041x^4 - 0,0502x^3 + 0,204x^2 - 0,318x + 0,7157$	0,22	
	8	E	$y = 0,0103x^4 - 0,1137x^3 + 0,4342x^2 - 0,6439x + 0,8223$	0,42	
	3	2	D	$y = 0,6319x^4 - 2,4921x^3 + 3,2889x^2 - 1,7319x + 0,8115$	0,80
		3	D	$y = 0,0559x^4 - 0,3894x^3 + 0,9041x^2 - 0,8019x + 0,7307$	0,56
3		E	$y = 0,0715x^4 - 0,4698x^3 + 1,0256x^2 - 0,8404x + 0,7116$	0,55	
4		D	$y = 0,0628x^4 - 0,4408x^3 + 1,041x^2 - 0,9611x + 0,8018$	0,64	
4		E	$y = 0,0465x^4 - 0,3864x^3 + 1,0674x^2 - 1,095x + 0,8407$	0,65	
5		E	$y = 0,0621x^4 - 0,4359x^3 + 0,9951x^2 - 0,8018x + 0,6587$	0,45	
7		E	$y = 0,0029x^4 - 0,0322x^3 + 0,1146x^2 - 0,1436x + 0,6513$	0,17	
8		D	$y = 0,0114x^4 - 0,1015x^3 + 0,3179x^2 - 0,423x + 0,7728$	0,48	
8		E	$y = 0,0196x^4 - 0,1938x^3 + 0,637x^2 - 0,793x + 0,8806$	0,54	

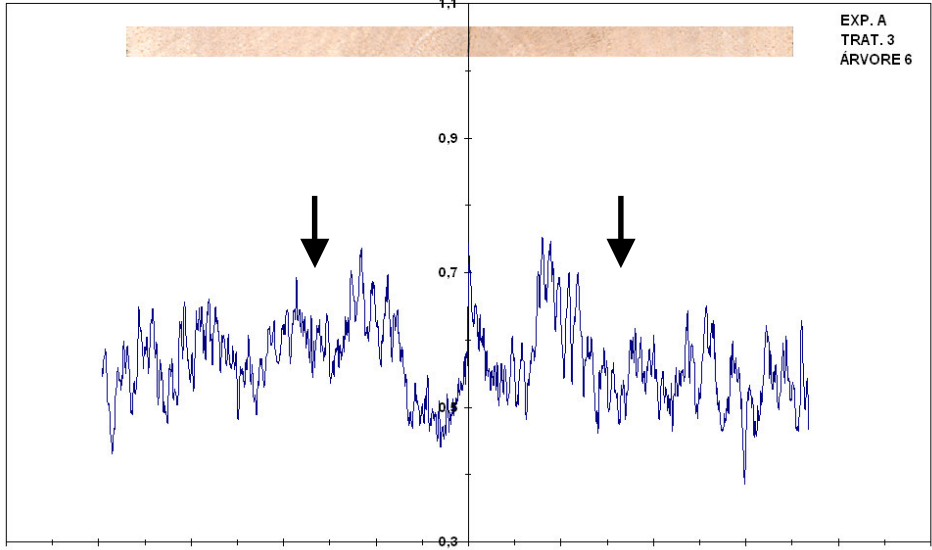
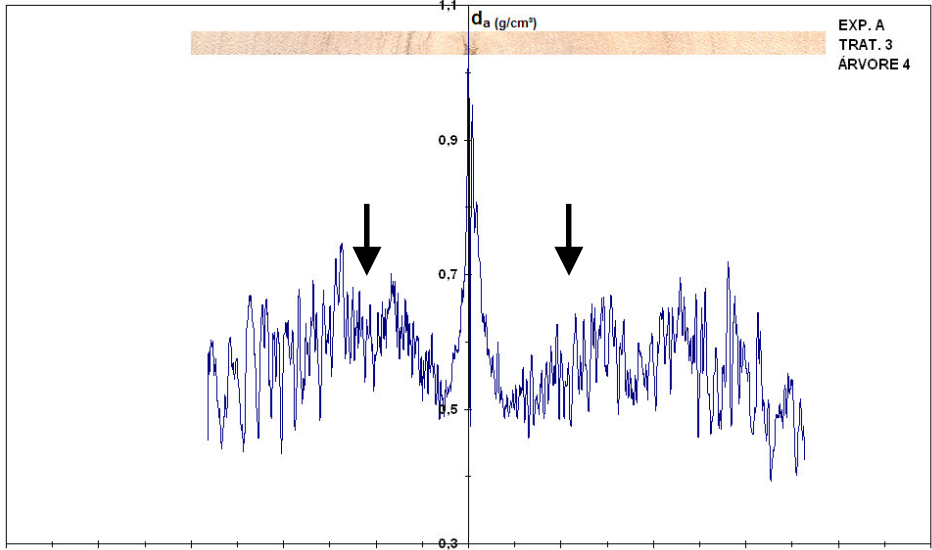
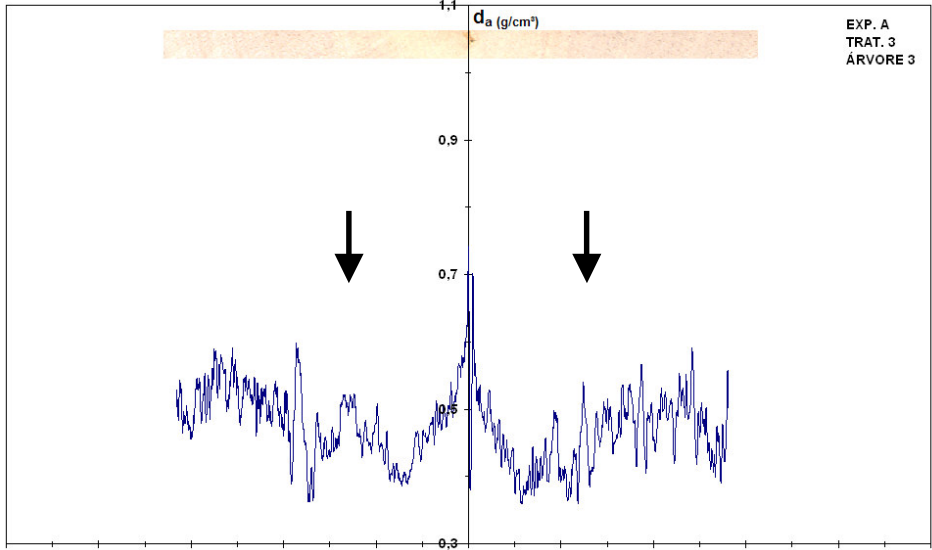






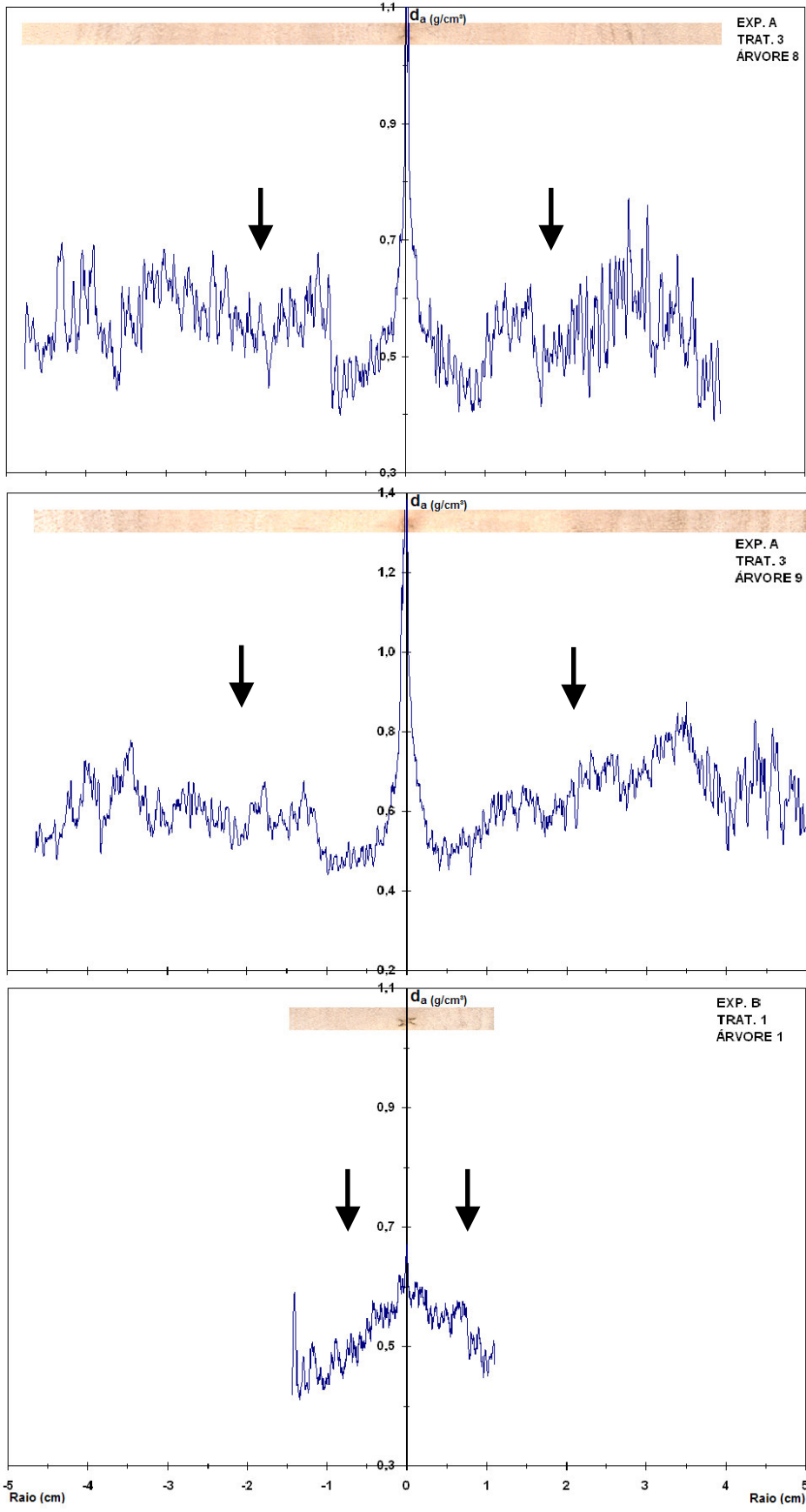


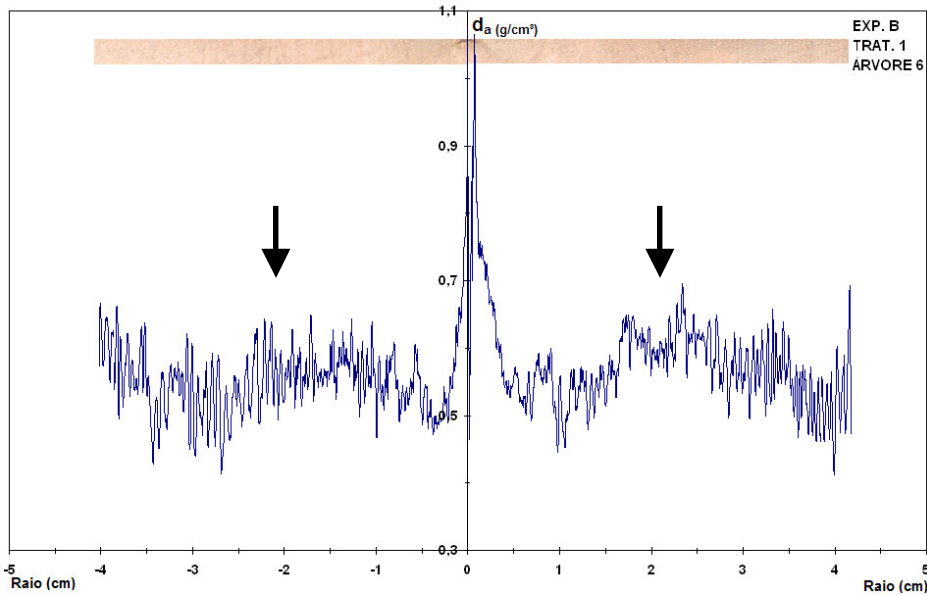
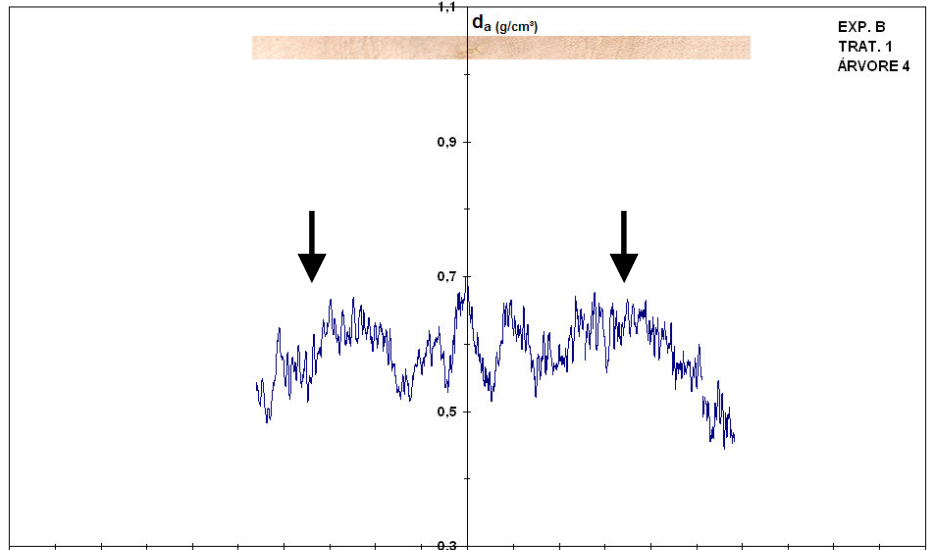
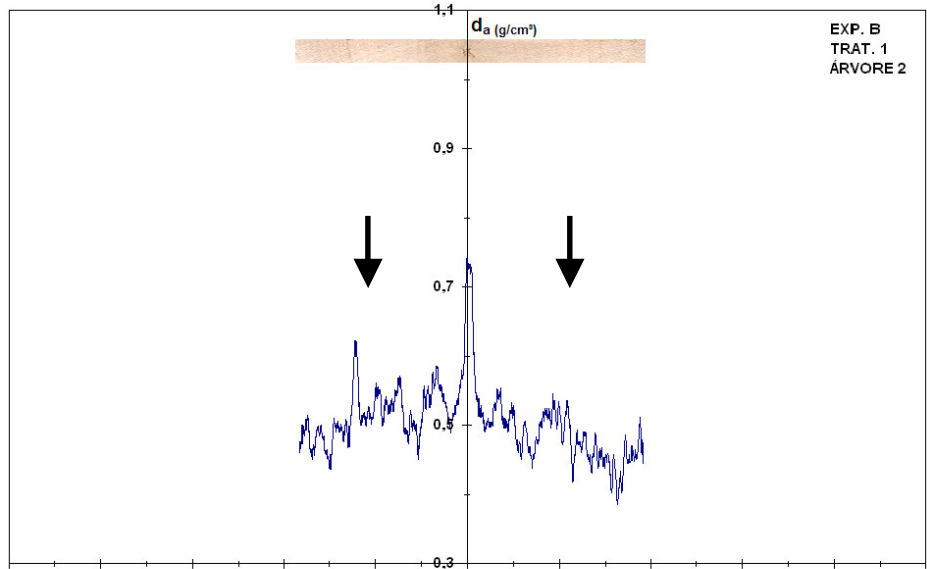


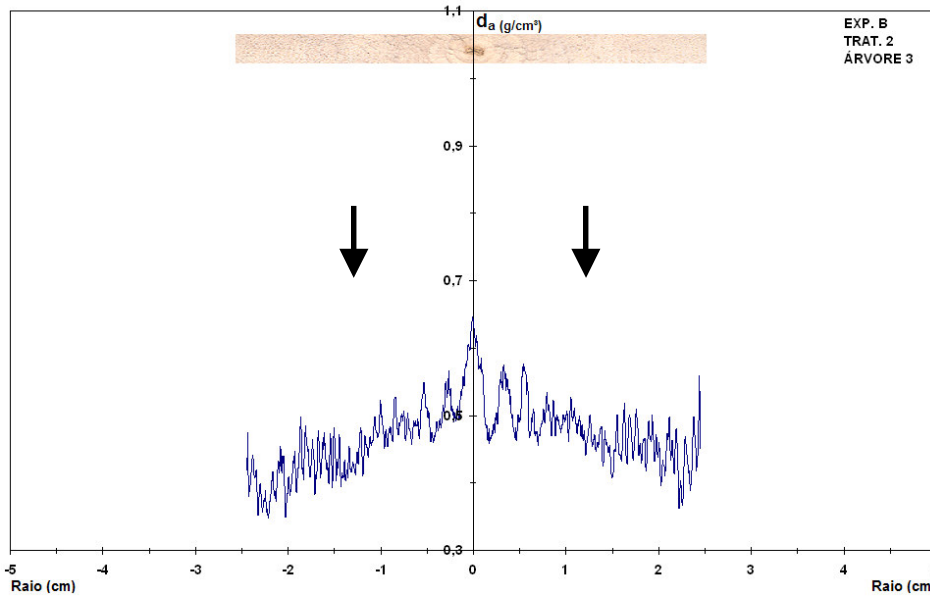
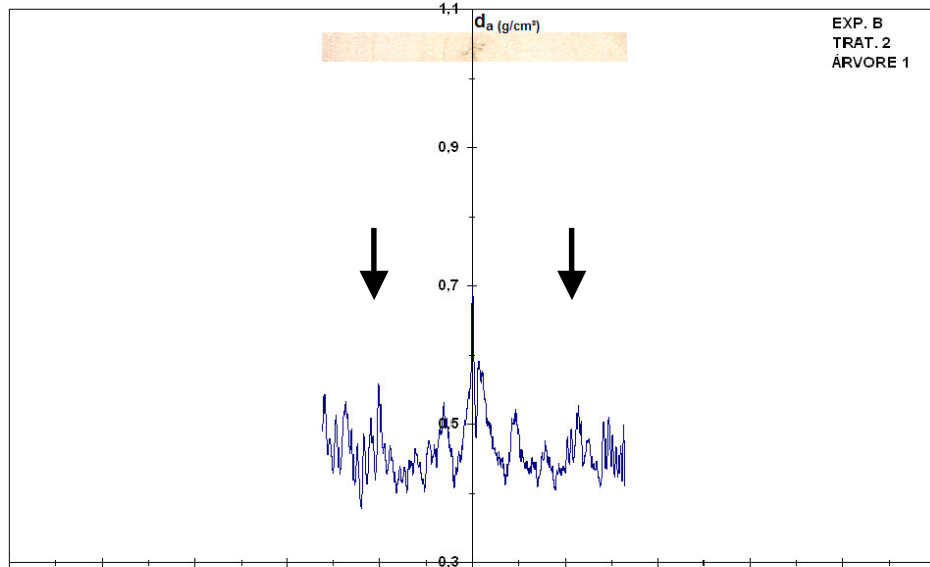
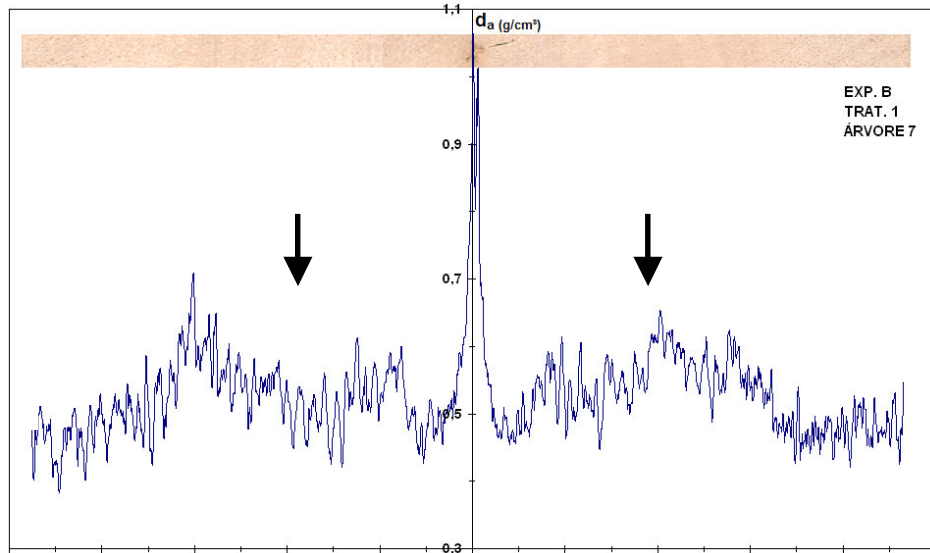


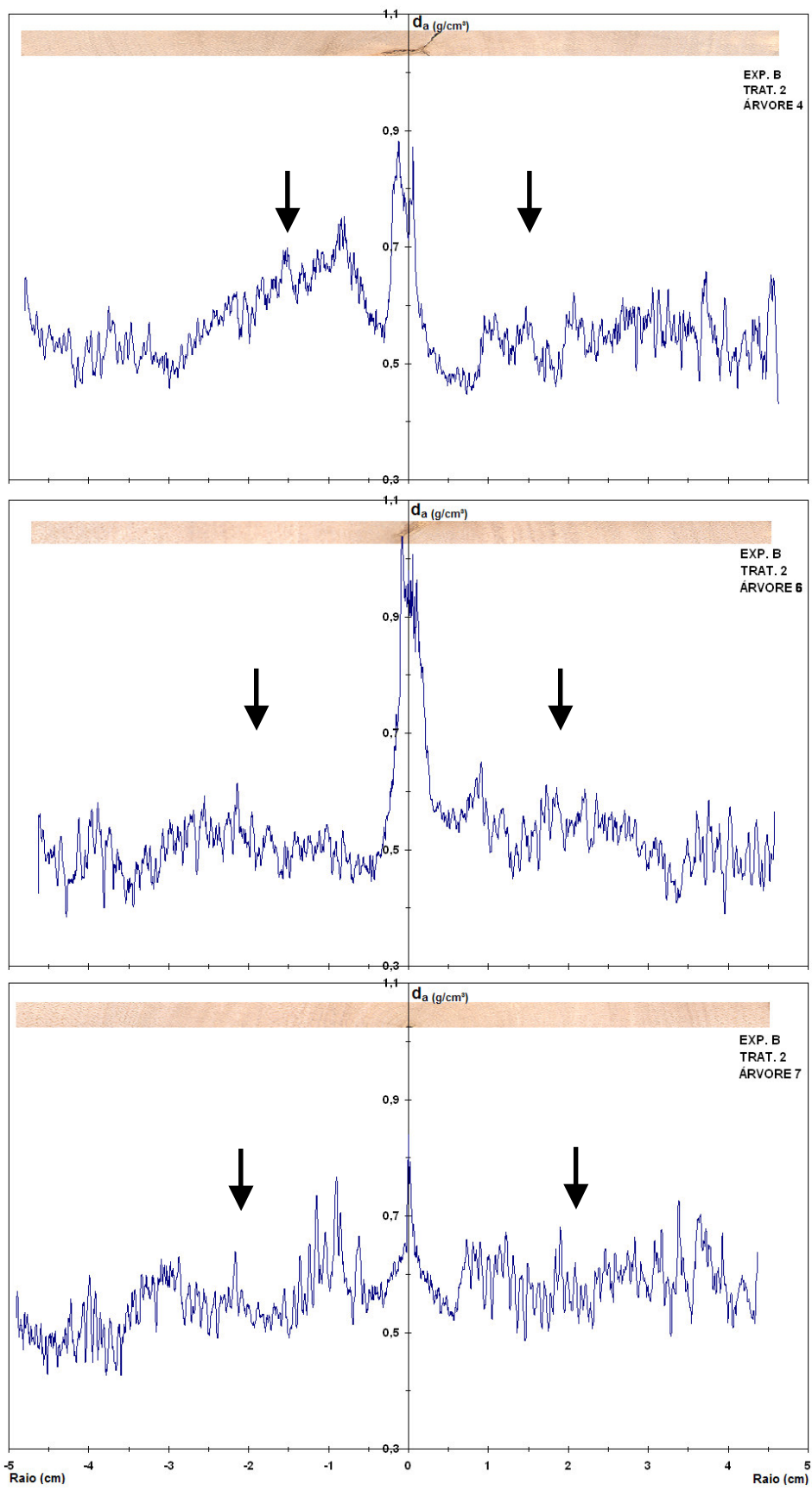
Raio (cm)

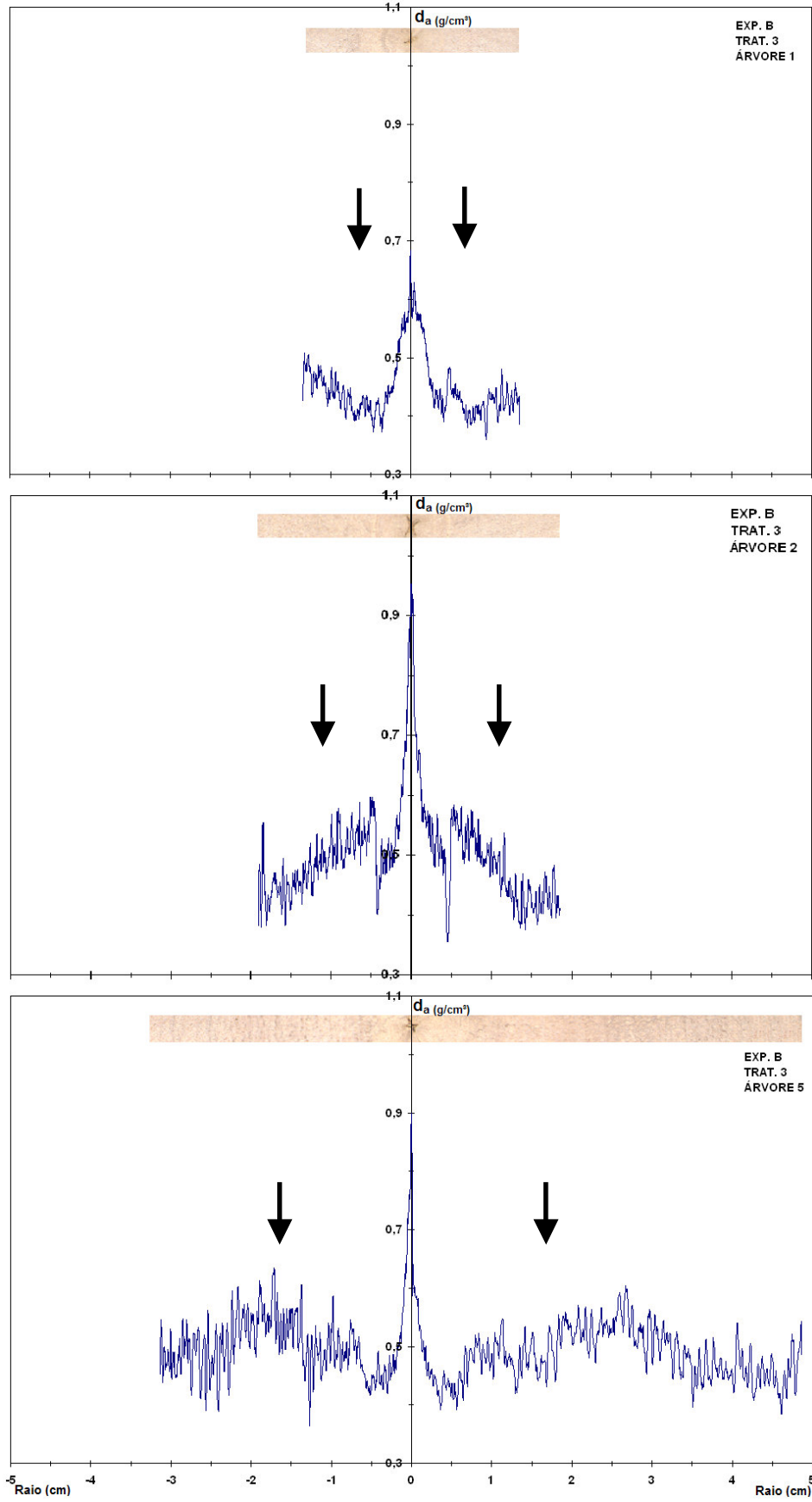
Raio (cm)

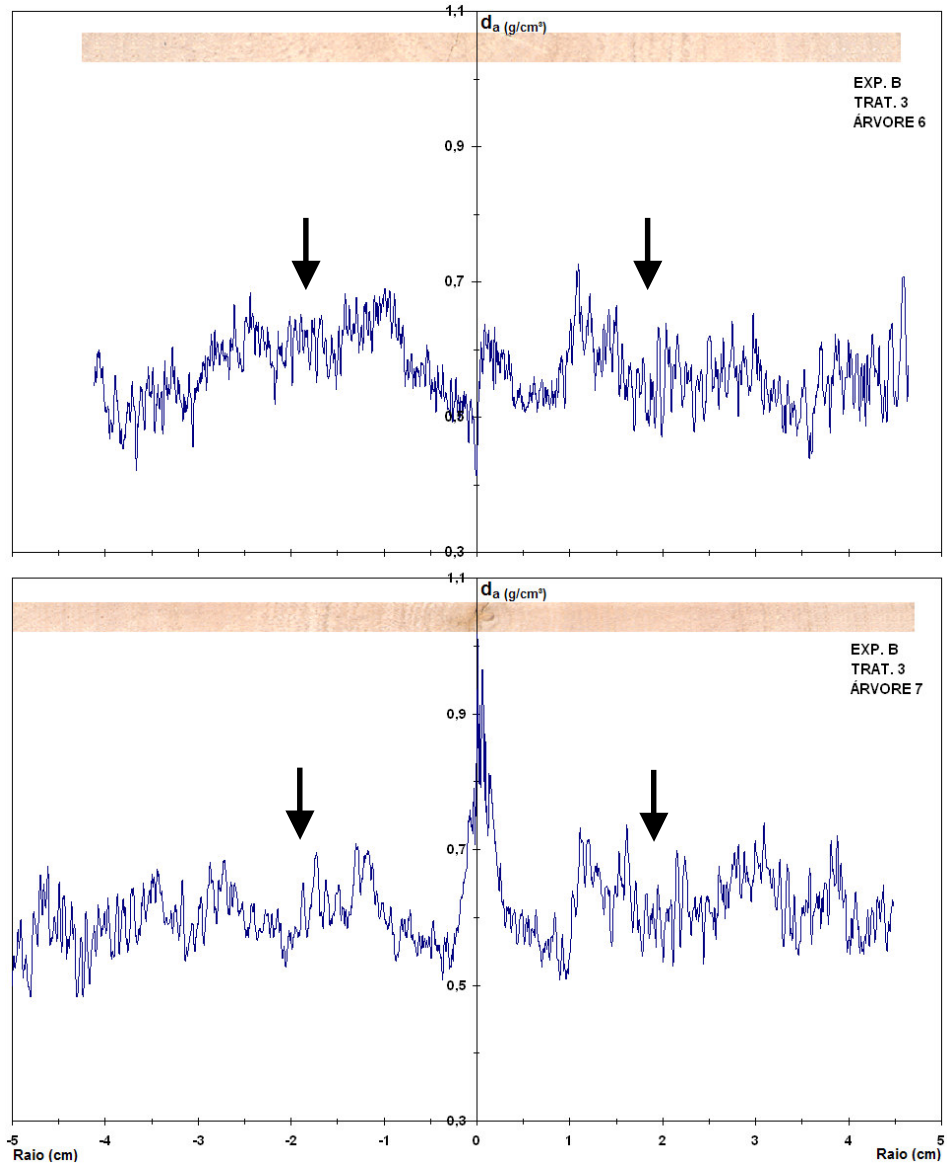












Anexo K – Perfil densitométrico das árvores de eucalipto dos experimentos A e B