

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

**CERNE E ALBURNO EM EUCALIPTOS: INFLUÊNCIA DA ESPÉCIE E
DA IDADE NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS**

SABRINA GALETTI CHERELLI

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Ciência Florestal.

BOTUCATU – SP
(Janeiro de 2015)

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**CERNE E ALBURNO EM EUCALIPTOS: INFLUÊNCIA DA ESPÉCIE E
DA IDADE NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS**

SABRINA GALETTI CHERELLI

Orientador: Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Ciência Florestal.

**BOTUCATU – SP
(Janeiro de 2015)**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP -
FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C521c Cherelli, Sabrina Galetti, 1986-
Cerne e alburno em eucaliptos: influência da espécie e
da idade nas propriedades tecnológicas / Sabrina Galetti
Cherelli. - Botucatu : [s.n.], 2015
xi, 152 f. : fots. color., grafs., ils. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015
Orientador: Adriano Wagner Ballarin
Inclui bibliografia

1. Eucalipto - Fisiologia. 2. Tronco (Botânica). 3.
Árvores - Crescimento. 4. Plantas lenhosas. I. Ballarin,
Adriano Wagner. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio
de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de
Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “CERNE E ALBURNO EM EUCALIPTOS: INFLUÊNCIA DA ESPÉCIE E DA IDADE NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS”

ALUNA: SABRINA GALETTI CHERELLI

ORIENTADOR: PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN

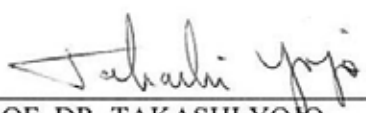
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN



PROF. DR. CLAUDIO ANGELI SANSIGOLO



PROF. DR. TAKASHI YOJO

Data da Realização: 14 de janeiro de 2015.

Dedico esse trabalho a minha mãe Regiane Galetti e ao meu pai de criação Luis Carlos Batista, que nunca mediram esforços para me ajudar no que fosse preciso durante todas as fases da minha vida. Sem vocês eu não conseguiria ter chegado até aqui. E também ao meu companheiro André Gonçalves Próspero, por toda ajuda, incentivo, paciência, carinho e força que foram essências durante esses anos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à DEUS, pela vida maravilhosa que tenho e por sempre estar presente e me guiar em todas as minhas decisões.

Agradeço aos meus pais, Regiane e Luis Carlos, que mesmo relutando no começo à respeito da vida acadêmica, acreditaram em mim e torceram pelo meu sucesso. Ao meu irmão Lucas, que está crescendo rápido demais, por me dar força, mesmo sem saber, somente pelo fato de estar presente e alguns dos meus fins de semana.

À toda minha família: avós, tios, primos, que sempre me deram energia para conseguir terminar essa caminhada. Em especial à Cilmara, minha tia de coração, por ser uma pessoa tão especial e fazer o bem à todos que estão em sua volta.

Ao meu namorado André por estar sempre disponível e disposto a me ajudar no que for preciso e também à sua família que sempre me acolhe e me trata como parte dela.

À república Manga Rosa, por ser minha casa durante muitos anos, pelas muitas e muitas risadas, pelos consolos nos momentos difíceis, pelas conversas, pelos conselhos, pela amizade e principalmente por serem tão especiais e essenciais em minha vida.

Ao professor Dr. Adriano Wagner Ballarin, meu orientador, à quem tenho grande admiração, por ser sempre atencioso, cuidadoso, educado e dedicado com todos os seus orientados. Por me ensinar muito e principalmente por me fazer descobrir o gosto pela pesquisa.

A todos os professores da FCA/UNESP – Botucatu/SP, em especial aos da Engenharia Florestal, por darem a base da minha formação acadêmica.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.

À professora Carmen Regina Marcati e ao professor Cláudio Angeli Sansígolo que muito me auxiliaram, com seus conhecimentos no desenvolvimento do meu projeto de pesquisa.

Ao professor Hernando Alfonso Lara Palma pelas conversas, ensinamentos e por me motivar quando algumas coisas não saíram como o esperado.

À professora Maria Márcia Pereira Sartori, por estar sempre disposta a dar apoio nas análises estatísticas do trabalho.

Aos técnicos Thiago, Iara e Liliane por toda ajuda nas análises químicas; ao técnico Ailton e à Julia (Guapuruvu) pela ajuda nas análises físicas e mecânicas e aos funcionários

da manutenção, em especial ao Sílvia e Dicão por sempre acharem um tempinho para me ajudar com o material de pesquisa.

À todos da XIX Florestal que fizeram parte da minha história dentro dessa universidade, sempre lembro com muita saudade das histórias que passamos aqui. Vocês sempre serão especiais.

Enfim, à todos que me ajudaram de alguma forma, direta ou indiretamente, meu muito obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
RESUMO	Erro! Indicador não definido.
SUMMARY	3
1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 Cerne e alburno	8
2.2 Fatores que influenciam a proporção e as características do cerne	12
2.3 Composição química dos extrativos da madeira	16
3 OBJETIVOS	19
Árvores jovens (idade de 2 a 6 anos).....	19
Árvores adultas (idade superior a 18 anos)	19
4 MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 Seleção e coleta das árvores jovens e adultas	20
4.1.1 Árvores jovens	20
4.1.2 Árvores adultas:	21
4.2 Coleta das amostras	21
4.3 Delimitação do cerne e alburno	22
4.4 Cálculo das áreas e porcentagens de cerne e alburno	24
4.5 Propriedades físicas	25
4.5.1 Densidade básica, densidade aparente e perfil densitométrico.....	25
4.5.2 Retratibilidade	28
4.6 Propriedades mecânicas	29
4.6.1 Dureza Janka.....	29
4.6.2 Compressão paralela às fibras	29
4.7 Análise química - extração e quantificação dos extrativos.....	30
4.8 Análise química - qualificação dos extrativos	31

4.9	Análise estatística dos dados	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1	Árvores jovens	33
5.1.1	Variação das propriedades entre as idades	33
5.1.1.a.	Áreas de cerne, alburno e total, suas porcentagens e relação cerne/alburno	33
5.1.1.b.	Densidade básica e aparente (12% umidade)	36
5.1.1.c.	Teor de extrativos totais	38
5.1.2	Variação das propriedades entre os sítios	40
5.1.2.a.	Porcentagens de área de cerne, alburno e relação cerne/alburno	40
5.1.2.b.	Densidade básica e aparente (12% umidade)	42
5.1.2.c.	Teor de extrativos totais	44
5.1.3	Variação das propriedades entre os clones	45
5.1.3.a.	Porcentagens da área de cerne, alburno e relação cerne/alburno	45
5.1.3.b.	Densidade básica e aparente (12% umidade)	47
5.1.3.c.	Teor de extrativos totais	48
5.1.4	Perfil densitométrico- densidade pontual aparente (12% umidade)	49
5.2	Árvores Adultas	50
5.2.1	Variação das áreas de cerne, alburno e total, suas porcentagens e relação cerne/alburno entre as espécies	50
5.2.2	Variação de densidades básica e aparente (12% umidade) entre as espécies	52
5.2.3	Variação do perfil densitométrico- densidade pontual aparente (12% umidade) entre as espécies	54
5.2.4	Variação da retratibilidade entre as espécies	55
5.2.5	Variação da dureza Janka, resistência e rigidez à compressão paralela às fibras entre as espécies	60
5.2.6	Variação do teor de extrativos totais entre as espécies	64
5.3	Qualificação dos extrativos da madeira- Principais componentes químicos encontrados nas árvores jovens e adultas	65
5.4	Síntese dos resultados obtidos	71
5.4.1	Árvores Jovens	71
5.4.2	Árvores Adultas	74

6 CONCLUSÕES	77
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
APÊNDICE	99

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Referências bibliográficas onde se reporta o aumento do volume de cerne em relação à idade da árvore.	13
Tabela 2. Referências bibliográficas onde se reporta a relação entre formação do cerne e sítio.....	14
Tabela 3. Referências bibliográficas onde se reporta a diminuição do volume do cerne no sentido base-topo da árvore.	16
Tabela 4. Combinações de sítio e clone estudadas	21
Tabela 5. Valores médios (seguidos de desvio padrão) de área percentual das frações de cerne e alburno e relação cerne/alburno de discos do DAP em função da idade das árvores.....	34
Tabela 6. Valores médios (seguidos de desvio padrão) de densidade básica ($D_{básica}$) e densidade aparente a 12% de umidade ($D_{12\%}$), avaliadas nas frações de cerne e alburno de discos de DAP em função da idade das árvores.	36
Tabela 7. Valores médios (seguidos de desvio padrão) do teor de extrativos totais avaliados nas frações de cerne e alburno de discos do DAP em função da idade das árvores.....	39
Tabela 8. Valores médios (seguidos de desvio padrão) de área percentual das frações de cerne e alburno e relação cerne/alburno de discos do DAP em função dos sítios (I- Itapetininga e LP- Lençóis Paulista).....	41
Tabela 9. Valores médios (seguidos de desvio padrão) de densidade básica ($D_{básica}$) e densidade aparente a 12% de umidade ($D_{12\%}$), avaliadas nas frações de cerne e alburno de discos de DAP em função dos sítios (I- Itapetininga e LP- Lençóis Paulista).	43
Tabela 10. Valores médios (seguidos de desvio padrão) do teor de extrativos totais avaliados nas frações de cerne e alburno de discos do DAP em função dos sítios (I- Itapetininga e LP- Lençóis Paulista).....	45
Tabela 11. Valores médios (seguidos de desvio padrão) de área percentual das frações de cerne e alburno e relação cerne/alburno de discos do DAP em função dos clones (C1- clone1e C2- clone 2).....	46
Tabela 12. Valores médios (seguidos de desvio padrão) de densidade básica e densidade aparente a 12% de umidade, respectivamente, avaliadas nas frações de cerne e alburno de discos de DAP em função dos clones (C1- clone1e C2- clone 2).	47

Tabela 13. Valores médios (seguidos de desvio padrão) do teor de extrativos totais avaliados nas frações de cerne e alburno de discos do DAP em função dos clones (C1- clone1e C2- clone 2).....	48
Tabela 14. Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação da densidade pontual aparente nas duas frações do lenho nas 4 situações estudadas (I- Itapetininga; LP- Lençóis Paulista; C1- clone 1; C2- clone 2).....	49
Tabela 15. Valores médios (seguidos de desvio padrão) de área percentual das frações de cerne e alburno e relação cerne/alburno dos discos das árvores função das espécies.	51
Tabela 16. Valores médios (seguidos de desvio padrão) de densidade básica ($D_{básica}$) e densidade aparente a 12% de umidade ($D_{12\%}$) avaliadas nas frações de cerne e alburno dos discos das árvores e suas relações com as espécies.	53
Tabela 17. Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação da densidade pontual aparente das duas frações do lenho (cerne e alburno) nas 4 espécies estudadas.	55
Tabela 18. Valores médios (seguidos de desvio padrão) das retratibilidades avaliadas nas frações de cerne e alburno e suas relações com as espécies.	57
Tabela 19. Experiências de contrações lineares e volumétricas com madeiras de <i>Eucalyptus grandis</i> de diferentes idades.	58
Tabela 20. Valores médios (seguidos de desvio padrão) do índice de anisotropia avaliado nas frações de cerne e alburno e suas relações com as espécies.	59
Tabela 21. Índice de anisotropia, qualidade e uso da madeira.	60
Tabela 22. Valores médios de dureza Janka, resistência à compressão paralela às fibras, resistência à rigidez e comparações estatísticas entre espécies e frações do lenho.	61
Tabela 23. Resistência a compressão paralela às fibras (MPa) das madeira de <i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus tereticornis</i> , <i>Eucalyptus saligna</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> nas duas frações estudadas do lenho e no lenho como um todo.	63
Tabela 24. Valores médios (seguidos de desvio padrão) do teor de extrativos totais avaliados nas frações de cerne e alburno de discos do DAP das árvores adultas.....	64
Tabela 25. Ocorrência dos compostos químicos identificados na madeira das árvores adultas.	68
Tabela 26. Porcentagem de ocorrência dos compostos químicos identificados na madeira das árvores jovens.....	69
Tabela 27. Ocorrência dos compostos químicos identificados na madeira das árvores adultas.....	70

LISTA DE FIGURAS

Página

- Figura 1.** Coleta das amostras- árvores adultas. A) retirada dos 3 discos do torete; B) retirada da prancha central do torete restante; C) prancha central; D) retirada da faixa diametral para ensaio de dureza Janka; E) faixas diametraais para ensaio de dureza Janka; F) demarcações feitas para o corte das faixas diametraais e dos caibros. E e D referem-se, respectivamente, às regiões da esquerda e da direita da medula. 22
- Figura 2.** Preparo do material para análise macroscópica. A) discos das árvores jovens; B) disco antes do polimento com série de lixas; C) disco polido..... 23
- Figura 3.** Árvores jovens- Imagem de vasos observados na seção transversal polida da madeira. A) vasos com ausência de tilos, área do disco caracterizada como alburno; B) vasos preenchidos por tilos, área do disco caracterizada como cerne. 244
- Figura 4.** Etapas da análise digital das imagens do lenho demarcado: A) fotografia de alta qualidade em fundo preto com a presença de uma escala de 1cm^2 ; B) binarização e realce de borda da imagem; C) separação e reconhecimento de regiões interligadas; D) histograma final que relaciona os números de pixels encontrados com as regiões interligadas- cálculo final das áreas e porcentagens..... 25
- Figura 5.** Sistema de Atenuação da Radiação do ^{241}Am . A) vista geral do sistema. B) detalhe lateral da movimentação da amostra entre a fonte de emissão de radiação e o sistema de detecção. 26
- Figura 6.** Idealização da composição de um disco de madeira: anéis delgados e concêntricos, dos quais são conhecidos a densidade (no ponto central do anel) e seu volume ("r" é a distância entre cada medida feita pela TARG). 28
- Figura 7.** Etapas de preparação das amostras para as análises químicas. A) separação das frações de cerne e alburno. B) redução de cada fração em cavacos. C) moinho de facas do tipo Willey, onde os cavacos foram transformados em serragem. D) peneiras classificatórias. E) frações da amostra já separadas pela peneira classificatória..... 30
- Figura 8.** Extração em extrator do tipo Soxhlet..... 31
- Figura 9.** Variação das áreas de cerne, alburno e total dos discos de madeira nas idades de 2, 4 e 6 anos. 34
- Figura 10.** Variação das áreas de cerne, alburno e total dos discos de madeira das espécies *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*..51
- Figura 11.** Cromatograma de íons totais dos extratos obtidos em uma das amostras de árvores jovens. 66

CERNE E ALBURNO EM EUCALIPTOS: INFLUÊNCIA DA ESPÉCIE E DA IDADE NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS. Botucatu, 2015. 152p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autor: SABRINA GALETTI CHERELLI

Orientador: DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN

RESUMO

Uma das características que mais diferencia as porções de lenho de uma árvore é a formação de cerne e alburno. As bases conceituais que permitiram a definição precisa e os aspectos fisiológicos gerais envolvidos na formação de alburno e cerne foram consolidadas nas décadas de 60, 70 e 80 do século passado. Em tempos mais recentes os estudos focaram, sobretudo, a determinação do volume de cerne relacionado à posição ao longo do fuste e à idade das árvores. Este estudo teve como objetivo aprofundar o conhecimento sobre o cerne e alburno de árvores jovens (idades de 2 a 6 anos) e adultas (idades superiores a 18 anos) de *Eucalyptus sp.*, buscando determinar, para as árvores jovens, a idade inicial de caracterização do cerne, as características que mais se alteram no cerne com a idade e sítio de desenvolvimento da árvore e, para as árvores adultas, as propriedades que mais se alteram no cerne em função da espécie. Foram avaliadas árvores jovens de dois clones de diferentes produtividades em dois sítios de diferentes desempenhos e árvores adultas das espécies *E. grandis Hill ex. Maiden*, *E. saligna*, *E. tereticornis* e *C. citriodora*. Nas árvores jovens e adultas foram realizadas análises anatômicas (macroscópicas) para distinção entre cerne e alburno, análise física (densidade básica, densidade aparente e perfil densitométrico radial) e análise química em cada uma das porções do lenho. Nas árvores adultas foram ainda realizados ensaios de retratibilidade, dureza Janka e compressão paralela às fibras em cada uma das porções do lenho estudadas. Pela sua oportunidade o estudo apresentou algumas características particulares que o diferenciou dos estudos já realizados, destacando-se a possibilidade de estudar amostras de plantios clonais (e, com isso, melhor caracterizar o efeito do ambiente) e o uso de técnicas analíticas contemporâneas, de maior potencial e efetividade, como a cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM). Os resultados obtidos para as árvores jovens de eucalipto evidenciam que aos dois anos de idade elas já apresentaram cerne passível de diferenciação macroscópica (presença de tilos); porém, tanto as propriedades

físicas quanto as químicas dessas árvores jovens não apresentaram diferenças estatisticamente significativas quando avaliadas separadamente nas frações do cerne e do alburno. O sítio de desenvolvimento das árvores jovens não influenciou na formação de cerne. O efeito do clone foi, em sua maioria, significativo na formação de cerne e alburno: clones superiores tiveram formação de menor área de cerne em relação aos clones inferiores. De maneira geral, as características que mais se alteraram com a idade das árvores jovens foram a porcentagem de área de cerne (formação de cerne) que aumentou consistentemente com a idade, e as densidades básica e aparente das árvores jovens do sítio inferior – houve aumento consistente dessas densidades com a idade, sendo ele mais significativo dos 2 para os 4 anos. As árvores do sítio superior não apresentaram influência da idade (variação de 2 a 6 anos) nas densidades das frações de cerne e alburno. Nas árvores jovens as frações de cerne e alburno não apresentaram diferenças significativas no teor de extrativos totais. Para as árvores adultas, a madeira das frações de cerne puro e de alburno com presença de cerne são de mesma qualidade nas quatro espécies estudadas, pois não apresentaram diferenças significativas nas propriedades físico-mecânicas. Houve diferença estatisticamente significativa nos teores de extrativos totais obtidos nas frações de cerne e alburno do lenho das árvores adultas das espécies estudadas (maiores teores de extrativos no cerne).

Palavras chave: alburno, cerne, *Eucalyptus*, árvores jovens, CG-EM.

HEARTWOOD AND SAPWOOD IN *EUCALYPTUS*: SPECIES AND AGE INFLUENCE ON THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES. Botucatu, 2015. 152p. Dissertation (Master of Science in Forestry) – College of Agricultural Sciences, São Paulo State University.

Author: SABRINA GALETTI CHERELLI

Advisor: DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN

SUMMARY

One characteristic that mostly differentiates wood regions of a tree is the formation of heartwood and sapwood. The conceptual bases that established the precise definition and general physiological aspects involved in the formation of sapwood and heartwood were consolidated in the 60s, 70s and 80s of the last century. More recently, the studies have mainly focused the heartwood volume determination related to position along the stem and age of trees. This study aims to deeply knowledge about heartwood and sapwood from young (ages 2-6 years) and old trees (older than 18 years) of *Eucalyptus* sp., trying to determine, for young trees, the initial age of heartwood characterization, characteristics that are mostly affected in heartwood by aging and tree development site and, for old trees, the properties that are mostly affected in heartwood depending the species. Were evaluated young trees of two clones of different productivity in two sites of different performances and adult trees of *E. grandis* Hill ex. Maiden, *E. saligna*, *E. tereticornis* and *C. citriodora*. In young and adult trees were performed anatomical analyzes (macroscopic) for distinction between heartwood and sapwood, physical analysis (basic density, apparent density and densitometric radial profiles) and chemical analysis in each of the portions of the wood. In adult trees were also performed shrinkage tests, Janka hardness and compression parallel to grain in each portion of the wood studied. This study has some particular characteristics discerning from previous studies, highlighting the possibility of studying samples of clonal plantations (characterizing environmental effect, therefore) and contemporary analytical techniques, which are more potent and effectiveness, whereby the GC-MS – gas chromatography – mass spectrometry. The results for young *Eucalyptus* trees show that at two years of age they already had heartwood capable of macroscopic differentiation (presence of tyloses); however, both the physical properties as the chemical of these young trees showed no statistically significant differences when evaluated separately in fractions

of heartwood and sapwood. The development site of the young trees did not affect heartwood formation. The effect of the clone was, in general, significant in the formation of heartwood and sapwood: superior clones had smaller heartwood area in relation to the lower clones. In general, the characteristics mostly that affected of the age of young trees were the percentage of heartwood area (heartwood formation) that consistently increased with age, and the basic and apparent densities of young trees in lower site - there was a consistent increase of these densities with age, it is most significant at 2 to 4 years. The trees of the superior site showed no influence of age (range 2-6 years) in densities of the fractions of heartwood and sapwood. In young trees the fractions of heartwood and sapwood not showed significant differences in the extractives content. For old trees, of the wood fractions of pure heartwood and sapwood with presence of heartwood are of the same quality in the four species studied, because no significant differences were found in the physical and mechanical properties. There was a statistically significant difference in extractives contents obtained in the fractions of heartwood and sapwood of the old trees of the species studied (higher content of extract in heartwood).

Keywords: heartwood, sapwood, *Eucalyptus*, young trees, GC-MS.

1 INTRODUÇÃO

O eucalipto pertence à família das Mirtáceas e é nativo da Austrália, onde cobre grande área do país, formando densos maciços florestais nativos. O Serviço Florestal da Austrália já identificou 670 espécies e apenas duas delas, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus deglupta*, têm ocorrência natural fora do território australiano. Além do elevado número de espécies, existe um número muito grande de variedades e híbridos.

Entre as espécies mais importantes nas plantações florestais estão o *Eucalyptus grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. globulus*, *E. robusta*, *E. esxerta*, *E. paniculata* e a espécie *Corymbia citriodora*, anteriormente classificada como *Eucalyptus citriodora*. No Brasil, as espécies mais plantadas são o *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus viminalis*, híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, *E. cloeziana* e *Corymbia citriodora*.

Pensando-se em alternativas às espécies nativas para produção de madeira, o gênero *Eucalyptus* se apresenta como potencial, pela sua capacidade produtiva e adaptabilidade a diversos ambientes e pela grande diversidade de espécies. Atualmente, é consenso no setor florestal brasileiro que a madeira do gênero *Eucalyptus* é a principal matéria-prima para atender a diversos segmentos industriais, na produção de múltiplos produtos de madeira, e não somente para produção de carvão e celulose (CAIXETA et al., 2003).

As substituições de madeira nativa pela madeira de eucalipto estão relacionadas principalmente ao preço e à dificuldade de se obter outros tipos de madeira. Por isto, a madeira de eucalipto deve ser mais bem estudada e difundida, com o intuito de produzir informações capazes de generalizar o seu aproveitamento (SERPA et al., 2003).

A madeira é um material heterogêneo formado por um conjunto de células com propriedades específicas para desempenhar as funções principais de condução da água, armazenamento e transformação de substâncias nutritivas, crescimento e suporte da árvore. A busca de uma interpretação cada vez mais detalhada e aprofundada desse complexo e multifuncional sistema é um desafio científico permanente. Nos tempos atuais, com a disponibilidade e facilidade de acesso a equipamentos e técnicas de maior potencial, temas outrora estudados de maneira parcial ou limitada, ganham novas perspectivas de análise.

Uma das características que mais diferencia as porções de lenho de uma árvore é a formação de cerne e alburno. As bases conceituais que permitiram a definição precisa e os aspectos fisiológicos gerais envolvidos na formação de cerne e alburno foram consolidadas nas décadas de 60, 70 e 80 do século passado. Dentre os trabalhos referenciais nessa temática citam-se Dadswell e Hillis (1962), Hillis (1965, 1968, 1971, 1972, 1984, 1987), Bamber (1976, 1978, 1981), Higgins (1984), Bamber e Fukazawa (1985), cabendo destaque à escola australiana.

Em tempos mais recentes os estudos focaram, sobretudo, a determinação do volume de cerne relacionado à posição ao longo do fuste e à idade das árvores, teor de extrativos, diferenças entre cerne de madeiras juvenil e adulta. Os trabalhos que mais se destacam são: Busnardo et al. (1978, 1982, 1983ab, 1987), Purkayasta et al. (1980), Gonzaga (1983), Wilkes (1984), Bhat e Benny (1985), Bhat et al. (1987, 1988), Purnell (1988), Wilkins (1989ab), Bhat (1990), Wilkins (1991), Oliveira (1997), Oliveira et al. (1999), Gominho e Pereira (2000), Gominho et al. (2001), Alzate e Tomazello Filho (2001), Lopes (2003), Lopes et al. (2004), Haselein et al. (2004), Alzate (2004), Gominho et al. (2004), Pereira (2004), Miranda et al. (2004) e Moraes e Pereira (2004).

A presença de cerne influencia a utilização da madeira de diferentes formas e afeta a sua uniformidade (HILLIS, 1987). A madeira de cerne, pela sua coloração e propriedades desejáveis, apresenta, para algumas aplicações, um maior valor e tem sido o alvo de interesse dos usuários de madeira (SILVA, 2002).

Devido à importância do cerne na utilização da madeira em determinadas aplicações, alguns aspectos relacionados ao cerne devem ser mais bem estudados, buscando-se acrescentar resultados para algumas dúvidas que ainda persistem como: idade de início de formação de cerne (passível de diferenciação); influência do sítio

e do clone na formação do cerne em árvores jovens de eucalipto; características que mais se alteram com a idade de árvores jovens; características do cerne que mais o diferenciam entre espécies de eucalipto utilizadas para serraria a idades acima de 18 anos.

Desta forma, visando o melhor conhecimento sobre cerne e alburno, esse estudo teve como objetivo principal estudar o efeito da idade, do sítio e do clone- árvores jovens- e da espécie- árvores adultas- sobre o cerne e o alburno de eucaliptos, avaliados em termos de suas propriedades tecnológicas (físicas, mecânicas e químicas).

Pela sua oportunidade o estudo apresentou algumas características particulares que o diferencia dos estudos até o momento conduzidos:

- a) Os avanços tecnológicos na área de química, como por exemplo, o uso de cromatografia gasosa para qualificação mais efetiva de componentes de uma amostra foram promissores para uso em amostras de madeira;
- b) Com possibilidade de estudar amostras de plantios clonais é possível creditar exclusivamente aos fatores ambientais as diferenças observadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cerne e alburno

O lenho da maioria das árvores pode ser dividido em duas zonas distintas em termos da sua atividade fisiológica: o alburno e o cerne. Estas zonas são identificadas em muitas espécies, embora a sua ocorrência, propriedades e cor possam variar (HILLIS, 1987).

A quantificação de cerne na árvore é possível, em algumas espécies, pela análise visual direta do lenho devido às diferenças de coloração entre alburno e cerne conferidas pelos extrativos acumulados. A parte central é mais escura do que aquela próxima à casca, sendo a parte mais clara denominada alburno e a parte mais escura cerne. Contudo, em certas espécies (*Picea*, *Albies*, *Tsuga*, *Populus*), apesar da existência de cerne, essas diferenças de coloração não se verificam, impossibilitando a sua identificação por essa via. A identificação requer, nesses casos, a análise das diferenças a nível químico ou, segundo Bamber e Fukazawa (1985), a observação de estruturas anatômicas. Os mesmos autores afirmam ser esse o método mais indicado para o gênero *Eucalyptus*. Gominho (2003) refere ainda à utilização de técnicas de localização e quantificação do cerne no interior do tronco, através de varrimentos de raios-X, infravermelho e raios gama.

Por um período de anos, o xilema recém formado não fornece apenas suporte mecânico para a árvore, mas também participa das funções de condução e em certa medida, serve como lugar para armazenamento de alimentos reserva. Esta última atividade no xilema é realizada pelas células vivas de parênquima. A parte da árvore que contém essas células vivas e, portanto, fisiologicamente ativas, é chamada de alburno. Depois de um período indefinido de tempo, o que varia muito em diferentes tipos de árvore

e condição de seu crescimento, o protoplasma das células vivas de xilema morre. Alterações secundárias que ocorrem como resultado dessa condução da formação da parte fisiologicamente morta do xilema é chamada de cerne (PANSIN; DE ZEEUW, 1980). Existe ainda uma zona intermediária entre o alburno e o cerne, que pensa-se ainda conter células vivas, mas podendo apresentar coloração semelhante a do cerne, pode ser frequentemente confundida com o último.

Hillis (1987) e Desch e Dinwoodie (1996), caracterizam o cerne como a parte central do lenho da árvore, que está fisiologicamente inativa, por ser constituída por células mortas de onde os materiais de reserva (por exemplo, amido) foram consumidos e onde se deu a acumulação, no lume e nas paredes das células, de produtos do metabolismo secundário posterior à lignificação das paredes celulares. A coloração mais escura geralmente apresentada pelo cerne é devida à acumulação destes produtos.

Existem diferenças marcantes entre o cerne e o alburno, as quais podem ser interessantes ou não, de acordo com a utilização da madeira. Algumas das principais diferenças são: o cerne contém mais compostos fenólicos e ácidos e menos amido que o alburno; o cerne de coníferas contém mais extrativos e menos lignina e celulose, enquanto que em folhosas essas diferenças não são consistentes (BROWNING, 1963); o cerne apresenta menor teor de umidade devido à redução da atividade fisiológica; o cerne é menos permeável e possui tecido mais compacto que o alburno (BURGER; RICHTER, 1991); o cerne contrai menos que o alburno, embora contenha maior teor de extrativos (MOREIRA, 1999); o comportamento dimensional da madeira do alburno e do cerne é semelhante quando submetido a elevadas temperaturas; porém, o alburno apresenta taxa de redução linear, seccional e volumétrica sempre maiores (SILVA et al., 2003); o cerne possui maior densidade básica quando comparado ao alburno, em função da maior quantidade de substâncias extrativas (FOELKEL et al., 1975; DELLA LUCIA; VITAL, 1983); o cerne normalmente apresenta maior durabilidade natural, devido à ausência de materiais nutritivos e, principalmente, à presença de extrativos (OLIVEIRA et al., 1986).

Tais diferenças anatômicas e funcionais que existem entre cerne e alburno fazem com que esses materiais tenham comportamento muito diferenciado, tanto do ponto de vista físico, como químico. Dessa forma, o cerne e o alburno apresentarão comportamento distinto de acordo com a forma de utilização da madeira (SILVA; TRUGILHO, 2003).

Wilkins (1991) relata que, enquanto o alburno é utilizado preferencialmente para a produção de pasta para papel devido ao seu baixo teor de extrativos, o cerne, pelas suas características de maior resistência natural, é utilizado para a construção civil, e para fins com elevado grau de acabamento como, por exemplo, na indústria mobiliária.

Gonçalves et al. (2010), acrescenta que a maior proporção de alburno é mais indicada quando se pretende realizar o tratamento preservativo em madeira roliça. No entanto, em indústrias que utilizam madeira sólida para movelaria, por exemplo, torna-se mais interessante a madeira com maiores proporções de cerne.

A transformação de alburno em cerne, conhecida como processo de cernificação, é complexa e não se encontra ainda totalmente esclarecida, constituindo uma área pouco estudada (BUCHANAN et al., 2000). Gominho et al. (2004) afirmam que o processo de formação do cerne no tronco dos eucaliptos ainda é pouco conhecido, apesar das suas desvantagens no processo de polpação.

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980), existem duas hipóteses para a formação de cerne. Há defesas mais antigas de que a formação de cerne é causada pelo acúmulo de ar no sistema de célula fechada, trazendo mudanças no protoplasma das células de parênquima, levando a formação de substâncias estranhas e causando a morte dessas células. Outra hipótese, sugerida por Wangaard (1958), é de que o cerne se forma quando a necessidade de água da copa reduz o teor de umidade da parte interna do tronco da árvore em determinados períodos do ano, e quando materiais de reserva alimentar se acumulam em quantidades superiores ao requerido para as atividades fotossintéticas da árvore. Nessas condições, a reserva de amido nas células de parênquima do alburno será hidrolisada em carboidratos solúveis, que serão eventualmente transformados por uma reação irreversível em substâncias extrativas).

Estudos mais recentes sugerem que o cerne é formado como uma resposta aos impulsos hidráulicos e pode desenvolver-se de forma irregular em ambas as direções radial e axial, a fim de manter uma parcela ideal (e constante) de alburno no tronco da árvore (PLOMION et al., 2001; BERTHIER et al., 2001).

A transformação de alburno em cerne é também acompanhada por mudanças bioquímicas nas células de parênquima de armazenamento, aparentemente provocadas pelo esgotamento progressivo do oxigênio, culminando em completo colapso das atividades respiratórias normais nas células vivas no interior do alburno. As mais

notáveis são: mudanças no tamanho e forma dos núcleos à partir da zona do câmbio em direção ao cerne; redução drástica das quantidades de materiais nitrogenados através do alburno em direção ao cerne; redução dos materiais de armazenamento (amido e açúcares) do exterior do alburno em direção ao cerne; acúmulo de materiais estranhos (extrativos) em quantidades letais nas células de parênquima, causando sua morte (BESLEY, 1959; DINWOODIE, 1965; GALLAY, 1962; SPIEGELBERG, 1966).

Segundo Wilkes (1991), a transformação de alburno em cerne resulta de alterações fisiológicas dos tecidos do alburno, através de um processo de transição por alteração das células do tecido condutor associada ao seu envelhecimento. Bamber (1976) considera que a formação do cerne se deve a um processo natural de desenvolvimento das árvores, sendo a alteração das células (morte do parênquima) o resultado e não a causa da sua formação.

Este processo é caracterizado pela morte das células do parênquima radial, consumo de amido, aumento no conteúdo de extrativos e tiloses (em alguns gêneros, especialmente o *Eucalyptus*), consumo de oxigênio e liberação de monóxido de carbono (CO).

A alteração mais importante, e que constitui a base da formação de cerne, ocorre ao nível químico e está relacionada à deposição de extrativos e consumo de compostos de reserva.

Durante a formação do cerne, uma ampla variedade de substâncias extrativas, incluindo taninos, corantes, óleos, gomas, resinas e sais de ácidos orgânicos, se acumula nos lume das células e paredes celulares, resultando na coloração mais escura da madeira, além de um aumento da densidade e durabilidade (TAYLOR, 1973; KRAMER; KOSLOWSKY, 1979; JANKOWSKY, 1979; ZOBEL, 1984; GONÇALEZ, 1993; CHAFE, 1994).

Os compostos orgânicos encontrados no cerne são quimicamente muito variáveis e complexos (PANSIN; DE ZEEUW, 1980). Um vez que uma variedade de compostos incolores pode ser encontrada no alburno de muitas espécies, é possível que alguns desses produtos sejam sintetizados nas folhas, no ponteiro ou mesmo no câmbio, e em seguida, transportado descendentemente pelo floema e transversalmente por meio dos raios, do alburno até o limite do cerne. Durante a translocação, esses produtos da biossíntese podem sofrer consideráveis alterações químicas antes de serem finalmente infiltrados como extrativos no cerne (DINWOODIE, 1965). Existem outras evidências de

que os extrativos do cerne surgem nas células de parênquima à partir de carboidratos translocados ou armazenados antes das células morrerem (GALLAY, 1962; GIERTZ, 1962).

Estes compostos (extrativos) são do tipo fenólico, terpenos ou alcalóides. Depois da sua deposição, os extrativos podem continuar a sofrer transformações químicas como, por exemplo, oxidações e condensações, com formação de oligômeros e estruturas poliméricas que se assemelham a lignina, e são removíveis apenas com uso de solventes (MEERTS, 2002 citado por GOMINHO, 2003).

Bamber (1978) cita que na formação do cerne, além da produção de polifenóis pelas células do parênquima radial, os vasos são bloqueados por tiloses ou por gomas, conferindo ao cerne coloração diferenciada e resistência ao ataque de fungos e insetos. Neste estágio as reservas de carboidratos são reabsorvidas e o transporte de seiva mineral cessa.

A presença de cerne influencia a utilização da madeira de diferentes formas e afeta a sua uniformidade. É um contribuinte para a incerteza entre o inventário florestal e a qualidade da madeira disponível para a utilização. Se os fatores que controlam a sua formação pudessem ser previstos e uma relação encontrada, então a seleção de grupos de árvores e práticas silviculturais mais adequadas para uma finalidade específica seriam mais efetivas (HILLIS, 1987).

Segundo Tomazello Filho (2006), a avaliação do cerne e do alburno é importante para determinar o efeito dos tratamentos de fertilização e de irrigação nos tecidos do lenho responsáveis pelo transporte de seiva mineral, armazenamento de compostos de reserva e de sustentação do caule. Da mesma forma, constituem-se em parâmetros de qualidade, afetando a aplicação da madeira sólida e os processos de sua transformação em produtos (celulose e papel, chapas de fibras, etc.).

2.2 Fatores que influenciam a proporção e as características do cerne

A variação da proporção de cerne (e de suas características) presente em árvores adultas é determinada por vários fatores tais como a espécie, a idade, a posição na árvore, a genética, a taxa de crescimento, a área foliar, entre outros (HILLIS, 1987; WILKES, 1991; SMITH et al., 1996). Já árvores jovens, poucos estudos são conduzidos com esses objetivos.

Nesses estudos, as características do cerne mais reportadas na literatura científica são o teor de extrativos e as variações da proporção em relação à altura no tronco, à idade, à espécie e ao sítio.

Em relação ao teor de extrativos, pesquisadores como Hillis (1962), Bamber e Humphreys (1963), Gominho et al. (2001), Gominho et al. (2004), Moraes e Pereira (2004) observaram que o teor de extrativos foi mais alto no cerne do que no alburno.

Muitas vezes é considerado que há uma estreita associação entre a idade dos tecidos do alburno e a formação do cerne de uma espécie. Uma vez iniciada a formação do cerne, há um aumento constante no seu volume conforme a árvore aumenta (HILLIS, 1987). Diversos autores citam que a proporção de cerne aumenta diretamente com a idade da árvore (Tabela 1).

Segundo Tomazello Filho (1985), existe uma significativa variação nas porcentagens de cerne e alburno no tronco entre as espécies de eucaliptos, refletindo na fisiologia do crescimento das árvores e, principalmente, nas propriedades e na utilização da madeira.

A influência do local (sítio) na formação do cerne é ainda polêmica, como pode ser observado na Tabela 2, que sumariza os resultados obtidos por alguns pesquisadores.

Tabela 1. Referências bibliográficas onde se reporta o aumento do volume de cerne em relação à idade da árvore.

Espécie	Referência Bibliográfica
<i>Eucalyptus</i>	Hillis (1962, 1972, 1987) Bamber e Fukazawa (1985) Wilkes (1991)
<i>Eucalyptus grandis</i>	Silva (2002)
<i>Pinus sylvestris</i>	
<i>Picea albis</i>	
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Dadswell e Hillis (1962)
<i>Quercus</i>	
<i>Pinus taeda</i>	Mackiney e Chaiken (1935)
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Hunter e Goggans (1968)

Tabela 2. Referências bibliográficas onde se reporta a relação entre formação do cerne e sítio.

Espécie	Comentário	Referência Bibliográfica
<i>Pinus</i>	Formação de cerne aumenta com a qualidade do local.	Büsgen e Münch (1929)
<i>Pinus taeda</i>	Percentual de cerne varia indiretamente com a taxa de crescimento, independente do local.	MacKinney e Chain (1935)
<i>Pinus radiata</i>	Percentual da área do cerne sobre a área do disco total foi maior no melhor sítio do que no pior sítio.	Hillis e Ditchburne (1974)
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Proporção de cerne não variou significativamente com a mudança do ambiente.	Hunter e Goggans (1968)
<i>Larix decidua</i>	Maior dinâmica da formação de cerne foi encontrada em árvores crescendo em um local mais fértil.	Nawrot et al. (2008)

A maturidade do cerne também foi estudada por diversos pesquisadores. Estudo pioneiro de Dadswell (1960) destacou que o cerne de uma árvore madura é bem uniforme quanto às suas propriedades, exceto na sua região mais central, onde se localiza o cilindro de madeira juvenil.

Haupt et al. (2003) encontrou uma menor concentração de extrativos no cerne juvenil de Teca (*Tectona grandis*) em relação ao cerne adulto, correspondendo a uma menor durabilidade natural da madeira juvenil em relação à madeira adulta.

Em estudos feitos com *Robinia pseudocacia* L., Dünish et al. (2010) citam que embora o conteúdo de lignina e extrativos no alburno e cerne juvenil e adulto das árvores variou de acordo com o genótipo e as condições do local, significativas diferenças na composição química entre alburno e cerne, bem como madeira juvenil e adulta foram encontradas.

Wilkes (1984) avaliando árvores de *E. albens*, *E. bancroftii*, *E. dealbata*, *E. goniocalyx*, *E. macrorhyncha* e *E. syderoxylon* com 40 anos e duas taxas de crescimento (rápido e lento) constatou que o teor de extrativos no cerne interno foi menor em relação ao cerne periférico.

Estudo de Da Costa (1975) mostrou que os extrativos do cerne formado em árvores jovens são menos tóxicos ou menos abundantes que aqueles formados nas árvores maduras.

Hillis (1962), Bamber e Humphreys (1963) verificaram um aumento quantitativo de extrativos polifenólicos da medula para a parte mais externa do cerne, com mudanças de conteúdo abruptas na periferia do cerne.

A concentração de extrativos com atividade fungicida e, conseqüentemente a resistência natural, é maior nas partes externas do cerne e próximo à base da árvore, diminuindo em direção à medula e ao topo. Assim, a maior resistência natural é encontrada nas partes externas do cerne na base das árvores de maior diâmetro. Esta distribuição de resistência natural na direção radial pode ser atribuída à gradual conversão dos extrativos tóxicos em compostos de menor toxidez, à medida que a árvore envelhece (OLIVEIRA et al., 1986).

Quanto à determinação do volume do cerne e a sua variação ao longo da altura do tronco, diversos autores encontraram a mesma associação em que a porcentagem do cerne diminui no sentido base-topo da árvore (Tabela 3).

Tabela 3. Referências bibliográficas onde se reporta a diminuição do volume do cerne no sentido base-topo da árvore.

Espécie	Referência Bibliográfica
<i>Eucalyptus globulus</i>	- Gominho e Pereira (2000) - Miranda et al. (2004) - Moraes e Pereira (2004)
<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>urophylla</i>	- Gominho et al. (2001) - Gonçalves et al. (2010)
<i>Eucalyptus</i>	- Wilkins (1991) - Busnardo et al. (1978) - Busnardo (1982)
<i>Eucalyptus saligna</i>	- Busnardo et al. (1983a)
<i>Eucalyptus viminalis</i>	- Gonzaga et al. (1983)
<i>Eucalyptus grandis</i>	- Lopes (2003) - Lopes et al. (2004) - Haselein et al. (2004)
<i>Eucalyptus grandis</i>	- Alzate e Tomazello Filho (2001)
<i>Eucalyptus saligna</i>	- Alzate (2004)
<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>urophylla</i>	
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	- Oliveira (1997)
<i>Eucalyptus paniculata</i>	
<i>Eucalyptus pilularis</i>	
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	
<i>Eucalyptus urophylla</i>	
<i>Eucalyptus grandis</i>	
<i>Corymbia citriodora</i>	
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	- Purkayasta et al. (1980)
<i>Eucalyptus nitens</i>	- Purnell (1988)

2.3 Composição química dos extrativos da madeira

Do ponto de vista da análise dos componentes da madeira, dois grandes grupos se destacam: o dos principais componentes macromoleculares constituintes da parede celular (celulose, hemiceluloses e lignina) que estão presentes em todas as madeiras e o dos componentes minoritários de baixo peso molecular (extrativos e substâncias minerais) os quais são geralmente mais relacionados a madeira de certas espécies, no tipo e quantidade. A celulose é o componente majoritário, perfazendo aproximadamente a metade do peso das madeiras tanto de coníferas, como de folhosas. As hemiceluloses estão em estreita associação com a celulose na parede celular, possuindo cadeias muito mais curtas que a celulose, podendo haver grupos laterais e ramificações em alguns casos. A lignina é a terceira substância macromolecular componente da madeira e do ponto de vista morfológico é uma substância amorfa localizada na parede secundária,

bem como na lamela média composta. As substâncias de baixo peso molecular quando classificadas de maneira simples, são divididas em material orgânico e inorgânico. O material orgânico é comumente chamado de extrativos, e a parte inorgânica é sumariamente obtida como cinzas (KLOCK et al., 2005).

Os extrativos compreendem um grande número de compostos individuais, tanto compostos lipofílicos como hidrofílicos. Podem ser considerados como constituintes não estruturais da madeira, quase exclusivamente constituídos de compostos extracelulares (SJÖSTRÖN, 1993). Esses compreendem uma ampla classe de compostos químicos, que podem ser removidos utilizando solventes orgânicos ou água (GUTIÉRREZ et al., 2001; SCHWANNINGER;HINTERSTOISSER, 2002; YOKOI et al., 2002; SUN; TOMKINSON, 2003).

Os extrativos comumente encontrados na madeira consistem de material orgânico oleofílico de baixa massa molecular. Os seguintes compostos podem ser componentes da resina: terpenos, lignanas, estilbenos, flavonoides e outros aromáticos. Além dessas substâncias, outros compostos orgânicos podem estar presentes nos extrativos, como gorduras, ceras, ácidos graxos, álcoois, esteroides e hidrocarbonetos de elevada massa molecular (SARTO et al., 2010).

Como regra geral, várias partes de uma mesma árvore diferem marcadamente tanto na quantidade como na composição de extrativos. No caso dos pinheiros, por exemplo, o cerne normalmente contém muito mais extrativos que o alburno.

Os locais de formação e posterior deslocamento para um local definitivo na madeira dependem da função do extrativo. Os extrativos de cerne de muitas espécies são formados dentro do parênquima vivo dos raios (durante um aumento abrupto do metabolismo), na periferia do cerne (HILLIS, 1987; STREIT; FENGEL, 1995). Em alguns casos, esses extrativos diferem em composição daqueles do alburno (STREIT; FENGEL, 1994).

Nas coníferas, os extrativos ocupam certos lugares morfológicos na estrutura da madeira. Por exemplo, os ácidos da resina estão localizados nos canais de resina, enquanto que as gorduras e ceras estão localizadas nas células de parênquima do raio. Os extrativos fenólicos estão presentes principalmente no cerne e na casca (SJÖSTRÖN, 1993).

Os extrativos podem ser divididos, basicamente, em 3 classes: extrativos totais (extraíveis em sequência de tolueno+etanol; etanol; água quente),

lipofílicos (extraídos com diclorometano) e componentes polares (extraídos com metanol/água).

Os extrativos lipofílicos (resinas) tem composição variada entre diferentes espécies de madeira e também dentro das diferentes partes da árvore. Assim, determinadas madeiras podem ser caracterizadas em função da natureza e quantidade de seus extrativos, que são encontrados nas cascas, nas folhas, nas flores, nos frutos e nas sementes, onde aparecem em maior quantidade se comparados à madeira (SJÖSTRÖM; ALÉN, 1998; GULLICHSEN; PAULAPURO, 2000).

A maioria dos estudos encontrados na literatura, reportam estudos de teores de extrativos na madeira com foco na melhoria na produção de polpa celulósica e papel. Dentre os extrativos, os lipofílicos são os mais estudados, pois são encontrados em maior quantidade na madeira de eucalipto e são os responsáveis pela formação de *pitch* (MANJI et al., 2005; FREIRE et al., 2002; GUTIÉRREZ et al., 1998) e também contribuem para o maior consumo de reagentes durante o processo de branqueamento (FREIRE et al., 2005, 2006a; NETO et al., 2004, 2005; SILVESTRE et al., 2005).

Silverio (2008), estudando o extrato lipofílico (extração com acetona por seis horas, em aparelho tipo Soxhlet e redissolução em diclorometano para isolamento da fração lipofílica) da madeira de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. urograndis* com 8 anos de idade e *E. urophylla* com 12 anos de idade, identificou com o uso de cromatografia gasosa e espectrometria de massas, em torno de 54 compostos lipofílicos sendo em sua maioria ácidos graxos, álcoois graxos e esteróides.

Resultados semelhantes foram encontrados por Silverio et al. (2007) para extrativos lipofílicos da madeira de 4 clones de *Eucalyptus urograndis* de 8 anos de idade.

Em estudo de Barbosa et al. (2005) foram identificados 52 compostos em extrato obtido pela extração com etanol:tolueno em madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* de 8,5 anos de idade. Com a caracterização parcial dos componentes, foi possível a classificação de acordo com o grupo químico, pertencendo estes à classe dos ácidos graxos, esteróides, álcoois de cadeia longa, carboidratos e compostos aromáticos, mostrando-se predominante os esteróides em comparação com os outros componentes.

3 OBJETIVOS

Este estudo teve como objetivo principal estudar o efeito da idade, do sítio e do clone (árvores jovens) e da espécie (árvores adultas) sobre o cerne e o alburno de eucaliptos, avaliados em termos de suas propriedades tecnológicas (físicas, mecânicas e químicas).

Teve ainda os seguintes objetivos específicos:

Árvores jovens (idade de 2 a 6 anos)

- determinar o início de formação de cerne (passível de diferenciação) no lenho de árvores;
- avaliar a influência do sítio e do clone na formação do cerne de árvores jovens de eucalipto;
- avaliar a influência da idade nas características (físicas e químicas) do cerne de árvores jovens de eucalipto.

Árvores adultas (idade superior a 18 anos)

- avaliar a influência da espécie nas características (físicas, mecânicas e químicas) do cerne de árvores de eucalipto de uso comercial em serraria.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Seleção e coleta das árvores jovens e adultas

4.1.1 Árvores jovens

Foram selecionadas árvores disponibilizadas pela empresa Duraflora S.A., obtidas de plantações da empresa em duas regiões distintas:

- Região de Lençóis Paulista – SP codificada como (LP), classificada por desempenho e ranqueada pela empresa Duraflora S.A. como inferior. Possui solo tipo latossolo vermelho distrófico típico, A moderado, álico, textura média e relevo suave ondulado, altitude local de 675m, longitude 48° 50' 36,4" e latitude 22° 51' 48,2" e com precipitação média de 1350 mm/ano. A área do experimento é de 0,54 ha.
- Região de Itapetininga – SP codificada como (I), classificada por desempenho e ranqueada pela empresa Duraflora S.A. como superior. Possui solo tipo latossolo vermelho-escuro epiálico distrófico, A moderado, textura arenosa e relevo suave ondulado, altitude local de 656m, longitude 48° 03' 37,7" e latitude 23° 59' 59,1" e com precipitação média de 1250 mm/ano. A área do experimento é de 1,71 ha.

Em cada uma dessas regiões, as amostras de madeira foram retiradas de árvores de dois clones de *Eucalyptus* spp. de uso operacional da empresa, classificados por seu desempenho e ranqueados como: clone 1 (GU49- híbrido de *E.*

grandis e *E. urophylla*) – superior (considerado de maior produtividade pela empresa) e clone 2 (G510- *E. grandis*) – inferior (considerado de menor produtividade pela empresa).

Assim, obtiveram-se quatro situações distintas (Tabela 4):

Tabela 4. Combinações de sítio e clone estudadas

Sítio	Clone	Combinação	Características
I	1	1	sítio superior/clone superior
	2	2	sítio superior/clone inferior
LP	1	3	sítio inferior/clone superior
	2	4	sítio inferior/clone inferior

Para cada uma das situações estudadas (clone e região) foram amostradas 6 árvores de cada uma das seguintes idades: 2, 4 e 6 anos. Por indisponibilidade da empresa, árvores de 2 anos do clone 2 da região de Itapetininga não foram amostradas.

4.1.2 Árvores adultas:

Foram selecionadas e abatidas 6 árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden disponibilizadas pela Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu. As árvores são provenientes de um plantio seminal realizado em agosto de 1996 na Fazenda Experimental Lageado.

Árvores adultas de *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus saligna* foram disponibilizadas pela PREMA Tecnologia e Comércio S.A. localizada no município de Rio Claro – SP. Foram selecionadas e abatidas 6 árvores de cada espécie. As árvores tinham idades superiores a 18 anos. Dados complementares das áreas de amostragem estão sendo obtidos junto ao fornecedor.

4.2 Coleta das amostras

De cada árvore jovem foi amostrado um disco à altura do peito com cerca de 50mm de espessura, que foi identificado com algarismos alfanuméricos, sendo os dois primeiros LP (Lençóis Paulista) e I (Itapetininga)- correspondentes à região- C1 (clone 1- superior) e C2 (clone 2- inferior)- correspondentes aos clones- e números de 1 a 6 correspondentes às seis repetições do tratamento. Esses discos foram utilizados para quantificação de cerne e alburno, para análises físicas (densidade básica, densidade aparente e perfil densitométrico) e química.

De cada árvore adulta foi retirado um torete a partir do DAP em direção à base, para posterior retirada de 3 discos:

- Disco 1: 20mm de espessura- caracterização e quantificação de cerne e albarno;
- Disco 2: 20mm de espessura- ensaio de densidade básica pelo método de imersão;
- Disco 3: 30mm de espessura- ensaio de densidade básica, densidade aparente e perfil densitométrico (técnica de atenuação da radiação gama);

O torete restante foi desdobrado para confecção dos corpos de prova dos ensaios de dureza Janka, compressão paralela às fibras e análises químicas.

A Figura 1 ilustra etapas da coleta das amostras das árvores adultas.



Figura 1. Coleta das amostras- árvores adultas. A) retirada dos 3 discos do torete; B) retirada da prancha central do torete restante; C) prancha central; D) retirada da faixa diametral para ensaio de dureza Janka; E) faixas diametraais para ensaio de dureza Janka; F) demarcações feitas para o corte das faixas diametraais e dos caibros. E e D referem-se, respectivamente, às regiões da esquerda e da direita da medula.

4.3 Delimitação do cerne e albarno

Além da possível diferenciação de cerne e albarno pela coloração natural da madeira (cerne geralmente mais escuro), existem algumas técnicas que facilitam essa distinção quando a madeira não apresenta diferença natural na coloração entre as frações. Geralmente essas técnicas são técnicas de colorimetria. Gominho (2003), E Gominho et al., (2004) utilizaram em seus estudos o alaranjado de metila e Castro (2014)

utilizou o *Dimethyl yellow* (0,2% em etanol), ambos reagem com a diferença de pH da madeira.

O iodeto de potássio também pode ser usado para coloração da madeira e distinção das frações devido à sua reação com o amido que teoricamente é encontrado no alburno.

No presente estudo foi testada a coloração das amostras com o iodeto de potássio, porém não foram obtidos resultados que permitiram a distinção das frações, sendo feita então por meio de caracterização macroscópica do lenho das árvores jovens e adultas, segundo metodologia proposta por Bamber e Fukazawa (1985) e Pereira et al. (2013).

Os discos foram polidos manualmente na secção transversal com uma série de lixas, sendo lixas secas (100 e 150) e lixas d'água (320, 400, 600 e 1200) (Figura 2). O polimento associado ao uso de um estereomicroscópio de 10x de aumento- Laboratório de Anatomia da Madeira- FCA/UNESP- Botucatu- tornaram possível a observação da seção transversal dos vasos e os limites exatos entre as frações- cerne e alburno. O cerne foi caracterizado pela presença de tilos nos vasos, e o alburno, pela ausência destes (Figura 3).

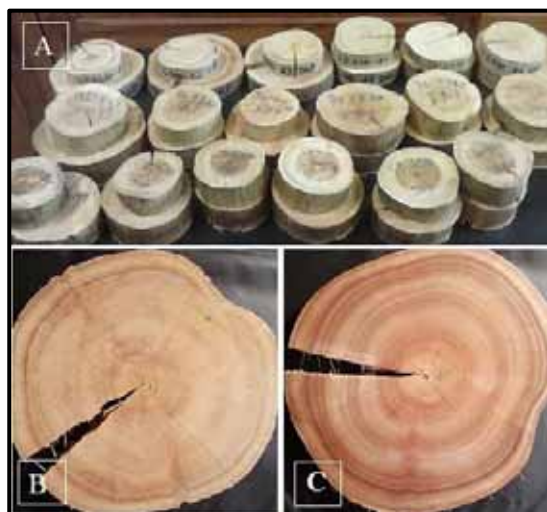


Figura 2. Preparo do material para análise macroscópica. A) discos das árvores jovens; B) disco antes do polimento com série de lixas; C) disco polido.

O limite entre cerne e alburno foi demarcado com uma caneta de ponta fina com tinta permanente preta e, posteriormente, foi realizada análise digital de

imagem, para cálculo das áreas de cerne, alburno, área total e suas respectivas porcentagens.

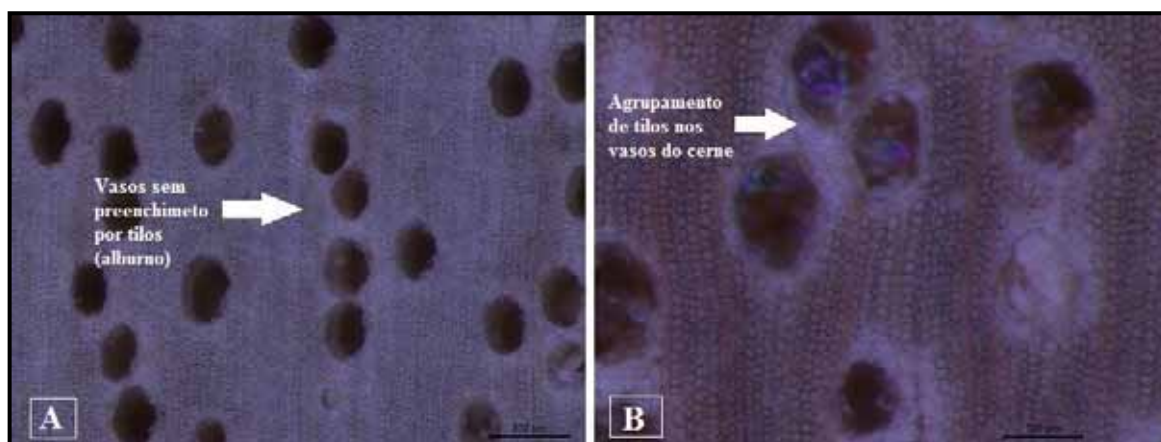


Figura 3. Árvores jovens- Imagem de vasos observados na seção transversal polida da madeira. A) vasos com ausência de tilos, área do disco caracterizada como alburno; B) vasos preenchidos por tilos, área do disco caracterizada como cerne.

4.4 Cálculo das áreas e porcentagens de cerne e alburno

Com câmera digital foram obtidas fotografias de alta qualidade do lenho demarcado das árvores jovens e adultas, utilizando-se fundo preto com a presença de uma escala de 1cm² (retirada de papel milimetrado). Essas fotos foram analisadas por meio de processamento digital de imagens, usando um algoritmo computacional implementado na plataforma MatLab® versão 7.12.0 (R2011a). A Figura 4 ilustra os passos realizados pelo algoritmo em um dos discos amostrados, que foram:

- Binarização da imagem: o algoritmo reconhece os pixels como valores numéricos, analisa o histograma de distribuição de cores da imagem original e divide este histograma em duas partes, por conversão numérica em valores correspondentes a branco ou preto;
- Realce de borda: o algoritmo realiza passos repetidos de erosão e dilatação na imagem a fim de realçar as bordas e excluir pequenos artefatos indesejáveis.
- Reconhecimento de regiões: o programa reconhece regiões interligadas na imagem e associa valores de pixels e índices a cada uma das regiões e também associa índices à essas regiões.
- Histograma: o algoritmo gera um histograma relacionando os índices das regiões com o número de pixels encontrado em cada uma das regiões;

- Cálculos: por meio dos valores de pixels encontrados e seus índices relacionados, o programa transforma a quantidade de pixels em centímetros utilizando o papel milimetrado como referência de escala e realiza os cálculos de áreas e porcentagens de áreas.

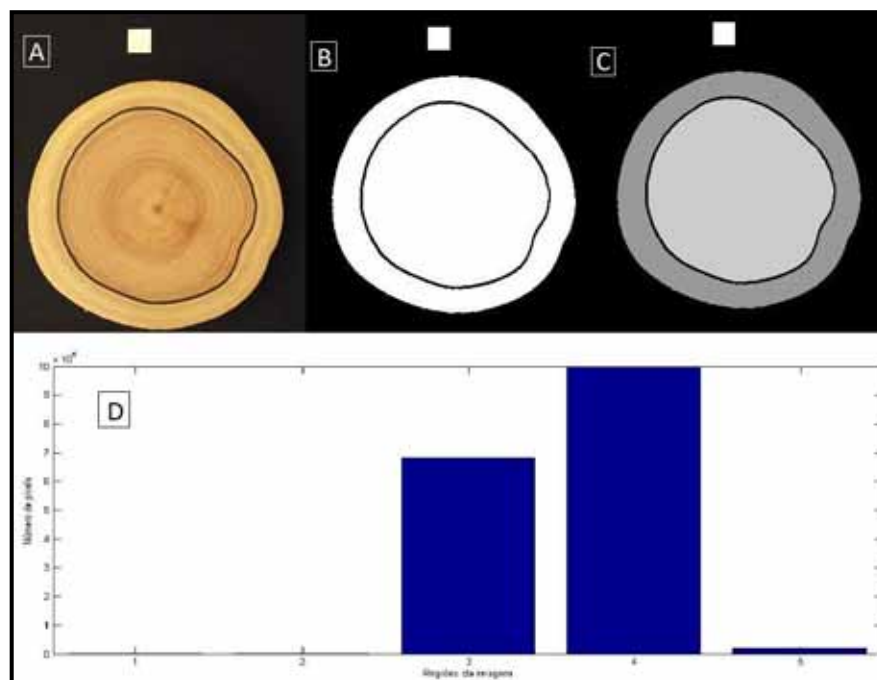


Figura 4. Etapas da análise digital das imagens do lenho demarcado: A) fotografia de alta qualidade em fundo preto com a presença de uma escala de 1cm² ; B) binarização e realce de borda da imagem; C) separação e reconhecimento de regiões interligadas; D) histograma final que relaciona os números de pixels encontrados com as regiões interligadas- cálculo final das áreas e porcentagens.

4.5 Propriedades físicas

4.5.1 Densidade básica, densidade aparente e perfil densitométrico

A densidade básica, aparente e perfil densitométrico do lenho dos discos amostrados das árvores jovens e adultas selecionadas foram determinados pela técnica da atenuação de radiação gama (TARG)- Figura 5- ao longo do raio médio dos discos, evitando-se aqueles que atravessavam nós ou rachaduras. As análises de atenuação de radiação gama foram realizadas no Laboratório de Física e Biofísica do Instituto de Biociências – IBB/UNESP – Botucatu/SP, com uso de equipamento desenvolvido e confeccionado nesse mesmo laboratório. A metodologia dos ensaios seguiu, basicamente, o descrito em Costa (2006).

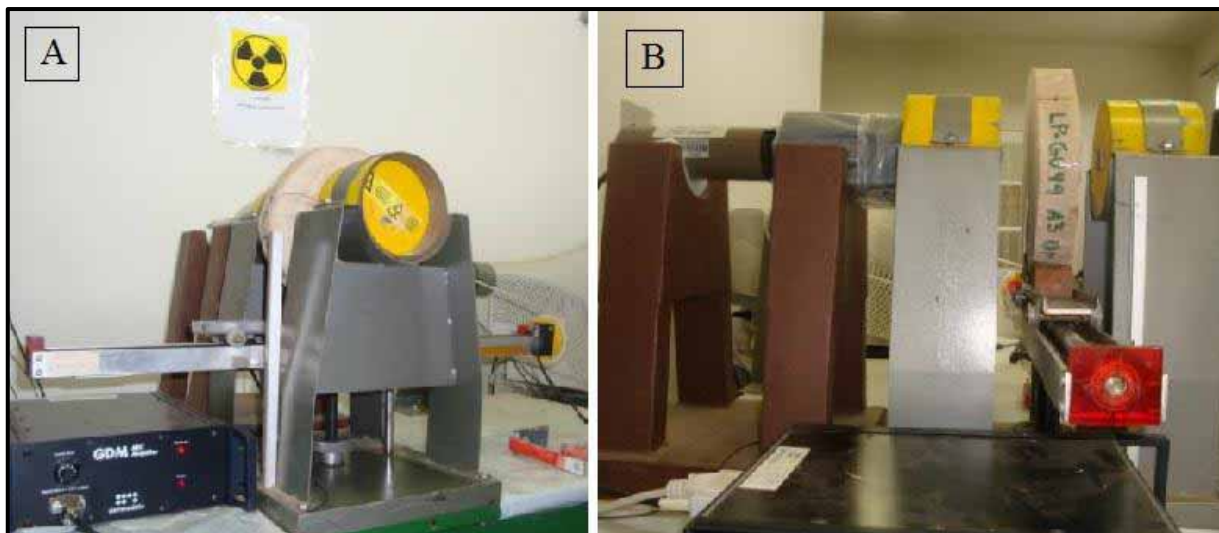


Figura 5. Sistema de Atenuação da Radiação do ^{241}Am . A) vista geral do sistema. B) detalhe lateral da movimentação da amostra entre a fonte de emissão de radiação e o sistema de detecção.

Fonte: Fawaz (2011)

Os discos foram descascados, aplainados e lixados para adquirirem espessura uniforme em torno de $3,0 \pm 0,5\text{cm}$ que foi mensurada utilizando um paquímetro digital da marca Mitutoyo com resolução de $0,01\text{mm}$ e precisão de $\pm 0,005\text{mm}$; posteriormente, os discos foram estocados em ambiente aberto, até obter-se um teor de umidade de aproximadamente 12%; em seguida, as massas dos discos foram medidas utilizando uma balança eletrônica de precisão da marca Gehara, modelo “BG 4000”, com resolução de $0,01\text{g}$ e precisão de $\pm 0,1\text{g}$.

A umidade dos discos, avaliada após a realização da TARG foi determinada por meio da equação 1. A massa seca foi obtida após secagem dos discos em estufa a uma temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$.

$$U = \left[\frac{M_U - M_S}{M_S} \right] \times 100 \quad (1)$$

sendo:

U : teor de umidade dos discos, (%);

M_U : massa úmida dos discos, (g);

M_S : massa seca em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até massa constante, (g).

Após alcançar a umidade de equilíbrio (12%), o raio médio dos discos foi obtido a partir da circunferência do disco, medida com uma fita métrica flexível com resolução de 0,1cm e precisão de 0,05cm. Com a medida do raio médio, foi localizada e depois riscada na amostra, uma linha radial com essa distância.

A velocidade de deslocamento do disco no aparelho foi ajustada para se obter uma média de $2 \pm 0,05$ pontos por milímetro ao longo do raio médio da amostra.

A partir dos dados da radiação gama de cada amostra foram separados os valores de I_0 e I – taxas de contagens sem e com material absorvedor (madeira) para cada disco respectivamente.

Conforme Parrish (1961) e Ferraz e Mansel (1979), a densidade foi determinada pela absorção diferenciada da radiação, ou seja, quanto maior a densidade, maior é a absorção e tanto menor a quantidade de radiação que atravessará o meio absorvedor.

A densidade média dos discos foi calculada utilizando-se a suposição de que o disco é formado por vários anéis delgados e concêntricos, com espessura constante. A justaposição dos anéis, um dentro do outro, reconstituiria o disco. Conhecendo a densidade em um ponto qualquer de cada anel (Figura 6), considerou-se que essa densidade representa a densidade média do anel, levando em conta que o crescimento do lenho da árvore é distribuído circunferencialmente com mesma densidade. A densidade média ponderada do disco foi obtida pela ponderação das densidades pontuais nos anéis, sendo que o fator de ponderação foi o volume do anel, isto é, a densidade do anel com maior volume tem maior representatividade no valor médio da densidade.

A densidade média ponderada do disco foi calculada na umidade da amostra (U) e, posteriormente, foi transformada em densidade básica e em densidade a 12% pelas equações 2, 3 e 4 propostas por Rezende (1997) e Rezende et al., (1998) válidas para árvores dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. São equações de conversão da densidade ρ_U determinada pela TARG com a amostra a $U\%$ de umidade para ρ_0 , ρ_b e ρ_{12} respectivamente e densidade aparente a 0% de umidade, básica e densidade aparente a 12%.

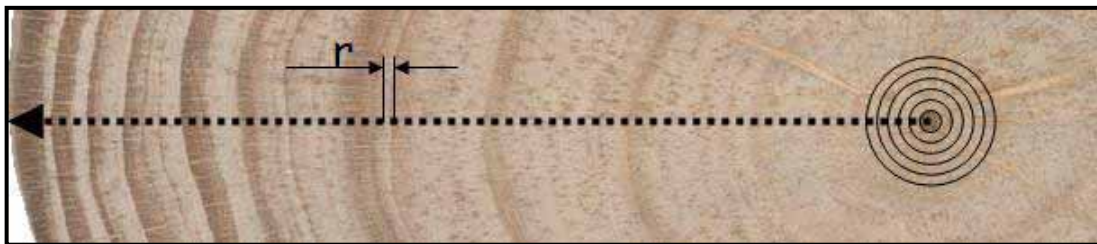


Figura 6. Idealização da composição de um disco de madeira: anéis delgados e concêntricos, dos quais são conhecidos a densidade (no ponto central do anel) e seu volume ("r" é a distância entre cada medida feita pela TARG).

Fonte: Costa (2006).

$$\rho_0 = \frac{\rho_U}{(1+0,01 U\%) [(1-0,0013 U\%)-0,0050 U\% \rho_0]} \quad (2)$$

$$\rho_b = \frac{0,98 \rho_0}{1+0,24 \rho_0} \quad (3)$$

$$\rho_{12} = 1,104 \rho_0 - 0,067 \rho_0^2 \quad (4)$$

sendo:

ρ_U : densidade aparente a U% de umidade;

ρ_0 : densidade aparente a 0% de umidade;

ρ_b : densidade básica;

ρ_{12} : densidade aparente a 12% de umidade.

Os valores de densidade básica (ρ_b) e densidade aparente (ρ_{12}) ponderadas foram posteriormente particularizadas para as regiões de cerne e alburno separadamente, a partir dos valores obtidos na delimitação dessas regiões. Assim, foi possível determinar para o disco quais eram os valores ponderados dessas propriedades na região de cerne, central no disco e para o anel periférico do alburno.

4.5.2 Retratibilidade

Os ensaios de retratibilidade, exclusivos da madeira de árvores adultas, foram realizados como preconizado pela NBR 7190 (ABNT, 1997). Para esse ensaio foram utilizados corpos de prova com dimensões de 20mm na direção tangencial,

30mm na direção radial, e 50mm na direção longitudinal. Serão avaliadas as retratibilidades radial, tangencial, longitudinal e volumétrica.

Os corpos de prova foram produzidos a partir do torete restante após a retirada dos discos 1, 2 e 3 (Figura 1A), sendo obtidos, na direção radial, um corpo de prova mais próximo a medula (cerne puro) e um corpo de prova mais próximo possível da casca (alburno puro e em algumas situações, alburno com presença de cerne).

4.6 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas foram determinadas exclusivamente nas árvores adultas.

4.6.1 Dureza Janka

Os ensaios de dureza Janka paralela às fibras, foram em pontos correspondentes às posições de onde foram retirados os corpos de prova para ensaio de compressão paralela às fibras.

A metodologia do ensaio seguiu, a menos das dimensões dos corpos de prova, o preconizado na NBR 7190 (ABNT, 1997). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaio de Materiais do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas - FCA/UNESP – Botucatu, em máquina universal de ensaios marca EMIC, modelo DL30000.

4.6.2 Compressão paralela às fibras

Os ensaios de resistência à compressão paralela às fibras foram realizados de acordo com o preconizado pela NBR 7190/97 (ABNT, 1997). Segundo a referida norma é permitida a utilização de corpos-de-prova com seção transversal quadrada com pelo menos 18mm de lado e comprimento igual a três vezes o lado da seção transversal. Foram utilizados corpos de prova com dimensões (30 x 30 x 90)mm³, produzidos a partir do torete restante após a retirada dos discos 1, 2 e 3 e corpo de prova para a dureza Janka, sendo obtidos na direção radial, dois corpos de prova de cada um dos lados (direito e esquerdo) do torete- um mais próximo à medula (cerne puro) e outro mais próximo possível à casca (alburno puro ou, em algumas situações, alburno com presença de cerne).

No ensaio foi avaliada a resistência à compressão paralela às fibras da madeira, dada pela máxima tensão suportada pelo corpo de prova. Os corpos de prova estavam climatizados ($U=65\%$; $T=21^{\circ}\text{C}$) e os resultados finais foram reportados à umidade de 12%.

4.7 Análise química - extração e quantificação dos extrativos

Os discos de madeira das árvores jovens e adultas foram separados em frações de cerne e alburno com a ajuda de um formão e martelo. Posteriormente, cada fração foi reduzida a cavacos e, com uso de moinho de facas do tipo Willey, foram transformadas em serragem. Atendendo à norma TAPPI T 264 cm-97 (1997) a fração de serragem utilizada nas análises químicas foi a que passou na peneira de 40 mesh e ficou retida na peneira de 60 mesh. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados. As etapas da preparação das amostras estão ilustradas na Figura 7.



Figura 7. Etapas de preparação das amostras para as análises químicas. A) separação das frações de cerne e alburno. B) redução de cada fração em cavacos. C) moinho de facas do tipo Willey, onde os cavacos foram transformados em serragem. D) peneiras classificatórias. E) frações da amostra já separadas pela peneira classificatória.

O ensaio de determinação de extrativos totais foi realizado no Departamento de Ciências Florestais – Laboratório de Análises Químicas– FCA/UNESP – Botucatu/SP com uso de extrator do tipo Soxhlet (Figura 8) seguindo-se metodologia preconizada pela norma TAPPI T 264 cm-97 (1997).



Figura 8. Extração em extrator do tipo Soxhlet.

4.8 Análise química - qualificação dos extrativos

As soluções obtidas após extração em tolueno+etanol foram preparadas para a fase seguinte de qualificação dos componentes principais dos extrativos que foi realizada seguindo-se basicamente o descrito por Silvério (2008). Foi utilizado sistema CG-EM da PerkinElmer composto por um cromatógrafo gasoso Clarus 680 com espectrômetro de massas Clarus SQ8T com Ionização por Impacto Eletrônico (EI) acoplado a ele. A coluna utilizada é Elite 5-MS com 30 metros, 0,25mm de diâmetro interno e filme de 0,25 μ m e hélio como gás de arraste. A temperatura do injetor é de 250°C. Os equipamentos pertencem ao Laboratório Central da Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP – Botucatu/SP, e estão instalados provisoriamente no Laboratório de Matologia do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal – FCA/UNESP – Botucatu/SP.

4.9 Análise estatística dos dados

Todos os dados de áreas e porcentagens de cerne e alborno, propriedades físicas, mecânicas e químicas foram tabulados em uma planilha do Microsoft Excel e as análises estatísticas foram conduzidas com o apoio da estatística Dra. Maria

Márcia Pereira Sartori, Pós- doutoranda do Departamento de Engenharia Rural – FCA/UNESP – Botucatu/SP, com utilização do software Minitab 16.

Os resultados de raio, área, porcentagem de área, densidade básica, densidade aparente, retratibilidade, dureza Janka, resistência à compressão paralela às fibras e teor de extrativos totais foram inicialmente reportados como valores médios para cada uma das frações do lenho (cerne e alburno) estudadas nas situações contempladas. Os resultados de retratibilidade, dureza Janka e resistência à compressão paralela às fibras foram exclusivos das árvores adultas. Os efeitos (influências) do sítio, clone e idade (árvores jovens) e espécie (árvores adultas) foram avaliados por análise de variância seguida de teste de comparação de médias (Tukey) considerado significativo quando $p < 0,05$. Para as avaliações entre cerne e alburno, foi utilizado o teste t de Student também considerado significativo quando $p < 0,05$.

Os componentes químicos (extrativos), identificados pela cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM), serão reportados como ausentes ou presentes em cada uma das situações estudadas.

Os perfis densitométricos (densidade aparente) foram analisados seguindo-se metodologia proposta por Jammal (2011). Compreende, basicamente, a avaliação estatística (medidas de tendência central e dispersões) do perfil densitométrico em cada uma das frações do lenho estudadas (cerne e alburno).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Árvores jovens

Os valores de raio, área, porcentagem de área, relação cerne/alburno, densidades básica e aparente (12% de umidade) e teor de extrativos totais para cada amostra em cada situação estudada (clones, regiões e idades) e em cada uma das frações do lenho (cerne e alburno) das árvores jovens estão apresentados na íntegra no Apêndice A (Tabelas A1 e A2). São apresentados de forma sintética e discutidos considerando-se os efeitos intervenientes no texto que segue.

5.1.1 Variação das propriedades entre as idades

5.1.1.a. Áreas de cerne, alburno e total, suas porcentagens e relação cerne/alburno

A Figura 9 e a Tabela 5 apresentam os valores médios das áreas (absolutas e percentuais de cerne e alburno e a relação entre as áreas de cerne e alburno. Pela Figura 9 observa-se que para as 4 situações estudadas, houve um aumento da área de cerne com a idade. De maneira geral, a área total dos discos de madeira também aumentou com a idade, com exceção do clone 2 em Lençóis Paulista, onde os discos de madeira de 4 anos de idade, apresentaram uma maior área total quando comparados aos de 6 anos (não deixando contudo de ser maior a área de cerne das árvores de 6 anos). Esta tendência de aumento da quantidade de cerne com a idade também foi encontrada por Silva (2002) em estudo da madeira de *E. grandis* em 4 diferentes idades (10, 14, 20 e 25 anos) e por

Evangelista (2007) em estudo de clones de *Eucalyptus* spp. em três diferentes idades (6, 8 e 10 anos).

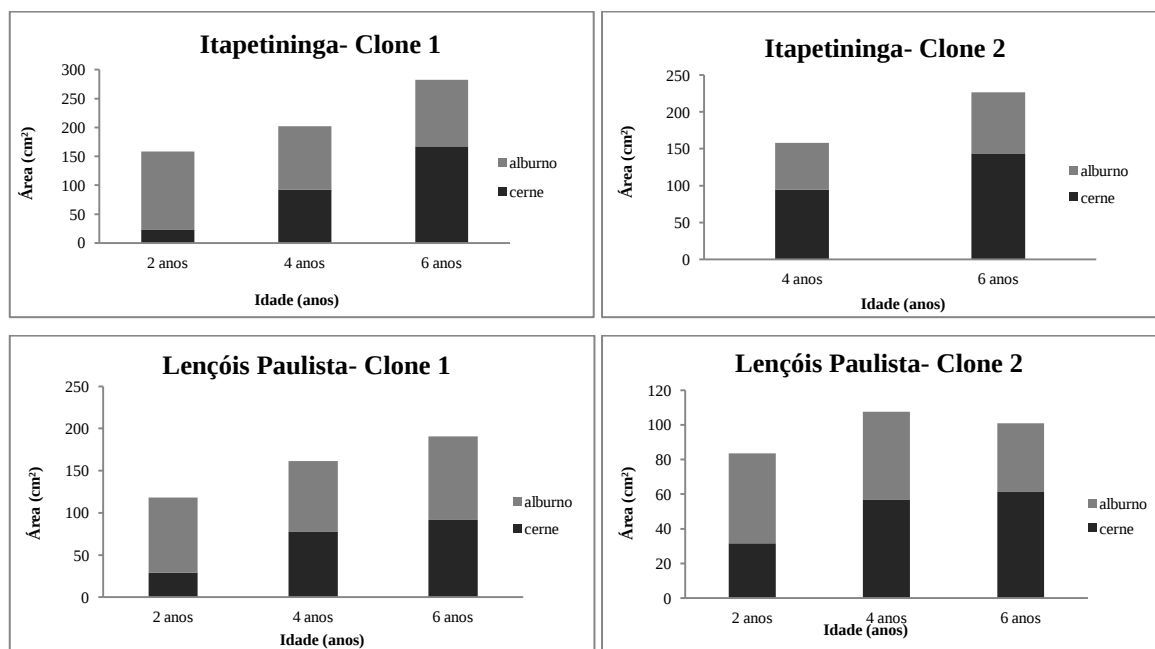


Figura 9. Variação das áreas de cerne, alburno e total dos discos de madeira nas idades de 2, 4 e 6 anos.

Tabela 5. Valores médios (seguidos de desvio padrão) de área percentual das frações de cerne e alburno e relação cerne/alburno de discos do DAP em função da idade das árvores.

Idade (anos)	Sítio	Clone	Área (%)		Relação C/A
			Cerne	Alburno	
2	I	1	13,7 (7,2) c	86,3 (7,2) a	0,17 (0,10) c
4			44,8 (7,0) b	55,2 (7,0) b	0,84 (0,23) b
6			58,5 (8,5) a	41,5 (8,5) c	1,50 (0,51) a
4	I	2	61,0 (5,4) a	39,0 (5,4) a	1,61 (0,38) a
6			63,3 (5,7) a	36,7 (5,7) a	1,79 (0,50) a
2	LP	1	24,0 (6,9) b	76,0 (6,9) a	0,32 (0,12) b
4			48,8 (3,2) a	51,2 (3,2) b	0,96 (0,12) a
6			48,7 (4,1) a	51,3 (4,1) b	0,96 (0,16) a
2	LP	2	37,6 (2,7) c	62,4 (2,7) a	0,60 (0,07) b
4			53,3 (3,8) b	46,7 (3,8) b	1,15 (0,18) a
6			61,3 (6,3) a	38,7 (6,3) c	1,66 (0,56) a

*Numa mesma coluna, para um mesmo clone e um mesmo sítio, médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Pela Tabela 5, verificou-se que, de maneira geral, a porcentagem de cerne, também aumenta com a idade da árvore, ocorrendo o contrário para a porcentagem de alburno.

Os valores médios da porcentagem da área de cerne variaram de 13,7 a 37,6(2 anos) , 44,8 a 61,0 (4 anos) e 48,7 a 63,3 (6 anos). A variação dos valores médios de alburno foi de 62,4 a 86,3 (2 anos), 39,0 a 55,2 (4 anos) e 36,7 a 51,3 (6 anos).

A relação cerne/alburno também mostrou efeito crescente com a idade (2 anos- 0,17 a 0,60; 4 anos- 0,84 a 1,61; 6 anos- 0,96-1,79), onde nota-se que a partir dos 4 anos, a área de cerne passa a ser maior que a área de alburno (valores próximos de 1,0).

Houve efeito incontestável da idade nos percentuais de área de cerne e alburno no sítio Itapetininga/clone 1 e 2 e sítio Lençóis Paulista/ clone 2. O aumento da área de cerne é mais evidente das árvores de 2 para 4 anos, em detrimento de idade de 4 para 6 anos. Em duas situações (Itapetininga/clone 2 e Lençóis Paulista/ clone 1) não houve diferença significativa entre as áreas percentuais de cerne para as idade de 4 e 6 anos. Essas duas situações combinam situação superior e clone inferior ou sítio inferior e clone superior.

Esses resultados eram esperados uma vez que, quanto menor a idade da árvore, maior será a quantidade de alburno e menor a relação cerne/alburno na madeira, quando comparada à árvores mais velhas (EVANGELISTA, 2007).

De acordo com Silva (2002), a quantificação da relação cerne/alburno é mais importante do que somente a espessura do alburno. Resultados da relação cerne/alburno semelhantes aos encontrados no presente estudo foram observados por Evangelista (2007) toras de 6 metros amostradas da parte basal de árvores de *E. urophylla* de 6 e 8 anos e *E. camaldulensis* de 10 anos, onde foram observados maiores valores da relação cerne/alburno nas árvores de maior idade. Castro (2011), estudando discos amostrados a 0, 25, 50 e 75% da altura comercial da árvore de 3 tipos de clones (dois clones de *E. urophylla* e um clone de *E. urophylla* x *E. grandis*) nas idades de 3, 4, 5 e 7 anos, observou que somente o clone *E. urophylla* x *E. grandis* apresentou efeito significativo da idade na relação cerne/alburno com valores que variaram de 0,96 a 1,85 para a espécie.

Esta relação é usada também para expressar as variações na direção longitudinal da árvore (OLIVEIRA, 1997; SILVA, 2002; VALLE, 2009;

GONÇALVES, 2010). Como o desenvolvimento do cerne acompanha o avanço da idade do lenho, a proporção do mesmo é maior onde o lenho é mais velho, ou seja, a proporção de cerne diminui da base para o topo da árvore (SANTOS et al., 2004).

5.1.1.b. Densidade básica e aparente (12% umidade)

Na Tabela 6 são apresentados os dados de densidade básica ($D_{básica}$) e aparente ($D_{12\%}$) das frações de cerne e alburno do lenho das árvores na altura do DAP.

Tabela 6. Valores médios (seguidos de desvio padrão) de densidade básica ($D_{básica}$) e densidade aparente a 12% de umidade ($D_{12\%}$), avaliadas nas frações de cerne e alburno de discos de DAP em função da idade das árvores.

Idade (anos)	Sítio	Clone	$D_{básica}$ (kg/m ³)		$D_{12\%}$ (kg/m ³)	
			Cerne	Alburno	Cerne	Alburno
2	I	1	428 (32,0) a A	379 (12,6) b B	523 (42,3) a A	458 (16,3) b B
4			420 (8,5) a A	426 (11,3) a A	512 (11,3) a A	521 (14,9) a A
6			373 (27,0) b A	398 (31,6) ab A	450 (34,7) b A	484 (41,0) ab A
4	I	2	401 (20,8) a A	400 (26,4) a A	487 (27,4) a A	486 (34,4) a A
6			377 (44,2) a A	394 (57,1) a A	456 (57,4) a A	478 (75,4) a A
2	LP	1	402 (17,8) b A	397 (11,1) b A	489 (23,4) b A	482 (14,5) b A
4			455 (9,9) a A	449 (17,1) a A	558 (13,2) a A	551 (22,8) a A
6			445 (30,0) a A	457 (20,9) a A	545 (39,9) a A	561 (28,0) a A
2	LP	2	386 (15,1) b A	384 (31,8) b A	468 (19,7) b A	466 (41,1) b A
4			423 (20,6) a A	438 (30,1) a A	516 (27,3) a A	536 (39,9) a A
6			411 (13,6) a A	458 (19,0) a B	501 (17,8) a B	563 (25,5) a A

*Numa mesma coluna, para um mesmo clone e um mesmo sítio, médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

**Numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual não diferem pelo teste t de Student ($p < 0,05$).

Para todas as situações estudadas os valores de densidade básica variaram de 373 a 458 kg/m³ e os valores de densidade aparente a 12% de umidade variaram de 450 a 563 kg/m³.

Os valores médios de densidade básica dos discos do DAP aos 4 anos de idade estão um pouco inferiores aos valores encontrados por Trugilho et al. (1996) e Castro (2011) na árvore como um todo. Aos 6 anos de idade, os valores médios de densidade básica encontrados no presente trabalho estão de acordo com os encontrados por Evangelista (2007) em amostras retiradas de toras basais das árvores estudadas.

Das análises das médias de densidade básica do cerne das árvores de 2, 4 e 6 anos nas 4 situações estudadas (Tabela 6), constatou-se que para os dois clones da região de Lençóis Paulista houve aumento significativo da densidade (tanto do cerne quanto do alburno) dos 2 aos 4 anos, não apresentando diferença significativa dos 4 aos 6 anos. As árvores do clone 1 da região de Itapetininga não apresentaram aumento da densidade básica do cerne em relação à idade, inclusive, houve um decréscimo na densidade das árvores de 6 anos quando comparadas às de 2 e 4 anos (que não apresentaram diferenças significativas entre si). O clone 2 da região de Itapetininga não apresentou diferença significativa da densidade básica entre as idades de 4 e 6 anos. Os resultados de densidade básica do alburno apresentaram a mesma tendência de variação apresentada na densidade básica do cerne, com exceção do clone 1 da região de Itapetininga, onde as árvores de 4 anos apresentaram maior densidade quando comparada às árvores de 2 anos de idade e as árvores de 6 anos não apresentaram diferença significativa em relação às árvores de 2 e 4 anos.

Os valores médios de densidade aparente a 12% de umidade, tanto do cerne quanto do alburno, apresentaram a mesma relação encontrada nos resultados de densidade básica mencionados anteriormente.

Comparando-se estatisticamente as densidades básica e aparente entre as frações do lenho, apenas as árvores de 2 anos do clone 1 da região de Itapetininga e as árvores de 6 anos do clone 2 da região de Lençóis Paulista apresentaram diferenças estatísticas entre cerne e alburno.

A densidade básica da madeira apresenta um rápido aumento durante o período juvenil, passando para um crescimento mais lento até se tornar mais ou menos constante, quando a árvore atinge sua maturidade (PANSIN; DE ZEEW, 1980). Segundo Vital (1984), existe uma tendência da densidade básica aumentar com a maturidade da árvore como consequência do aumento da espessura da parede celular e diminuição da largura das células.

As variações na espessura das paredes das fibras e modificações nos componentes químicos em virtude entre madeira juvenil e adulta, são responsáveis pelo incremento da densidade básica com o aumento da idade (Meneses, 2013).

Castro (2011), observou em estudo com 3 clones de *Eucalyptus* spp. em 4 diferentes idades (3, 4, 5 e 7 anos), um aumento significativo da densidade básica da madeira com o aumento da idade. Trugilho et al. (1996) observou a existência de

uma tendência de aumento da densidade básica da madeira com o aumento da idade de *E. saligna* de 1, 2, 3 e 4 anos.

Em relação à densidade aparente da madeira, Silva et al. (2004), estudando sua variação em *Eucalyptus grandis* de diferentes idades, verificaram uma tendência de aumento da densidade aparente com a idade. Franco (2014), em estudo com árvores de *E. grandis* aos 2, 4, 6 e 8,4 anos, também observou um aumento da densidade aparente com a idade.

Segundo Tomazello Filho (2006), Tomazello Filho et al. (2008) e Oliveira et al. (2012), a densidade aumenta conforme há aumento da idade devido, principalmente, às alterações fisiológicas às quais o meristema cambial está sujeito. A maior quantidade de lenho tardio, além do maior tempo exposta às adversidades climáticas, fazem com que as árvores com maiores idades apresentem maiores valores de densidade aparente média.

5.1.1.c. Teor de extrativos totais

Na Tabela 7 é apresentado o teor de extrativos totais da madeira nas quatro situações estudadas para as idades de 2, 4 e 6 anos.

Nas quatro situações estudadas, o teor de extrativos totais da madeira variou de 2,2 a 4,2% no cerne e 2,3 a 2,4% no alburno das árvores de 2 anos. Nas árvores de 4 anos a variação foi de 1,9 a 3,7% no cerne e 1,8 a 2,6 no alburno e nas árvores de 6 anos a variação foi de 2,1 a 2,9% no cerne e 0,8 a 2,4% no alburno. Os dados encontrados na literatura, em geral, apresentam valores superiores aos apresentados nesse trabalho. Isso pode ser explicado pela perda de extrativos voláteis durante a secagem da madeira, uma vez que os discos foram previamente secos em estufa antes da quantificação dos extrativos. Porém, esse acontecimento não prejudica os objetivos do trabalho, já que, como todas as amostras das árvores jovens passaram pelo mesmo processo de secagem, podem ser comparadas entre si para relacionar idades, clones, sítios e cerne e alburno.

Tabela 7. Valores médios (seguidos de desvio padrão) do teor de extrativos totais avaliados nas frações de cerne e alburno de discos do DAP em função da idade das árvores.

Idade (anos)	Sítio	Clone	Teor de extrativos totais (%)	
			Cerne	Alburno
2	I	1	2,2 (0,8) a A	2,4 (0,8) a A
4			1,9 (0,7) a A	2,5 (0,3) a A
6			2,2 (0,8) a A	2,4 (0,8) a A
4	I	2	3,7 (0,4) a A	2,6 (0,3) a B
6			2,1 (0,4) b A	1,7 (0,2) b B
2	LP	1	4,2 (0,7) a A	2,3 (0,4) a B
4			2,2 (0,7) b A	2,4 (0,3) a A
6			2,5 (0,5) b A	2,3 (0,1) a A
2	LP	2	3,0 (1,3) a A	2,4 (0,9) a A
4			3,0 (1,0) a A	1,8 (1,2) abA
6			2,9 (1,0) a A	0,8 (0,7) b B

*Numa mesma coluna, para um mesmo clone e um mesmo sítio, médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

**Numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual não diferem pelo teste t de Student ($p < 0,05$).

Trugilho et al. (2001), encontrou teores de extrativos que variam de 4,87 a 7,75% para *E. grandis* e 6,50 a 7,54% para *E. saligna*. Esses valores, superiores ao aqui obtidos se mostram também superiores aos encontrados por Gomide et al., (2005) em estudo com 10 clones de *Eucalyptus* spp. (média do teor de extrativos de 3,01%), Oliveira et al. (2010) que obteve um teor de extrativos médio de 4,53% em *E. pellita* com 5 anos de idade, Santos et al. (2011), em estudo de 4 clones de *Eucalyptus* spp. com 7 anos, onde obteve uma média de 5,0% de teor de extrativos totais e Pereira (2012) que obteve uma variação de 3,1 a 5,0% no teor de extrativos totais de 6 clones de *Eucalyptus* spp. com 7,5 anos de idade.

Rocha (2011), em estudo de clones de *E. grandis* x *E. camaldulensis* aos 7 anos de idade em diferentes espaçamentos, encontrou teor de extrativos totais médio ainda mais baixos, de 2,47%. Protásio et al. (2013), no estudo do lenho de árvores de 7 clones de *Eucalyptus* spp. de 3,5 anos que variam de 3,36 a 5,51%. Esses autores apresentam resultados próximos aos encontrados no presente estudo.

Os resultados mostram que não houve diferença significativa no teor de extrativos totais entre as idades e entre a madeira de cerne e alburno na situação 1 (clone 1 da região de Itapetininga). Na situação 2 (clone 2 da região de Itapetininga), as árvores de 4 anos apresentaram um maior teor de extrativos do que as árvores de 6 anos, e o cerne apresentou maior teor de extrativos que o alburno. Na terceira situação, as árvores

de 2 anos apresentaram um maior teor de extrativos que as árvores de 4 e 6 anos, que apresentaram valores estatisticamente iguais. Nesta situação, apenas as árvores de 2 anos apresentaram maior teor de extrativos no cerne do que no alburno. Na situação 4, o teor de extrativos do cerne não diferiu entre as idades. Essa diferença ocorreu apenas no alburno, onde as árvores de 2 anos apresentaram um maior teor de extrativos 4 anos não diferiu estatisticamente das árvores de 2 e 6 anos. Apenas foi encontrada diferença estatística entre as árvores de 2 e 6 anos, sendo maior o teor de extrativos nas árvores de 2 anos. Nesta situação, apenas as árvores de 6 anos apresentaram maior teor de extrativos no cerne do que no alburno.

Vários autores encontraram correlação positiva entre o teor de extrativos totais e a idade da árvore (MORAIS, 2008; RAYMOND, 2000; SILVA, 2011; SILVA et al., 2005) e atribuíram esse comportamento ao processo de formação de cerne. Trugilho et al. (1996) também sugerem que o teor de extrativos tende a aumentar com a idade. Essa correlação positiva não pôde ser confirmada para as idades estudadas (2, 4 e 6 anos).

Com relação à diferença no teor de extrativos totais da madeira de cerne e alburno, diversos autores constataram em seus estudos que a madeira de cerne apresenta maiores teores de extrativos totais quando comparada à madeira de alburno. Dentre esses autores estão Salazar (1998), em estudo de 5 espécies de *Quercus*, Gominho et al. (2004), em estudo com *Eucalyptus grandis* x *urophylla*, Olmos (2005), em estudo da madeira de *E. globulos* de 13 e 14 anos de idade, Klitzke (2008) em madeira de jatobá com idade desconhecida e Paes et al. (2013) em estudo de 4 espécies (angico, craibeira, cumaru e eucalipto) com idade de 4 anos.

5.1.2 Variação das propriedades entre os sítios

5.1.2.a. Porcentagens de área de cerne, alburno e relação cerne/alburno

Os valores médios da porcentagem de áreas e cerne e alburno e da relação cerne/alburno encontram-se sumarizados na Tabela 8.

Tabela 8. Valores médios (seguidos de desvio padrão) de área percentual das frações de cerne e alburno e relação cerne/alburno de discos do DAP em função dos sítios (I- Itapetininga e LP- Lençóis Paulista).

Sítio	Idade (anos)	Clone	Área (%)		Relação C/A
			Cerne	Alburno	
I	2	1	13,7 (7,2) b	86,3 (7,2) a	0,17 (0,1) b
LP			24,0 (6,9) a	76,0 (6,9) b	0,32 (0,1) a
I	4	1	44,8 (7,0) a	55,2 (7,0) a	0,84 (0,2) a
LP			48,8 (3,2) a	51,2 (3,2) a	0,96 (0,1) a
I	6	1	58,5 (8,5) a	41,5 (8,5) b	1,50 (0,5) a
LP			48,7 (4,1) b	51,3 (4,1) a	0,96 (0,2) b
I	4	2	61,0 (5,4) a	39,0 (5,4) b	1,61 (0,4) a
LP			53,3 (3,8) b	46,7 (3,8) a	1,15 (0,2) b
I	6	2	63,3 (5,7) a	36,7 (5,7) a	1,79 (0,5) a
LP			61,3 (6,3) a	38,7 (6,3) a	1,66 (0,6) a

*Numa mesma coluna, para um mesmo clone de mesma idade, médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Verificou-se que não houve um padrão com predominância de um sítio de desenvolvimento da árvore nas relações entre as porcentagens de área e relação cerne/alburno. O sítio de maior produtividade (Itapetininga) apresentou maior porcentagem de área de cerne estatisticamente significativa em dois dos cinco casos estudados, enquanto que o sítio de menor produtividade (Lençóis Paulista), apresentou maior porcentagem de área de cerne em apenas um dos casos. Em 3 casos, não houve diferença significativa da porcentagem de área do cerne entre os sítios.

As árvores do clone 1 de Lençóis Paulista com 2 anos de idade apresentaram uma maior porcentagem de cerne, uma menor porcentagem de alburno e consequentemente uma maior relação cerne/alburno que as árvores do clone 1 com 2 anos de idade da região de Itapetininga. Para o mesmo clone aos 4 anos de idade, não foi evidenciada diferença nas porcentagens de área de cerne e alburno e relação cerne/alburno entre as regiões estudadas. Já as árvores de 6 anos de idade desse mesmo clone apresentaram características contrárias às de 2 anos, apresentando porcentagem de área de cerne e relação cerne/alburno maior e porcentagem de alburno menor na região de Itapetininga.

As árvores do clone 2 de Itapetininga apresentaram maior porcentagem de cerne e menor porcentagem de alburno que as árvores do mesmo clone de

Lençóis Paulista. Na idade de 6 anos, o clone 2 não apresentou diferenças significativas na porcentagem de cerne e alburno entre os sítios estudados.

Há, ainda, uma carência de material bibliográfico que reporte a relação entre a formação de cerne e o local, principalmente para o *Eucalyptus* spp.

A influência do local (sítio) na formação do cerne é ainda polêmica, como pode ser observado na Tabela 2 (revisão bibliográfica), que sumariza os resultados obtidos por alguns pesquisadores. Mauri (2010) estudando a relação cerne/alburno de dois clones de *E. urophylla* x *E. grandis* em duas regiões distintas (baixa e alta altitude), observou que a relação cerne/alburno para o clone 1 foi menor na região de baixa altitude, enquanto que o clone 2 apresentou comportamento inverso.

Alguns autores como Tomazello Filho (2006), Miranda et al. (2004), Moraes e Pereira (2004), Purkayasta et al. (1980), Bhat e Benny (1985) e Wilkins (1989a, 1991), comprovaram uma correlação positiva entre o crescimento da árvore e a porcentagem de cerne. Partindo dessa comprovação, melhores sítios apresentariam melhor crescimento das árvores e, conseqüentemente, maior produção de cerne. No entanto, a correlação pode ocorrer somente para um parâmetro, como a altura (não para o DAP das árvores) como mencionado por Bhat et al. (1987) para o *E. grandis*, *E. tereticornis*, *E. pellita* e *E. camaldulensis* ou mesmo não existir, em um dos raros exemplos apresentados por Bhat et al. (1988) e Bhat (1990) para o *E. grandis*. O crescimento de uma árvore, pode ser avaliado em termos de altura ou diâmetro separadamente, e não somente em volume.

5.1.2.b. Densidade básica e aparente (12% umidade)

A Tabela 9 sumariza os resultados de densidade básica e aparente (12% de umidade) para as situações estudadas.

Tabela 9. Valores médios (seguidos de desvio padrão) de densidade básica ($D_{\text{básica}}$) e densidade aparente a 12% de umidade ($D_{12\%}$), avaliadas nas frações de cerne e alburno de discos de DAP em função dos sítios (I- Itapetininga e LP- Lençóis Paulista).

Sítio	Idade (anos)	Clone	$D_{\text{básica}}$ (kg/m ³)		$D_{12\%}$ (kg/m ³)	
			Cerne	Alburno	Cerne	Alburno
I	2	1	428 (32,0) a	379 (12,6) b	523 (42,3) a	458 (16,3) b
LP			402 (17,8) a	397 (11,1) a	489 (23,4) a	482 (14,5) a
I	4	1	420 (8,5) b	426 (11,3) b	512 (11,3) b	521 (14,9) b
LP			455 (9,9) a	449 (17,1) a	558 (13,2) a	551 (22,8) a
I	6	1	373 (27,0) b	398 (31,6) b	450 (34,7) b	484 (41,0) b
LP			445 (30,0) a	457 (20,9) a	545 (39,9) a	561 (28,0) a
I	4	2	401 (20,8) a	400 (26,4) b	487 (27,4) a	486 (34,4) b
LP			423 (20,6) a	438 (30,1) a	516 (27,3) a	536 (39,9) a
I	6	2	377 (44,2) a	394 (57,1) b	456 (57,4) a	478 (75,4) b
LP			411 (13,6) a	458 (19,0) a	501 (17,8) a	563 (25,5) a

*Numa mesma coluna, para um mesmo clone de mesma idade, médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Foi possível observar a relação das densidades básica e aparente entre os sítios estudados para os dois clones nas três idades. As árvores de 2 anos do clone 1 não apresentaram diferenças significativas na densidade básica e aparente entre os 2 sítios na fração de cerne. Porém a madeira de alburno apresentou maiores densidades básica e aparente no sítio de Lençóis Paulista.

As árvores de 4 e 6 anos do clone 1 apresentaram maior densidade básica e aparente em ambas as frações do lenho (cerne e alburno) na região de Lençóis Paulista. Já as árvores do clone 2, aos 4 e 6 anos, não apresentaram diferenças significativas na densidade básica e aparente entre os sítios na madeira de cerne, enquanto que, na madeira de alburno, maiores valores de densidade básica e aparente foram encontrados no sítio de Lençóis Paulista.

Os resultados mostram que, na sua maioria, as densidades básica e aparente foram maiores no sítio ranqueado pela empresa como inferior, sendo esse efeito mais nítido na madeira de alburno. Esta diferença na densidade pode estar relacionada à fatores edáficos ou climáticos, pois sabe-se pela literatura que solos ou climas favoráveis ao bom desenvolvimento das árvores aumentam a produtividade, e consequentemente, reduzem a densidade da madeira produzida (REZENDE, 1997; BRITO, 1985). Meneses (2013) também observou influência da capacidade produtiva do sítio na densidade básica

(local com melhor característica ambiental e melhor capacidade produtiva do sítio, influencia negativamente na densidade).

Moya et al. (2009), em estudo com *Tectona grandis* L.f. de 13 anos de idade procedentes de dois sítios de condições ecológicas bem diferentes (um clima tropical úmido e um clima tropical seco), constatou que a densidade média da madeira foi afetada pelo tipo de clima do local de plantio, onde árvores que cresceram em clima tropical seco, obtiveram maior densidade média em comparação com a madeira de árvores que cresceram em clima tropical úmido. Gouvea et al. (2012), também constatou efeito significativo do sítio na densidade básica da madeira de 3 clones de eucalipto. Os autores constataram maiores valores de densidade no sítio de menor precipitação, temperatura e umidade relativa.

Tomazello Filho (2006), estudando o efeito da irrigação e da fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* verificou que com a irrigação e outras práticas de manejo florestais, a árvore tem um ganho em crescimento volumétrico, porém não há influência na densidade básica do lenho, enquanto que árvores submetidas a condições climáticas adversas e de estresse hídrico tendem a apresentar ganhos de densidade. Outros autores (TISCHLER; HETH, 1985; OMRAN, 1986; PEREIRA et al., 1992; PEREIRA, 1992, 1995) também indicam que a irrigação e outras práticas de manejo induziram o crescimento volumétrico, mas não influenciam na densidade básica do lenho.

5.1.2.c. Teor de extrativos totais

A Tabela 10 sumariza os resultados do teor de extrativos do lenho agrupados em diferentes sítios, idades e clones.

No geral, os resultados não evidenciaram variação no teor de extrativos entre os sítios. Com exceção das árvores do clone 1 com 2 anos de idade (maior teor de extrativos encontrados na madeira de cerne da região de Lençóis Paulista) e as árvores do clone 2 com 6 anos de idade (maior teor de extrativos encontrados na madeira de alburno da região de Lençóis Paulista).

Tabela 10. Valores médios (seguidos de desvio padrão) do teor de extrativos totais avaliados nas frações de cerne e alburno de discos do DAP em função dos sítios (I- Itapetininga e LP- Lençóis Paulista).

Sítio	Idade (anos)	Clone	Teor de extrativos totais (%)	
			Cerne	Alburno
I	2	1	2,2 (0,8) b	2,4 (0,8) a
LP			4,2 (0,7) a	2,3 (0,4) a
I	4	1	1,9 (0,7) a	2,5 (0,3) a
LP			2,2 (0,7) a	2,4 (0,3) a
I	6	1	2,2 (0,8) a	2,4 (0,8) a
LP			2,5 (0,5) a	2,3 (1,0) a
I	4	2	3,7 (0,4) a	2,6 (0,3) a
LP			3,0 (0,9) a	1,8 (1,2) a
I	6	2	2,1 (0,4) a	1,7 (0,2) a
LP			2,9 (1,0) a	0,8 (0,7) b

*Numa mesma coluna, para um mesmo clone de mesma idade, médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Gouvea et al. (2012), estudando três clones de aproximadamente 8 anos de idade em dois diferentes sítios (sítio 1: precipitação=1251mm/ano, temperatura=23 °C e umidade relativa=83,1%; sítio 2: precipitação=773mm/ano, temperatura=22,8 °C e umidade relativa=79,5%), observaram que os clones apresentaram menor teor de extrativos totais no sítio 1 (2,50%), quando comparados com os do sítio 2 (3,03%). Os autores concluíram então que o sítio teve efeito significativo no teor de extrativos totais da madeira, o que não pôde ser observado no presente estudo.

5.1.3 Variação das propriedades entre os clones

5.1.3.a. Porcentagens da área de cerne, alburno e relação cerne/alburno

Os valores médios da porcentagem de áreas de cerne e alburno e relação cerne/alburno, estão sumarizados na Tabela 11.

Tabela 11. Valores médios (seguidos de desvio padrão) de área percentual das frações de cerne e alburno e relação cerne/alburno de discos do DAP em função dos clones (C1- clone1 e C2- clone 2).

Clone	Idade (anos)	Sítio	Área (%)		Relação C/A
			Cerne	Alburno	
1	4	I	44,8 (7,0) b	55,2 (7,0) a	0,84 (0,2) b
2			61,0 (5,4) a	39,0 (5,4) b	1,79 (0,4) a
1	6	I	58,5 (8,5) a	41,5 (8,5) a	1,50 (0,5) a
2			63,3 (5,7) a	36,7 (5,7) a	1,79 (0,5) a
1	2	LP	24,0 (6,9) b	76,0 (6,9) a	0,32 (0,1) b
2			37,6 (2,7) a	62,4 (2,7) b	0,60 (0,1) a
1	4	LP	48,8 (3,2) b	51,2 (3,2) a	0,96 (0,1) a
2			53,3 (3,8) a	46,7 (3,8) b	1,15 (0,2) a
1	6	LP	48,7 (4,1) b	51,3 (4,1) a	0,96 (0,2) b
2			61,3 (6,3) a	38,7 (6,3) b	1,66 (0,6) a

*Numa mesma coluna, para uma mesma idade num mesmo sítio, médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Pode-se afirmar que a porcentagem da área de cerne, em sua maioria, foi maior nas árvores do clone 2 (menor produtividade), com exceção das árvores de 6 anos da região de Itapetininga, que não obtiveram diferenças significativas entre os clones estudados. O oposto ocorreu para as porcentagens de alburno, que foram maiores nas árvores do clone 1 (maior produtividade). A relação cerne/alburno não obteve diferenças significativas entre clones nas árvores de 6 anos da região de Lençóis Paulista e Itapetininga.

Mauri (2010) ao estudar dois clones de *E. urophylla* x *E. grandis* de aproximadamente 6 anos de idade e Valle (2009) ao estudar dois híbridos de *Eucalyptus urophylla*, obtiveram diferenças significativas na relação cerne/alburno entre os clones estudados, porém nenhum dos dois autores classificaram os clones quanto à sua produtividade.

O resultado encontrado no presente estudo foi o inverso do esperado (de acordo com a literatura, árvores com maior produtividade produzem maior quantidade de cerne). O clone de maior produtividade (clone 1) apresentou menores porcentagens de área de cerne quando comparado ao clone de menor produtividade (clone 2).

5.1.3.b. Densidade básica e aparente (12% umidade)

A Tabela 12 sumariza os valores de densidades básica e aparente (12%) para as situações estudadas.

Tabela 12. Valores médios (seguidos de desvio padrão) de densidade básica e densidade aparente a 12% de umidade, respectivamente, avaliadas nas frações de cerne e alburno de discos de DAP em função dos clones (C1- clone1 e C2- clone 2).

Clone	Idade (anos)	Sítio	D _{básica} (kg/m ³)		D _{12 %} (kg/m ³)	
			Cerne	Alburno	Cerne	Alburno
1	4	I	420 (8,5) a	426 (11,3) a	512 (11,3) a	521 (14,9) a
2			401 (20,8) a	400 (26,4) b	487 (27,4) a	486 (34,4) b
1	6	I	373 (27,0) a	398 (31,6) a	450 (34,7) a	484 (41,0) a
2			377 (44,2) a	394 (57,1) a	456 (57,4) a	478 (75,4) a
1	2	LP	402 (17,8) a	397 (11,1) a	489 (23,4) a	482 (14,5) a
2			386 (15,1) a	384 (31,8) a	468 (19,7) a	466 (41,1) a
1	4	LP	455 (9,9) a	449 (17,1) a	558 (13,2) a	551 (22,8) a
2			423 (20,6) b	438 (30,1) a	516 (27,3) b	536 (39,9) a
1	6	LP	445 (30,0) a	457 (20,9) a	545 (39,9) a	561 (28,0) a
2			411 (13,6) b	458 (19,0) a	501 (17,8) b	563 (25,5) a

*Numa mesma coluna, para uma mesma idade num mesmo sítio, médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Pode-se observar que para a madeira de cerne, apenas as árvores de 4 e 6 anos da região de Lençóis Paulista - sítio inferior - obtiveram diferenças significativas entre os clones estudados, com o clone 1 apresentando maior densidade. A densidade básica e aparente do alburno, apresentou diferença significativa entre os clones apenas nas árvores de 4 anos da região de Itapetininga (também o clone 1 apresentou maior densidade). A partir destes resultados, pode-se afirmar que no sítio superior (I) praticamente não houve efeito do clone nas densidades, enquanto que no sítio inferior (LP) houve uma tendência de superioridade da densidade do cerne para o clone 1 (clone mais produtivo) mostrando que o clone (por ser mais produtivo) almeja crescer, mas o sítio (por ser de baixa produtividade) não ajuda, formando assim cerne mais denso e menor em área (Tabela 11).

Mauri (2010), em estudo de dois clones de *E. urophylla* x *E. grandis*, em duas regiões (baixa/alta) em duas topografias diferentes (plano/inclinado) não obteve diferenças significativas na densidade básica entre os clones estudados. Gouvea et al., (2012) também encontrou variação de densidade entre três clones estudados, ambos

com aproximadamente 8 anos de idade. Valle (2009), estudando três clones de 5 anos de idade, relatou diferenças significativas da densidade básica entre os clones estudados, porém não apresentou as características de produtividade dos clones, não sendo possível então relacionar a produtividade do clone com as densidades encontradas.

5.1.3.c. Teor de extrativos totais

De maneira geral, o teor de extrativos totais não variou entre os clones, como pode ser observado nos resultados da Tabela 13.

Tabela 13. Valores médios (seguidos de desvio padrão) do teor de extrativos totais avaliados nas frações de cerne e alburno de discos do DAP em função dos clones (C1- clone1 e C2- clone 2).

Clone	Idade (anos)	Sítio	Teor de extrativos totais (%)	
			Cerne	Alburno
1	4	I	1,9 (0,7) b	2,5 (0,3) a
2			3,7 (0,4) a	2,6 (0,3) a
1	6	I	2,2 (0,8) a	2,4 (0,8) a
2			2,1 (0,4) a	1,7 (0,2) a
1	2	LP	4,2 (0,7) a	2,3 (0,4) a
2			3,0 (1,3) b	2,4 (0,9) a
1	4	LP	2,2 (0,7) a	2,4 (0,3) a
2			3,0 (0,9) a	1,8 (1,2) a
1	6	LP	2,5 (0,5) a	2,3 (1,0) a
2			2,9 (1,0) a	0,8 (0,7) b

*Numa mesma coluna, para uma mesma idade num mesmo sítio, médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual não diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

Houve variação entre os clones somente na madeira do cerne das árvores de 4 anos da região de Itapetininga (maior teor no clone 2), na madeira do cerne das árvores de 2 anos da região de Lençóis Paulista (maior teor no clone 1) e na madeira de alburno das árvores de 6 anos da região de Lençóis Paulista (maior teor no clone 1). Com esses resultados obtidos, não é possível afirmar uma tendência entre a relação do teor de extrativos totais com clones de maior ou menor produtividade.

Alguns autores encontraram diferenças significativas entre o teor de extrativos totais e os clones estudados, porém não descrevem as características dos mesmos. Dentre estes autores estão Gouvea et al. (2012) que, estudando três clones, constatou diferenças no teor de extrativos totais entre eles, Protásio (2013) que também

obteve diferenças no teor de extrativos comparando três clones de *E. urophylla* e quatro clones de *E. grandis* com idade de 3,5 anos.

5.1.4 Perfil densitométrico- densidade pontual aparente (12% umidade)

Os gráficos que ilustram a densidade pontual ao longo dos raios dos discos com os limites de cerne e alburno, estão apresentados no Apêndice B e sumarizados na Tabela 14.

Tabela 14. Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação da densidade pontual aparente nas duas frações do lenho nas 4 situações estudadas (I- Itapetininga; LP- Lençóis Paulista; C1- clone 1; C2- clone 2).

	2 Anos				4 Anos				6 Anos			
	I - C1		LP - C1		I - C1		LP - C1		I - C1		LP - C1	
	cerne	alburno	cerne	alburno	cerne	alburno	cerne	alburno	cerne	alburno	cerne	alburno
MÉDIA	500	452	510	466	528	511	563	533	455	478	550	549
DESVPA	29,29	15,2	21,51	4,13	11,29	15,63	18,55	19,49	31,84	41,9	45,99	23,75
C.V.%	5,86	3,36	4,22	0,89	2,14	3,06	3,3	3,66	6,99	8,77	8,36	4,33
	I - C2		LP - C2		I - C2		LP - C2		I - C2		LP - C2	
	cerne	alburno	cerne	alburno	cerne	alburno	cerne	alburno	cerne	alburno	cerne	alburno
	cerne	alburno	cerne	alburno	cerne	alburno	cerne	alburno	cerne	alburno	cerne	alburno
MÉDIA	-	-	468	448	475	478	516	528	452	480	505	550
DESVPA	-	-	23,64	34,46	19,69	31,99	22,99	32,49	48,85	74,83	19,99	24,04
C.V.%	-	-	5,06	7,69	4,15	6,69	4,45	6,16	10,8	15,58	3,96	4,37

Nota-se que as médias de densidade pontual aparente foram maiores para a madeira de cerne nas árvores de 2 anos em ambos os clones estudados. As árvores de 4 anos, de maneira geral, também apresentaram maiores valores médios de densidade pontual na madeira de cerne. Nas árvores de 6 anos, a madeira de alburno apresentou, no geral, maiores valores médios de densidade pontual aparente.

O coeficiente de variação foi em geral, maior na madeira de alburno para as situações estudadas, com exceção das árvores com 2 anos do clone 1 nas duas regiões (Itapetininga e Lençóis Paulista) e nas árvores de 6 anos do clone 1 da região de Lençóis Paulista. Esses resultados mostram que, de uma maneira geral, a madeira de cerne possui uma maior densidade média pontual quando comparada ao alburno, em idades de crescimento iniciais (2 e 4 anos) principalmente, e que a madeira de alburno apresenta, em sua maioria, maior variação de densidade pontual radial.

A variação radial da densidade com comportamento crescente da medula à casca é bem comum, sobretudo em árvores jovens, sendo reportada por diferentes autores para diversas espécies como Tomazello Filho (1985, 1987) em estudo de

Eucalyptus saligna, *E. grandis*, *E. pellita* e *E. acmenioides* de 10 anos de idade. Contudo, não foi possível observar essa variação crescente da medula à casca no perfil densitométrico das árvores estudadas no presente trabalho.

Oliveira e Silva (2003), em estudo feito com *Eucalyptus saligna* de 16 anos de idade, notou que apesar de as árvores estudadas mostrarem tendência de aumento em direção à periferia do tronco, não houveram sinais efetivos de estabilidade.

5.2 Árvores Adultas

Os valores de raio, área, porcentagem de área, relação cerne/alburno, densidades básica e aparente (12% de umidade), dureza Janka, compressão paralela às fibras, módulo de elasticidade, retratibilidade (tangencial, radial, longitudinal e volumétrica), índice de anisotropia e teor de extrativos totais para cada amostra de cada espécie e em cada uma das frações do lenho (cerne e alburno) estão apresentados na íntegra no Apêndice C (Tabelas C1 e C2).

5.2.1 Variação das áreas de cerne, alburno e total, suas porcentagens e relação cerne/alburno entre as espécies

A Figura 10 e a Tabela 15 apresentam os valores médios das áreas (absolutas e percentuais) de cerne e alburno e a relação entre as áreas de cerne e alburno. Pela Figura 10 observa-se que nas quatro espécies estudadas a área de cerne é maior que a área de alburno e que o *Eucalyptus grandis* apresentou a maior área total entre as espécies, o que era esperado, uma vez que é uma espécie de rápido crescimento.

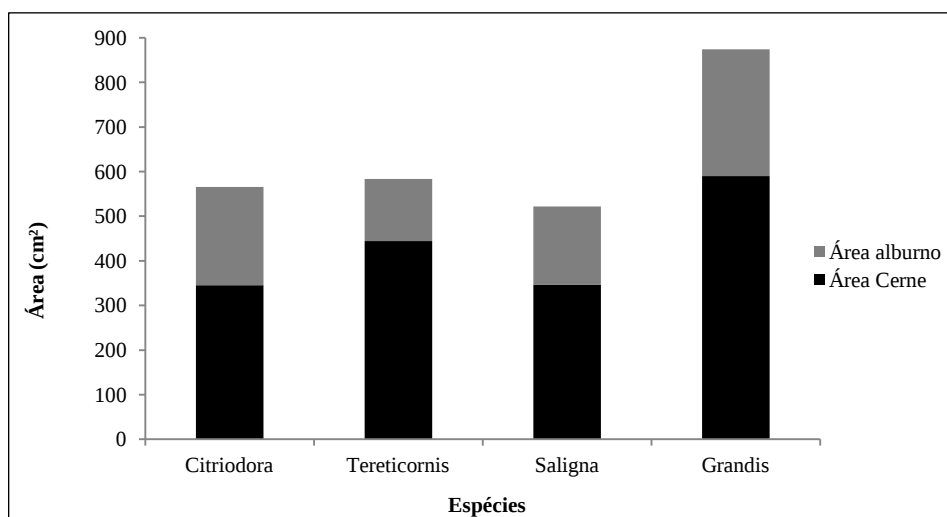


Figura 10. Variação das áreas de cerne, alburno e total dos discos de madeira das espécies *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*.

Tabela 15. Valores médios (seguidos de desvio padrão) de área percentual das frações de cerne e alburno e relação cerne/alburno dos discos das árvores função das espécies.

Espécies	Área (%)		Relação C/A
	Cerne	Alburno	
<i>Corymbia Citriodora</i>	60,8 (5,9) b	39,2 (5,9) a	1,6 (0,4) b
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	75,9 (3,1) a	24,0 (3,1) b	3,2 (0,6) a
<i>Eucalyptus saligna</i>	65,9 (7,8) b	34,1 (7,8) a	2,1 (0,8) b
<i>Eucalyptus grandis</i>	66,9 (6,4) ab	33,1 (6,4) ab	2,1 (0,6) b

*Numa mesma coluna, médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Pela Tabela 15, verificou-se que a porcentagem de cerne também apresenta-se maior que a porcentagem de alburno em todas as espécies estudadas.

Os valores médios da porcentagem da área de cerne variaram de 60,8 a 75,9 e a variação dos valores médios de alburno foi de 24,0 a 33,1. A relação cerne/alburno variou de 1,6 a 3,2.

A maior área de cerne (e menor área de alburno) foi encontrada no *Eucalyptus tereticornis*, seguido pelo *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e, por fim, *Corymbia citriodora*. Porém, o *E. tereticornis* diferiu estatisticamente somente do *E. saligna* e *Corymbia citriodora*, não apresentando diferença com *E. grandis*, que também não diferiu estatisticamente de nenhuma das outras 2 espécies. O *E. saligna* e *Corymbia citriodora* não diferiram estatisticamente entre si para esse quesito.

Oliveira et al. (1999), em estudo de sete espécies adultas de *Eucalyptus*, encontraram alta porcentagem de alburno (mais espesso) nas árvores de *Corymbia citriodora* e baixa porcentagem de alburno (alburno mais estreito) nas árvores de *E. grandis*, resultados coincidentes com os obtidos no presente estudo. Os mesmos autores citam um valor médio percentual de alburno de 48,4 na porção basal do fuste de árvores de 55 anos de *Corymbia citriodora* e de 32,9 na porção basal do fuste de *E. grandis*.

Silva (2002) também estudou a madeira de *Eucalyptus grandis* nas idades de dez, quatorze, vinte e vinte e cinco anos e verificou percentuais de cerne, alburno e relação cerne/alburno de 72,43; 27,57 e 2,83 respectivamente para as árvores de vinte anos. O percentual de cerne e a relação cerne/alburno apresentam-se um pouco mais elevados do que os encontrados para a mesma espécie no presente estudo.

A presença de maior ou menor percentual de cerne ou alburno na madeira auxilia na definição de seu uso nos produtos finais, pois, quanto maior o percentual de alburno na árvore, melhor será a sua capacidade de impregnação por produtos preservativos. Por outro lado, quanto maior o percentual de cerne, melhor a capacidade produtiva em madeira serrada com coloração uniforme (HASELEIN et al., 2004).

5.2.2 Variação de densidades básica e aparente (12% umidade) entre as espécies

Na Tabela 16 estão apresentados os dados de densidade básica ($D_{\text{básica}}$) e aparente ($D_{12\%}$) das frações de cerne e alburno do lenho das árvores na altura do DAP.

Os valores de densidade básica variaram de 721 a 538 kg/m³ no cerne e de 698 a 593 kg/m³ no alburno. Os valores de densidade aparente a 12% variaram de 933 a 672 kg/m³ no cerne e de 899 a 749 kg/m³ no alburno.

Tabela 16. Valores médios (seguidos de desvio padrão) de densidade básica ($D_{\text{básica}}$) e densidade aparente a 12% de umidade ($D_{12\%}$) avaliadas nas frações de cerne e alburno dos discos das árvores e suas relações com as espécies.

Espécie	$D_{\text{básica}}$ (kg/m ³)		$D_{12\%}$ (kg/m ³)	
	Cerne	Alburno	Cerne	Alburno
<i>Corymbia citriodora</i>	721 (34,5) a A	698 (50,9) a A	933 (18,4) a A	899 (27,0) a A
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	703 (59,6) a A	647 (86,9) ab A	910 (38,2) a A	826 (54,9) ab A
<i>Eucalyptus saligna</i>	680 (42,8) a A	667 (62,5) ab A	873 (58,3) a A	855 (86,0) ab A
<i>Eucalyptus grandis</i>	538 (43,5) b A	593 (60,1) b A	672 (62,1) b A	749 (87,5) b A

*Numa mesma coluna, médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

**Numa mesma linha, para uma mesma propriedade, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual não diferem pelo teste t de Student ($p < 0,05$).

Comparando-se a densidade entre as espécies, as árvores de *Corymbia citriodora* foram as que apresentaram maiores valores de densidade (tanto básica quanto aparente) nas duas frações do lenho, porém esses valores não diferiram estatisticamente dos valores encontrados para as árvores de *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus saligna*. O *Eucalyptus grandis*, foi a espécie que apresentou menores valores de densidade nas duas frações do lenho, apresentando diferença estatística das outras três espécies estudadas para fração de cerne e para a fração de alburno, se diferenciou estatisticamente somente das árvores de *Corymbia citriodora*.

A densidade básica do *Eucalyptus grandis* foi estudada por diversos autores, dentre eles Sturion et al. (1987) que encontrou o valor de 525 kg/m³ para a madeira de *Eucalyptus grandis* com 10 anos e meio de idade; Ciniglio (1998), que estudando a madeira dessa mesma espécie com 17 anos de idade, encontrou um valor de densidade básica de 570 kg/m³; Ashley e Ozarska (2000), que estudando a mesma espécie com 28 anos de idade, encontraram uma densidade básica de 690 kg/m³ para a madeira juvenil e 750 kg/m³ para a madeira adulta, González et al. (2006), que encontraram para a madeira de *E. grandis* com 17 anos de idade, densidade básica de 590 kg/m³ e Lopes et al. (2011) encontraram para a madeira de *E. grandis* com 18 anos de idade densidade básica média de 580 kg/m³.

Os valores encontrados no presente estudo são semelhantes aos encontrados por Sturion et al. (1987), Ciniglio (1998), González et al. (2006) e Lopes et al. (2011) e inferiores aos encontrados por Ashley e Ozarska (2000). Essa inferioridade nos valores quando comparados aos resultados obtidos por esses últimos autores,

provavelmente se dá pela idade das árvores utilizadas no estudo dos autores (árvores mais velhas que as utilizadas no presente estudo).

Sturion et al. (1987) avaliaram também a densidade básica do *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus saligna*. Os valores encontrados pelo autor foram, respectivamente, 715 kg/m³, 592 kg/m³ e 562 kg/m³. A densidade básica do *Corymbia citriodora* encontrada pelo autor está próxima da encontrada no presente estudo porém para as outras duas espécies, os valores encontrados pelo autor são inferiores aos aqui obtidos. Novamente aqui, a inferioridade pode estar associada à menor idade das árvores (10 anos e meio, enquanto que no presente estudo as árvores tinham idade superior à 18 anos).

Oliveira et al. (2005) estudou a madeira de sete espécies de eucalipto de aproximadamente 16 anos, dentre elas *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus grandis*, espécies estas estudadas no presente trabalho. Os autores encontraram valores de densidade básica de 730 kg/m³ para o *Corymbia citriodora*, 660 kg/m³ para o *Eucalyptus tereticornis* e 490 kg/m³ para o *Eucalyptus grandis*.

Oliveira et al. (2012), estudando as madeiras de árvores de *Eucalyptus grandis* com 23 anos e *Corymbia citriodora* com 17 anos, encontraram valores de densidade aparente a 12% de umidade de 580 kg/m³ e 840 kg/m³, respectivamente. Os valores encontrados pelos autores são inferiores aos encontrados no presente estudo. Já Benjamin e Ballarin (2009) encontraram valores de densidade aparente que variaram de 970 a 1200 kg/m³ na madeira de *Corymbia citriodora* com 29 anos de idade.

Não foram encontradas diferenças estatísticas entre as duas frações do lenho (cerne e alburno) para os valores médios tanto de densidade básica quanto de densidade aparente.

5.2.3 Variação do perfil densitométrico- densidade pontual aparente (12% umidade) entre as espécies

Os gráficos que ilustram a densidade pontual ao longo dos raios dos discos com os limites de cerne e alburno das árvores adultas, estão apresentados no Apêndice D e sumarizados na Tabela 17.

Tabela 17. Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação da densidade pontual aparente das duas frações do lenho (cerne e alburno) nas 4 espécies estudadas.

	<i>Corymbia citriodora</i>		<i>Eucalyptus tereticornis</i>		<i>Eucalyptus saligna</i>		<i>Eucalyptus grandis</i>	
	cerne	alburno	cerne	alburno	cerne	alburno	cerne	alburno
Média	903	914	864	837	840	873	602	755
Desvpad	37,29	29,96	85,97	44,92	63,37	70,69	51,37	86,35
C.V.%	4,13	3,28	9,96	5,37	7,54	8,10	8,54	11,44

Nota-se que as médias de densidade pontual aparente foram maiores para a madeira de cerne somente nas árvores de *Eucalyptus tereticornis*. Nas outras três espécies estudadas, a maior densidade pontual aparente foi encontrada na madeira de alburno.

Comparando-se as frações do lenho por espécie, observa-se que o coeficiente de variação foi maior na madeira de cerne do *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus tereticornis*, enquanto que na madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* foi maior no alburno.

Oliveira e Silva (2003), em estudo feito com *Eucalyptus saligna* de 16 anos de idade, notou que apesar de as árvores estudadas mostrarem tendência de aumento em direção à periferia do tronco, não houve sinais efetivos de estabilidade. Benjamin (2006) em estudo com árvores adultas de *E. grandis* e *Corymbia citriodora* observou, no geral, três padrões distintos e marcantes de variação da densidade aparente ao longo do raio das árvores sendo eles: padrão 1 – densidade aparente crescente a partir da medula, seguida de trecho com estabilização do valor e, finalmente decréscimo; padrão 2 – densidade aparente crescente a partir da medula, seguida de trecho com estabilização do valor; padrão 3 – densidade aparente crescente a partir da medula.

Contudo, não foi possível observar essa variação crescente da medula à casca no perfil densitométrico das árvores estudadas no presente trabalho.

5.2.4 Variação da retratibilidade entre as espécies

A Tabela 18 apresenta os valores de retratibilidade e índice de anisotropia das duas frações do lenho (cerne puro e alburno com presença de cerne) das quatro espécies estudadas. Para esses ensaios, bem como para os de propriedades mecânicas (item 7.2.5) não foi possível a obtenção de amostras (corpos de prova) e puro alburno.

A retratibilidade tangencial da madeira de cerne puro variou de 8,8 a 10,0% e a da madeira de alburno com presença de cerne variou de 8,8 a 9,8%. Na madeira de cerne puro, a espécie *Corymbia citriodora* foi a que apresentou menor retratibilidade, seguida pelo *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus grandis*, porém os valores não diferiram estatisticamente entre as quatro espécies. Na madeira de alburno com presença de cerne, a espécie que apresentou menor retratibilidade tangencial foi o *Eucalyptus tereticornis*, seguida pelo *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*, mas também não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os valores. Entre as frações do lenho (cerne puro e alburno com presença de cerne) apenas o *Eucalyptus tereticornis* apresentou diferença estatística entre os valores, sendo a madeira de alburno com presença de cerne a que apresentou menor retratibilidade tangencial.

Na retratibilidade radial os valores variaram de 5,2 a 7,3% na madeira de cerne puro e de 5,2 a 7,7% na madeira de alburno com presença de cerne. A espécie que apresentou menor retratibilidade radial na madeira de cerne puro foi o *Eucalyptus grandis*, seguida pelo *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus saligna*. A análise estatística mostra que a madeira de cerne puro de *Corymbia citriodora* não diferiu significativamente de nenhuma das outras espécies. O *Eucalyptus grandis* diferiu do *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus tereticornis*, espécies estas que não diferiram entre si. Na madeira de alburno com presença de cerne, o *Eucalyptus grandis* também foi a espécie que apresentou menor retratibilidade radial, seguida do *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus saligna* e *Corymbia citriodora*. Estatisticamente, somente a retratibilidade radial da madeira de *Corymbia citriodora* se mostrou diferente e superior às das demais espécies. Entre as frações do lenho (cerne puro e alburno com presença de cerne) apenas o *Eucalyptus tereticornis* apresentou diferença estatística entre os valores, sendo a madeira de alburno com presença de cerne a que apresentou menor retratibilidade radial.

Tabela 18. Valores médios (seguidos de desvio padrão) das retratibilidades avaliadas nas frações de cerne e alburno e suas relações com as espécies.

Espécies	Retratibilidade Tangencial	
	Cerne	Alburno/cerne
<i>Corymbia citriodora</i>	8,8 (1,3) a A	8,8 (1,3) a A
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	9,8 (1,0) a A	8,2 (0,6) a B
<i>Eucalyptus saligna</i>	9,5 (0,5) a A	9,1 (0,7) a A
<i>Eucalyptus grandis</i>	10,0 (0,8) a A	9,8 (1,1) a A

Espécies	Retratibilidade Radial	
	Cerne	Alburno/cerne
<i>Corymbia citriodora</i>	6,7 (1,1) ab A	7,7 (1,4) a A
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	7,2 (1,0) a A	6,2 (0,2) b B
<i>Eucalyptus saligna</i>	7,3 (1,1) a A	6,3 (0,5) b A
<i>Eucalyptus grandis</i>	5,2 (0,8) b A	5,2 (0,8) b A

Espécies	Retratibilidade Longitudinal	
	Cerne	Alburno/cerne
<i>Corymbia citriodora</i>	0,2 (0,1) b A	0,2 (0,1) b A
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	0,3 (0,1) ab A	0,3 (0,1) ab A
<i>Eucalyptus saligna</i>	0,3 (0,1) b A	0,3 (0,1) b A
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,5 (0,1) a A	0,4 (0,1) a A

Espécies	Retratibilidade Volumétrica	
	Cerne	Alburno/cerne
<i>Corymbia citriodora</i>	17,8 (2,7) a A	19,2 (3,2) a A
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	19,9 (2,1) a A	16,5 (0,9) a B
<i>Eucalyptus saligna</i>	19,6 (1,2) a A	17,8 (0,7) a B
<i>Eucalyptus grandis</i>	17,9 (2,0) a A	17,4 (2,4) a A

*Numa mesma coluna, para um mesmo clone e um mesmo sítio, médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

**Numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual não diferem pelo teste t de Student ($p < 0,05$).

Os valores de retratibilidade longitudinal variaram de 0,2 a 0,5% na madeira de cerne puro e de 0,2 a 0,4% na madeira de alburno com presença de cerne. Na madeira de cerne puro o *Corymbia citriodora* foi a espécie que apresentou menores valores de retratibilidade longitudinal, seguida pelo *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. Porém, os resultados estatísticos mostram que não houve diferença significativa entre os valores do *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus saligna* e que o *Eucalyptus tereticornis* também não diferiu do *Eucalyptus grandis*. Na madeira de alburno com presença de cerne, foram observados resultados muito

semelhantes. Entre as frações do lenho (cerne puro e alburno com presença de cerne) nenhuma das espécies apresentou diferença estatística entre valores de retratibilidade longitudinal.

Os valores de retratibilidade volumétrica variaram de 17,8 a 19,9% na madeira de cerne puro e de 17,4 a 19,2% na madeira de alburno com presença de cerne. Para essa propriedade, houve igualdade estatística entre as espécies. Entre as frações do lenho (cerne puro e alburno com presença de cerne) apenas o *Eucalyptus tereticornis* e o *Eucalyptus saligna* apresentaram diferenças estatísticas dos valores de retratibilidade volumétrica, sendo a fração de alburno com presença de cerne que apresentou o menor valor .

A Tabela 19, apresenta as retratibilidades lineares e volumétricas da madeira de árvores adultas de *Eucalyptus grandis* encontradas por diversos autores. Esses resultados são semelhantes aos encontrados no presente estudo para a mesma espécie.

Oliveira e Silva (2003) encontraram para o *Eucalyptus saligna* com 16 anos de idade retratibilidade tangencial de 14,83%, retratibilidade radial de 7,67% e retratibilidade volumétrica de 26,00%. Os valores encontrados no presente estudo para a mesma espécie, mostram-se inferiores os valores encontrados pelos autores.

Oliveira e Hellmeister (1998), reportaram resultados semelhantes ao do presente estudo para a madeira de árvores adultas de *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus grandis*. Apenas para a retratibilidade tangencial, os valores encontrados pelos autores foi ligeiramente maior que os encontrados no presente estudo para as árvores de *E. tereticornis* e *Corymbia citriodora*.

Tabela 19. Experiências de contrações lineares e volumétricas com madeiras de *Eucalyptus grandis* de diferentes idades.

Idade (anos)	Contrações				índice anisotropia	Referências
	Radial	Tangencial	Longitudinal	Volumétrica		
18	5,80	10,40	0,30	18,90	1,79	ACOSTA (1999)
19	5,50	11,60	0,40	18,80	2,10	LELLES; SILVA(1997)
21	5,20	8,60	0,30	14,20	1,65	CARMO (1996)
23	5,70	8,20	0,10	14,10	1,43	CALORI et al. (1995)

Fonte: Silva (2002), adaptada pelo autor.

A Tabela 20 apresenta o índice de anisotropia das duas frações do lenho das quatro espécies estudadas.

Tabela 20. Valores médios (seguidos de desvio padrão) do índice de anisotropia avaliado nas frações de cerne e alburno e suas relações com as espécies.

Espécies	Índice de anisotropia	
	Cerne	Alburno/cerne
<i>Corymbia citriodora</i>	1,3 (0,2) b A	1,2 (0,2) c A
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	1,4 (0,2) b A	1,3 (0,1) bc A
<i>Eucalyptus saligna</i>	1,4 (0,2) b A	1,4 (0,2) b A
<i>Eucalyptus grandis</i>	1,9 (0,1) a A	1,9 (0,2) a A

*Numa mesma coluna, para um mesmo clone e um mesmo sítio, médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

**Numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual não diferem pelo teste t de Student ($p < 0,05$).

Os índices de anisotropia das espécies estudadas variaram de 1,3 a 1,9 na madeira de cerne puro e de 1,2 a 1,9 na madeira de alburno com presença de cerne. Esses valores estão de acordo com os valores encontrados na literatura. A madeira tanto de cerne puro quanto de alburno com presença de cerne do *Eucalyptus grandis*, apresentaram o maior índice de anisotropia, diferindo estatisticamente das demais espécies que não foram estatisticamente diferentes entre si. Já na madeira de alburno com presença de cerne, o *Corymbia citriodora* apresentou menor índice de anisotropia, seguida pelo *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. O *Eucalyptus tereticornis* apresentou igualdade estatística com o *Corymbia citriodora* e o *Eucalyptus saligna* e o *Eucalyptus grandis* diferiram estatisticamente das outras três espécies.

Não houve diferenças estatísticas nos índices de anisotropia entre as porções do lenho.

Nock et al. (1975 apud LOGSDON e PENNA, 2004) sugerem a classificação da qualidade e uso indicado para a madeira em função do índice de anisotropia, conforme mostrado na Tabela 21. Seguindo-se essa classificação, as madeiras de *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus saligna* se enquadram em madeira de excelente qualidade segundo seu índice de anisotropia e a madeira de *Eucalyptus grandis* se enquadra como madeira normal.

Tabela 21. Índice de anisotropia, qualidade e uso da madeira.

Índice de anisotropia	Qualidade da madeira	Utilização indicada para a madeira
1,2 a 1,5	Excelente	Móveis finos, esquadrias, barcos, aparelhos musicais, aparelhos de esporte, etc.
1,5 a 2,0	Normal	Estantes, mesas, armários, enfim, usos que permitam pequenos empenamentos.
Acima de 2,0	Ruim	Construção civil (observadas as características mecânicas), carvão, lenha e etc.

Fonte: Nock et al. (1975 apud LOGSDON e PENNA, 2004).

5.2.5 Variação da dureza Janka, resistência e rigidez à compressão paralela às fibras entre as espécies

A Tabela 22 apresenta os valores médios de dureza Janka, resistência e rigidez à compressão paralela às fibras da madeira de cerne puro e alburno com presença de cerne das quatro espécies estudadas comparados estatisticamente entre as espécies e as porções de lenho.

Os valores médios de dureza Janka na madeira de cerne puro variaram de 59,9 a 96,1 MPa sendo o *Eucalyptus tereticornis* a espécie que apresentou maior resistência, seguida pelo *Eucalyptus saligna*, *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus grandis*. Na madeira de alburno com presença de cerne os resultados variaram de 61,1 a 83,6 MPa, sendo os maiores valores novamente encontrados para *Eucalyptus tereticornis* seguido do *Eucalyptus saligna*, *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus grandis*.

A madeira de cerne puro do *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus saligna* não diferiram estatisticamente entre si, apresentando diferenças somente entre o *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus grandis*. A madeira de alburno com presença de cerne de *Corymbia citriodora* apresentou valor estatisticamente igual ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, espécie tal que não diferiu do *Eucalyptus tereticornis*. Na comparação dos valores de dureza Janka entre as frações do lenho, somente foi encontrada diferença significativa na madeira de *Eucalyptus tereticornis*, sendo a fração de cerne puro a que apresentou maior resistência à dureza Janka.

Tabela 22. Valores médios de dureza Janka, resistência e rigidez à compressão paralela às fibras, e comparações estatísticas entre espécies e frações do lenho.

Espécies	Dureza Janka (MPa)	
	Cerne	Alburno/cerne
<i>Corymbia Citriodora</i>	73,9 (7,4) b A	65,6 (12,8) bc A
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	96,1 (5,1) a A	83,6 (7,6) a B
<i>Eucalyptus saligna</i>	87,4 (8,2) a A	78,7 (11,4) ab A
<i>Eucalyptus grandis</i>	59,9 (10,1) c A	61,1 (7,5) c A

Espécies	Resistência à compressão (MPa)	
	Cerne	Alburno/cerne
<i>Corymbia Citriodora</i>	73,4 (6,3) a A	73,6 (6,4) a A
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	60,6 (6,8) b A	61,2 (6,6) b A
<i>Eucalyptus saligna</i>	57,9 (4,4) b A	55,7 (3,1) b A
<i>Eucalyptus grandis</i>	60,0 (7,4) b A	57,4 (6,6) b A

Espécies	Rigidez à compressão (MPa)	
	Cerne	Alburno/cerne
<i>Corymbia Citriodora</i>	21042 (4053) a A	20899 (4397) a A
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	16563 (2453) a A	15444 (3351) a A
<i>Eucalyptus saligna</i>	16178 (1334) a A	16786 (3320) a A
<i>Eucalyptus grandis</i>	18300 (3581) a A	18103 (4800) a A

*Numa mesma coluna, para um mesmo clone e um mesmo sítio, médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual não diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

**Numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual não diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

Benjamin (2006) encontrou valores de dureza Janka próximos aos observados neste estudo para a espécie *Corymbia citriodora* de 28 anos de idade e valores inferiores para o *Eucalyptus grandis* de 29 anos de idade.

Os valores de resistência à compressão paralela às fibras variaram de 57,9 a 73,4 MPa na madeira de cerne puro e 55,7 a 73,6 MPa na madeira de alburno com presença de cerne. O *Corymbia citriodora* foi a espécie que apresentou o maior valor de resistência à compressão, sendo o único a se diferenciar estatisticamente das demais.

Benjamin (2006) encontrou para a madeira de *Corymbia citriodora* com 28 anos de idade resistência à compressão paralela às fibras de 72,75 MPa e para a madeira de *Eucalyptus grandis* de 29 anos 56,05 MPa. Estes valores são semelhantes aos encontrados no presente estudo, sendo a resistência encontrada para o *Eucalyptus grandis* ligeiramente mais baixa no estudo da autora. Para essas duas espécies os valores

encontrados neste estudo estão acima dos valores médios apresentados para as espécies na NBR 7190 (ABNT, 1997) – 62,0 MPa para *Corymbia citriodora* e 40,3 para *Eucalyptus grandis*.

Menezes (2013) em estudo da madeira de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus saligna* com idade aproximada de 40 anos, obteve como resultado da resistência à compressão paralela às fibras valores de 83,0 e 67,0 MPa respectivamente. Os valores encontrados pelo autor se mostram superiores aos encontrados neste estudo.

A resistência à compressão paralela às fibras do *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus saligna* apresentaram-se superiores aos valores médios apresentados para as espécies na NBR 7190 (ABNT, 1997) – 57,7 MPa para *Eucalyptus tereticornis* e 46,8 MPa para *Eucalyptus saligna*. Essa superioridade nos valores encontrados no presente trabalho, provavelmente se dá em consequência da idade das árvores (árvores acima de 18 anos).

Comparando-se a resistência a compressão nas porções do lenho (cerne puro e alburno com presença de cerne) não houveram diferenças estatísticas entre os resultados.

O módulo de elasticidade variou de 16178 a 21042 MPa na madeira de cerne puro e 15444 a 20899 MPa na a madeira de alburno com presença de cerne. A madeira de *Corymbia citriodora* foi a que apresentou o maior módulo de elasticidade, seguida do *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus saligna*. Os valores obtidos no presente estudo são superiores aos valores médios apresentados pela NBR 7190 (ABNT, 1997) para as quatro espécies estudadas, porém, esses valores encontram-se inferiores aos valores médios de rigidez apresentados pelas madeiras de mesma classe (C40- *E. tereticornis*, *saligna* e *grandis* e C60- *Corymbia citriodora*).

Os módulos de elasticidade encontrados por Menezes (2013) para a madeira de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus saligna* com 40 anos de idade foram de 15059 e 14229 MPa respectivamente. Os valores encontrados pelo autor são inferiores aos valores encontrados para as mesmas espécies no presente estudo.

O módulo de elasticidade não apresentou diferença estatística entre as espécies e nem entre as frações do lenho estudadas.

Os valores característicos encontrados para cada porção do lenho e do lenho como um todo encontram-se na Tabela 23. Nota-se que nas duas frações do lenho (cerne puro e alburno com presença de cerne) apenas o *Corymbia citriodora* se enquadra

na classe de resistência C60, enquanto que as outras espécies estudadas se enquadram na classe de resistência C40, segundo classificação apresentada na NBR 7190 (ABNT, 1997).

Tabela 23. Resistência a compressão paralela às fibras (MPa) das madeiras de *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* nas duas frações estudadas do lenho e no lenho como um todo.

	Árvore	Resistência à compressão (MPa)	
		Cerne	Alburno/cerne
<i>Corymbia citriodora</i>	1	71,93	73,27
	2	78,88	72,85
	3	61,86	67,63
	4	78,43	85,84
	5	73,04	69,51
	6	76,38	72,61
	Média	73,42	73,62
	Desvio padrão	6,32	6,38
	Valor característico	61,86	67,63
		Lenho	
<i>Eucalyptus tereticornis</i>			
	Média	73,50	
	Valor característico	61,86	
	1	60,11	68,73
	2	56,34	57,58
	3	65,03	56,52
	4	70,77	68,35
	5	60,26	63,14
	6	51,06	52,89
	Média	60,59	61,20
<i>Eucalyptus saligna</i>	Desvio padrão	6,82	6,57
	Valor característico	51,06	52,89
		Lenho	
	Média	60,90	
	Valor característico	51,10	
	1	52,19	56,15
	2	54,99	54,55
	3	56,27	60,10
	4	59,04	54,94
	5	64,44	50,76
	6	60,56	57,52
<i>Eucalyptus grandis</i>	Média	57,92	55,67
	Desvio padrão	4,36	3,14
	Valor característico	52,19	50,76
		Lenho	
	Média	56,80	
	Valor característico	50,80	
	1	66,56	58,94
	2	64,48	59,50
	3	66,10	65,93
	4	51,11	51,43
	5	61,47	60,68
	6	50,29	47,91
	Média	60,00	57,40
<i>Eucalyptus grandis</i>	Desvio padrão	7,43	6,57
	Valor característico	50,29	47,91
		Lenho	
	Média	58,70	
	Valor característico	47,90	

5.2.6 Variação do teor de extrativos totais entre as espécies

Na Tabela 24 são apresentados os valores de teor de extrativos totais da madeira nas duas frações estudadas (cerne e alburno) e o resultado das comparações estatísticas entre espécies e entre as frações.

Tabela 24. Valores médios (seguidos de desvio padrão) do teor de extrativos totais avaliados nas frações de cerne e alburno de discos do DAP das árvores adultas.

Espécies	Teor de extrativos totais (%)	
	Cerne	Alburno
<i>Corymbia Citriodora</i>	9,9 (1,6) b A	4,5 (1,0) a B
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	13,7 (2,4) a A	5,7 (2,6) a B
<i>Eucalyptus saligna</i>	11,1 (1,2) ab A	5,9 (1,6) a B
<i>Eucalyptus grandis</i>	6,4 (1,4) c A	5,2 (0,9) a A

*Numa mesma coluna, médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual não diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

**Numa mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual não diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

Os teores de extrativos totais variaram de 6,4 a 13,7% na madeira de cerne e de 4,5 a 5,9 % na madeira de alburno.

O teor de extrativos totais encontrados no presente estudo para o *Eucalyptus saligna* foram superiores aos encontrados na literatura para árvores adultas. Já no *Eucalyptus grandis*, os valores encontrados ficaram dentro da faixa normalmente encontrada na literatura e no *Corymbia citriodora* foram inferiores aos encontrados na literatura.

Silva (2002) estudando a madeira de *Eucalyptus grandis* com 10, 14, 20 e 25 anos, encontrou um teor de extrativos totais de 3,90, 4,63, 6,2 e 5,88% respectivamente. Trugilho et al. (2001) encontraram para a mesma espécie valores de extrativos totais que variaram de 4,87 a 7,75% e para o *Eucalyptus saligna* valores que variaram de 6,50 a 7,54%. Guimarães et al. (2013), estudando árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com 31 anos de idade, encontraram teores de extrativos totais de 7,99 e 7,87% respectivamente. Oliveira et al. (2005) em estudo de árvores adultas de *Corymbia citriodora* obtiveram para espécie 12,1% de extrativos totais extraídos em sequência tolueno/etanol.

Dentre as espécies estudadas, a que apresentou maior teor de extrativos totais foi o *Eucalyptus tereticornis* que não diferiu estatisticamente do

Eucalyptus saligna tendo esse não diferido do *Corymbia citriodora*. O *Eucalyptus grandis* apresentou o menor valor de extrativos totais diferindo das demais espécies.

A madeira de cerne apresentou um maior percentual de extrativos quando comparado ao alburno, sendo encontradas diferenças significativas entre os valores do *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus saligna* e *Corymbia citriodora*, sendo o *Eucalyptus grandis* o único que apresentou igualdade estatística no teor de extrativos totais entre as frações do lenho.

Essa tendência de maior teor de extrativos totais no cerne também foi constatada por diversos autores. Dentre eles estão Salazar (1998), em estudo de 5 espécies de *Quercus*, Gominho et al. (2001, 2004), em estudo com *Eucalyptus grandis* x *urophylla*, Gominho (2003) na madeira de *Eucalyptus globulus*, Olmos (2005), em estudo da madeira de *E. globulos* de 13 e 14 anos de idade, Klitzke (2008) em madeira de jatobá com idade desconhecida e Paes et al. (2013) em estudo de 4 espécies (angico, craibeira, cumaru e eucalipto) com idade de 4 anos.

Comparando-se esse resultado com o distintamente obtido nas frações cerne e alburno das árvores jovens (igualdade estatística de resultados), sugere-se que o cerne das árvores jovens (caracterizado como tal pela presença de tilos) ainda não esteja totalmente formado.

5.3 Qualificação dos extrativos da madeira- Principais componentes químicos encontrados nas árvores jovens e adultas

As análises por CG-EM mostraram que os cromatogramas de íons totais foram bastante semelhantes do ponto de vista qualitativo. A Figura 11 apresenta um cromatograma típico obtido.

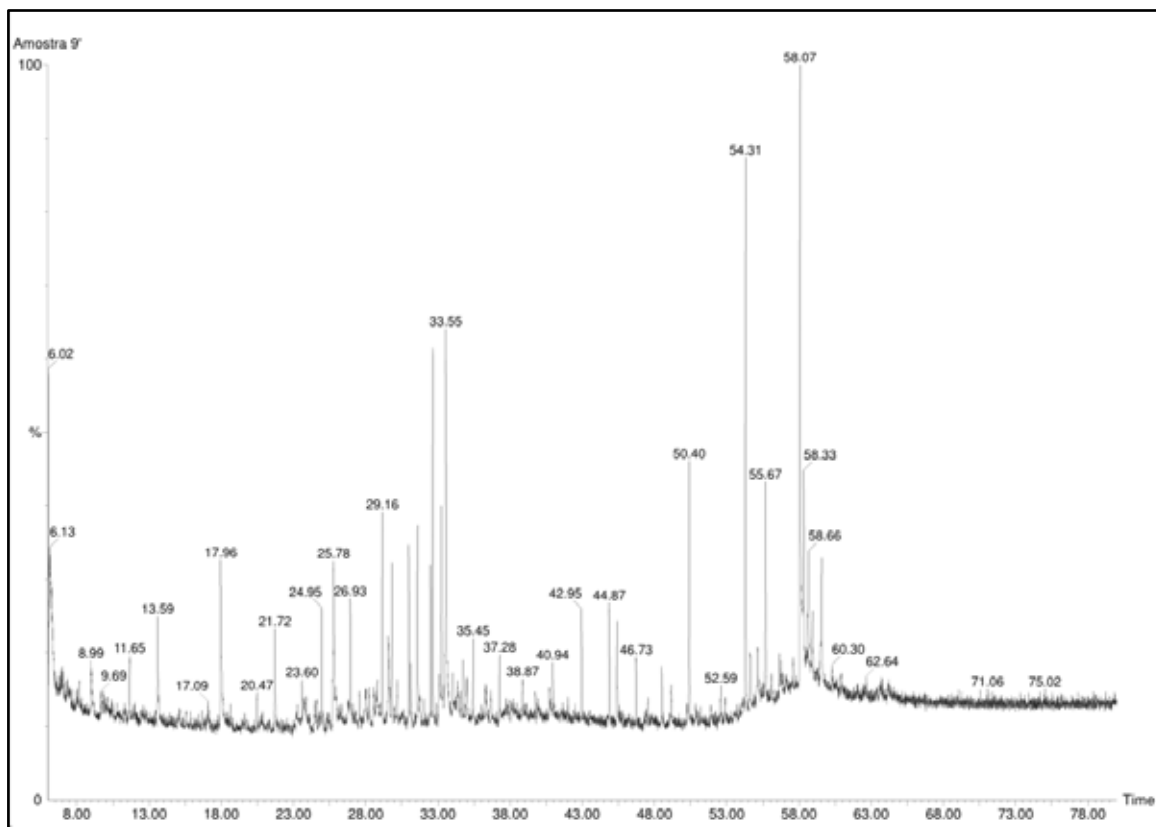


Figura 11. Cromatograma de íons totais dos extratos obtidos em uma das amostras de árvores jovens.

Nos extratos obtidos das árvores jovens e adultas foi observada uma série de picos, de onde foram identificados 36 compostos que, após serem identificados, foram classificados de acordo com o grupo químico. Os grupos identificados foram ácidos graxos, esteróides, alcoóis graxos e hidrocarbonetos. Diversos carboidratos também foram encontrados, aparecendo em sua maioria com tempos de retenção entre 25 e 35 minutos, porém não foi possível a identificação individual dos compostos, não sendo então apresentadas suas ocorrências nas amostras. Barbosa et al. (2005) obtiveram os mesmos resultados relacionados aos carboidratos.

A classe dos ácidos graxos foi a que apresentou predominância de compostos encontrados, seguida pelo grupo de alcoóis graxos, esteróides e hidrocarbonetos.

A Tabela 25 apresenta os compostos identificados nas árvores jovens. Nas árvores jovens (Tabela 26), o grupo de maior ocorrência percentual foi o grupo dos esteróides sendo encontrado em 70% das amostras de madeira de cerne e em 60% das amostras de madeira de alburno. Entre os esteróides destacaram-se o β -sitosterol (100% de

ocorrência nas duas frações do lenho), Colest-8-en-3-ol-14-metil (100% de ocorrência na madeira de alburno e 75% na madeira de cerne) e o Estigmasta- 3,5- diene (83% de ocorrência na madeira de alburno e 91% na madeira de cerne). Autores como Gutiérrez (1998), Freire et al. (2002), Barbosa et al. (2005) e Silvério et al. (2007) também reportaram o β - sitosterol como esteróide predominante nos extrativos da madeiras estudadas.

Os ácidos graxos também foram identificados em quantidades expressivas nos extratos, apresentando ocorrência de aproximadamente 47% nas amostras. Destacaram-se os ácido heptadecanóico, ácido hexadec-9-enóico, ácido tetracosanóico, tricosanóico e ácido 3,4-dihidroxibenzóico, todos eles com ocorrência acima de 75% nas amostras. O ácido 3,4-dihidroxibenzóico apresentou maior porcentagem de ocorrência na madeira de cerne do que na madeira de alburno.

Os compostos encontrados no presente trabalho são semelhantes aos encontrados por Barbosa et al. (2005) e Silvério et al. (2007) em estudo de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus grandis* x *urophylla* de aproximadamente oito anos de idade.

Não foi encontrado um padrão de predominância de compostos entre as idades, sítio e clone e frações do lenho nas árvores jovens.

Tabela 26. Porcentagem de ocorrência dos compostos químicos identificados na madeira das árvores jovens.

Classe	Composto	Totalização percentual		Médias percentuais da classe	
		Alburno	Cerne	Alburno	Cerne
Ácidos graxos	Ácido 12-hidroxi-9-octadecenóico	58,33	58,33		
	Ácido 3,4-dihidroxibenzoico	91,67	66,67		
	Ácido 4-metoxifenoxiacético	41,67	16,67		
	Ácido 9,12- octadecandienóico	16,67	8,33		
	Ácido benzóico	41,67	50,00		
	Ácido docosanóico	25,00	25,00		
	Ácido dodecanóico	33,33	50,00		
	Ácido eicosanóico	58,33	83,33		
	Ácido heptadecanóico	100,00	100,00		
	Ácido hexacosanóico	66,67	83,33		
	Ácido hexadec-9-enoico	100,00	100,00	46,8	47,62
	Ácido hexadecanóico	8,33	0,00		
	Ácido isocianico- p-nitrofenil éster	25,00	8,33		
	Ácido nonadecanóico	16,67	8,33		
	Ácido octacosanóico	8,33	33,33		
	Ácido octadecanóico	58,33	66,67		
	Ácido pentadecanóico	0,00	8,33		
	Ácido p-nitrosalicílico	58,33	50,00		
	Ácido tetracosanóico	75,00	75,00		
	Ácido tetradecanóico	0,00	8,33		
	Ácido tricosanóico	100,00	100,00		
Esteróides	Colest-8-en-3-ol-14-metil	100,00	75,00		
	Estigmasta-3,5-dien-7-one	58,33	25,00		
	Estigmasta-3,5-diene	83,33	91,67	70,00	60,00
	Estigmasta-5-en-3-ol	8,33	8,33		
	β-sitosterol	100,00	100,00		
Alcóis graxos	1,16- hexadecanediol	50,00	66,67		
	E-12-tetradecen-1-ol	16,67	16,67		
	Eicosanol	16,67	8,33	41,67	33,33
	Octacosanol	66,67	41,67		
	Octadecanol	50,00	41,67		
	Tetracosanol	50,00	25,00		
Hidrocarbonetos	(E) 6-tridecen-4-ino	25,00	25,00		
	8-heptadeceno	0,00	8,33	27,08	29,17
	Hentriacontano	25,00	33,33		
	Tetracosano	58,33	50,00		

Nas árvores adultas (Tabela 26), nota-se que a classe química predominante foi a dos ácidos graxos e, dentre eles, os compostos que mais se destacaram foram o ácido docosanóico, ácido eicosanóico, ácido hexacosanóico, ácido hexadec-9-enóico, ácido octacosanóico, ácido octadecanóico, ácido tetracosanóico e ácido tricosanóico.

Os esteróides foram a segunda classe de compostos de maior ocorrência, destacando-se o β -sitosterol e o Estigmasta-3,5-diene, que foram identificados em todas as amostras. Os alcoóis graxos tiveram pouca ocorrência no extrato das madeiras de árvores adultas, e os hidrocarbonetos ocorreram em apenas duas das amostras analisadas.

Na madeira de árvores adultas também não foi encontrado um padrão de predominância de compostos entre as espécies e as frações de cerne e albúrnio.

Tabela 27. Ocorrência dos compostos químicos identificados na madeira das árvores adultas.

Classe	Composto	<i>Eucalyptus citriodora</i>		<i>Eucalyptus tereticornis</i>		<i>Eucalyptus saligna</i>		<i>Eucalyptus grandis</i>	
		Albúrnio	Cerne	Albúrnio	Cerne	Albúrnio	Cerne	Albúrnio	Cerne
Ácidos graxos	Ácido 12-hidroxi-9-octadecenoico				x				
	Ácido 3,4-dihidroxibenzoico								
	Ácido 4-metoxifenoxiacético								
	Ácido 9,12- octadecandienoico	x	x						
	Ácido benzóico	x	x	x	x	x	x		
	Ácido docosanoico	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ácido dodecanoico		x				x		
	Ácido eicosanoico	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ácido heptadecanoico	x	x		x	x		x	x
	Ácido hexacosanoico	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ácido hexadec-9-enoico	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ácido hexadecanoico								
	Ácido isocianico- p-nitrofenil éster								
	Ácido nonadecanoico								
	Ácido octacosanoico	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ácido octadecanoico	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ácido pentadecanoico								
	Ácido p-nitrosalicílico								
	Ácido tetracosanoico	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ácido tetradecanoico					x			
	Ácido tricosanoico	x	x	x	x	x	x	x	x
Esteróides	Colest-8-en-3-ol-14-metil		x			x	x	x	
	Estigmasta-3,5-dien-7-one	x		x		x		x	x
	Estigmasta-3,5-diene	x	x	x	x	x	x	x	x
	Estigmasta-5-en-3-ol	x	x			x		x	
	β -sitosterol	x	x	x	x	x	x	x	x
Alcoóis graxos	1,16- hexadecanediol	x	x			x	x	x	
	E-12-tetradecen-1-ol								
	Eicosanol			x					
	Octacosanol	x	x	x		x	x	x	x
	Octadecanol								
	Tetracosanol								
Hidrocarbonetos	(E) 6-tridecen-4-ino								
	8-heptadeceno								
	Hentriacontano			x				x	
	Tetracosano								

Comparando-se sinteticamente os compostos identificados na madeira de árvores jovens e adultas, nota-se que a madeira de árvores adultas praticamente

não teve ocorrência de hidrocarbonetos, classe essa que, mesmo sendo a classe de menor ocorrência na madeira de árvores jovens, foi significativa (27% na madeira de alburno e 29% na madeira de cerne). Algumas das possíveis causas na diferença de ocorrência desses compostos entre a madeira de árvores jovens e adultas pode ser: rearranjos e/o combinação de compostos instáveis com outros compostos, formando compostos mais complexos e estáveis nas árvores adultas; perda de compostos por volatilização, carregamento por água ou mesmo consumo de compostos pela própria árvore.

5.4 Síntese dos resultados obtidos

Considerando-se a grande quantidade de resultados obtidos e a multiplicidade de efeitos intervenientes, buscando-se sistematizar os principais comportamentos observados, apresenta-se, a seguir, uma síntese dos resultados.

5.4.1 Árvores Jovens

- **Variação entre idades**

De maneira geral, a idade teve efeito sobre a área e porcentagem de área de cerne e alburno. A área de cerne aumenta com a idade, ocorrendo evidentemente o contrário para a área de alburno. O aumento da área de cerne com a idade é mais evidente nas idades de 2 para 4 anos em detrimento da idade de 4 para 6 anos. A idade não teve efeito significativo em duas situações (Itapetininga/clone 2 e Lençóis Paulista/clone 1). Essas duas situações combinam situação de sítio superior com clone inferior e sítio inferior com clone superior, respectivamente.

Os dois clones da região de Lençóis Paulista (sítio inferior) apresentaram aumento significativo das densidades (tanto do cerne quanto do alburno) dos 2 aos 4 anos, não apresentando diferença significativa dos 4 aos 6 anos. As árvores do clone 1 da região de Itapetininga não apresentaram aumento da densidade básica do cerne em relação à idade. O clone 2 da região de Itapetininga não apresentou diferença significativa da densidade básica entre as idades de 4 e 6 anos. Os resultados de densidade básica do alburno apresentaram a mesma tendência de variação apresentada na densidade básica do cerne, com excessão do clone 1 da região de Itapetininga, onde as árvores de 4 anos apresentaram maior densidade quando comparada às árvores de 2 anos de idade e as

árvores de 6 anos não apresentaram diferença significativa em relação às árvores de 2 e 4 anos.

Os valores médios de densidade aparente a 12% de umidade, tanto do cerne quanto do alburno, apresentaram a mesma relação encontrada nos resultados de densidade básica mencionados anteriormente.

Quanto ao teor de extrativos totais, resumidamente, pode-se generalizar que o efeito da idade não foi consistente. Às vezes, as árvores de menores idades apresentaram maior teor de extrativos. Comparando-se o teor de extrativos totais entre alburno e cerne, as diferenças também não foram consistentes sendo em algumas situações, o teor de extrativos maior no cerne.

- **Variação entre sítios**

Nas relações entre as porcentagens de área de cerne e alburno e relação cerne/alburno verificou-se que não houve um padrão com predominância de um sítio de desenvolvimento da árvore. O sítio de maior produtividade (Itapetininga) apresentou maior porcentagem de área de cerne em dois dos cinco casos estudados, enquanto que o sítio de menor produtividade (Lençóis Paulista), apresentou maior porcentagem de área de cerne em apenas um dos casos. Em 3 casos, não houve diferença significativa da porcentagem de área do cerne entre os sítios.

Os resultados mostram que, na sua maioria, as densidades básica e aparente foram maiores no sítio ranqueado pela empresa como inferior, sendo esse efeito mais nítido na madeira de alburno.

Para teor de extrativos totais não houve variação consistente entre os sítios. Com exceção das árvores do clone 1 com 2 anos de idade (maior teor de extrativos encontrados na madeira de cerne da região de Lençóis Paulista) e as árvores do clone 2 com 6 anos de idade (maior teor de extrativos encontrados na madeira de alburno da região de Lençóis Paulista).

- **Variação entre clones**

A porcentagem da área de cerne, em sua maioria, foi maior nas árvores do clone 2 (menor produtividade), com exceção das árvores de 6 anos da região de Itapetininga, que não obtiveram diferenças significativas entre os clones estudados. O oposto ocorreu para as porcentagens de alburno, que foram maiores nas árvores do clone 1

(maior produtividade). A relação cerne/alburno não obteve diferenças significativas entre clones nas árvores de 6 anos da região de Lençóis Paulista e Itapetininga.

A partir dos resultados, pode-se afirmar que no sítio superior (I) praticamente não houve efeito do clone nas densidades, enquanto que no sítio inferior (LP) houve uma tendência de superioridade da densidade do cerne para o clone 1 (clone mais produtivo) mostrando que o clone (por ser mais produtivo) almeja crescer, mas o sítio (por ser de baixa produtividade) não ajuda, formando assim cerne mais denso e menor em área.

O teor de extrativos totais apresentou variação entre os clones na madeira do cerne das árvores de 4 anos da região de Itapetininga (maior teor no clone 2), na madeira do cerne das árvores de 2 anos da região de Lençóis Paulista (maior teor no clone 1) e na madeira de alburno das árvores de 6 anos da região de Lençóis Paulista (maior teor no clone 1).

- **Perfil densitométrico - densidade pontual aparente (12% umidade)**

As médias de densidade pontual aparente foram maiores para a madeira de cerne nas árvores de 2 anos em ambos os clones estudados. As árvores de 4 anos, de maneira geral, também apresentaram maiores valores médios de densidade pontual na madeira de cerne. Nas árvores de 6 anos, a madeira de alburno apresentou maiores valores médios de densidade pontual aparente, com excessão do clone 1 da região de Lençóis Paulista, onde a média de densidade foi maior no cerne.

O coeficiente de variação foi em geral, maior na madeira de alburno para as situações estudadas, com excessão das árvores com 2 anos do clone 1 nas duas regiões (Itapetininga e Lençóis Paulista) e nas árvores de 6 anos do clone 1 da região de Lençóis Paulista. Esses resultados mostram que, de uma maneira geral, a madeira de cerne possui uma maior densidade média pontual quando comparada ao alburno, em idades de crescimento iniciais (2 e 4 anos) principalmente, e que a madeira de alburno apresenta, em sua maioria, maior variação de densidade pontual radial.

5.4.2 Árvores Adultas

- **Variação entre espécies**

A porcentagem de área de cerne foi bem maior que a de alburno em todas as espécies estudadas. A espécie que apresentou maior área de cerne e (menor área de alburno) foi o *Eucalyptus tereticornis*, seguido pelo *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e por fim *Corymbia citriodora*. Porém, o *E. tereticornis* diferiu estatisticamente somente do *E. saligna* e *Corymbia citriodora*, não apresentando diferença entre o *E. grandis*, que também não diferiu estatisticamente de nenhuma das outras 3 espécies. O *E. saligna* e *Corymbia citriodora* não diferiram estatisticamente entre si.

Comparando-se a densidade entre as espécies, a madeira de *Corymbia citriodora* foi a que apresentou maiores valores de densidade (tanto básica quanto aparente) nas duas frações do lenho, porém esses valores não diferiram estatisticamente dos valores encontrados para as árvores de *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus saligna*. O *Eucalyptus grandis* foi a espécie que apresentou menores valores de densidade nas duas frações do lenho, apresentando diferença estatística das outras três espécies estudadas para fração de cerne, e para a fração de alburno, se diferenciou estatisticamente somente das árvores de *Corymbia citriodora*.

A madeira tanto de cerne puro quanto de alburno com presença de cerne do *Eucalyptus grandis* apresentou o maior índice de anisotropia, diferindo estatisticamente das demais espécies, que não diferiram entre si. Já na madeira de alburno com presença de cerne, a *Corymbia citriodora* apresentou menor índice de anisotropia, seguida pelo *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. O *Eucalyptus tereticornis* apresentou igualdade estatística com o *Corymbia citriodora* e o *Eucalyptus saligna* e o *Eucalyptus grandis* diferiram estatisticamente das outras três espécies.

Classificadas quanto ao índice de anisotropia, as madeiras de *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus saligna*, são de excelente qualidade e a madeira de *Eucalyptus grandis* é considerada como madeira normal.

Para os resultados de resistência à dureza Janka, tanto na madeira de cerne puro quanto na madeira de alburno com presença de cerne, o *Eucalyptus tereticornis* foi a espécie que apresentou maior resistência, seguida pelo *Eucalyptus saligna*, *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus grandis*. As madeiras de cerne puro do

Eucalyptus tereticornis e *Eucalyptus saligna* não diferiram estatisticamente entre si, apresentando diferenças somente com a de *Corymbia citriodora* e a de *Eucalyptus grandis*. A madeira de alburno com presença de cerne de *Corymbia citriodora* apresentou valor estatisticamente igual ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, espécie tal que não diferiu do *Eucalyptus tereticornis*.

Corymbia citriodora foi a espécie que apresentou o maior valor de resistência à compressão paralela às fibras, sendo a única a se diferenciar estatisticamente das demais. Nas duas frações do lenho (cerne puro e alburno com presença de cerne) apenas o *Corymbia citriodora* se enquadra na classe de resistência C60, enquanto que as outras espécies estudadas se enquadram na classe de resistência C40.

O módulo de elasticidade não apresentou diferença estatística entre as espécies e entre as frações do lenho.

Dentre as espécies estudadas, a que apresentou maior teor de extrativos totais foi o *Eucalyptus tereticornis* que não diferiu estatisticamente do *Eucalyptus saligna*. O *Eucalyptus grandis* apresentou o menor valor de extrativos totais diferindo das demais espécies.

- **Variação entre cerne e alburno**

Tanto para densidade básica quanto para densidade aparente não foram encontradas diferenças significativas nos valores médios das duas frações do lenho (cerne e alburno).

Os valores de retratibilidade (tangencial, radial, longitudinal e volumétrica) mostraram-se estatisticamente diferentes apenas na tangencial e radial na madeira de *Eucalyptus tereticornis* e na volumétrica na madeira de *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus saligna*, sendo a fração de alburno com presença de cerne a que apresentou os menores valores.

Não foram encontradas diferenças estatísticas nos índices de anisotropia entre as frações do lenho.

Na comparação dos valores de dureza Janka entre as frações do lenho, somente foi encontrada diferença significativa na madeira de *Eucalyptus tereticornis*, sendo a fração de cerne puro a que apresentou maior resistência.

Comparando-se a resistência e rigidez à compressão paralela às fibras nas frações do lenho (cerne puro e alburno com presença de cerne) não foram encontradas diferenças estatísticas entre os resultados.

Comparando-se o teor de extrativos totais entre as frações do lenho, a madeira de cerne se mostrou estatisticamente diferente da madeira de alburno para todas as espécies com excessão do *Eucalyptus grandis*, verificando-se maior teor de extrativos na madeira de cerne.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram estudados o cerne e alburno de árvores jovens e adultas de eucaliptos, buscando respostas para algumas dúvidas que persistiam como: idade de início de formação de cerne (passível de diferenciação); influência do sítio e do clone na formação do cerne em árvores jovens de eucalipto; características tecnológicas do lenho que mais se alteram com a idade de árvores jovens; características do cerne que mais o diferenciam entre espécies de eucalipto utilizadas para serraria (idade superior a 18 anos).

Os resultados obtidos para as árvores jovens de eucalipto (clone de *E. grandis* e clone híbrido interespecífico de *E. grandis* e *E. urophylla*) evidenciam que aos dois anos de idade elas já apresentaram cerne passível de diferenciação macroscópica (presença de tilos); porém, tanto as propriedades físicas quanto as químicas dessas árvores jovens não apresentaram diferenças estatisticamente significativas quando avaliadas separadamente nas frações do cerne e do alburno. O sítio de desenvolvimento das árvores jovens não influenciou na formação de cerne. O efeito do clone foi, em sua maioria, significativo na formação de cerne e alburno: clones superiores tiveram formação de menor área de cerne em relação aos clones inferiores.

De maneira geral, as características que mais se alteraram com a idade das árvores jovens foram a porcentagem de área de cerne (formação de cerne) que aumentou consistentemente com a idade, e as densidades básica e aparente (12% de umidade) das árvores jovens do sítio inferior (Lençóis Paulista) – houve aumento consistente dessas densidades com a idade, sendo ele mais significativo dos 2 para os 4 anos. As árvores do sítio superior (Itapetininga) não apresentaram influência da idade (variação de 2 a 6 anos) nas densidades das frações de cerne e alburno.

Nas árvores jovens as frações de cerne e alburno não apresentaram diferenças significativas no teor de extrativos totais.

Para as árvores adultas pode-se dizer que, do ponto de vista físico-mecânico, a madeira das frações de cerne puro e de alburno com presença de cerne são de mesma qualidade nas quatro espécies de árvores adultas estudadas (*C. citriodora*, *E. tereticornis*, *E. saligna* e *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden) pois não apresentaram diferenças significativas nas propriedades avaliadas.

Houve diferença estatisticamente significativa nos teores de extrativos totais obtidos nas frações de cerne e alburno do lenho das árvores adultas das espécies estudadas.

O uso da técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM) se mostrou potencial e efetiva para a identificação dos compostos presentes nos extrativos da madeira, porém os cromatogramas de íons totais foram bastante semelhantes do ponto de vista qualitativo tanto nas árvores jovens como adultas e também nas frações do lenho (cerne e alburno).

Com base nos resultados e nas discussões apresentados neste trabalho, pode-se concluir ainda que:

Para árvores jovens

- a.** De maneira geral, a idade (2, 4 e 6 anos) teve efeito sobre a formação de cerne. A área e porcentagem de área de cerne aumentam com a idade da árvore, sendo esse aumento mais evidente nas idades de 2 para 4 anos, ocorrendo o efeito contrário no alburno;
- b.** a idade teve efeito sobre as densidades básica e aparente nos dois clone de Lençóis Paulista, apresentando aumento significativo nas idades de 2 para 4 anos, tanto no cerne quanto no alburno. Nas idades de 4 para 6 anos, esse aumento não foi evidenciado. Os clones de Itapetininga, no geral, não apresentaram diferenças significativas nas densidades entre as idades;
- c.** a idade não apresentou efeito consistente sobre o teor de extrativos totais da madeira;
- d.** as frações de cerne e alburno não obtiveram diferenças significativas no teor de extrativos totais;

- e. Não houve predominância de um sítio entre as porcentagens de área de cerne e alburno e relação cerne/alburno;
- f. o efeito do sítio foi significativo nas densidades. No geral, os valores de densidades básica e aparente foram maiores nas árvores do sítio inferior (LP), sendo mais evidente na madeira de alburno;
- g. o efeito do sítio, no geral, não foi significativo no teor de extrativos totais da madeira;
- h. o efeito do clone mostrou-se significativo nas porcentagens de área de cerne e alburno e relação cerne/alburno. As árvores do clone 2 (menor produtividade) apresentaram maiores porcentagens de área de cerne que o clone 1 (maior produtividade), ocorrendo o oposto para as porcentagens de alburno;
- i. praticamente não houve efeito do clone nas densidades no sítio superior, enquanto que no sítio inferior, houve uma tendência de superioridade da densidade do cerne para o clone 1 (maior produtividade);
- j. o efeito do clone não apresentou uma tendência lógica sobre o teor de extrativos totais da madeira nas duas frações estudadas.

Para árvores adultas:

- a. A porcentagem de área de cerne foi maior em todas as espécies estudadas, sendo o *Eucalyptus tereticornis* a espécie que apresentou maior porcentagem, seguido do *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Corymbia citriodora*;
- b. os maiores valores de densidade básica e aparente foram encontrados para o *Corymbia citriodora*, seguido do *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*.
- c. segundo seu índice de anisotropia, as madeiras de *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus saligna* se enquadram na classificação de madeira de excelente qualidade, enquanto que o *Eucalyptus grandis* é classificado como uma madeira normal.
- d. somente a madeira de *Corymbia citriodora* se enquadra na classe C60, de acordo com sua resistência à compressão paralela às fibras. As demais espécies se enquadram na classe C40;
- e. não houve diferença estatística nos resultados do módulo de elasticidade entre as espécies;

- f. a espécie que apresentou maior teor de extrativos totais foi o *Eucalyptus tereticornis*, seguida do *Eucalyptus saligna*, *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus grandis*;
- g. de maneira geral, não foram encontradas diferenças estatísticas nas propriedades estudadas entre as frações do lenho (cerne e alburno), com exceção o teor de extrativos totais que apresentou diferença em três das quatro espécies estudadas, sendo o *Eucalyptus grandis* a única espécie a não apresentar essa diferença. O teor de extrativos totais foi bem maior na madeira de cerne.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação da porcentagem de casca, cerne e alburno no sentido longitudinal de clones de eucaliptos. In: 1º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 2001. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2001. p.117.

ARANTES, M. D. C. et al. Longitudinal and radial variation of extractives and total lignin contents in a clone of *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 283-291, jul./set. 2011.

ASHLEY, P.N.; OZARSKA, B. Furnititure from young, plantation eucalypts. In: THE FUTURE OF EUCLYPTUS FOR WOOD PRODUCTS, 2000, Launceston, Tasmania. **Proceedings....** Launceston : **IUFRO**, 2000. p. 176-184. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 1

BAMBER, R. K., HUMPHREYS, F. R. A preliminary study of some wood properties of *Eucalyptus grandis* Hill ex.Maiden, Madison, **Wood and Fiber Science**, Monona, v. 11, p. 63-70, 1963.

BAMBER, R.K. Heartwood, its function and formation. **Wood Science and Technology**, Monona, v. 10, n. 1, p. 1-8, 1976.

BAMBER, R.K. The structure of wood and its relationship to the chemical corrosion of wood. In: FORUM OF AUSTRALIAN CORROSION ASSOCIATION, 1978.

Proceedings ... Sydney: CSIRO, 1978. p. 58-64.

BAMBER, R.K.; FUKAZAWA, K. Sapwood and heartwood: a review. **Forestry**

Abstract, Wallingford, v. 46, n. 9, p. 567-580, 1985.

BARBOSA, L. C. A. et al. O uso da espectroscopia no infravermelho na caracterização de depósitos de *pitch* e outros resíduos na indústria de celulose e papel. **O papel**, São Paulo, v. 10, p. 72-82, 2005.

BARBOSA, L. C. A.; MALTHA, C. R. A.; CRUZ, M. P. Composição química de extrativos lipofílicos e polares de madeira de *Eucalyptus grandis*. **Jornal Ciência & Engenharia**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 13-20, 2005.

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

BENJAMIN, C. A. **Estudo da estrutura anatômica e das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *Eucalyptus grandis***. 2006. 158 f. Tese (Doutor em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

BERTHIER, S., KOKUTSE, A., STOKES, A. Irregular heartwood formation in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.): consequences for biomechanical and hydraulic tree functioning. **Annals of Botany**, Oxford, v.87, p.10–25, 2001.

BHAT, K. M. et al. Wood property variation of 3-year-old trees among four eucalypt species grown in Kerala. **Journal Indian Academy Wood Science**, Gandharva Mahavidyalaya, v. 18, n. 2, p. 7-12, 1987.

BHAT, K. M.; BHAT, K. V.; DHAMODARAN, T. K. Effect of tree age on heartwood proportion of *Eucalyptus grandis* grown in Kerala. **Indian Journal of Forestry**, Dehra Dun, v. 11, n. 2, p. 95-97, 1988.

- BHAT, K.M. Wood quality improvement of Eucalyptus in India: as assessment of property-variations. **Journal Indian Academy Wood Science**, Gandharva Mahavidyalaya, v. 21, n. 2, p. 33-40, 1990.
- BRESLEY, L. Relationship between wood fiber properties and paper quality, Woodland Res. Index 114, **Pulping and Paper Research Institute of Canada**, Montreal, 1959.
- BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: John Wiley, 1963. 689 p.
- BUCHANAN, B. B., GRUISSEM, W., JONES, R. L. **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville, Maryland: American Society of Plant Physiologists, 2000. 1367 p.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.
- BÜSGEN, M., MÜNCH, E. **The structure and life of forest trees**. 3 ed. London: Chapman Hall London, 1929. 436 p.
- BUSNARDO, C. A. et al. Em busca da qualidade ideal da madeira de eucalipto para produção de celulose e papel, interrelações entre propriedades das árvores e características da madeira. In: 3º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 1983a. **Anais ...** São Paulo: ABCP, 1983. v. 1, p. 45-69.
- BUSNARDO, C. A. et al. Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para a produção de celulose. In: 20º CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 1987. **Anais ...** São Paulo: ABCP, 1987. p. 17-33.
- BUSNARDO, C. A. et al. Estudo comparativo da qualidade da madeira de algumas espécies de eucaliptos tropicais. In: 11º CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 1978. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1978. p.191-197.
- BUSNARDO, C. A. et al. Estudo comparativo da qualidade da madeira de três procedências de Eucalyptus saligna introduzidas na região de Guaíba-RS. In: 15º CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 1982. **Anais ...** São Paulo: ABCP, 1982. p. 25.

CAIXETA, R. P. et al. Propriedades e classificação da madeira aplicadas à seleção de genótipos de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 43-51, 2003.

CASTRO, A. F. N. M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira de carvão vegetal**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2011.

CHAFE, S. C. Relationships between shrinkage and specific gravity in the wood of *Eucalyptus*. **Australian Forestry**, Melbourne, v. 57, p. 59-61, 1994.

CINIGLIO, G. **Avaliação da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. Piracicaba, 1998. 73f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

COSTA, V. E. **Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E.urophylla***. 2006. 99 f. Tese (Doutor em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

DA COSTA, E. W. B. Natural decay resistance of wood. In: LIESE, W. (Ed.). **Biological transformation of wood by microorganisms: 2º INTERNATIONAL CONGRESS OF PLANT PATHOLOGY**, 1975. **Proceedings...** New York: Springer-Verlag, 1975. 203 p.

DADSWELL, H. E. Tree growth – wood property inter-relationships. In: SPECIAL FIELD INSTITUTE IN FOREST BIOLOGY. **Proceedings...** 1960. p. 1-88.

DADSWELL, H. E.; HILLIS, W. E. In: Wood extractives and their significance to pulp and paper industries. Hillis, W.E. (ed.). **Academic Press**, New York. p.3-55. 1962.

DELLA LUCIA, R. M.; VITAL, B. R. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de três regiões do tronco de *Eucalyptus saligna* SM. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 7, n. 1, p. 71-75, 1983.

DESCH, H. E., DINWOODIE, J. M. **Timber – Structure, Properties, Conversion and Use**. 7th ed. London: Macmillan Press, 1996. 306 p.

DINWOODIE, J. M. The relationship between fiber morphology and paper properties, A Review of Literature, **Technical Association of the Pulp and Paper Industry**, Atlanta, v.48, n.8, p. 440-447, 1965.

DÜNISCH, O., RICHTER, H.G., KOCH, G. Wood properties of juvenile and mature heartwood in *Robinia pseudoacacia* L. **Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 44, p. 301-313, 2010.

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

FENGEL, D., WEGENER, G. **Wood chemistry**. Berlin: Walter de Gruyter Verlag. 1984.

FOELKEL, C. E. B. et al. **Estudo comparativo das madeiras de *E. saligna*, *E. paniculata*, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. tereticornis* para produção de celulose sulfato**. IPEF, Piracicaba, v. 10, p. 17-37, 1975.

FOELKEL, C. E. B., ZVINAKEVICIUS, C., ANDRADE, J. O. M. Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* afetados por cancro. **O Papel**, São Paulo, v. 37, n. 12, 1976.

FRANCO, M. P. **Efeito da substituição do potássio pelo sódio em árvores de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden, visando a expansão das plantações florestais sob condições de estresse hídrico**. 2014. 198 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2014.

FREIRE, C. S. R. et al. Comparative study of lipophilic extractives of hardwoods and corresponding ECF bleached Kraft pulps. **BioResources**, Raleigh, v. 1, n. 1, p. 3-17, 2006a.

FREIRE, C. S. R. et al. Lipophilic extractives of the inner and outer barks of *Eucalyptus globulus*, **Holzforschung**, Berlin, v. 56, p. 372-379, 2002b.

FREIRE, C. S. R. et al. Lipophilic extractives of the inner and outer barks of *Eucalyptus globulus*. **Holzforschung**, v. 56, p. 372-379, 2002.

- FREIRE, C. S. R., SILVESTRE, A. J. D., NETO, C. P. Lipophilic extractives in *Eucalyptus globulus* kraft pulps. Behaviour during ECF bleaching. **Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 25, n. 1-2, p. 67-80, 2005.
- FUNADA, R. et al. The orientation and localization of cortical microtubules in differentiating conifer tracheids during cell expansion. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 38, p. 210–212, 1997.
- GALLAY, W. The interdependence of paper properties, in F. Bolam (ed), "The formation and structure of paper", Technical Section, **British Paper and Board Makers' Association**, United kingdom, v. 1, p. 491-531, 1962.
- GIERTZ, H. W. Effect of puping process on fiber properties and paper structure, in F. Bolam (ed) "The formation and structure of paper", Technical Section, **British Paper and Board Makers' Association**, United kingdom, v.2, p. 597-620, 1962.
- GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 299, n. 1, p. 129-137, 2005.
- GOMINHO, J. et al. Within-tree variation of heartwood, extractives and wood density in the eucalypt hybrid *Eucalyptus grandis* x *urophylla*. **Wood and Fiber Science**, Monona, v. 33, n. 1, p. 3-8, 2001.
- GOMINHO, J. **Variação do cerne no eucalipto e a sua influência na qualidade da madeira para produção de pastas para papel**. 2003. 264 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2003.
- GOMINHO, J.; PEREIRA, H. Variability of heartwood content in plantation grown *Eucalyptus globulus*. **Wood and Fiber Science**, Monona, v. 32, n. 2, p. 189-195, 2000.
- GOMINHO, J.; RODRIGUES, J.; PEREIRA, H. Heartwood and sapwood extractives in the eucalypt hybrid *Eucalyptus grandis* x *urophylla* – effects on kraft pulping. In: IUFRO CONFERENCE EUCALYPTUS IN A CHANGING WORLD, 2004. **Proceedings ...** Aveiro: IUFRO, 2004. p. 684-685.
- GONÇALEZ, J. C. **Caracterization technologique de quatre especes peu connues de la Foret Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mecaniques**.

Nancy, 1993. 444 f. These (Doctorat Ecole Nationale du Gene Rural dès Eaux et des Forets (ENGREF), 1993.

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

GONÇALVES, F. G. et al. Parâmetros dendrométricos e correlações com as propriedades tecnológicas em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 947-959, 2010.

GONZAGA, J. V. et al. Caracterização da qualidade da madeira de *Eucalyptus viminalis* na região de Guaíba-RS. In: 3º CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 1983. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1983. p. 1053-1069.

GOUVEA et al. Efeito do sítio nas características tecnológicas da madeira de eucalyptus para produção de celulose kraft. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 3, n. 2, 2012.

GULLICHSEN, J.; PAULAPURO, H. **Forest products chemistry**. OyHelsinki: Fapet Oy, 2000, Book 3, 350 p.

GUTIÉRREZ, A.; DEL RÍO, J. C. Gas chromatography/mass spectrometry demonstration of sterol glycosides in eucalypt wood, kraft pulp and process liquids. **Rapid Communication in Mass Spectrometry**, West Sussex, v. 15, n. 24, p. 2515-2520, 2001.

GUTIÉRREZ, A.; DEL RÍO, J. C.; GONZÁLES-VILA, F. J.; MARTIN, E. F. Analysis of lipophilic extractives from wood and pitch deposits by solid-phase extraction and gas chromatography. **Journal of Chromatography**, Amsterdam, v. 823, p. 449-455, 1998.

Gutiérrez, A.; Del Río, J. C.; Gonzáles-Vila, F. J.; Martin, E. F.; Analysis of lipophilic extractives from wood and pitch deposits by solid-phase extraction and gas chromatography. **Journal of Chromatography A**, 1998, 823, 449-455.

HARRIS, J. M. Heartwood formation in *Pinus radiata*. **New Phytologist**, Oxford, v. 53, n. 3, p. 517-524, 1954.

- HASELEIN, C. R. et al. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 145-155, 2004.
- HAUPT, M. et al. Heartwood extractives and natural durability of plantation-grown teakwood (*Tectona grandis* L.) - a case study. **European Journal of Wood and Wood Industries**, Heidelberg, v. 61, p. 473-474, 2003.
- HIGGINS, H. G. Pulp and paper. In: HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. (eds.). **Eucalyptus for Wood Production**. Melbourne: CSIRO/Academic Press, 1984. 484 p.
- HIGUCHI, T. **Biochemistry and molecular biology of wood**. Berlin: Springer-Verlag, 1997. 362 p.
- HILLIS, W. E. **Biological aspects of heartwood formation**. In. IUFRO Meeting: Section 41 Melbourne, Australia, 1965. 11p.
- HILLIS, W. E. Chemical aspects of heartwood formation. **Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 2, p. 241-259, 1968.
- HILLIS, W. E. Distribution, properties and formation of some wood extractives. **Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 5, p. 272-289, 1971.
- HILLIS, W. E. **Heartwood and tree exudates**. Berlin: Springer-Verlag, 1987. 268 p.
- HILLIS, W. E. Properties of eucalypt woods of importance to the pulp and paper industry. **Appita**, Carlton, v. 26, p. 113-122, 1972.
- HILLIS, W. E. Wood quality and utilization. In. Hillis, W. E.; Brown, A. G. (eds.). **Eucalyptus for Wood Production**. Melbourne: CSIRO/Academic Press, 1984. p. 259-289.
- HILLIS, W. E., DITCHBURNE, N. The prediction of heartwood diameter in radiata pine trees. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 4, p. 524-529, 1974.
- HUNTER, A. G., GOGGANS, J. F. Variation in specific gravity, diameter growth and colored heartwood of sweetgum in Alabama. **Tappi**, Newton, v. 51, p. 76-79, 1968.
- IHARA, N. **A dendrometrical study on heartwood formation of forest trees**. Bull Kyushu Univ. For. v.46, p.123-129. 1972.

JAMMAL FILHO, F.A. **Determinação da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. a idades passadas com uso da técnica de atenuação de radiação gama.** 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

JANKOWSKY, I. P. **Influência da densidade básica e do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira.** 1979. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.

KLITZKE et al. Caracterização dos lenhos de cerne, alburno e transição de jatobá para fins de secagem convencional. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 279-284, 2008.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G.; HERNADEZ, J.; ANDRADE, A. **Química da Madeira.** Curitiba: UFPR, 2005. 86 p. Apostila.

KOPITOVIC, S., KLASNJA, B., GUZINA, V. Importance of structural, physical, and chemical properties of Robinia wood (*Robinia pseudoacacia* L.) for its mechanical characteristics. **Drevarsky Vyskum**, Bratislava, v. 122, p. 13-30, 1989.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Physiology of woody plants.** New York: Academic Press, 1979. 745 p.

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

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

LOPES, M. C. et al. Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 133-144, 2004.

MAGEL, E. et al. Formation of heartwood substances in the stemwood of *Robinia pseudoacacia* L. I. Distribution of phenylalanine ammonium-lyase and chalcone synthase across the trunk. **Trees**, Sussex, v. 5, p. 203–207, 1991.

MAGEL, E., JAY-ALLEMAND, C., ZIEGLER, H. Formation of heartwood substances in the stemwood of *Robinia pseudoacacia* L. II. Distribution of nonstructural carbohydrates and wood extractives across the trunk. **Trees**, Sussex, v. 8, p. 165–171, 1994.

MANJI, A. et al. Uma nova alternativa para eliminar o talco e reduzir pitch e extrativos na produção de celulose. **O Papel**, São Paulo, p. 82- 87, 2005.

MAURI, R. **Anatomia e densidade do lenho de clones de Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis, com variação de altitude e de topografia, no estado de Minas Gerais**. 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

MEERTS, P. Mineral nutrient concentrations in sapwood and heartwood: a literature review. **Annals of Forest Science**, Paris, v. 59, p. 713-722, 2002.

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

MIRANDA, I. et al. The influence of growth factors on heartwood and sapwood content in 18 year old *Eucalyptus globulus*. In: IUFRO CONFERENCE EUCALYPTUS IN A CHANGING WORLD, 2004. **Proceedings ...** Aveiro: IUFRO, 2004. p. 694-696.

MORAIS, M. C.; PEREIRA, H. Variability of sapwood, heartwood and extractives in *Eucalyptus globulus*. In: IUFRO CONFERENCE EUCALYPTUS IN A CHANGING WORLD, 2004. **Proceedings...** Aveiro: IUFRO, 2004. p. 697-698.

MORAIS, P. H. D. **Efeito da idade da madeira de eucalipto na sua química e polpabilidade, e branqueabilidade e propriedades físicas da polpa**. 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 200

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

MOYA, R. et al. Variación radial de la anatomía, densidad y durabilidad de la madera de teca (*Tectona grandis*) procedente de dos calidades de sitio y dos regiones climáticas de Costa Rica. **Forest Systems**, Madrid, v. 18, n. 2, p. 119-131, 2009.

NETO, C. P. et al. Bulk and surface composition of ECF bleached hardwood kraft pulp fibres. **Nordic Pulp and Paper Research Journal**, Sundsvall, v. 19, n. 4, p. 513-520, 2004.

NETO, C. P.; EVTUGUIN, D. V.; PINTO, P. C. Componentes macromoleculares das madeiras de *Eucalyptus* e de outras folhosas: na aptidão ao cozimento e branqueamento. **O Papel**, São Paulo, v. 1, p. 17-26, 2005.

OLIVEIRA, A. M. F. et al. Agentes destruidores da madeira. In: LEPAGE, E.S. (Coord.) Manual de preservação de madeiras. São Paulo: **IPT**; SICCT, 1986. v.1, cap. 5, p. 99-278.

OLIVEIRA, B. R. U. de. et al. Microdensitometria de raios X aplicada na determinação da variação da densidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 93, p. 103-112, mar. 2012.

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

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

OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 929-936, 2010.

OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; SILVA, J. C. Resistência natural da madeira de sete espécies de eucalipto ao apodrecimento. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 993-998, 2005.

OLMOS, G. L. B. **Variación de la composición química en albura, duramen y altura de madera pulpable de *Eucalyptus globulus* proveniente de monte alto y monte bajo.** 2005. 86 f. Universidad de Chile- Facultad de Ciencias Forestales, Santiago-Chile. 2005.

OMRAN, T.A. Effect of irrigation on the growth, specific gravity and fiber length of *Eucalyptus* spp. **Alexandria Journal of Agricultural Research**, Alexandria, v. 31, p. 373-384, 1986.

PAES et al. Efeitos dos extrativos e cinzas na resistência natural de quatro madeiras a cupins xilófagos. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 399-405, 2013.

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

PEREIRA, B. L. C. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal**. 2012. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2012.

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

PEREIRA, H. Heartwood in eucalypts and its impact on pulping: a review. In: IUFRO CONFERENCE EUCALYPTUS IN A CHANGING WORLD, 2004. **Proceedings ...** Aveiro: IUFRO, 2004. p.667.

PEREIRA, H. The raw material quality of *Eucalyptus globulus*. In. IUFRO CONFERENCE EUCALYPT PLANTATIONS: IMPROVING FIBRE YIELD AND QUALITY, 1995. **Proceedings ...** Hobart: IUFRO, 1995. p. 46-48.

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

PLOMION, C.; LEPROVOST, C.; STOKES, A. Wood formation in trees. **Plant Physiology**, Lancaster, v.127, p. 1513-1523, 2001.

PROTÁSIO et al. Seleção de Clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 015-028, mar. 2013.

PURKAYASTHA, S. K. et al. Variation in the proportion of heartwood in *Eucalyptus tereticornis*. **Indian Forester**, Rajasthan, v. 106, n. 7, p. 466-473, 1980.

PURNELL, R.C. Variation of wood properties of *Eucalyptus nitens* in a provenance trial on the eastern Transvaal Highvel South Africa. **South African Forestry Journal**, Grahamstown, v. 14, p. 10-22, 1988.

RAYMOND, C. A. Tree breeding issues for solid wood products. In: THE FUTURE OF *EUCALYPTUS* FOR WOOD PRODUCTS, 2000. **Proceedings...** Launceston: IUFRO, 2000. p. 265-270.

REZENDE, M. A. **Uma abordagem convencional sobre as principais características físicas da madeira, com ênfase para retratibilidade, massa específica e técnica de atenuação de radiação gama**. 1987. 138 f. Tese (Livre Docência)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

REZENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C.; CHAVES, R. Specific gravity variation of *Eucalyptus grandis* wood at 8 years old in function of a different productivity indexes. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 53, p. 71-78, 1998.

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

ROCHA, R. R. **Avaliação não-destrutiva de madeiras para dormentes ferroviários**. 2003. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

SACHSSE, H. Investigation of the influence of pruning on the formation of colored heartwood and tension wood in some poplar species. **European Journal of Wood and Wood Industries**, Heidelberg, v. 3, p. 425-434, 1965.

- SAHLBERG, U., SALMÉN, L., OSCARSSON, A. The fibrillar orientation in the S2-layer of wood fibres as determined by x-ray diffraction analysis. **Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 31, p. 77-86, 1997.
- SALAZAR, J. A. H.; PÉREZ, J. H. Determinación de componentes químicos de la madera de cinco especies de encino del estado de Puebla. **Madera y Bosques**, Xalapa, v. 4, n.2, 79- 93, 1998.
- SANTOS, et al. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, 2011.
- SARTO, C.; SANSÍGOLO, C. A. Cinética da remoção dos extrativos da madeira de *Eucalyptus grandis* durante polpação kraft. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 227-235, 2010.
- SCHOBBER, R. **Japanese larch: an investigation of growth, yield and biology**. Schriftenr Forst Fak Univ Göttingen. 258 p. 1953.
- SCHWANNINGER, M.; HINTERSTOISSER, B. Comparison of the classical wood extraction method using a Soxhlet apparatus with an advanced extraction method. **European Journal of Wood and Wood Industries**, Heidelberg, v. 60, p. 343-346, 2002.
- SERPA, P. N. et al. Avaliação de algumas propriedades da Madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 5, p. 723-73, 2003.
- SILVA et al. Posição da tora na árvore e sua relação com a qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 142-151, 2004.
- SILVA, D. A.; TRUGILHO, P. F. Comportamento dimensional da madeira de cerne e alburno utilizando-se a metodologia de análise de imagem submetida a diferentes temperaturas. **Revista Cerne**, Lavras-MG, v. 9, n. 1, p. 56-65, 2003.
- SILVA, J. C. et al. Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 455-460, maio/jun. 2005.

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

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

SILVÉRIO et al. Lipophilic extractives of *E. urograndis*, **BioResources**, Raleigh, v. 2, n. 2, p. 157-168, 2007.

SILVÉRIO, F. O. **Caracterização de extrativos da madeira de *Eucalyptus* e depósitos de pitch envolvidos na fabricação de celulose e papel.** 2008. 157 f. Tese (Doutorado em Ciências/Química) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Minas Gerais Belo Horizonte, 2008.

SILVERIO, F.O. et al. Comparative study on the chemical composition of lipophilic fractions from three wood tissues of *Eucalyptus* species by gas chromatography-mass spectrometry analysis. **Journal of Wood Science**, v.53, p.533-540. 2007.

SILVESTRE, A. J. D.; NETO, C. P.; FREIRE, C. S. R. Componentes lipofílicos da madeira de *Eucalyptus globulus*: Comportamento durante a produção de pasta de papel. **O Papel**, São Paulo, v. 1, p. 5-16, 2005.

SJÖSTRÖM, E., ALÉN, R. **Analytical Methods in wood chemistry, pulping, and papermaking.** Germany: Springer, 1998. 316p.

SMITH, H. G., WALTERS, J., WELLWOOD, R. W. Variation in sapwood thickness of Douglas-fir in relation to tree and section characteristics. **Forest Science**, Bethesda, v. 12, n. 1, p. 87-103, 1996.

SPIEGELBERG, H. L. The effect of hemicelluloses on the mechanical properties of individual pulp fiber, **Technical Association of the Pulp and Paper Industry**, Atlanta, v.49, n. 9, p. 389-396, 1966.

STREIT, W., FENGEL, D. Formation and deposition of tannins in Quebracho colorado (*Schinopsis balansae* Engl.). **Holz als Roh- und Werkstoff**, Germany, v. 53, p.56–60, 1995.

STURION, J.A.; PEREIRA, J.C.D.; ALBINO, J.C. Avaliação da produtividade energética da madeira e do carvão de doze espécies de *Eucalyptus* em Uberaba-MG. **Colombo: EMBRAPA-CNPQ**, 1987.

SUN, R. C.; TOMKINSON, J. Comparative study of organic solvent and water-soluble lipophilics extractives from wheat straw I: yield and chemical composition. **Journal of Wood Science**, Kadan-kita, v. 49, p. 47-52, 2003.

TAYLOR, F. W. Variations in the anatomical properties of South African grown *Eucalyptus grandis*, **Appita**, Carlton, p. 171-178, 1973.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. **Normas técnicas**. Atlanta: 1999. Preparation of wood for chemical analysis, norma TAPPI T 264 cm-97.

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

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

TOMAZELLO FILHO, M. et al. Application of technique in nondestructive evaluation of *Eucalyptus* wood. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, Concepción, v. 10, n. 2, p. 139-150, 2008.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, v. 30, p. 45-53, 1985.

TRUGILHO, P. F. et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Revista Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 104-114, maio/ago. 2001.

TRUGILHO, P. F. Influência da idade e das características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*, **Revista Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94- 111, 1996.

USDA – United States Department of Agriculture. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: FPL, 474 p. 1999.

VALLE, M. L. A. **Propriedades da madeira de eucalipto de primeira e segunda rotação, visando a sua utilização como madeira preservada**. 2009. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2009.

WANGAARD, F.F. Research on quality of wood in relation to its utilization as fiber for papermaking, **Norsk Skogindustri**, Oslo, v.8, 1958.

WILKES, J. Heartwood development and its relationship to growth in *Pinus radiata*. **Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 25, p. 85-90, 1991.

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

WILKINS, A. P. Implications of silviculturally induced variation of wood density and heartwood formation in *Eucalyptus grandis*. In: PACIFIC WOOD ANATOMY CONFERENCE, 1989. **Proceedings ...** Laguna: IUFRO, 1989a. p. 359-368.

WILKINS, A. P. Wood color of *Eucalyptus grandis* in response to silvicultural treatment. In: PACIFIC WOOD ANATOMY CONFERENCE, 1989. **Proceedings ...** Laguna: IUFRO, 1989b. p. 115-112.

WILKINS, J. Sapwood, heartwood and bark thickness of silviculturally treated *Eucalyptus grandis*. **Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 25, p. 415-423, 1991.

YOKOI, H. et al. Rapid characterization of wood extractives in wood by thermal desorption-gas chromatography in the presence of tetramethylammonium acetate. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Amsterdam, v. 67, p. 191-200, 2003.

ZOBEL, B. J. The changing quality of world wood supply. **Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 18, p. 1-17, 1984.

ZOBEL, B. J., SPRAGUE, J. R. **Juvenile wood in forest trees**. Berlin: Springer, 1998. 300 p.

ZOBEL, B. J., VAN BUIJTENEN, S. P. **Wood variation—its causes and control**. Berlin: Springer, 1998. 363 p.

APÊNDICE

APÊNDICE A

Valores de raio, área, porcentagem de área, relação cerne/alburno, densidades básica e aparente e teor de extrativos totais para cada amostra estudada das árvores jovens.

Tabela A1. Itapetininga- Resultados das variáveis estudadas.

Idade (anos)	Clone	Amostra	R total		R cerne		Área (cm²)			Área (%)		Relação C/A	D básica (Kg/m²)		D 12 % (Kg/m²)		% Extrativos	
			(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	Cerne	Alburno	Total	Cerne	Alburno		Cerne	Alburno	Cerne	Alburno	Cerne	Alburno
2	1	1	7,16	2,90	16,82	125,07	141,89	11,86	88,14	0,13	409	387	497	469	1,04	3,97		
		2	6,84	1,80	9,12	122,39	131,52	6,94	93,06	0,07	457	369	561	446	1,78	2,34		
		3	7,32	3,30	33,60	116,26	149,87	22,42	77,58	0,29	393	365	477	440	3,41	2,21		
		4	7,48	2,00	12,21	134,07	146,29	8,35	91,65	0,09	464	385	570	466	2,05	1,93		
		5	7,60	2,30	15,83	153,47	169,30	9,35	90,65	0,10	448	370	550	447	2,03	1,91		
		6	9,21	4,00	48,56	162,24	210,79	23,04	76,96	0,30	396	397	480	481	2,62	1,97		
4	1	1	8,90	5,80	85,67	115,16	200,83	42,66	57,34	0,74	414	431	504	526	2,47	2,28		
		2	9,50	7,10	122,56	109,96	232,52	52,71	47,29	1,11	407	428	495	523	2,47	2,71		
		3	9,32	5,40	82,06	122,13	204,19	40,19	59,81	0,67	431	442	527	542	1,10	2,56		
		4	9,15	6,40	124,80	116,42	241,22	51,74	48,26	1,07	420	410	512	499	1,55	2,34		
		5	7,16	4,00	46,74	88,09	134,83	34,67	65,33	0,53	427	430	521	525	1,14	2,01		
		6	8,60	5,70	93,77	106,58	200,36	46,80	53,20	0,88	420	417	512	509	2,42	2,89		
6	1	1	10,92	8,60	206,55	111,52	318,07	64,94	35,06	1,85	390	391	472	474	1,04	3,97		
		2	8,66	5,70	111,88	113,98	225,86	49,54	50,46	0,98	374	400	452	486	1,78	2,34		
		3	10,03	8,30	186,22	89,66	275,88	67,50	32,50	2,08	377	425	456	518	3,41	2,21		
		4	11,22	8,50	209,44	106,94	316,38	66,20	33,80	1,96	320	339	383	407	2,05	1,93		
		5	9,31	6,20	133,30	131,54	264,83	50,33	49,67	1,01	395	420	479	512	2,03	1,91		
		6	9,66	6,70	154,41	139,11	293,52	52,61	47,39	1,11	380	415	460	505	2,62	1,97		
4	2	1	6,53	5,40	75,07	33,18	108,25	69,35	30,65	2,26	398	400	483	486	3,66	2,36		
		2	7,56	5,80	92,32	52,78	145,10	63,62	36,38	1,75	387	419	469	510	2,97	2,22		
		3	7,96	6,10	100,09	59,36	159,45	62,77	37,23	1,69	396	413	481	503	3,73	2,52		
		4	9,50	6,20	123,22	100,00	223,22	55,20	44,80	1,23	442	431	541	526	3,88	3,03		
		5	7,00	5,40	84,41	59,80	146,20	59,10	40,90	1,45	384	378	466	457	4,03	2,71		
		6	7,96	5,90	93,43	73,85	167,28	55,85	44,15	1,27	396	361	480	435	3,84	2,91		
6	2	1	8,24	6,40	135,47	86,90	222,37	60,92	39,08	1,56	357	380	429	460	2,43	1,96		
		2	8,70	7,30	162,99	59,65	222,64	73,21	26,79	2,73	441	502	540	622	1,39	1,71		
		3	8,93	7,00	149,02	88,54	237,57	62,73	37,27	1,68	408	391	496	475	1,98	1,86		
		4	10,11	7,40	193,08	111,71	304,80	63,35	36,65	1,73	337	363	405	438	2,44	1,63		
		5	7,21	5,60	110,45	63,23	173,67	63,59	36,41	1,75	392	390	475	473	2,23	1,37		
		6	8,15	5,70	111,24	87,92	199,16	55,85	44,15	1,27	327	335	392	402	2,17	1,41		

Tabela A2. Lençóis Paulista- Resultados das variáveis estudadas.

Idade (anos)	Clone	Amostra	raio total	raio cerne	Área (cm²)			Área (%)		Relação C/A	D básica (Kg/m²)		D 12 % (Kg/m²)		% Extrativos	
					Cerne	Alburno	Total	Cerne	Alburno		Cerne	Alburno	Cerne	Alburno	Cerne	Alburno
2	1	1	6,60	3,60	32,16	89,26	121,42	26,49	73,51	0,36	411	410	501	499	4,60	2,67
		2	6,52	2,40	23,68	106,96	130,65	18,13	81,87	0,22	430	391	525	474	4,18	2,21
		3	5,73	2,00	15,07	82,36	97,43	15,47	84,53	0,18	393	406	477	493	3,61	1,86
		4	6,92	4,10	49,18	96,67	145,85	33,72	66,28	0,51	409	379	498	458	3,66	2,59
		5	6,37	2,70	25,19	91,80	116,99	21,53	78,47	0,27	390	398	473	483	5,44	2,64
		6	5,73	3,10	27,27	68,01	95,28	28,62	71,38	0,40	381	398	461	484	3,51	1,89
4	1	1	9,38	6,60	93,16	117,55	210,71	44,21	55,79	0,79	439	427	537	522	3,13	2,35
		2	6,44	4,40	63,88	55,96	119,84	53,30	46,70	1,14	464	432	570	528	1,40	2,46
		3	7,16	5,00	78,76	80,79	159,55	49,36	50,64	0,97	461	449	567	550	1,38	2,74
		4	7,32	5,20	74,57	72,01	146,58	50,87	49,13	1,04	446	464	546	570	2,44	1,93
		5	7,48	5,00	77,25	82,16	149,42	48,46	51,54	0,94	461	452	566	554	2,36	2,40
		6	7,69	5,50	79,91	92,54	172,45	46,34	53,66	0,86	458	471	562	580	2,54	2,32
6	1	1	8,50	5,80	91,73	106,12	197,84	46,36	53,64	0,86	477	448	589	549	2,18	1,94
		2	9,37	6,20	111,48	113,41	224,89	49,57	50,43	0,98	433	445	530	545	2,47	1,58
		3	8,78	6,10	90,93	105,55	196,48	46,28	53,72	0,86	439	453	537	556	1,82	2,02
		4	6,76	4,60	72,32	62,25	134,57	53,74	46,26	1,16	476	490	587	605	2,69	1,89
		5	6,92	4,50	75,22	66,63	141,85	53,03	46,97	1,13	445	472	546	582	2,45	1,82
		6	8,63	5,80	107,84	140,92	248,76	43,35	56,65	0,77	397	432	482	528	3,20	4,30
2	2	1	4,77	2,80	22,27	42,70	64,96	34,27	65,73	0,52	369	325	445	389	2,90	1,66
		2	5,41	3,30	31,16	49,06	80,22	38,84	61,16	0,64	379	384	458	465	2,81	2,04
		3	5,17	2,90	27,60	51,27	78,88	34,99	65,01	0,54	391	405	474	492	1,13	3,65
		4	5,41	3,00	32,63	53,25	85,88	38,00	62,00	0,61	393	380	476	460	4,66	3,27
		5	5,81	3,40	37,85	62,60	100,45	37,68	62,32	0,60	374	398	452	483	4,14	2,03
		6	5,81	3,60	37,99	53,00	90,99	41,75	58,25	0,72	410	415	499	506	2,33	1,63
4	2	1	6,31	4,50	62,33	52,22	114,55	54,41	45,59	1,19	424	455	517	558	2,24	3,90
		2	5,41	4,20	51,01	34,72	85,73	59,50	40,50	1,47	402	415	488	505	3,37	1,95
		3	4,61	3,20	31,74	29,13	60,87	52,14	47,86	1,09	408	395	497	479	4,73	1,56
		4	6,93	4,80	69,17	72,13	141,29	48,95	51,05	0,96	447	457	547	561	2,66	2,01
		5	6,29	4,50	57,47	56,91	114,38	50,24	49,76	1,01	407	429	494	524	2,65	0,78
		6	6,68	4,80	69,45	58,35	127,80	54,34	45,66	1,19	448	475	549	585	2,53	0,68
6	2	1	5,19	3,90	46,21	36,70	82,91	55,74	44,26	1,26	398	458	483	563	4,72	0,96
		2	5,27	4,40	61,23	22,09	83,33	73,49	26,51	2,77	415	469	506	578	1,69	0,13
		3	5,57	4,20	54,83	34,01	88,84	61,72	38,28	1,61	431	449	526	551	2,96	0,53
		4	6,05	4,40	67,41	49,82	117,23	57,50	42,50	1,35	399	445	485	545	3,05	0,47
		5	5,90	4,60	68,96	47,42	116,38	59,25	40,75	1,45	422	489	515	605	2,34	0,6
		6	6,00	4,60	70,39	46,24	116,63	60,35	39,65	1,52	402	437	488	534	2,57	2,22

APÊNDICE B

Perfis densitométricos das árvores jovens obtidos pela Técnica de Atenuação da Radiação
Gama (TARG)

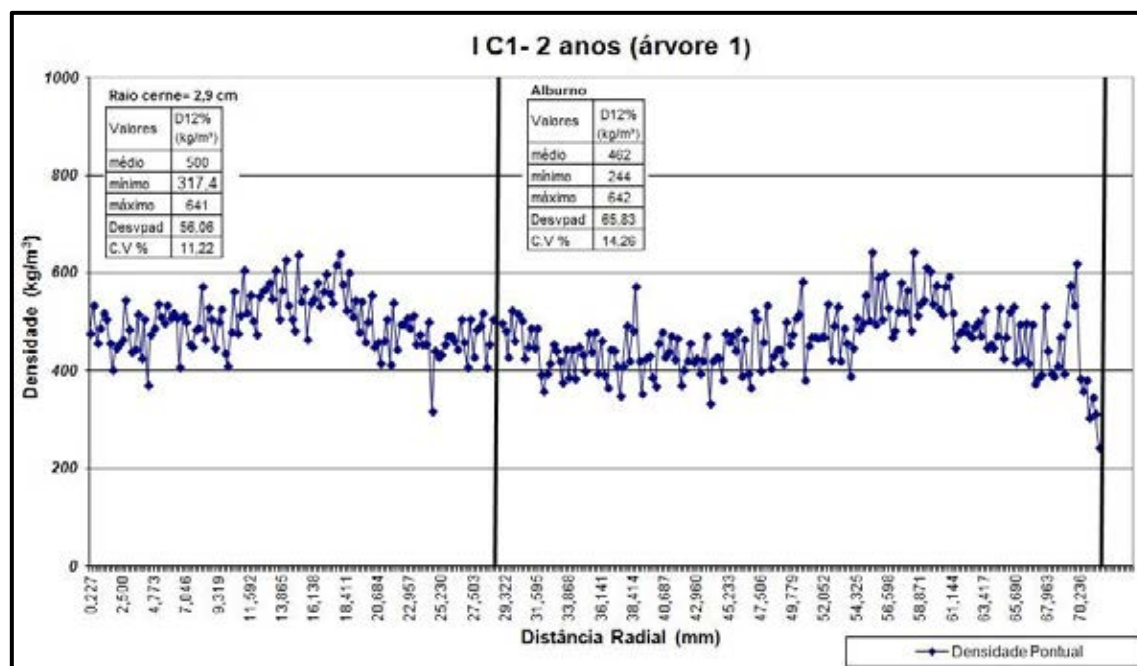


Figura B1. Perfil densitométrico da árvore 1 do clone 1 aos 2 anos de idade da região de Itapetininga.

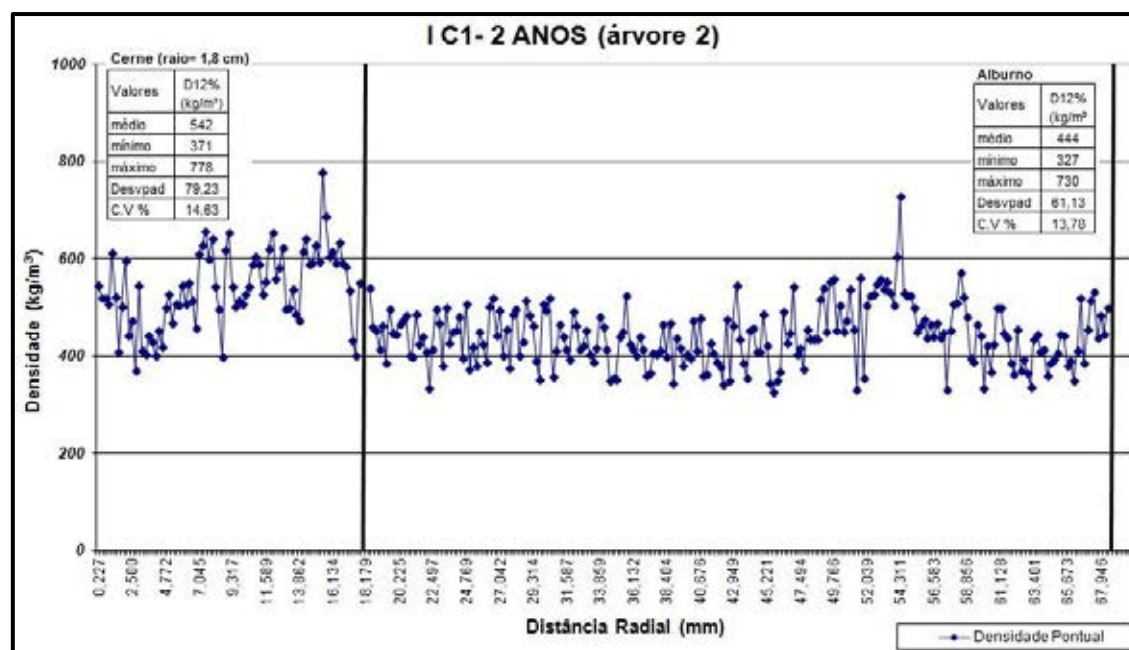


Figura B2. Perfil densitométrico da árvore 2 do clone 1 aos 2 anos de idade da região de Itapetininga.

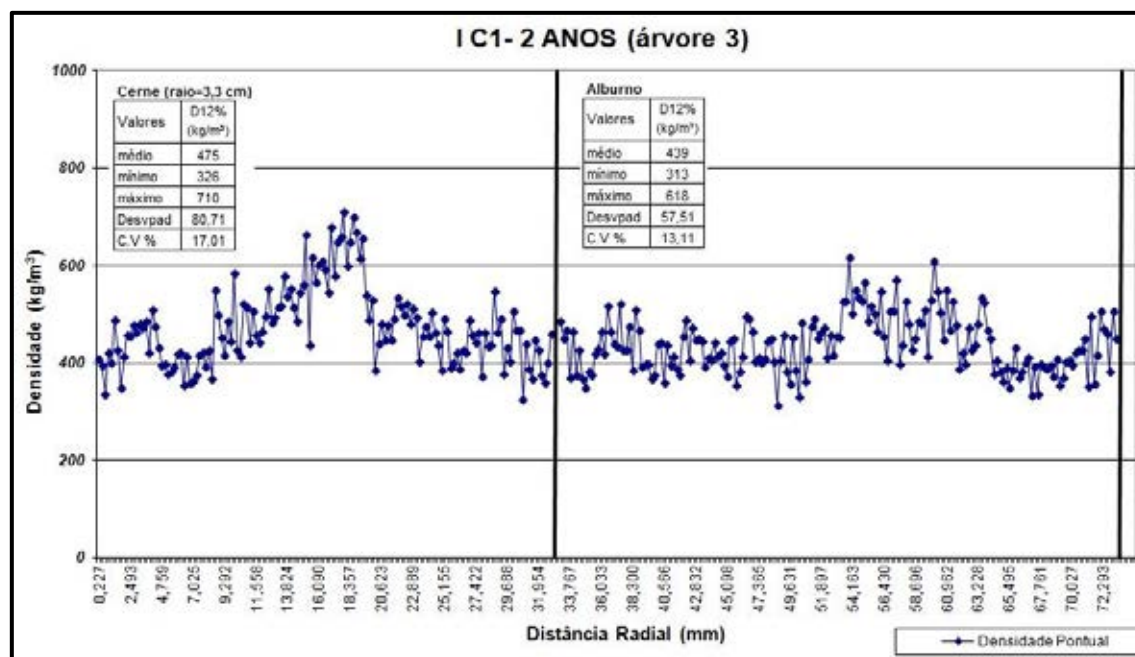


Figura B3. Perfil densitométrico da árvore 3 do clone 1 aos 2 anos de idade da região de Itapetininga.

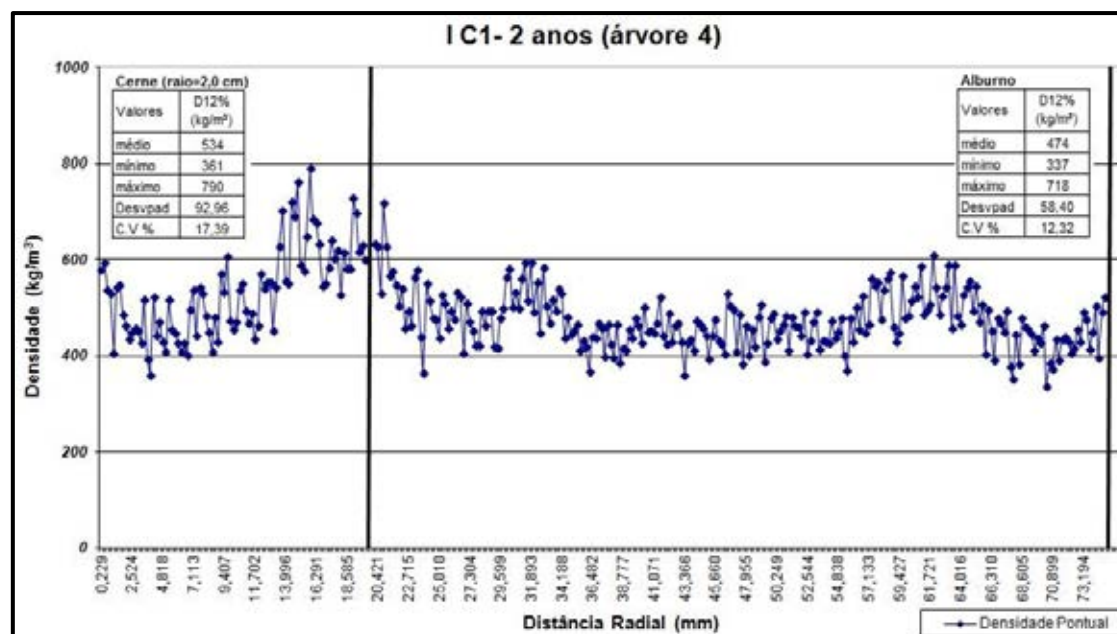


Figura B4. Perfil densitométrico da árvore 4 do clone 1 aos 2 anos de idade da região de Itapetininga.

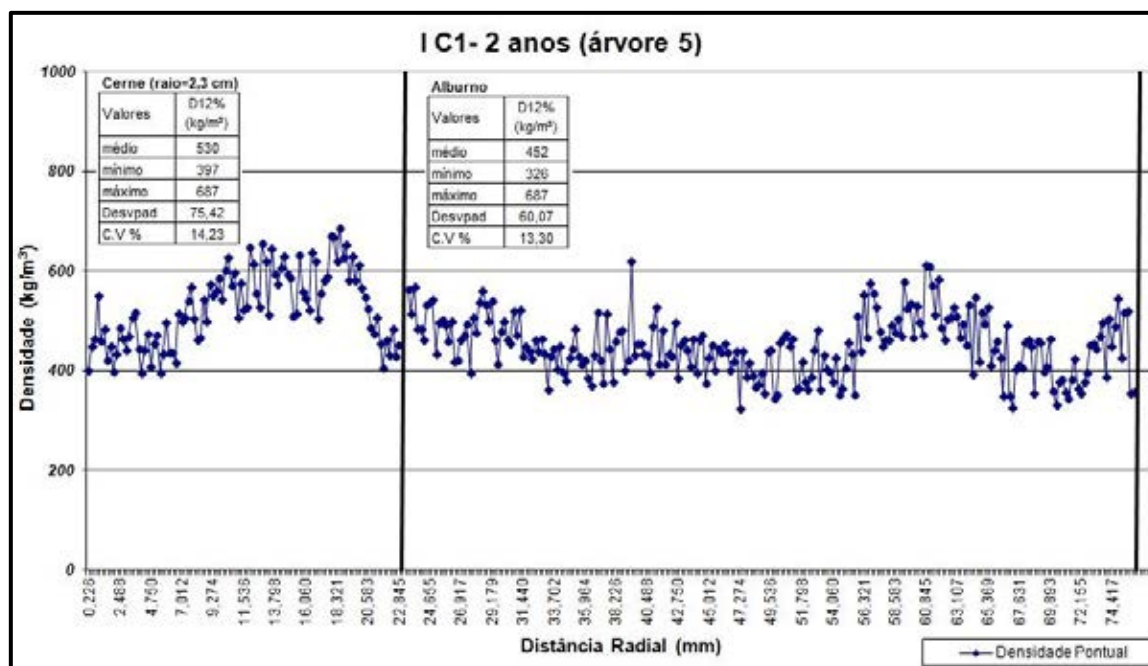


Figura B5. Perfil densitométrico da árvore 5 do clone 1 aos 2 anos de idade da região de Itapetininga.

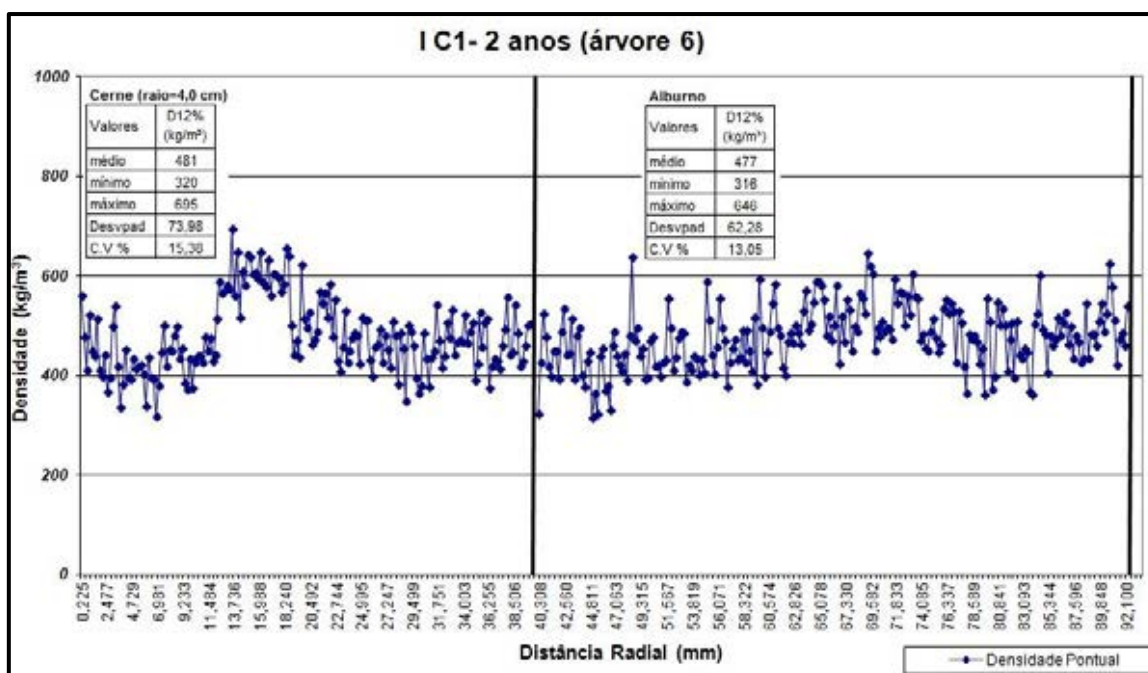


Figura B6. Perfil densitométrico da árvore 6 do clone 1 aos 2 anos de idade da região de Itapetininga.

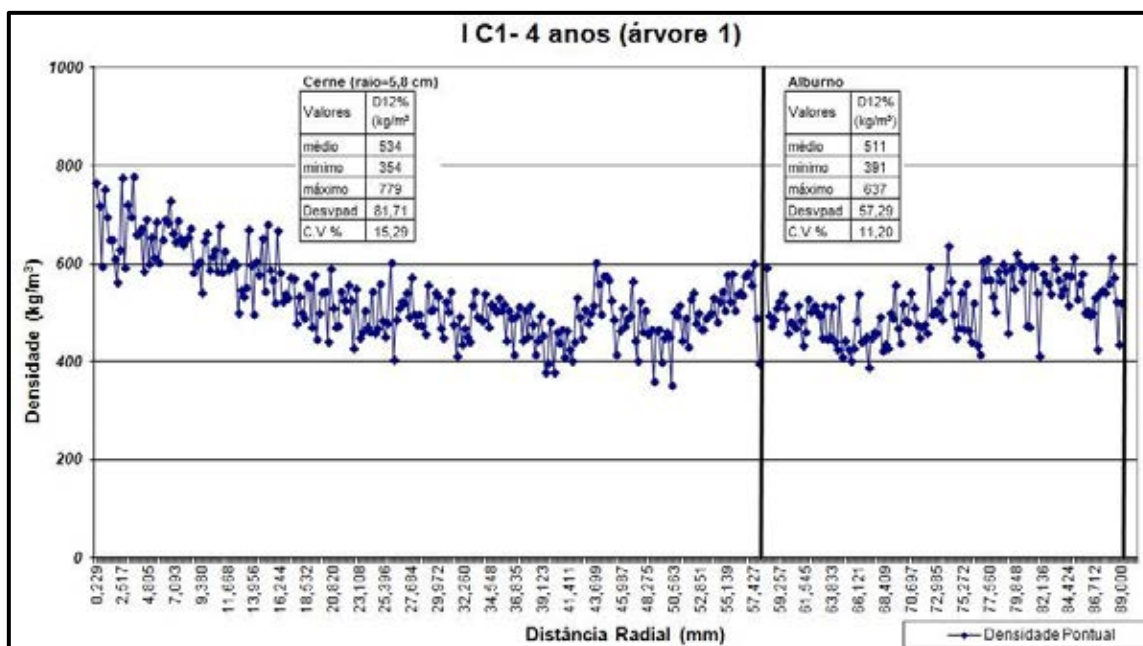


Figura B7. Perfil densitométrico da árvore 1 do clone 1 aos 4 anos de idade da região de Itapetininga.

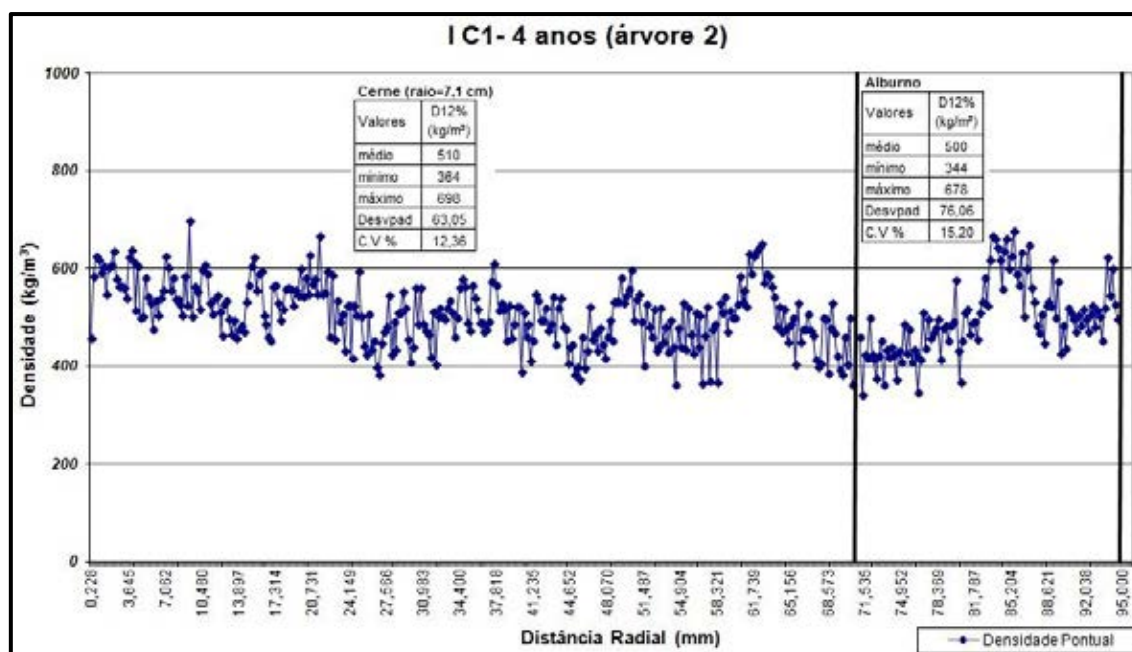


Figura B8. Perfil densitométrico da árvore 2 do clone 1 aos 4 anos de idade da região de Itapetininga.

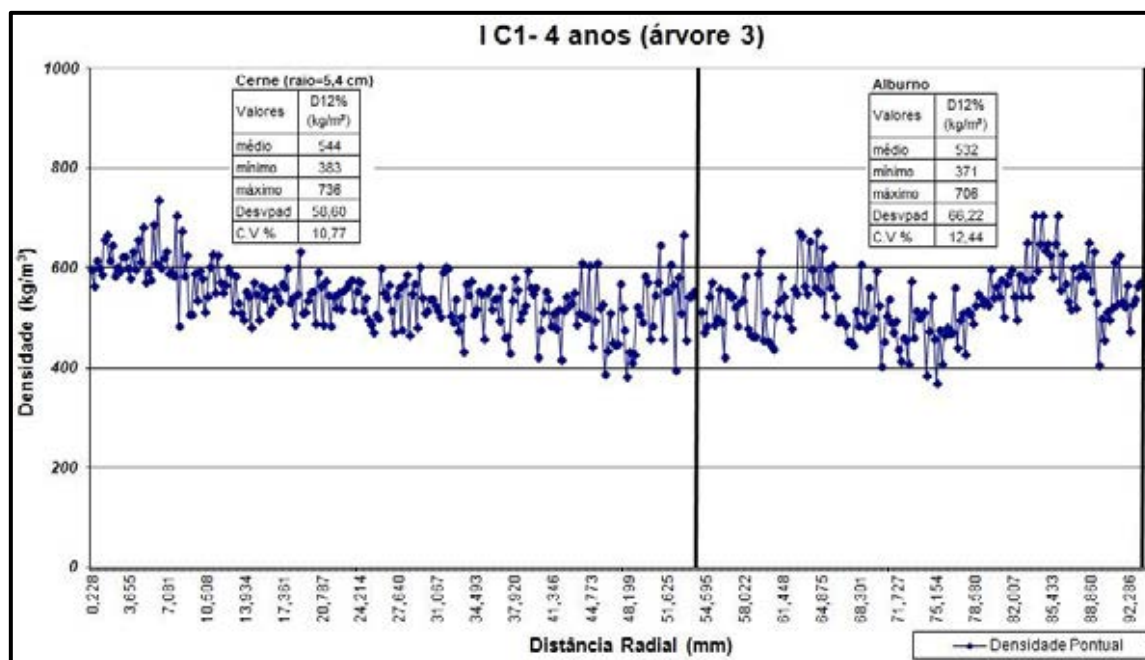


Figura B9. Perfil densitométrico da árvore 3 do clone 1 aos 4 anos de idade da região de Itapetininga.

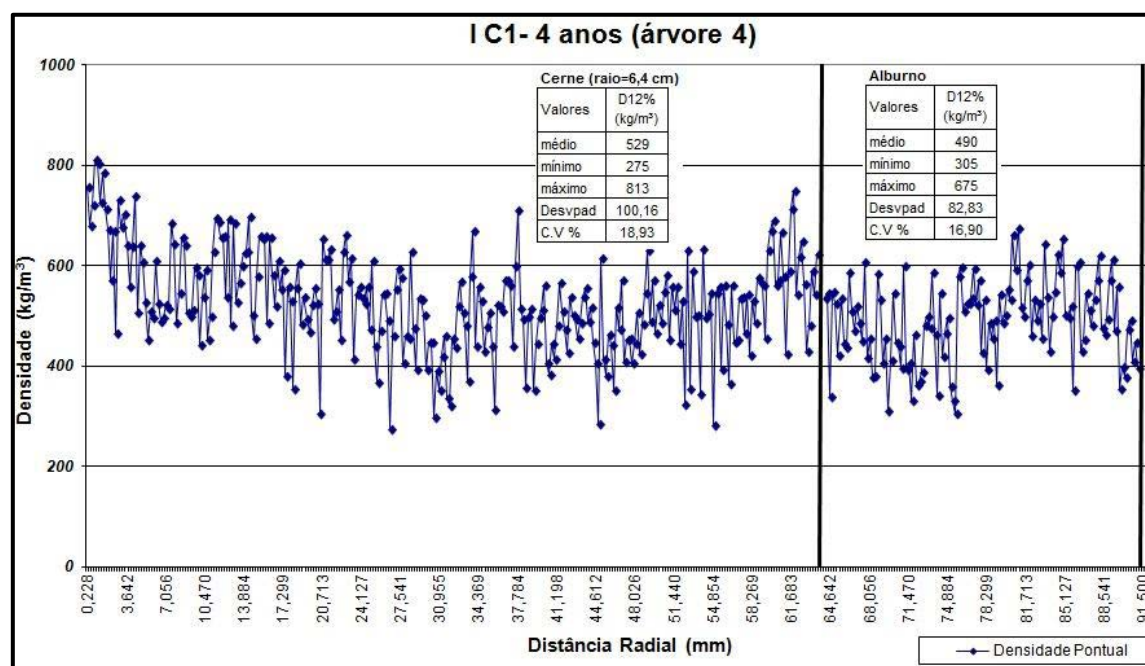


Figura B10. Perfil densitométrico da árvore 4 do clone 1 aos 4 anos de idade da região de Itapetininga.

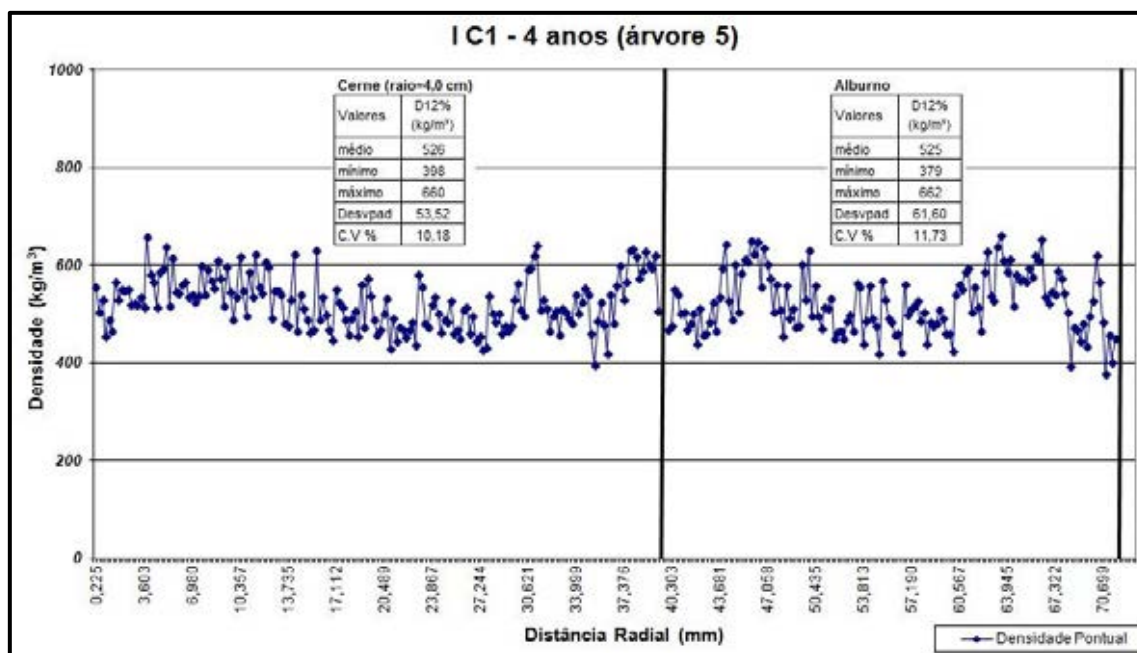


Figura B11. Perfil densitométrico da árvore 5 do clone 1 aos 4 anos de idade da região de Itapetininga.

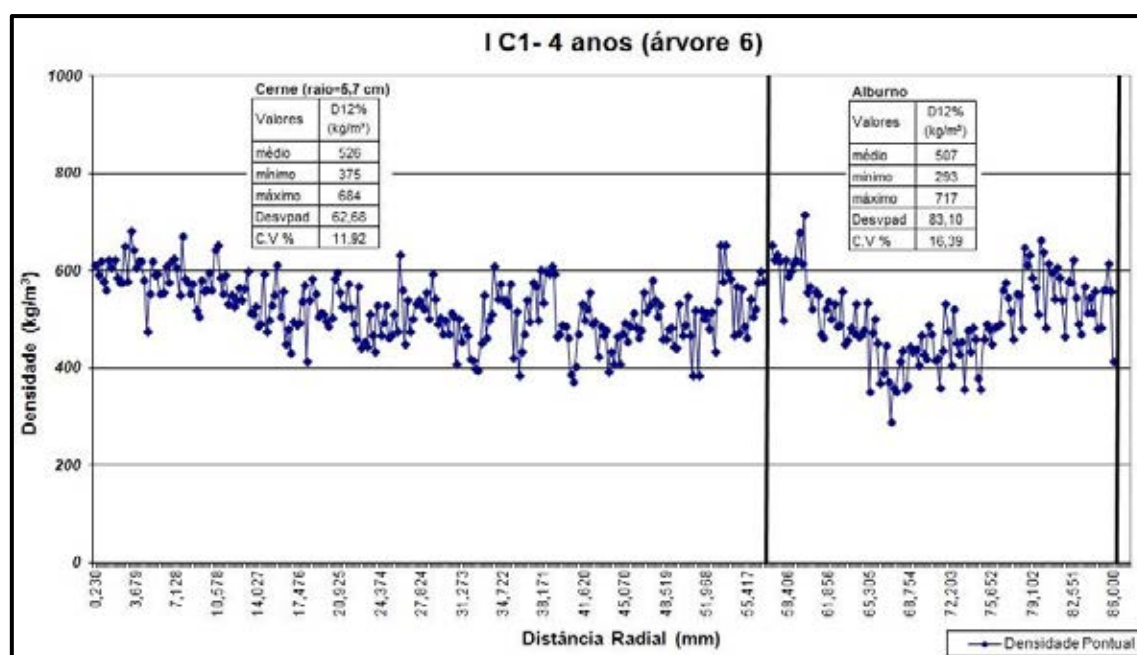


Figura B12. Perfil densitométrico da árvore 6 do clone 1 aos 4 anos de idade da região de Itapetininga.

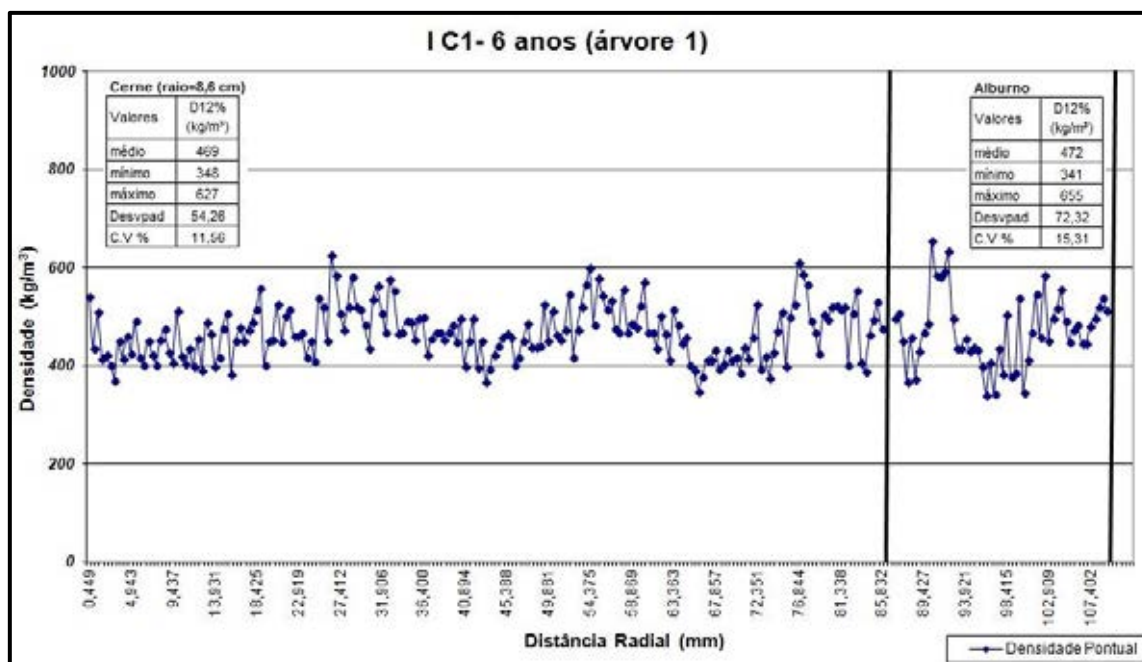


Figura B13. Perfil densitométrico da árvore 1 do clone 1 aos 6 anos de idade da região de Itapetininga.

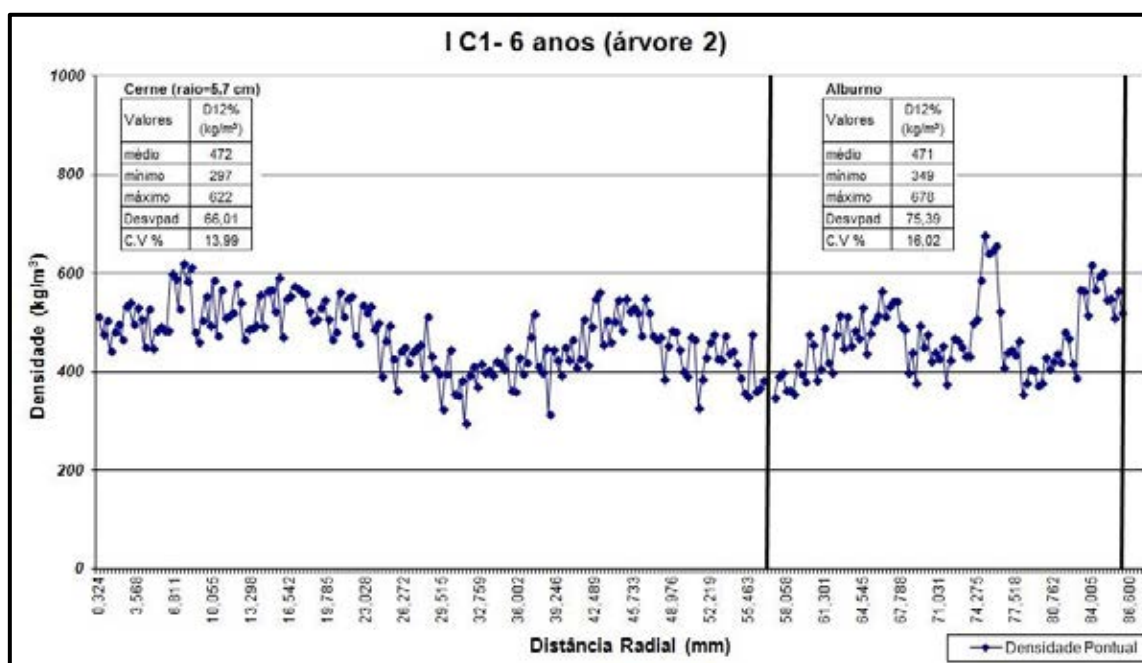


Figura B14. Perfil densitométrico da árvore 2 do clone 1 aos 6 anos de idade da região de Itapetininga.

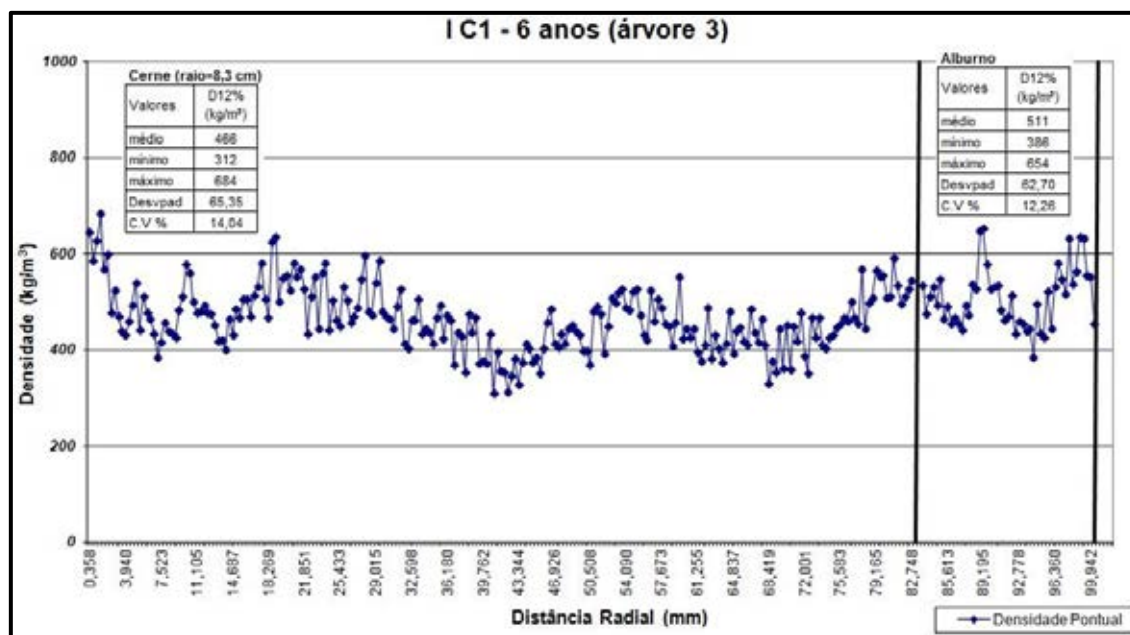


Figura B15. Perfil densitométrico da árvore 3 do clone 1 aos 6 anos de idade da região de Itapetininga.

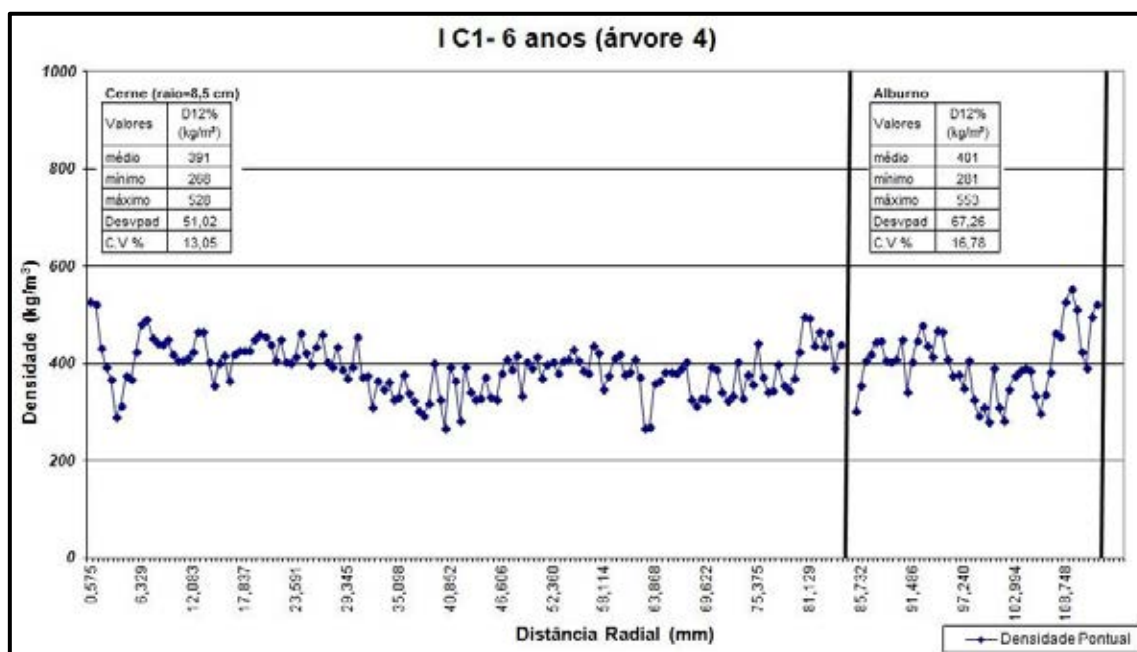


Figura B16. Perfil densitométrico da árvore 4 do clone 1 aos 6 anos de idade da região de Itapetininga.

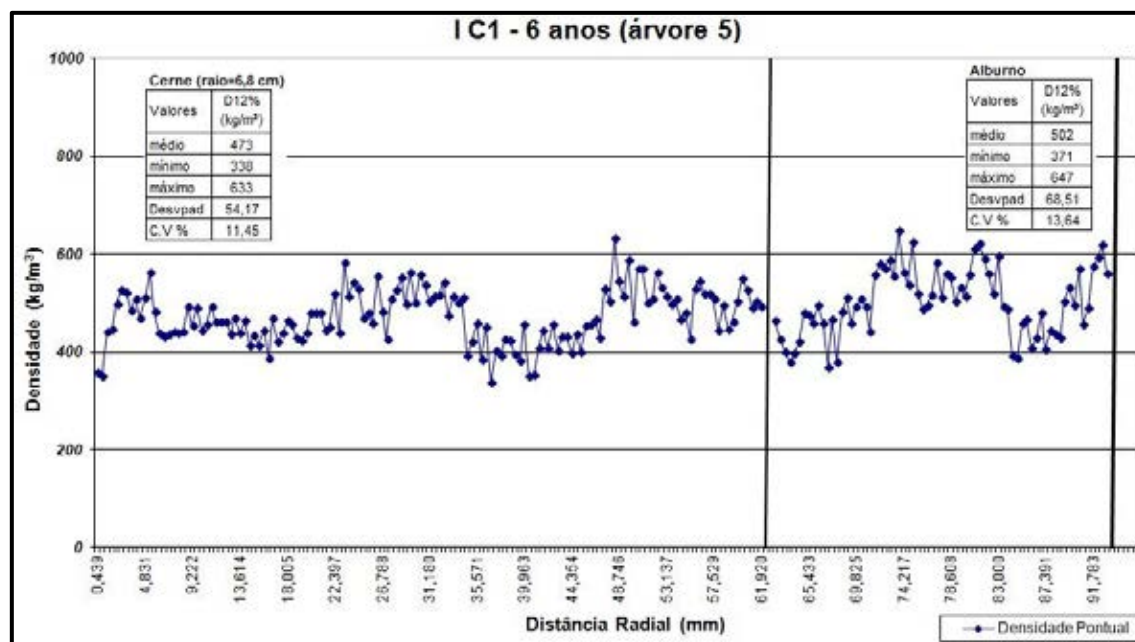


Figura B17. Perfil densitométrico da árvore 5 do clone 1 aos 6 anos de idade da região de Itapetininga.

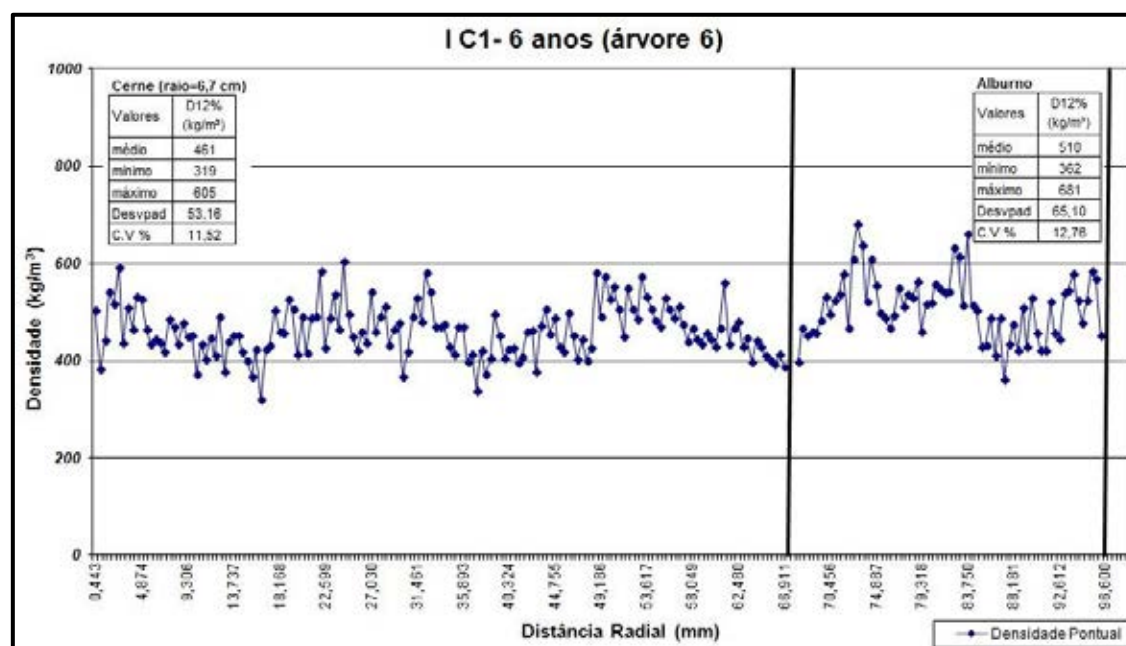


Figura B18. Perfil densitométrico da árvore 6 do clone 1 aos 6 anos de idade da região de Itapetininga.

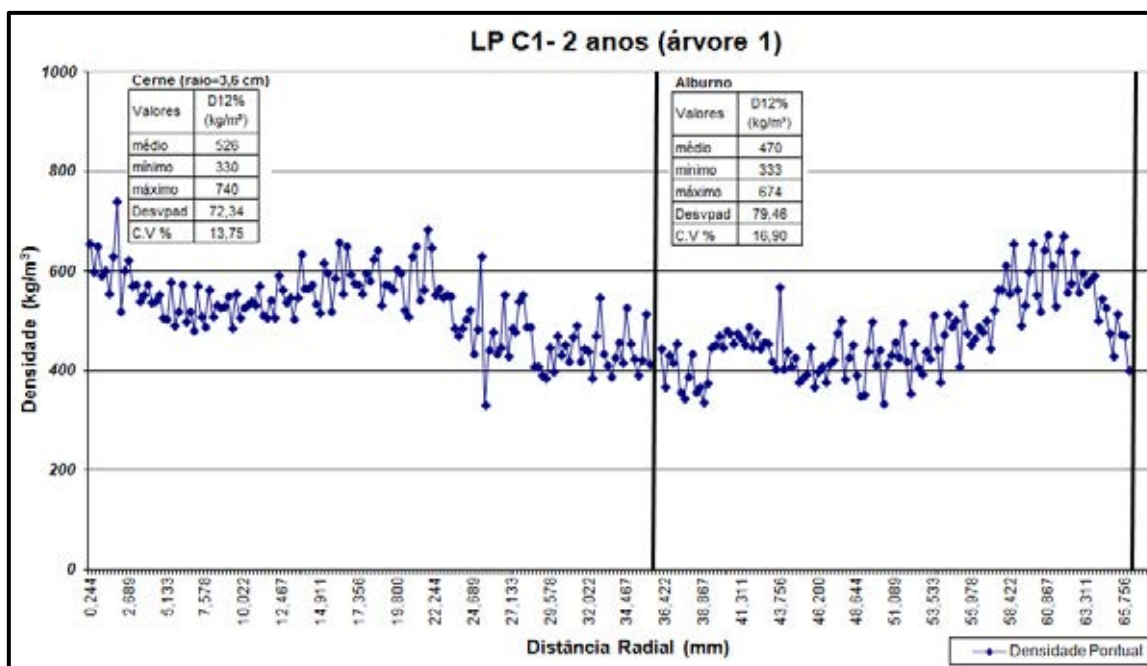


Figura B19. Perfil densitométrico da árvore 1 do clone 1 aos 2 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

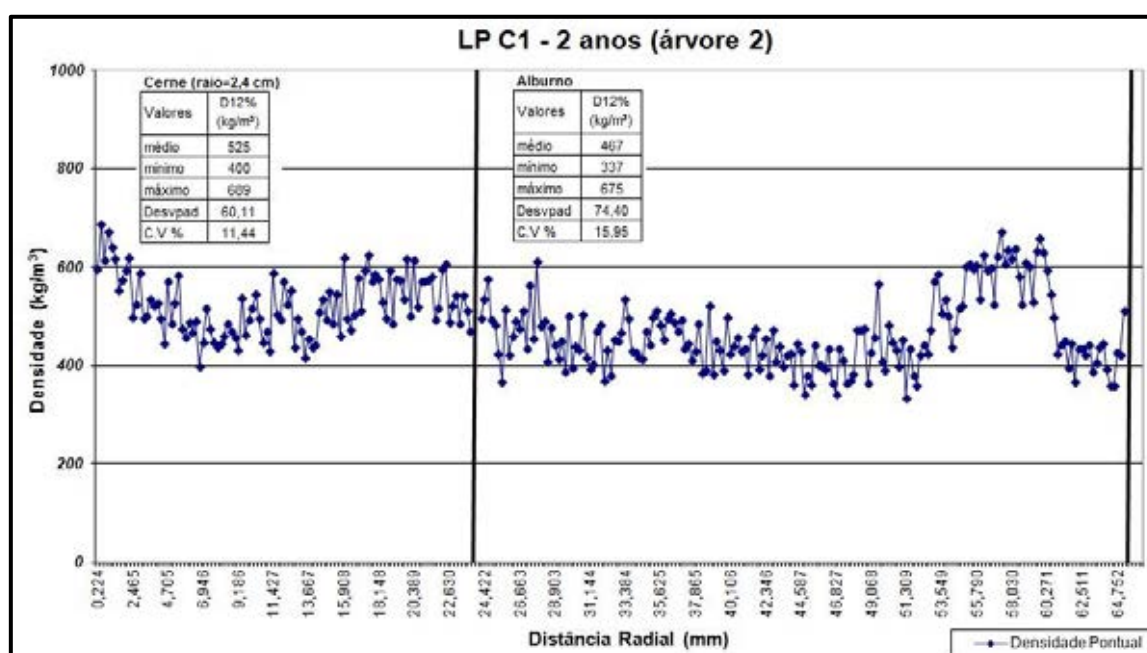


Figura B20. Perfil densitométrico da árvore 2 do clone 1 aos 2 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

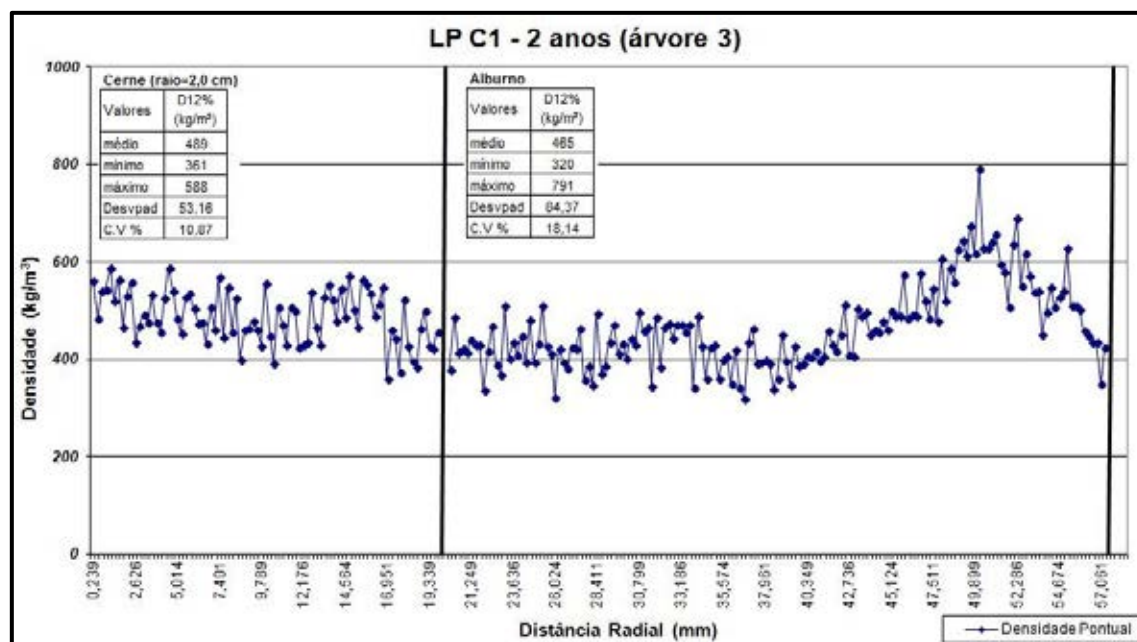


Figura B21. Perfil densitométrico da árvore 3 do clone 1 aos 2 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

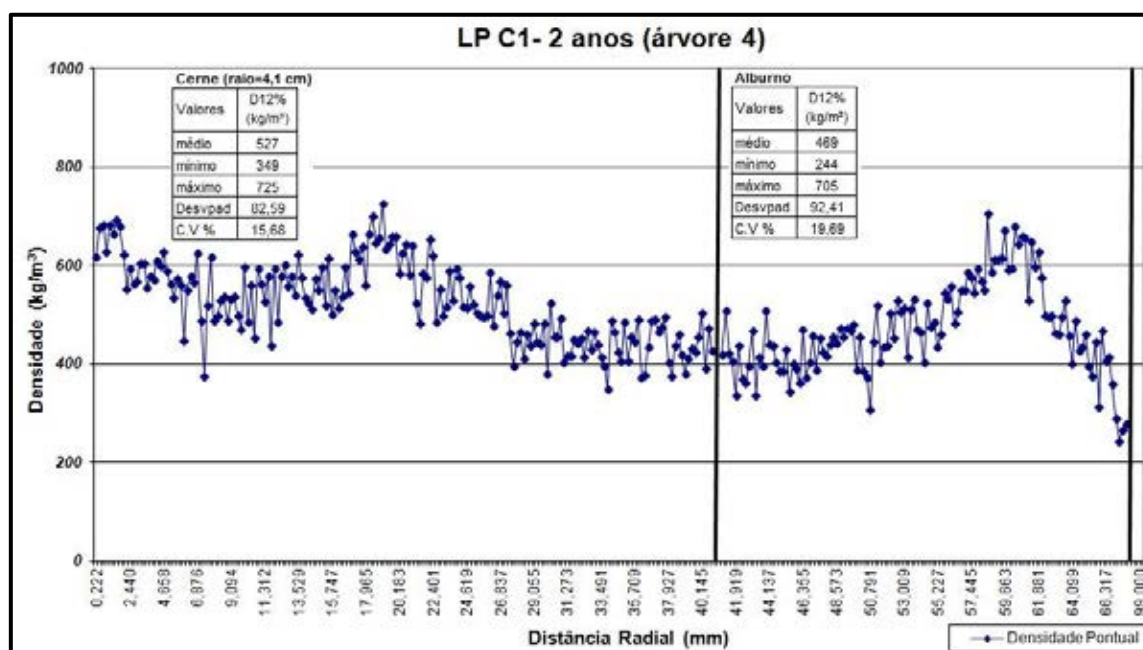


Figura B22. Perfil densitométrico da árvore 4 do clone 1 aos 2 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

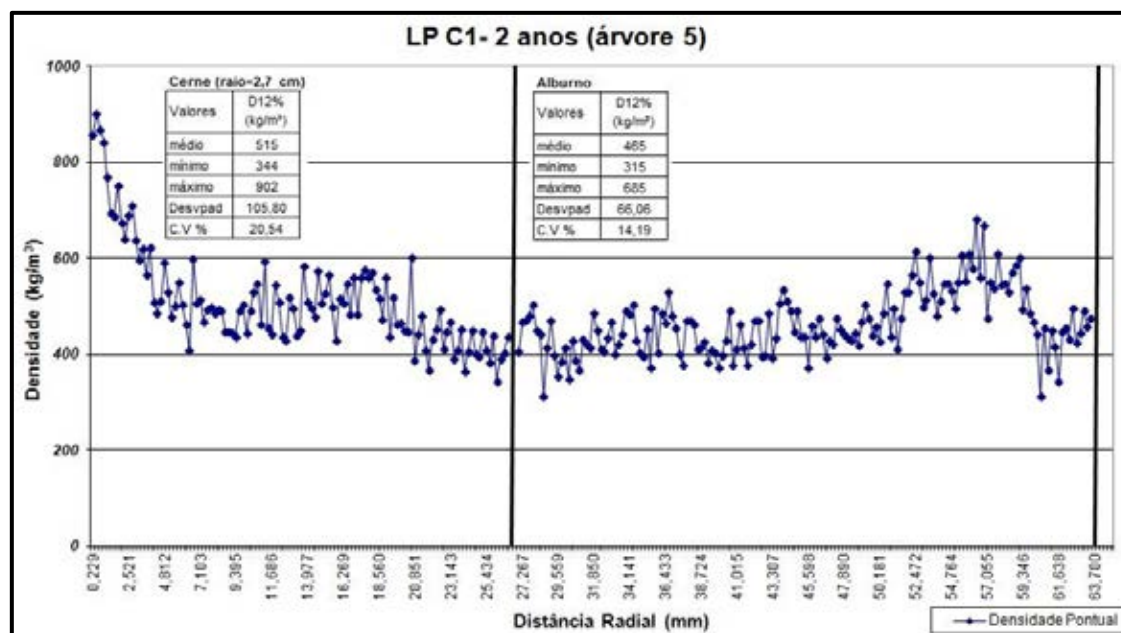


Figura B23. Perfil densitométrico da árvore 5 do clone 1 aos 2 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

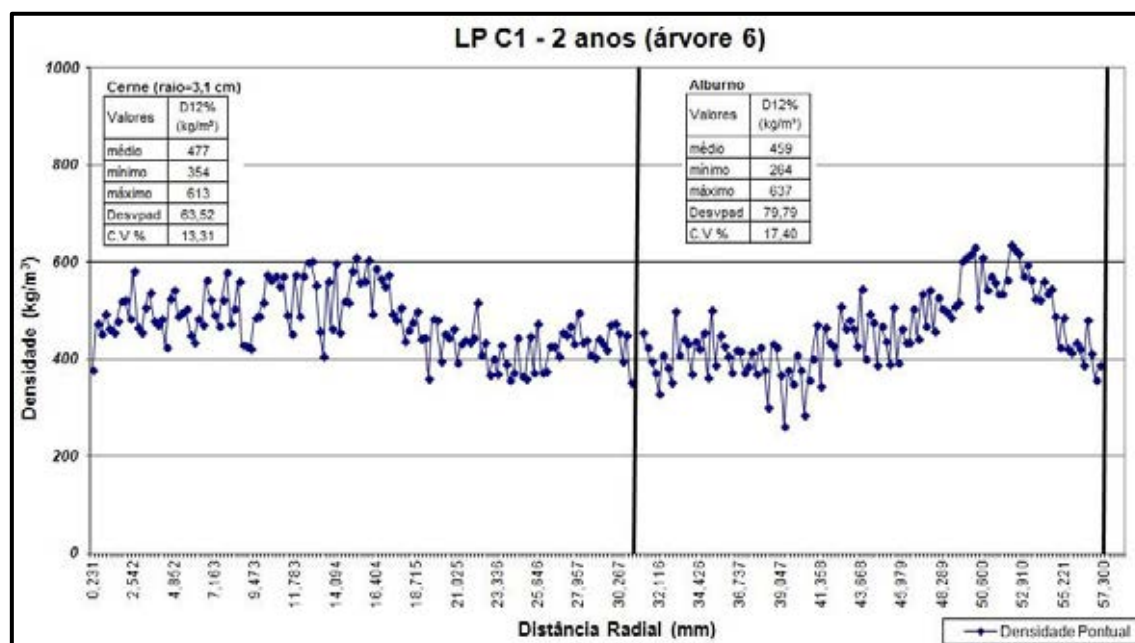


Figura B24. Perfil densitométrico da árvore 6 do clone 1 aos 2 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

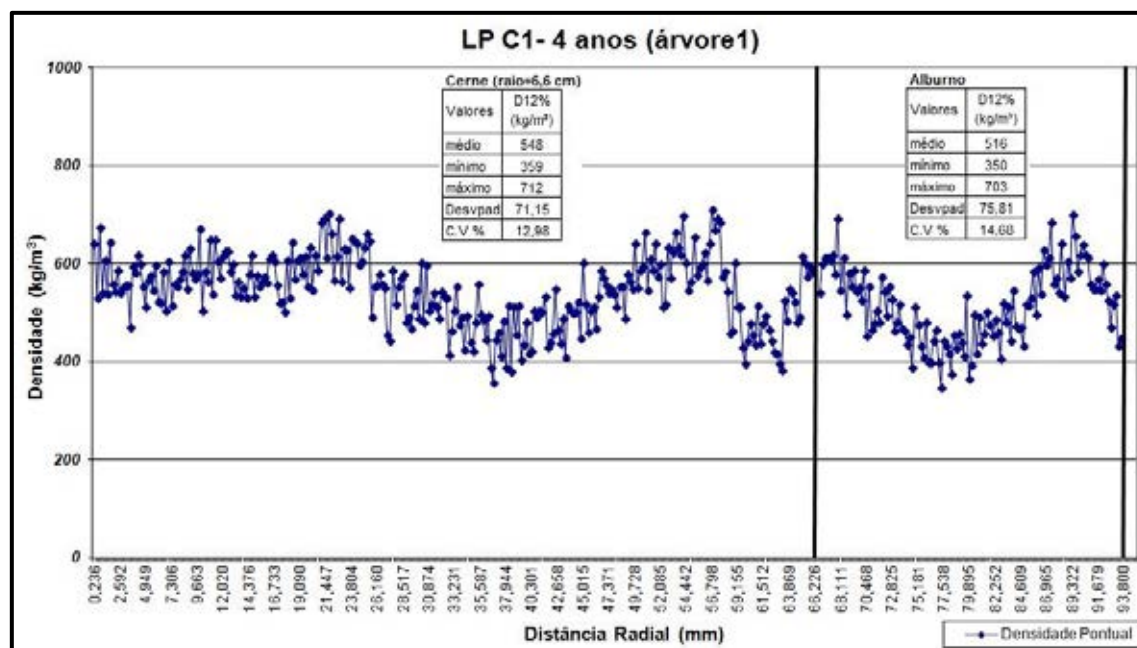


Figura B25. Perfil densitométrico da árvore 1 do clone 1 aos 4 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

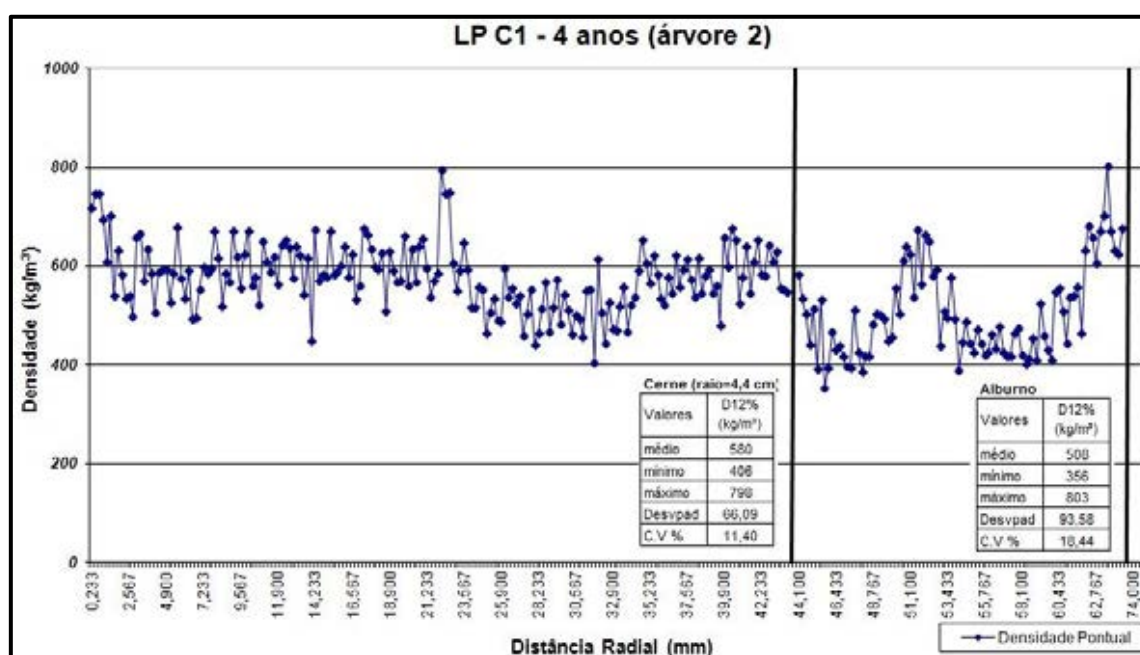


Figura B26. Perfil densitométrico da árvore 2 do clone 1 aos 4 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

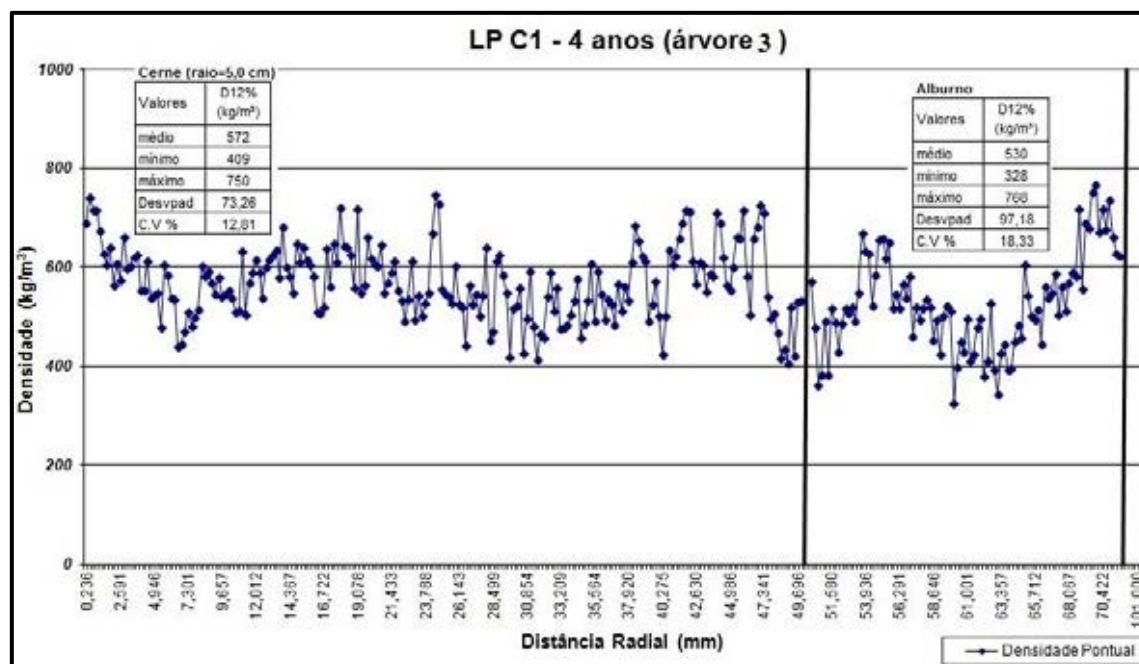


Figura B27. Perfil densitométrico da árvore 3 do clone 1 aos 4 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

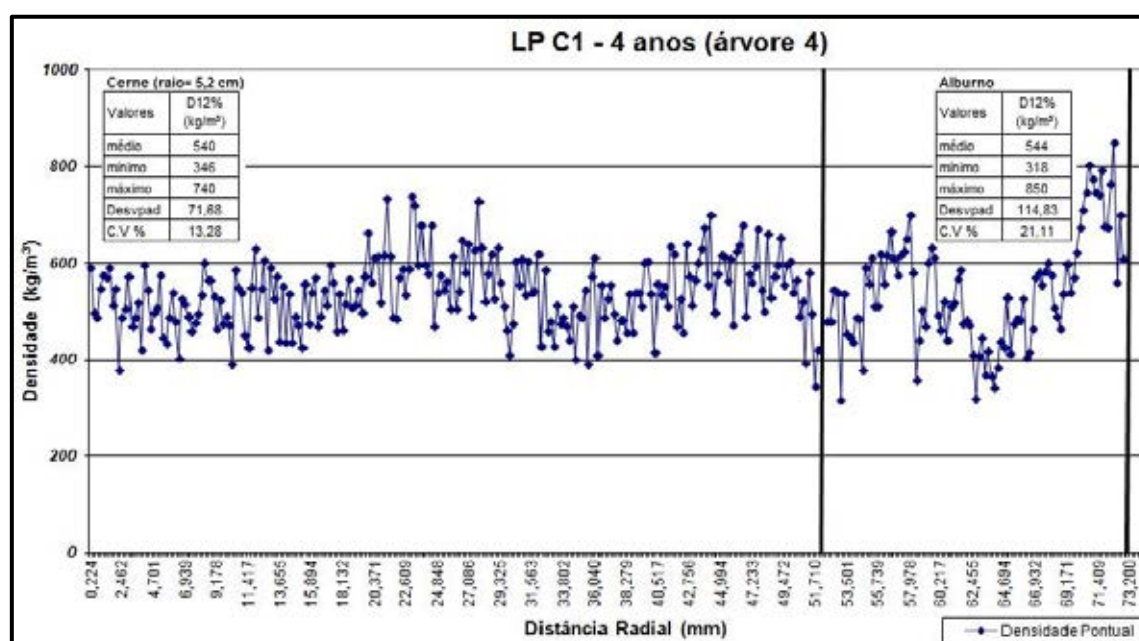


Figura B28. Perfil densitométrico da árvore 4 do clone 1 aos 4 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

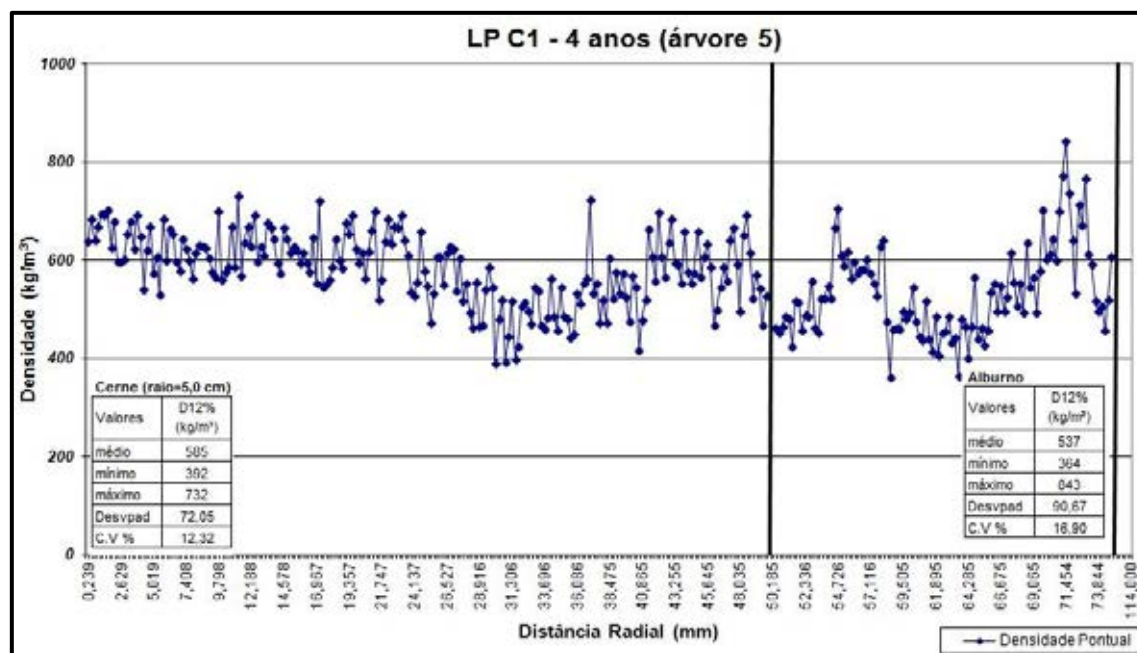


Figura B29. Perfil densitométrico da árvore 5 do clone 1 aos 4 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

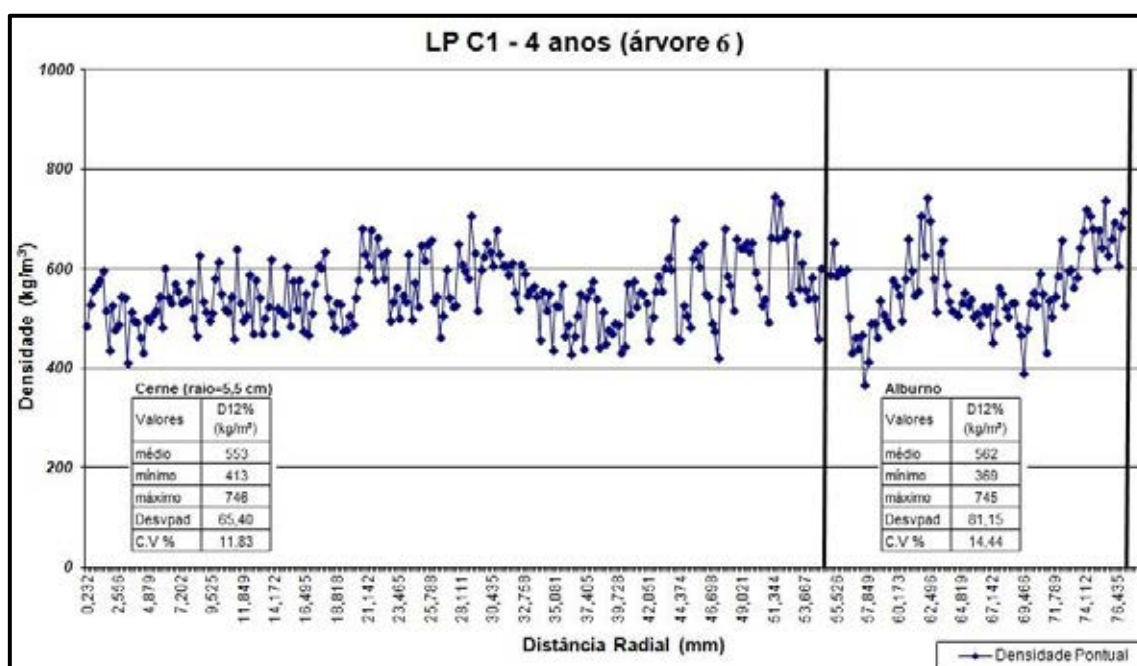


Figura B30. Perfil densitométrico da árvore 6 do clone 1 aos 4 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

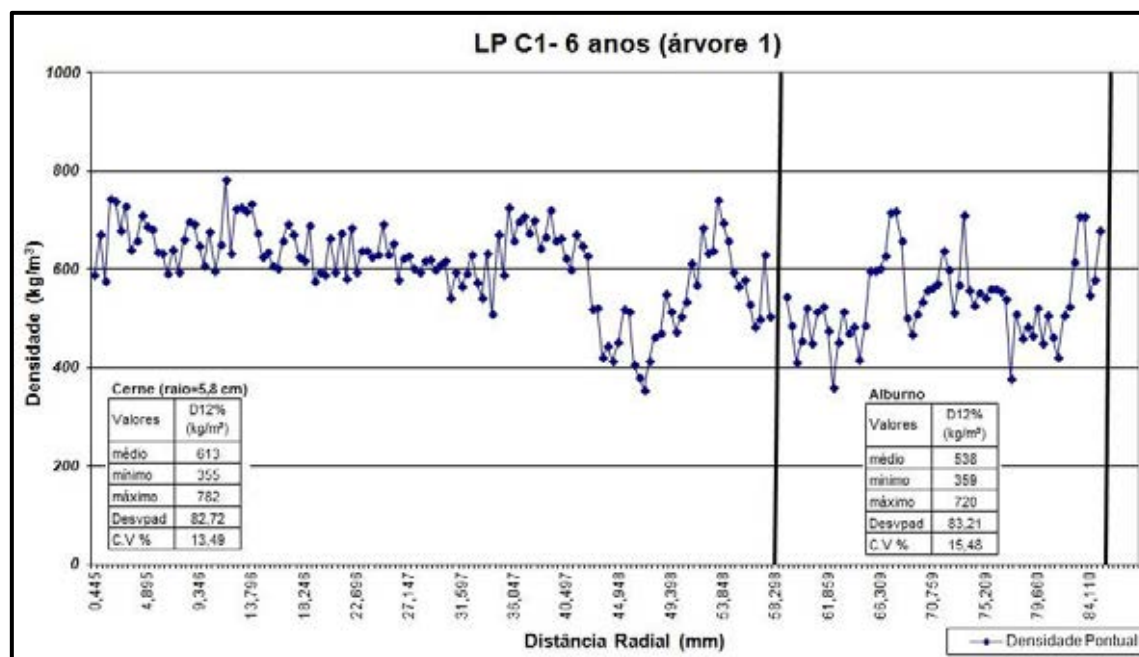


Figura B31. Perfil densitométrico da árvore 1 do clone 1 aos 6 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

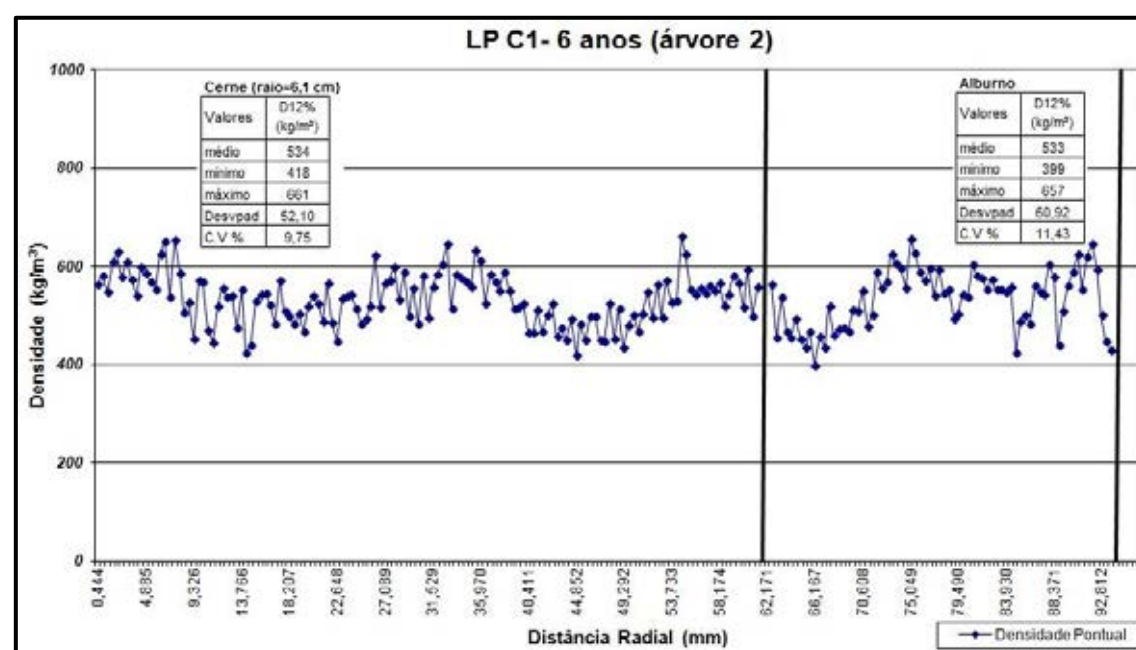


Figura B32. Perfil densitométrico da árvore 2 do clone 1 aos 6 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

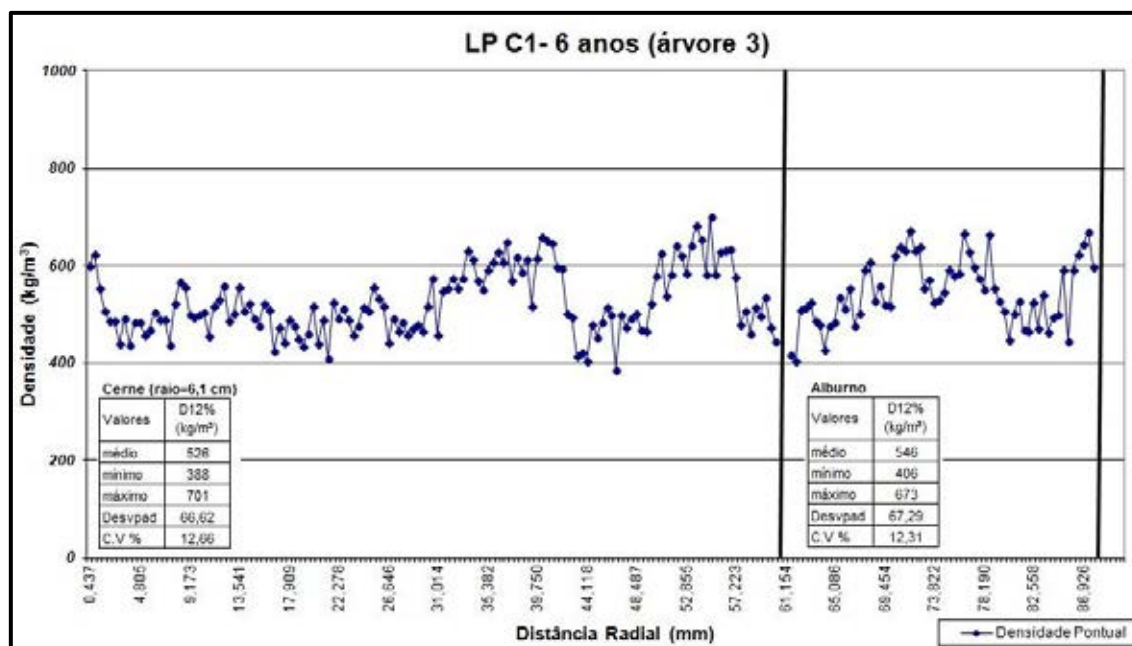


Figura B33. Perfil densitométrico da árvore 3 do clone 1 aos 6 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

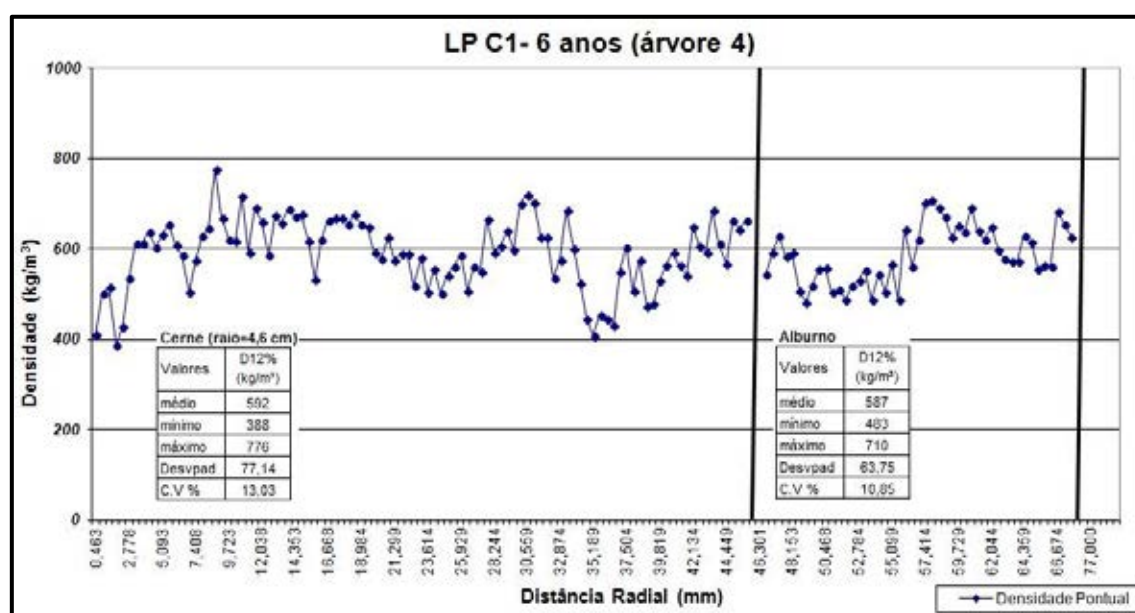


Figura B34. Perfil densitométrico da árvore 4 do clone 1 aos 6 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

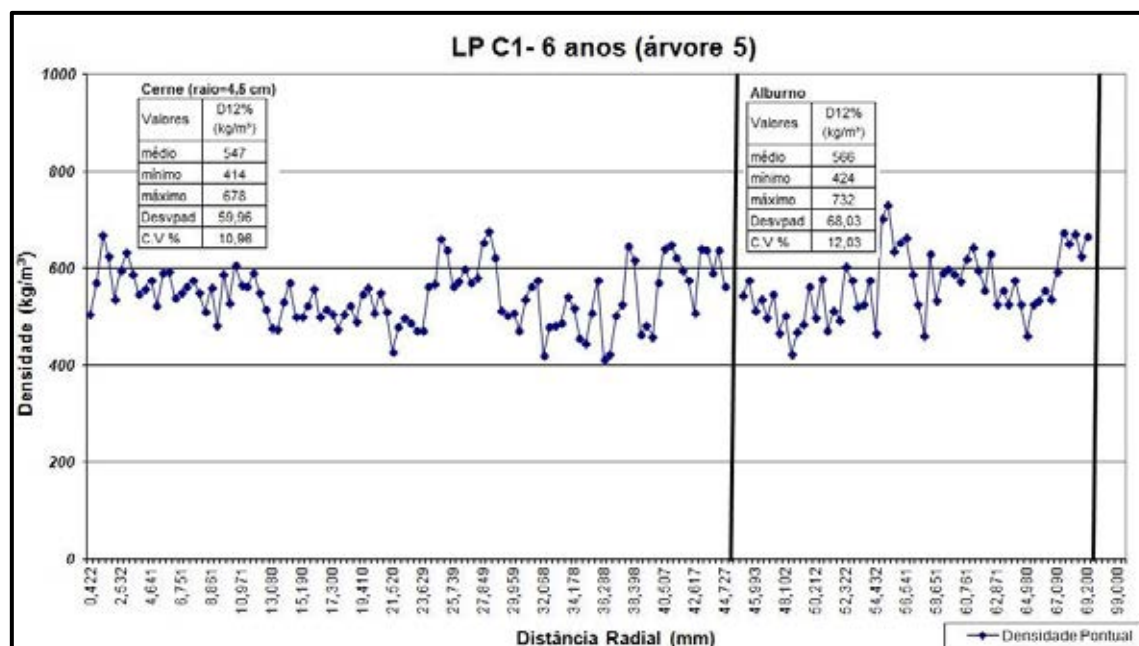


Figura B35. Perfil densitométrico da árvore 5 do clone 1 aos 6 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

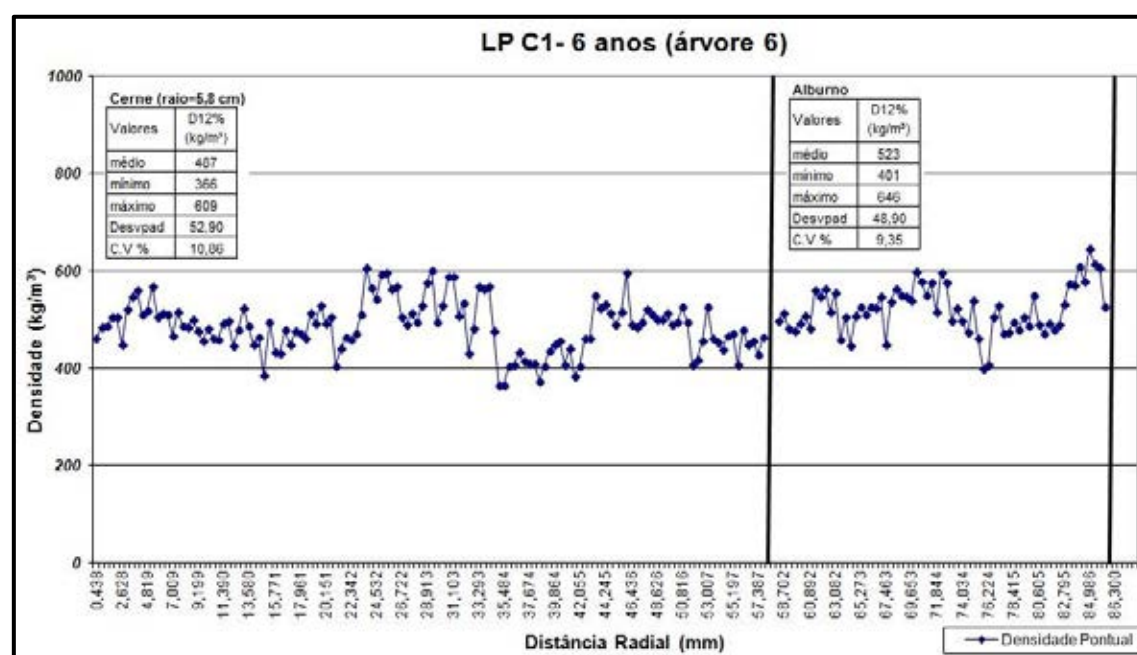


Figura B36. Perfil densitométrico da árvore 6 do clone 1 aos 6 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

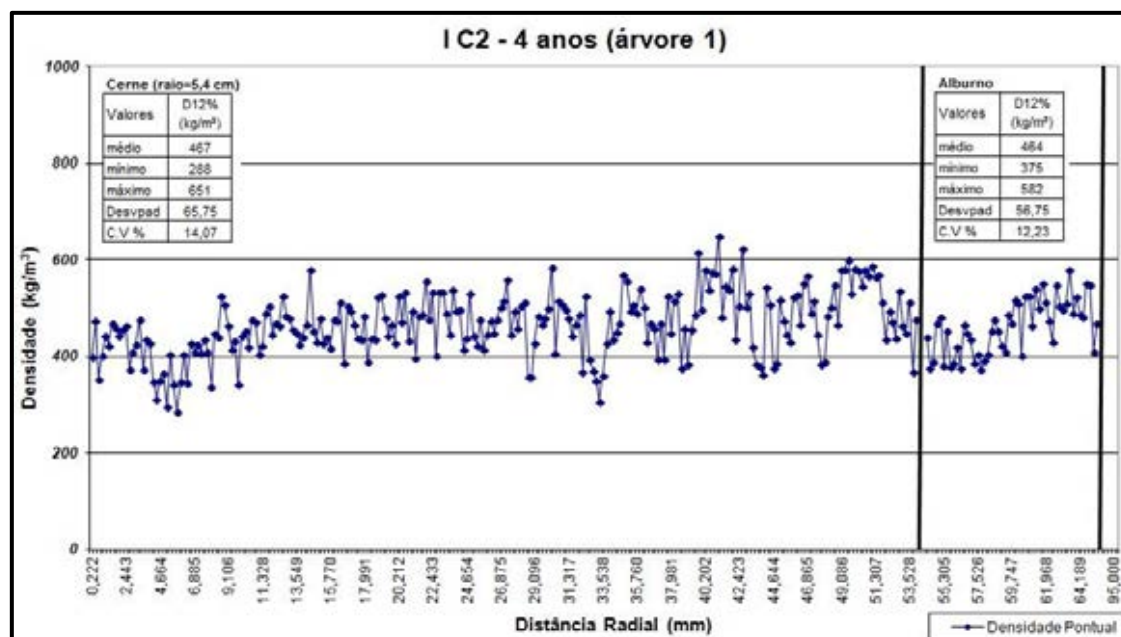


Figura B37. Perfil densitométrico da árvore 1 do clone 2 aos 4 anos de idade da região de Itapetininga.

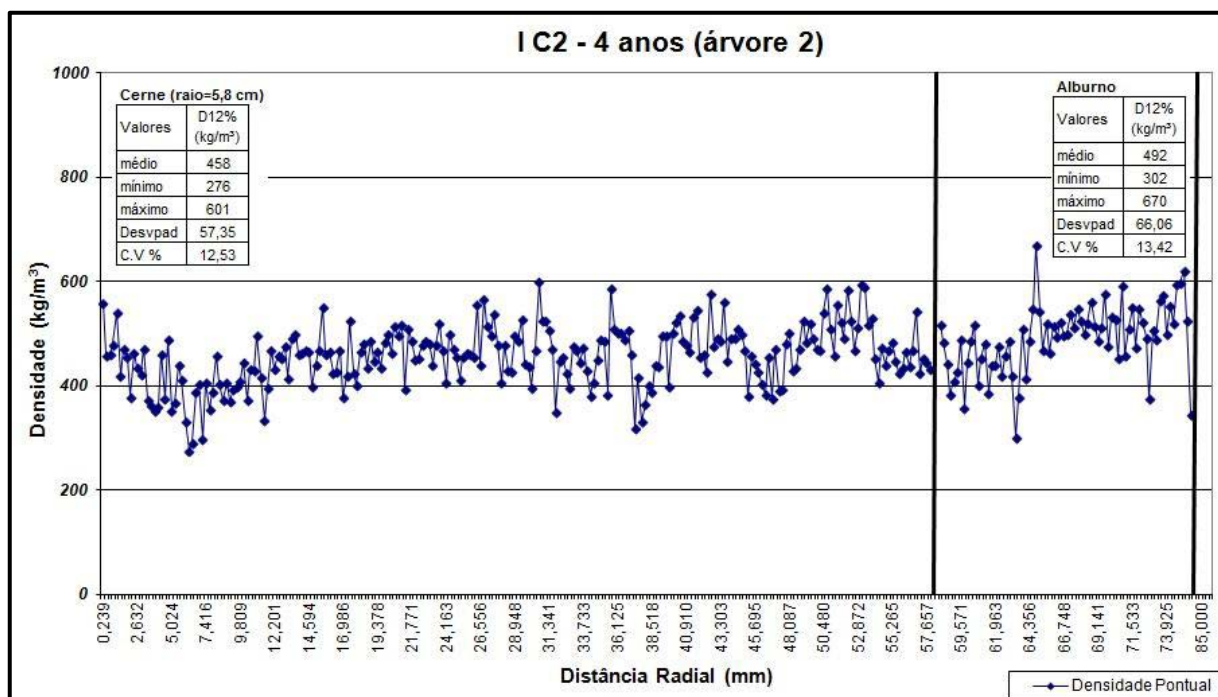


Figura B38. Perfil densitométrico da árvore 2 do clone 2 aos 4 anos de idade da região de Itapetininga.

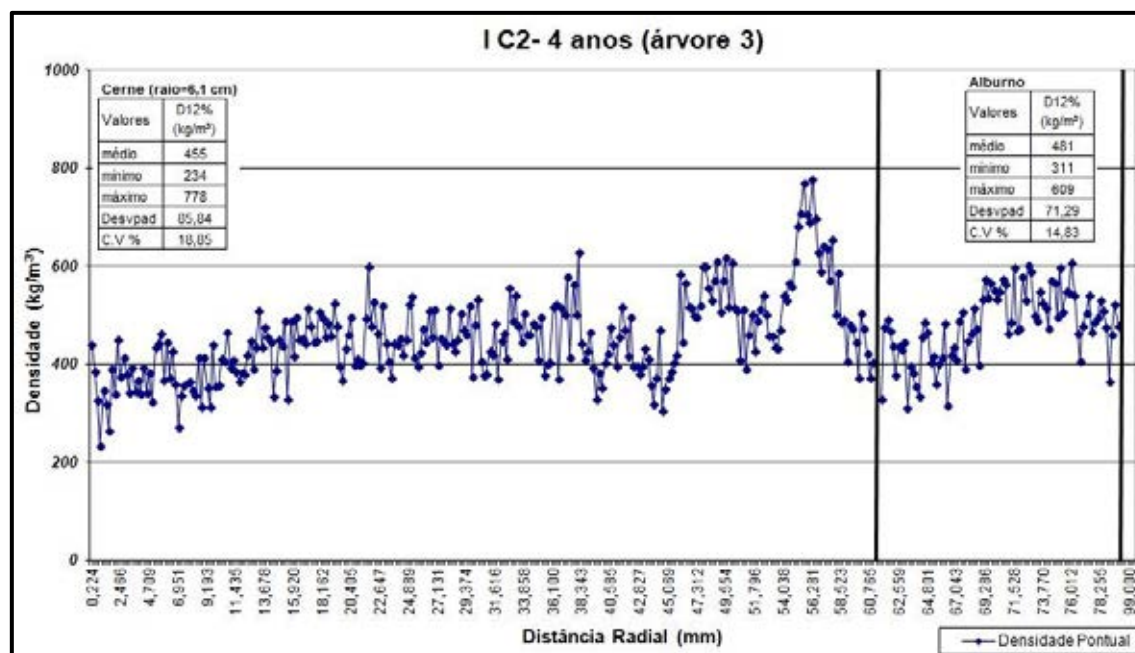


Figura B39. Perfil densitométrico da árvore 3 do clone 2 aos 4 anos de idade da região de Itapetininga.

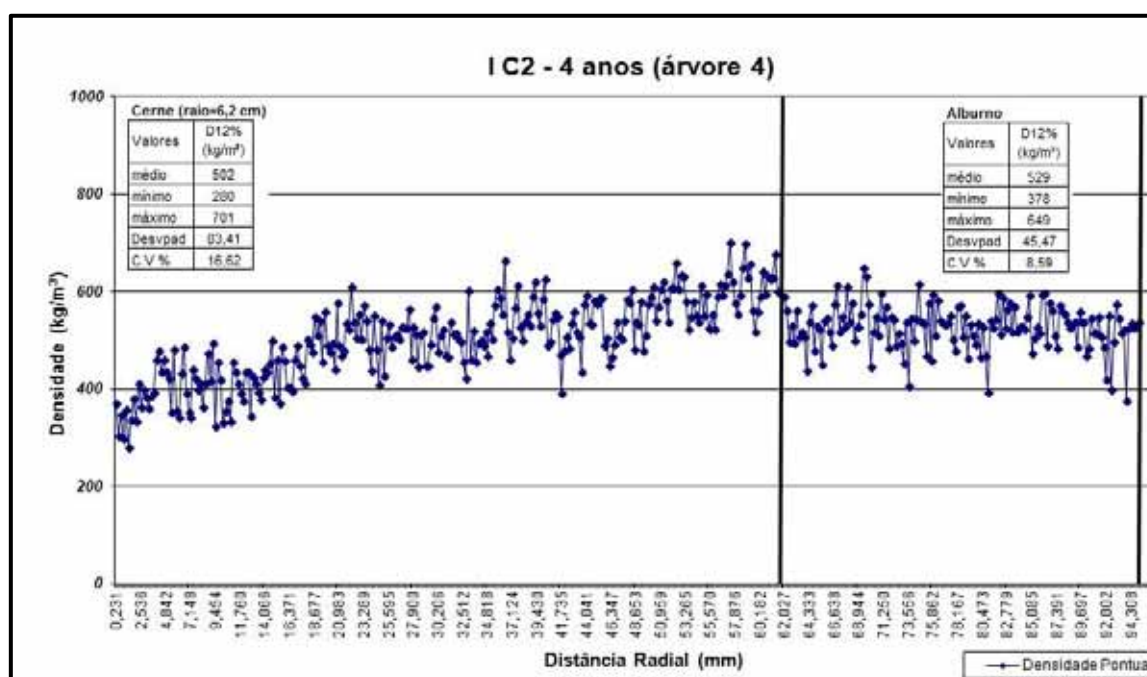


Figura B40. Perfil densitométrico da árvore 4 do clone 2 aos 4 anos de idade da região de Itapetininga.

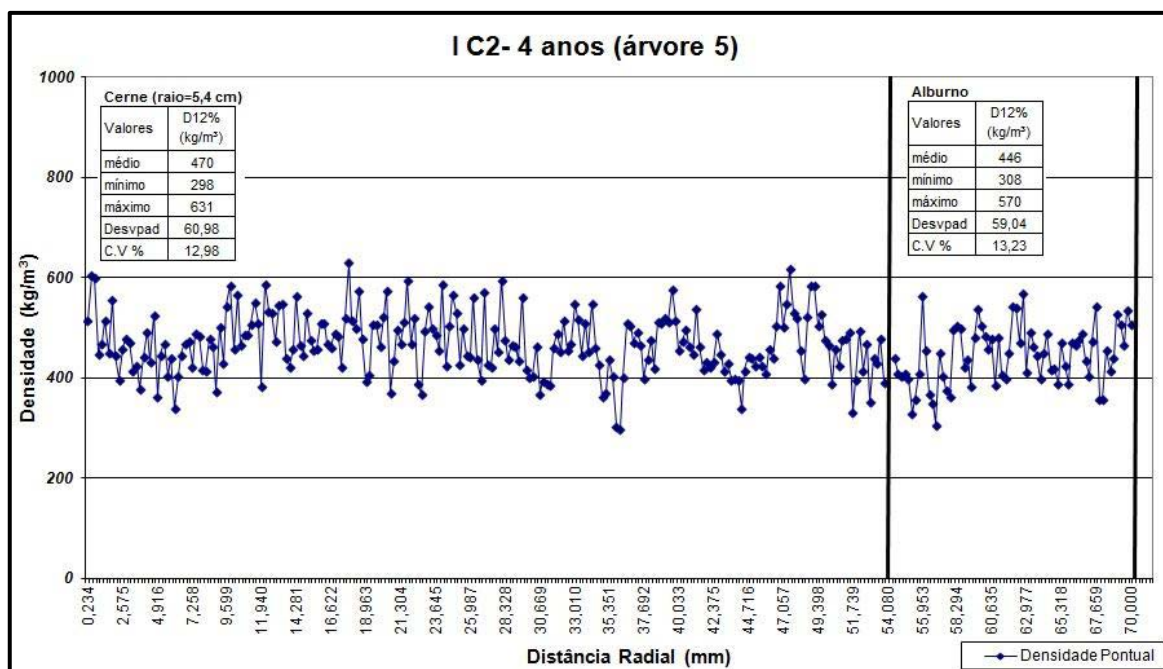


Figura B41. Perfil densitométrico da árvore 5 do clone 2 aos 4 anos de idade da região de Itapetininga.

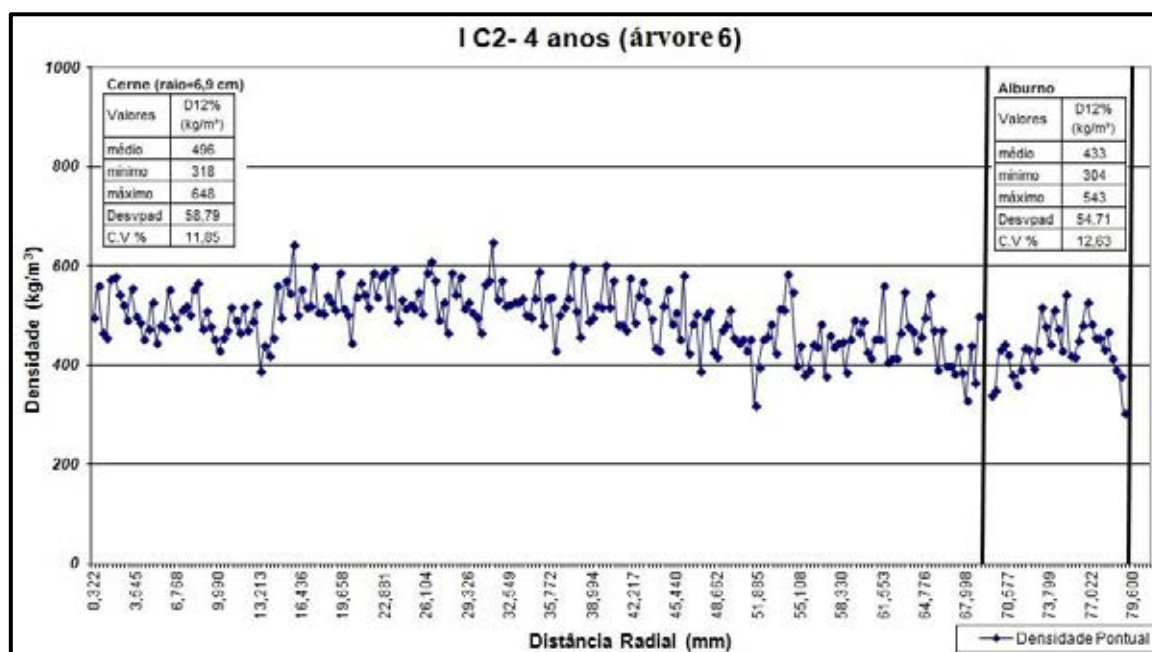


Figura B42. Perfil densitométrico da árvore 6 do clone 2 aos 4 anos de idade da região de Itapetininga.

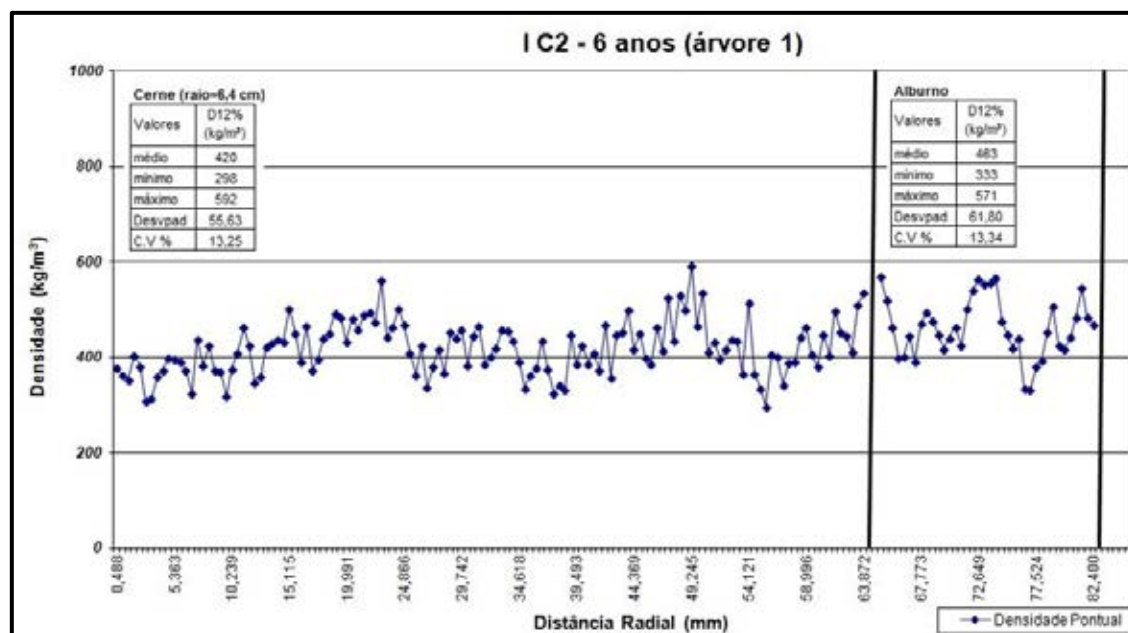


Figura B43. Perfil densitométrico da árvore 1 do clone 2 aos 6 anos de idade da região de Itapetininga.

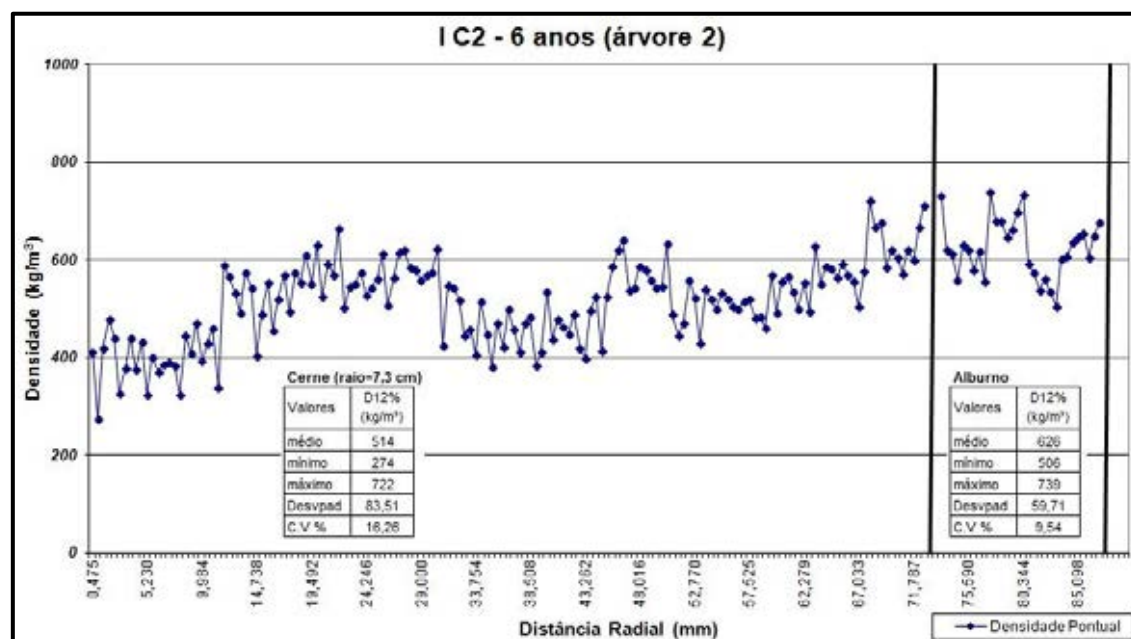


Figura B44. Perfil densitométrico da árvore 2 do clone 2 aos 6 anos de idade da região de Itapetininga.

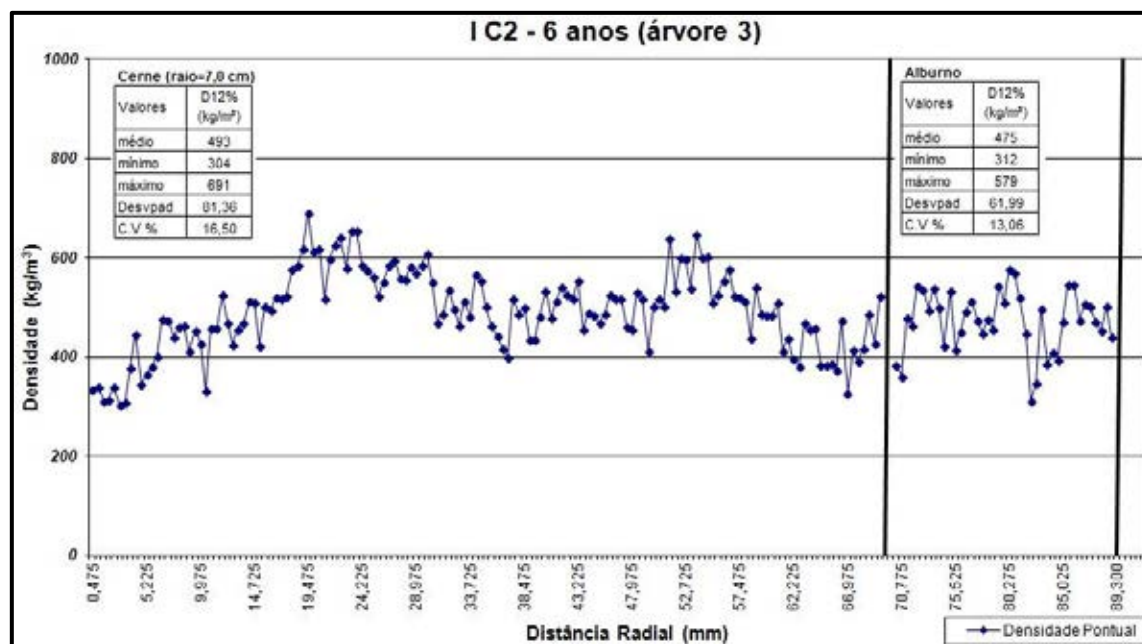


Figura B45. Perfil densitométrico da árvore 3 do clone 2 aos 6 anos de idade da região de Itapetininga.

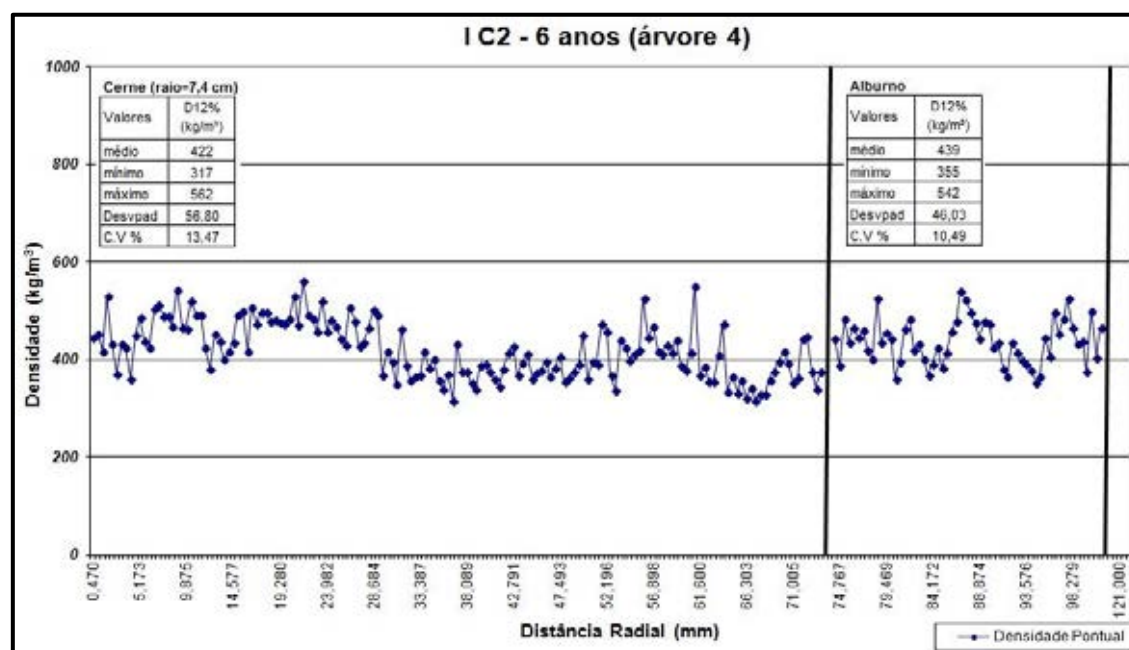


Figura B46. Perfil densitométrico da árvore 4 do clone 2 aos 6 anos de idade da região de Itapetininga.

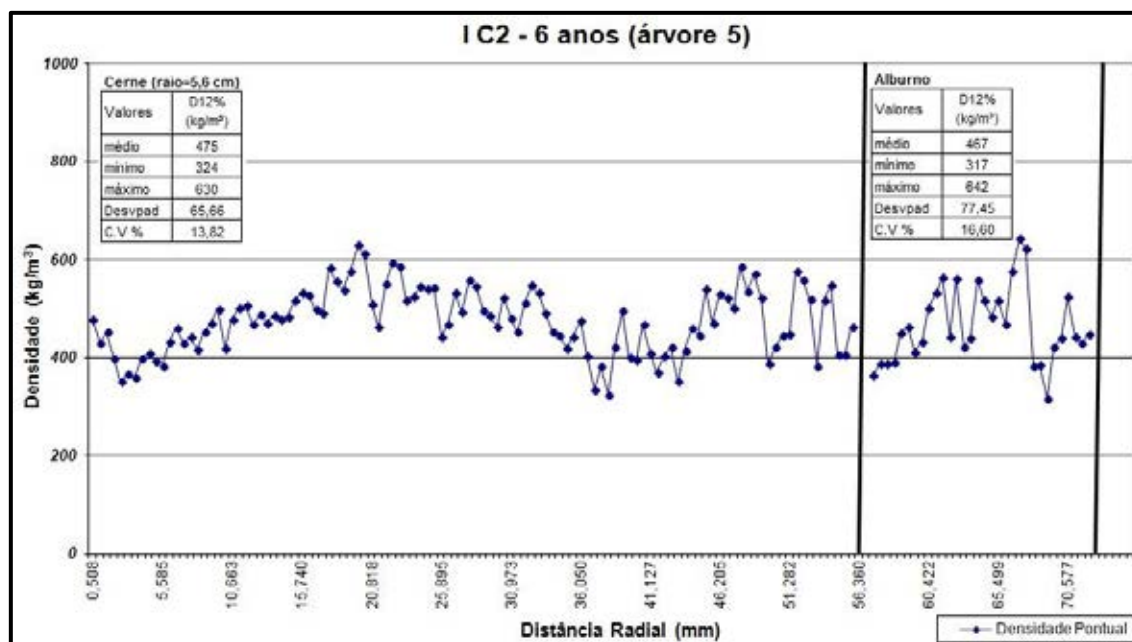


Figura B47. Perfil densitométrico da árvore 5 do clone 2 aos 6 anos de idade da região de Itapetininga.

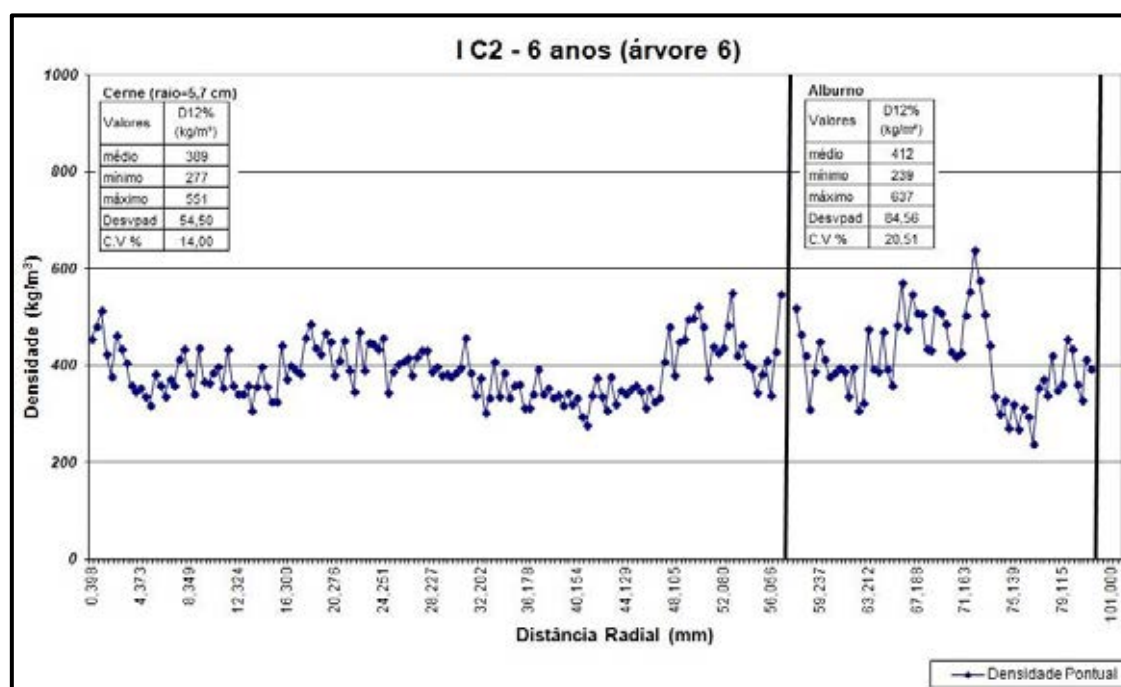


Figura B48. Perfil densitométrico da árvore 6 do clone 2 aos 6 anos de idade da região de Itapetininga.

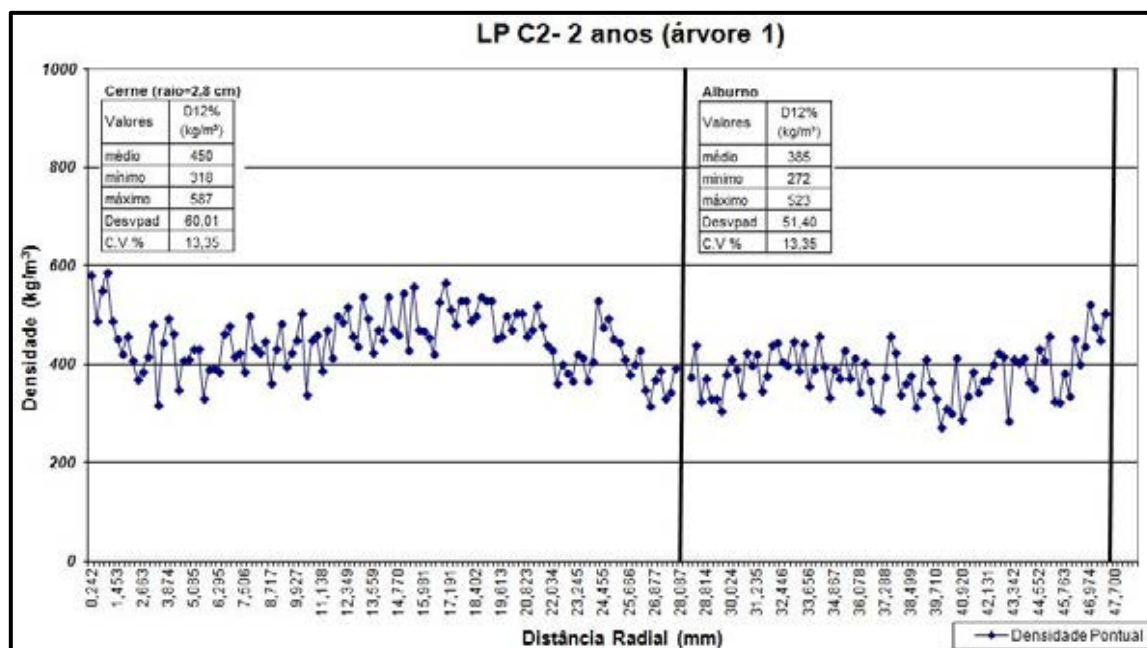


Figura B49. Perfil densitométrico da árvore 1 do clone 2 aos 2 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

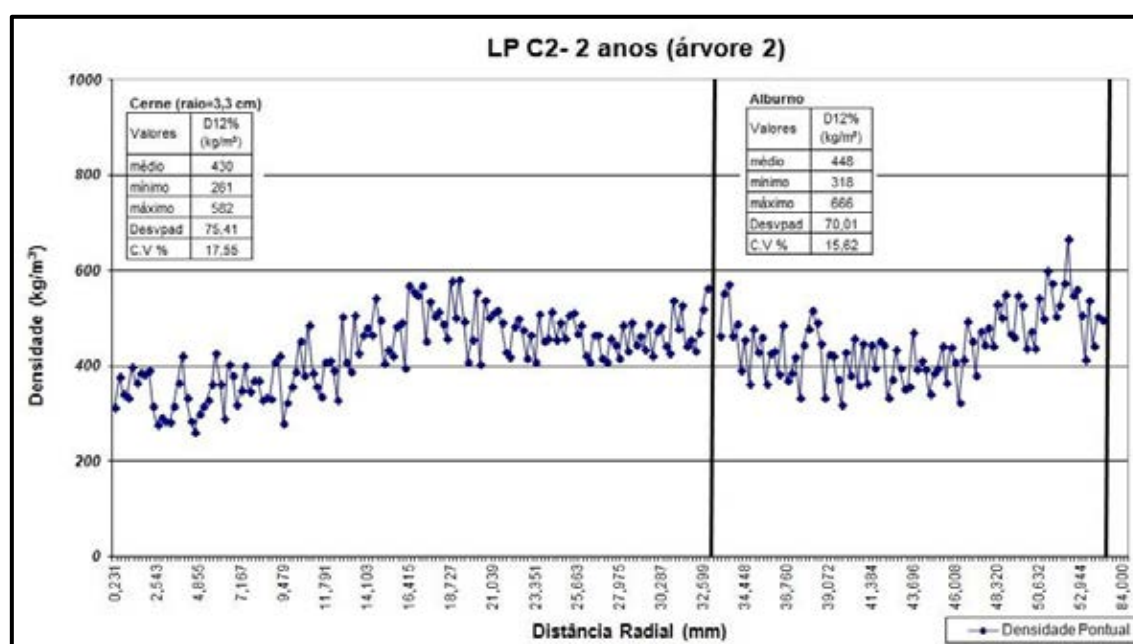


Figura B50. Perfil densitométrico da árvore 2 do clone 2 aos 2 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

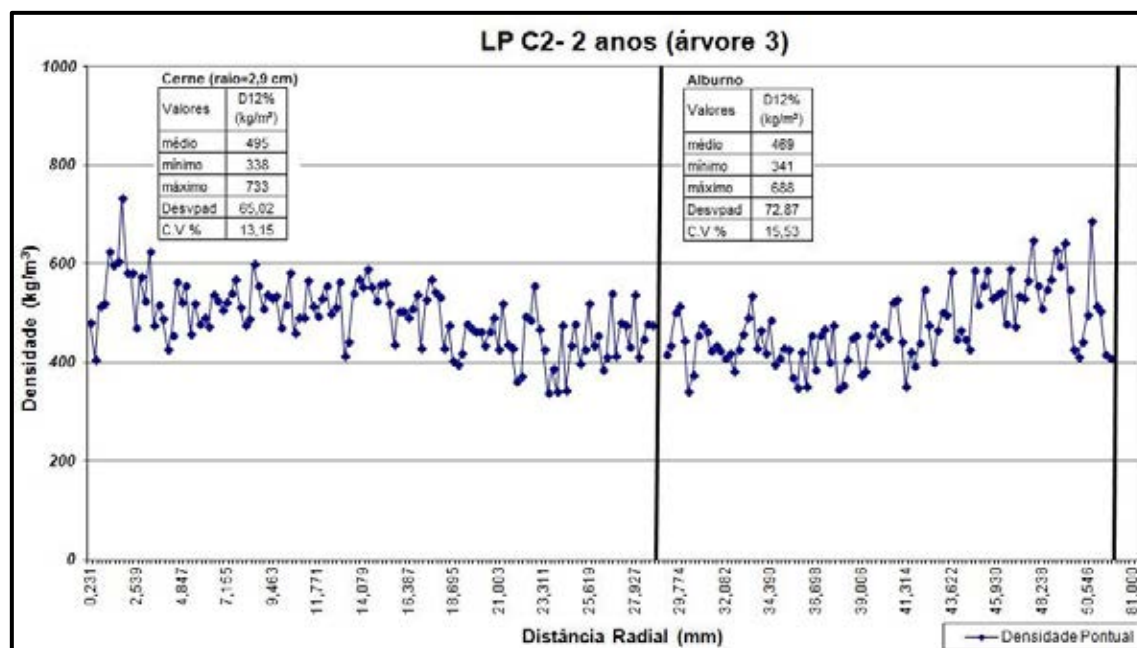


Figura B51. Perfil densitométrico da árvore 3 do clone 2 aos 2 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

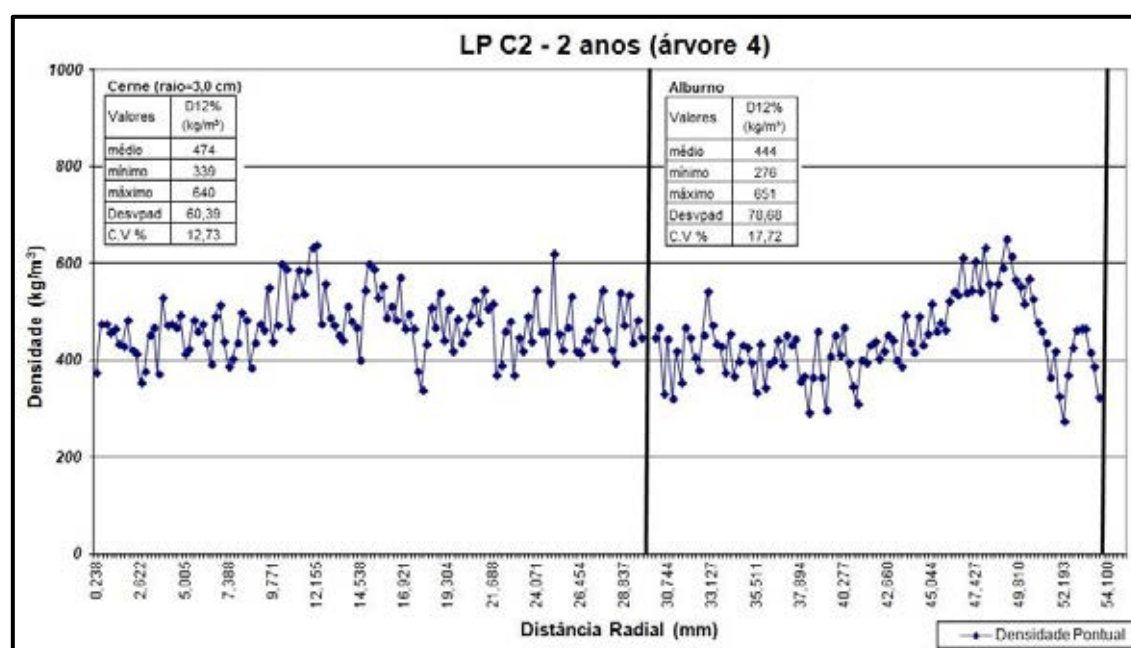


Figura B52. Perfil densitométrico da árvore 4 do clone 2 aos 2 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

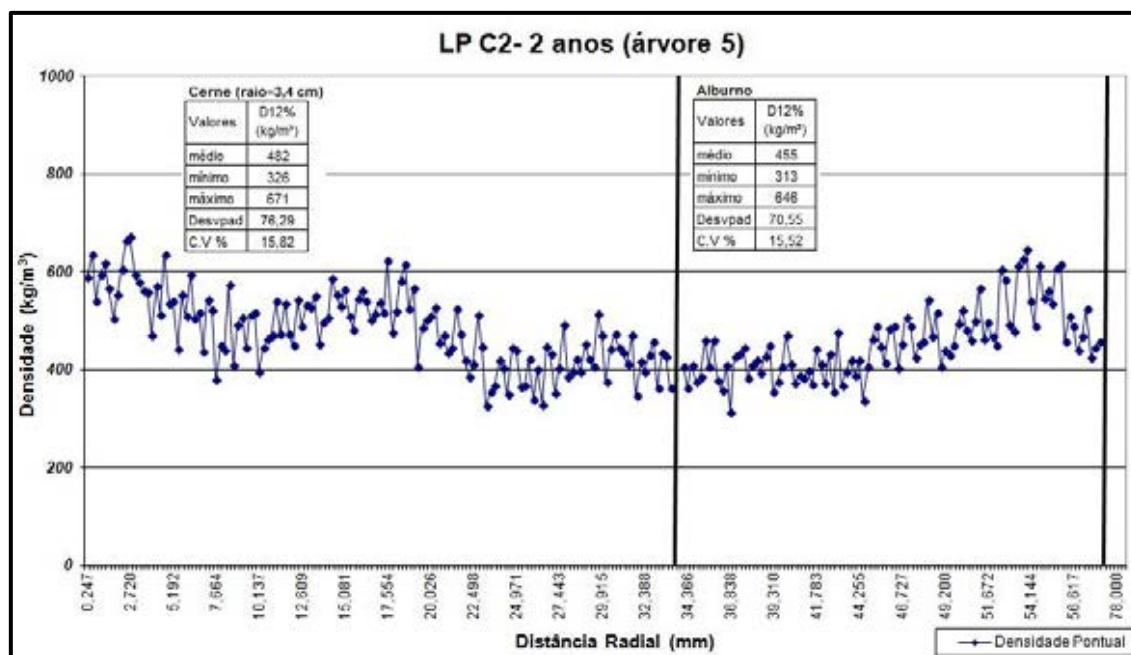


Figura B53. Perfil densitométrico da árvore 5 do clone 2 aos 2 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

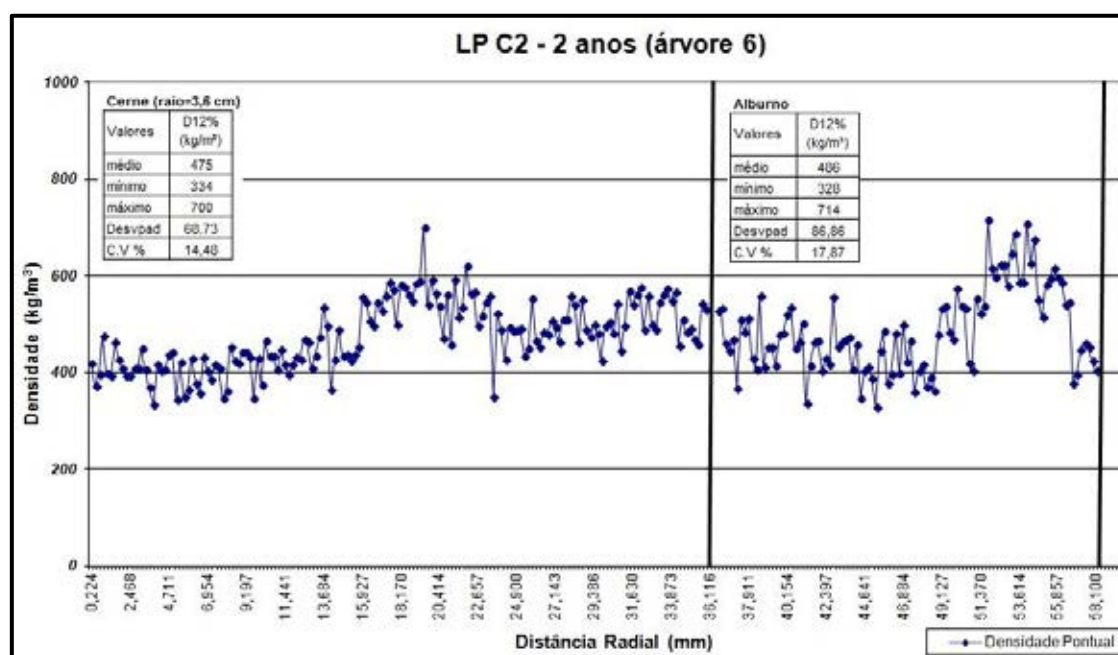


Figura B54. Perfil densitométrico da árvore 6 do clone 2 aos 2 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

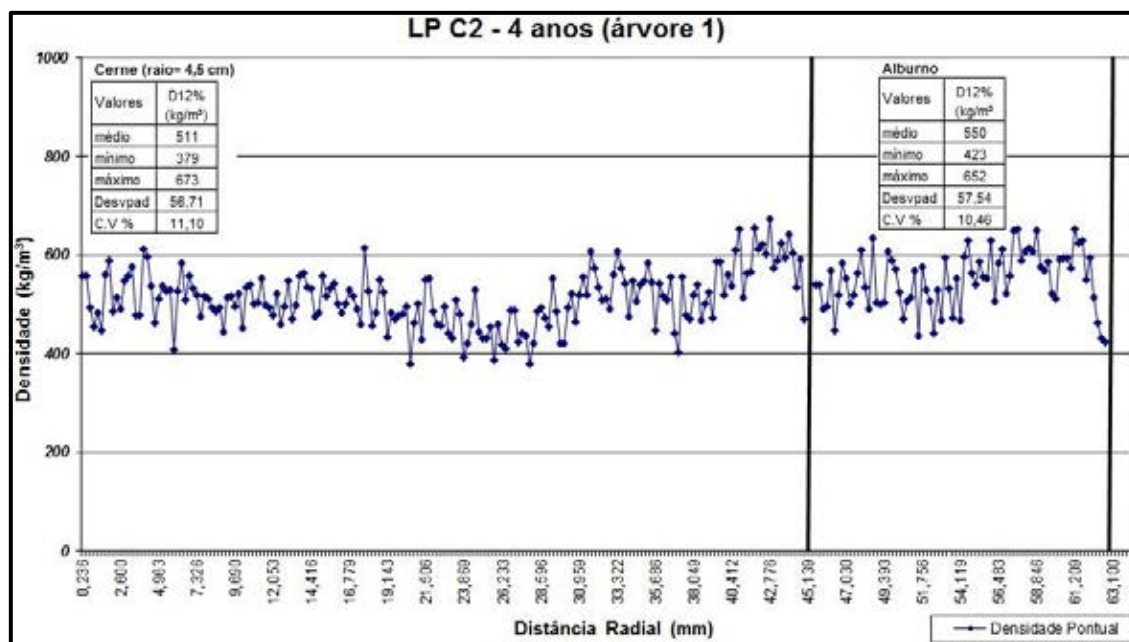


Figura B55. Perfil densitométrico da árvore 1 do clone 2 aos 4 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

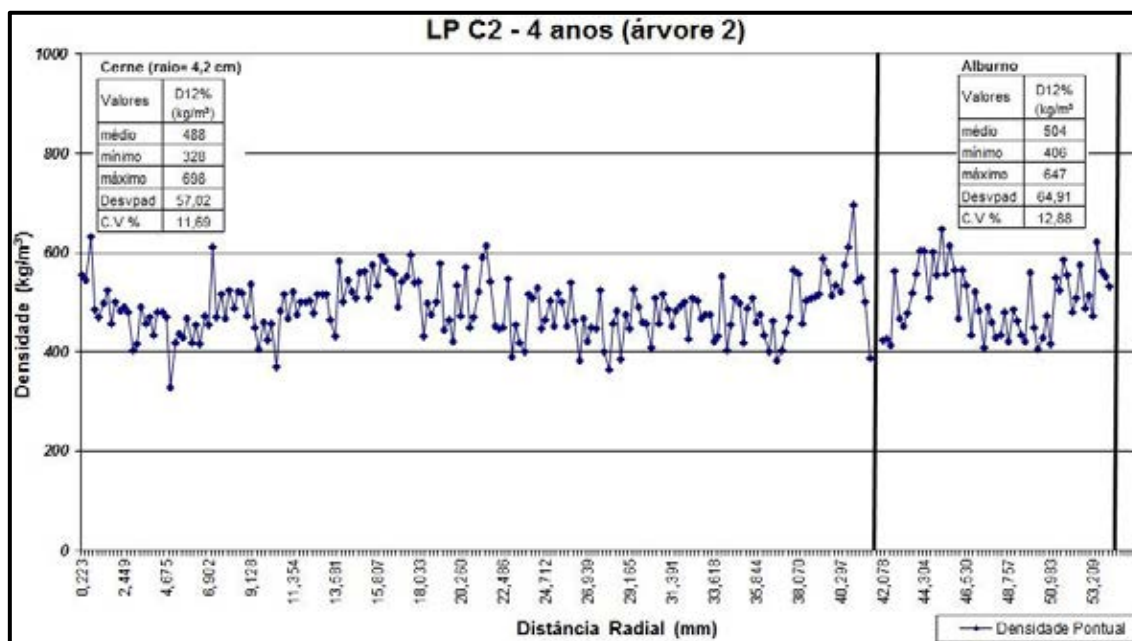


Figura B56. Perfil densitométrico da árvore 2 do clone 2 aos 4 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

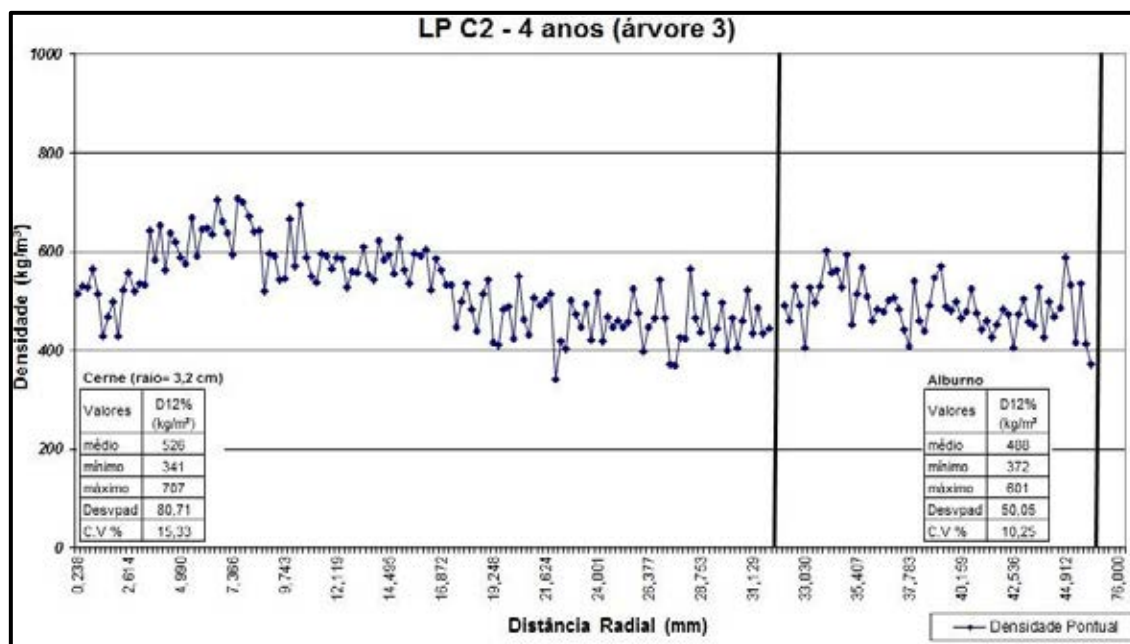


Figura B57. Perfil densitométrico da árvore 3 do clone 2 aos 4 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

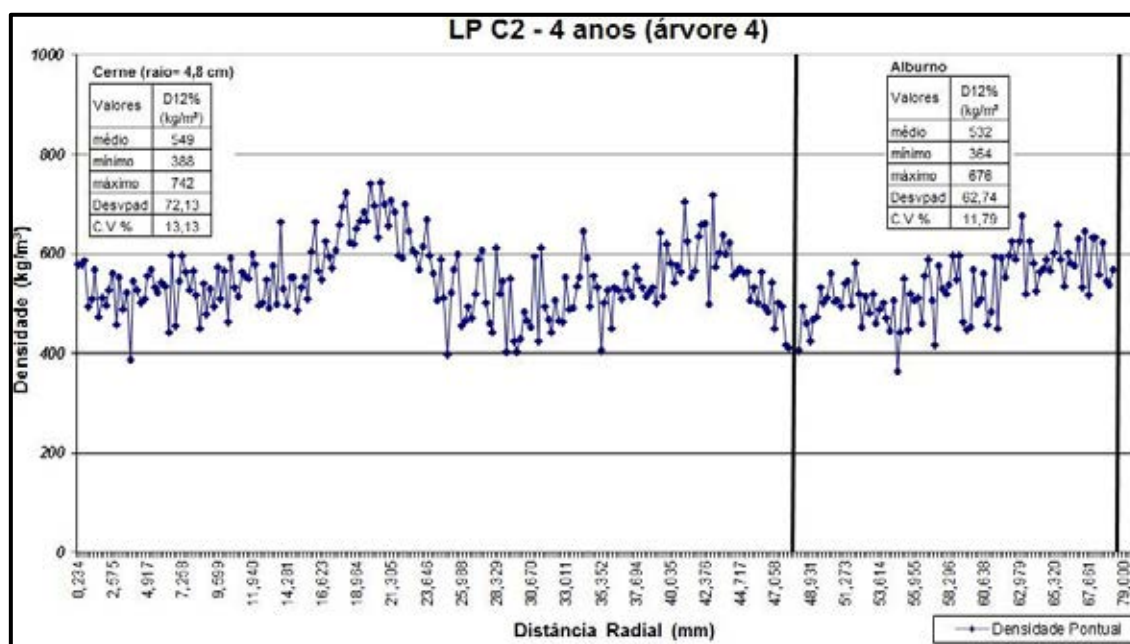


Figura B58. Perfil densitométrico da árvore 4 do clone 2 aos 4 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

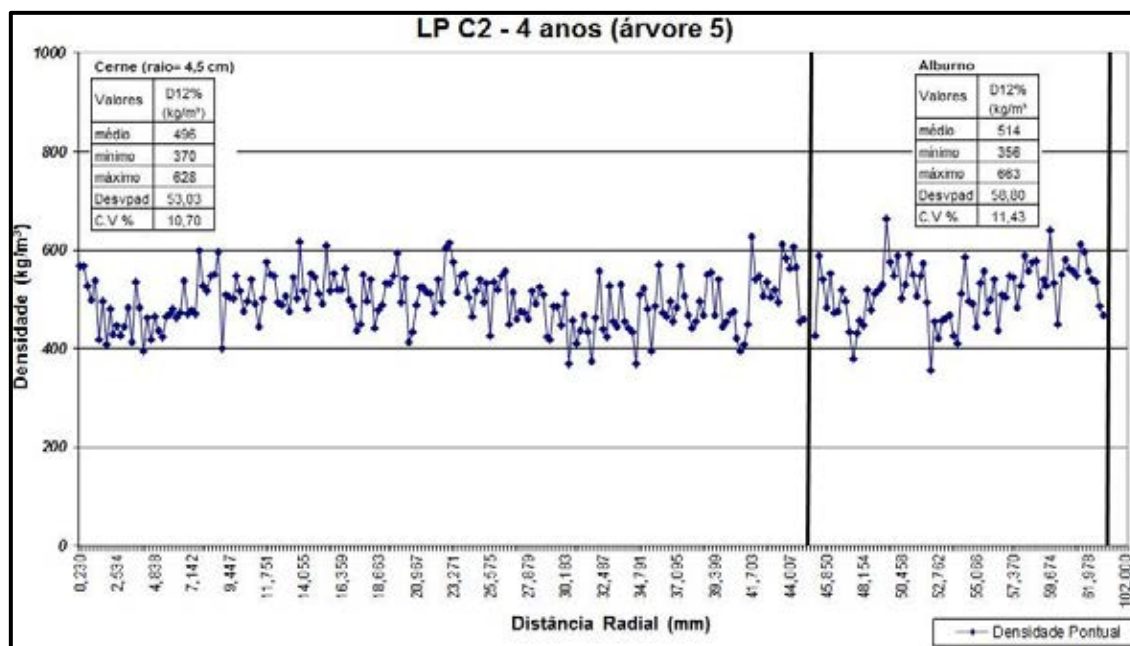


Figura B59. Perfil densitométrico da árvore 5 do clone 2 aos 4 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

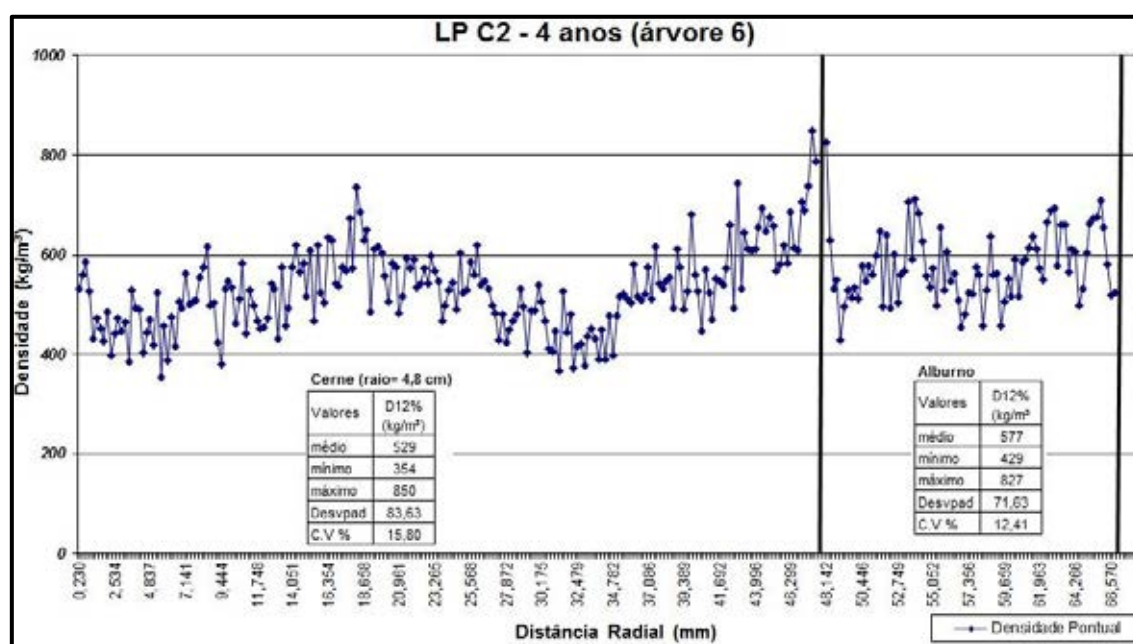


Figura B60. Perfil densitométrico da árvore 6 do clone 2 aos 4 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

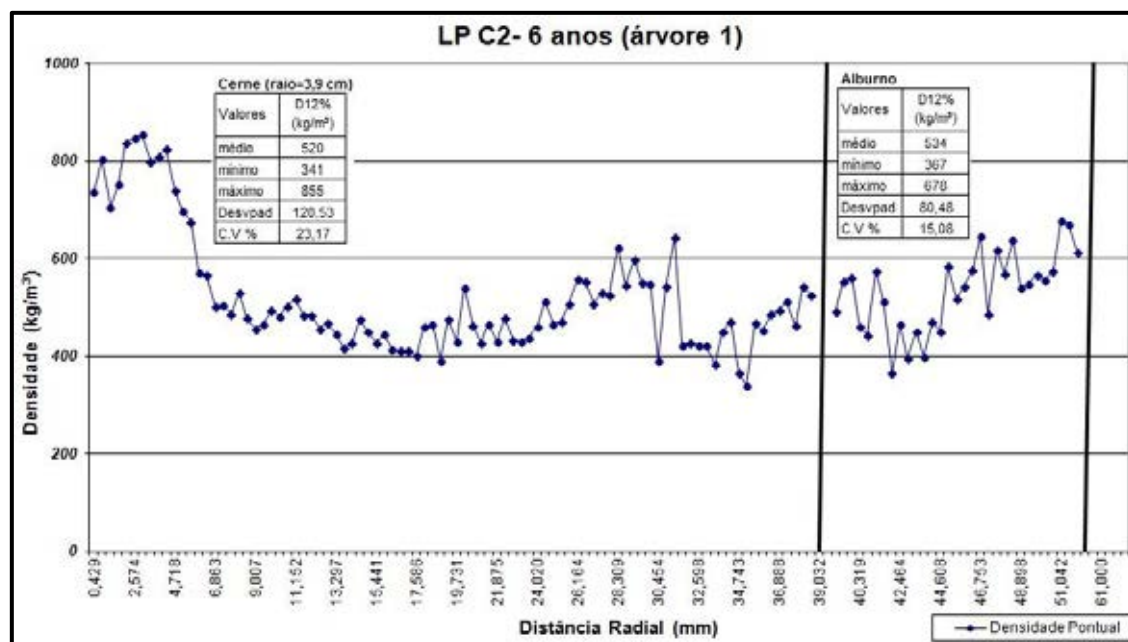


Figura B61. Perfil densitométrico da árvore 1 do clone 2 aos 6 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

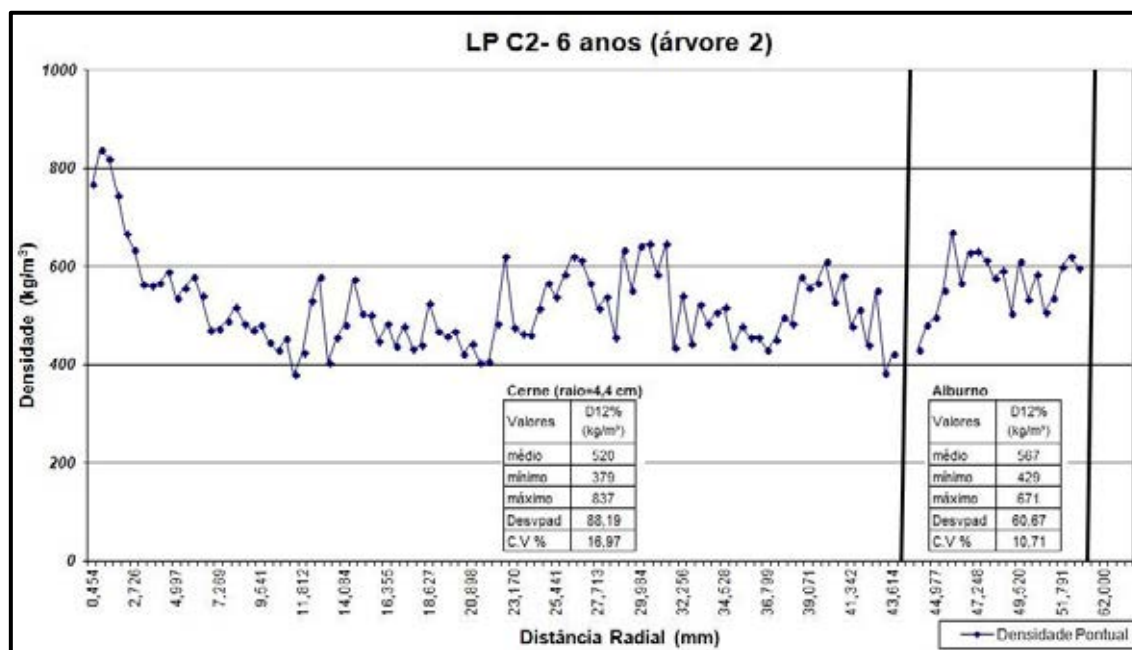


Figura B62. Perfil densitométrico da árvore 2 do clone 2 aos 6 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

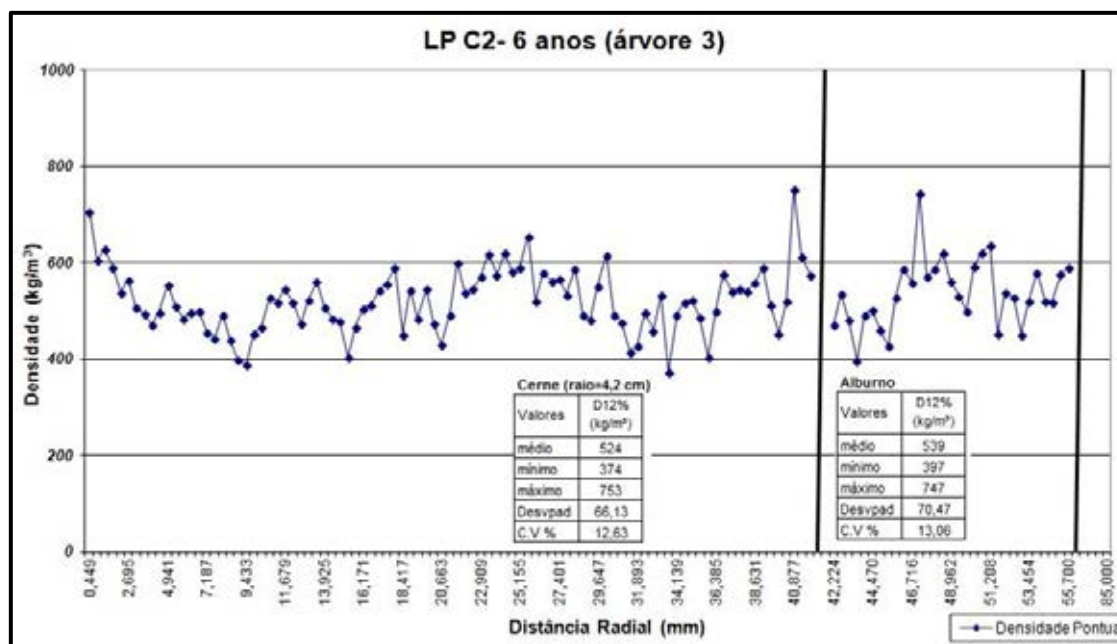


Figura B63. Perfil densitométrico da árvore 3 do clone 2 aos 6 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

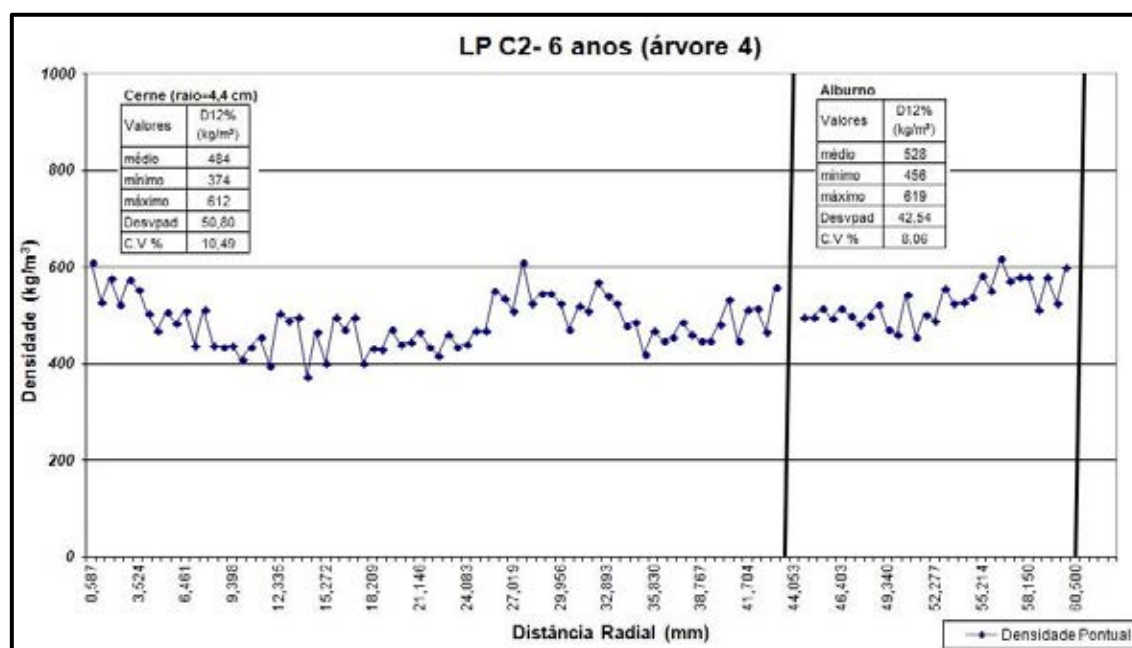


Figura B64. Perfil densitométrico da árvore 4 do clone 2 aos 6 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

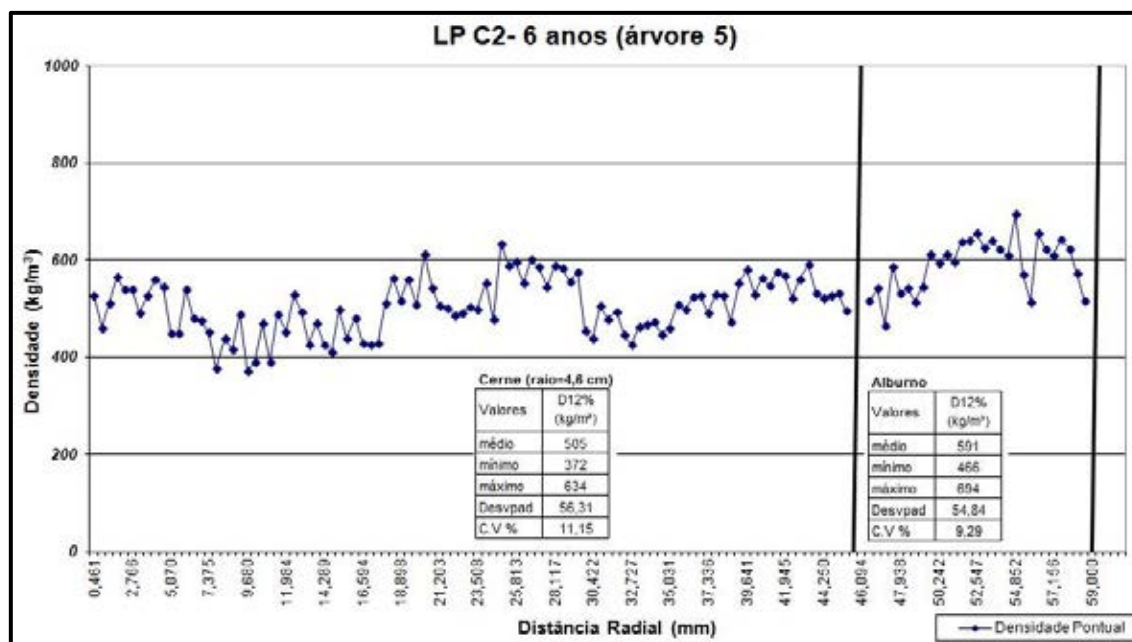


Figura B65. Perfil densitométrico da árvore 5 do clone 2 aos 6 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

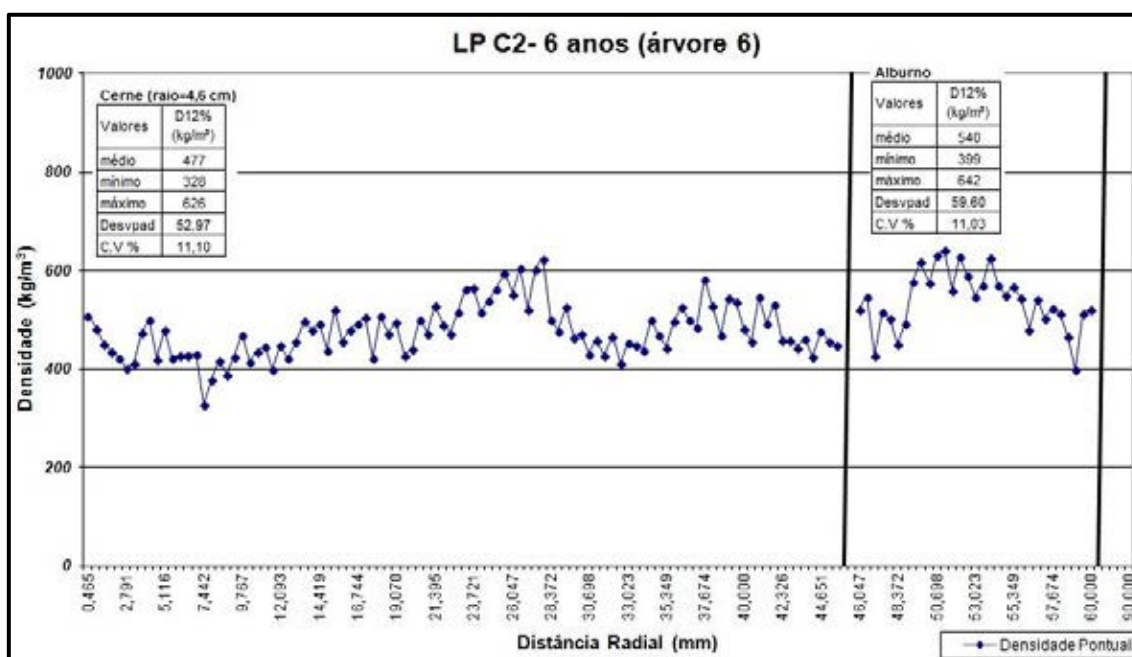


Figura B66. Perfil densitométrico da árvore 6 do clone 2 aos 6 anos de idade da região de Lençóis Paulista.

APÊNDICE C

Valores de raio, área, porcentagem de área, relação cerne/alburno, densidades básica e aparente, dureza Janka, resistência e rigidez à compressão paralela às fibras, retratibilidades e teor de extrativos totais para cada amostra estudada das árvores adultas.

Tabela C1. Resultados das variáveis estudadas.

Espécie	Amostra	Raio		Área (cm²)		Relação		D _b (kg/m³)		D _{ásica} (kg/m³)		D _{12%} (kg/m³)		Dureza Janka (MPa)	
		Cerne	Total	Cerne	Alburno	C/A	Inersão	Cerne	Alburno	Cerne	Alburno	Cerne	Alburno	Cerne	Alburno
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	1	13,4	15,3	419,69	134,90	554,59	75,67	24,33	3,11	774,10	667,4	699,6	854,4	901,4	92,75
	2	12,1	14,0	418,56	157,00	575,56	72,72	27,28	2,67	734,83	669,8	643,1	867,9	819,2	98,80
	3	11,4	13,7	396,63	137,36	533,99	74,28	25,72	2,89	753,20	787,6	673,2	1032,9	862,8	95,55
	4	12,3	15,0	424,53	152,62	577,15	73,56	26,44	2,78	731,10	628,3	657,4	798,1	839,9	99,30
	5	11,5	13,2	520,71	135,55	656,26	79,35	20,65	3,84	718,16	713,9	594,3	922,4	749,8	88,05
	6	11,9	14,1	485,99	119,15	605,14	80,31	19,69	4,08	742,74	753,5	616,6	981,3	781,3	102,15
<i>Eucalyptus saligna</i>	1	11,8	14,9	356,14	200,95	557,09	63,92	36,08	1,77	687,57	622,6	614,1	789,9	777,8	78,15
	2	13,1	16,8	272,89	200,83	473,72	57,60	42,40	1,36	694,28	685,6	658,1	880,8	840,8	84,35
	3	12,4	14,0	448,84	123,56	572,40	78,41	21,59	3,63	669,52	648,4	600,1	826,9	757,9	87,35
	4	15,9	19,3	391,07	163,19	554,26	70,56	29,44	2,40	719,00	746,4	761,3	970,7	996,0	102,55
	5	8,2	12,1	280,42	197,81	478,23	58,64	41,36	1,42	691,61	676,7	674,9	867,8	865,2	83,85
	6	11,1	14,2	326,44	166,97	493,41	66,16	33,84	1,96	675,74	700,2	693,4	902,3	892,2	88,05
<i>Corymbia citrodora</i>	1	12,4	18,2	356,59	268,98	625,57	57,00	43,00	1,33	801,68	741,5	717,0	963,4	926,9	68,75
	2	10,0	12,5	451,20	221,60	672,80	67,06	32,94	2,04	813,80	753,6	690,6	981,5	888,2	83,20
	3	10,2	15,5	343,84	255,90	599,74	57,33	42,67	1,34	813,01	672,8	668,8	862,2	856,4	83,15
	4	9,9	13,5	231,63	187,40	419,03	55,28	44,72	1,24	763,60	682,8	690,5	876,7	888,0	68,85
	5	11,2	16,0	315,01	220,30	535,31	58,85	41,15	1,43	755,70	726,0	706,0	940,3	910,7	72,55
	6	11,4	15,0	374,78	165,44	540,22	69,38	30,62	2,27	792,55	746,4	715,5	970,7	924,8	67,00
<i>Eucalyptus grandis</i>	1	15,1	18,6	727,75	318,37	1046,12	69,57	30,43	2,29	545,36	595,9	668,3	752,0	855,7	52,65
	2	15,5	18,2	678,94	293,05	971,99	69,85	30,15	2,32	566,23	493,1	602,3	609,8	761,1	70,50
	3	11,3	16,0	334,52	251,74	586,26	57,06	42,94	1,33	595,85	522,5	593,5	649,9	748,6	64,15
	4	15,1	15,8	660,5	226,57	887,07	74,46	25,54	2,92	521,30	555,9	615,5	696,0	779,8	45,50
	5	14,3	17,5	526,63	237,10	763,73	68,95	31,05	2,22	642,16	572,0	600,0	718,5	757,8	70,40
	6	14,9	20,0	610,94	380,89	991,83	61,60	38,40	1,60	513,91	489,2	477,4	604,6	588,6	56,35

Tabela C2. Resultados das variáveis estudadas.

Espécie	Anostr	Retrat. tang.		Retrat. radial		Retrat. long.		Retrat. vol.		índice de anisotropia		% Extrativos	
		Cerne	Alburno	Cerne	Alburno	Cerne	Alburno	Cerne	Alburno	Cerne	Alburno	Cerne	Alburno
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	1	9,249	9,046	7,94	6,35	0,35	0,24	20,14	17,67	1,20	1,43	10,47	4,39
	2	9,218	8,776	6,74	6,31	0,30	0,28	18,47	17,34	1,37	1,39	10,68	2,99
	3	11,736	8,129	8,03	6,11	0,30	0,31	23,71	16,30	1,46	1,34	15,09	6,77
	4	9,540	8,403	8,02	6,22	0,19	0,21	20,44	16,66	1,19	1,35	15,01	3,12
	5	9,042	7,554	6,84	6,11	0,29	0,25	18,36	15,50	1,32	1,24	15,38	9,64
	6	9,985	7,577	5,60	5,92	0,50	0,45	18,40	15,52	1,79	1,29	15,63	7,34
<i>Eucalyptus saligna</i>	1	9,10	9,45	6,87	6,61	0,20	0,27	18,38	18,59	1,33	1,43	10,63	3,78
	2	9,45	9,62	6,82	6,29	0,29	0,29	18,87	18,41	1,42	1,53	12,68	6,51
	3	10,19	8,78	6,80	5,73	0,16	0,25	19,65	16,57	1,50	1,53	10,18	6,96
	4	9,20	8,06	9,02	7,04	0,48	0,42	21,68	17,61	1,09	1,12	12,44	8,13
	5	9,04	8,56	8,26	6,62	0,20	0,24	20,09	17,41	1,12	1,30	10,44	4,87
	6	9,96	9,90	6,06	5,73	0,38	0,19	18,69	17,96	1,66	1,73	10,13	4,97
<i>Corymbia citrodora</i>	1	7,82	9,05	7,07	8,88	0,25	0,21	17,03	20,93	1,11	1,03	8,74	3,68
	2	8,15	7,87	6,27	6,62	0,10	0,17	16,26	16,43	1,30	1,19	10,54	4,61
	3	7,43	6,94	6,15	7,24	0,25	0,28	15,41	16,17	1,21	0,96	10,33	5,09
	4	10,01	10,59	7,98	9,50	0,36	0,19	21,26	23,83	1,27	1,12	8,70	2,95
	5	8,80	8,74	5,13	5,83	0,19	0,28	15,80	16,68	1,71	1,51	12,63	5,63
	6	10,49	9,77	7,78	8,26	0,10	0,11	21,26	20,96	1,36	1,18	8,27	5,32
<i>Eucalyptus grandis</i>	1	10,09	9,62	5,40	5,37	0,55	0,48	18,22	17,49	1,87	1,79	5,65	5,05
	2	9,99	9,18	5,16	5,34	0,42	0,35	17,63	16,73	1,95	1,72	7,42	6,10
	3	11,27	11,91	6,49	6,43	0,60	0,44	21,25	21,87	1,74	1,85	4,62	3,87
	4	10,27	9,39	5,26	4,60	0,67	0,33	18,44	16,08	1,95	2,05	6,16	5,50
	5	9,54	9,55	4,62	5,36	0,31	0,37	16,29	17,26	2,06	1,79	8,67	6,08
	6	8,99	8,90	4,32	4,09	0,40	0,45	15,31	14,97	2,09	2,17	5,79	4,80

APÊNDICE D

Perfis densitométricos das árvores adultas obtidos pela Técnica de Atenuação da Radiação
Gama (TARG)

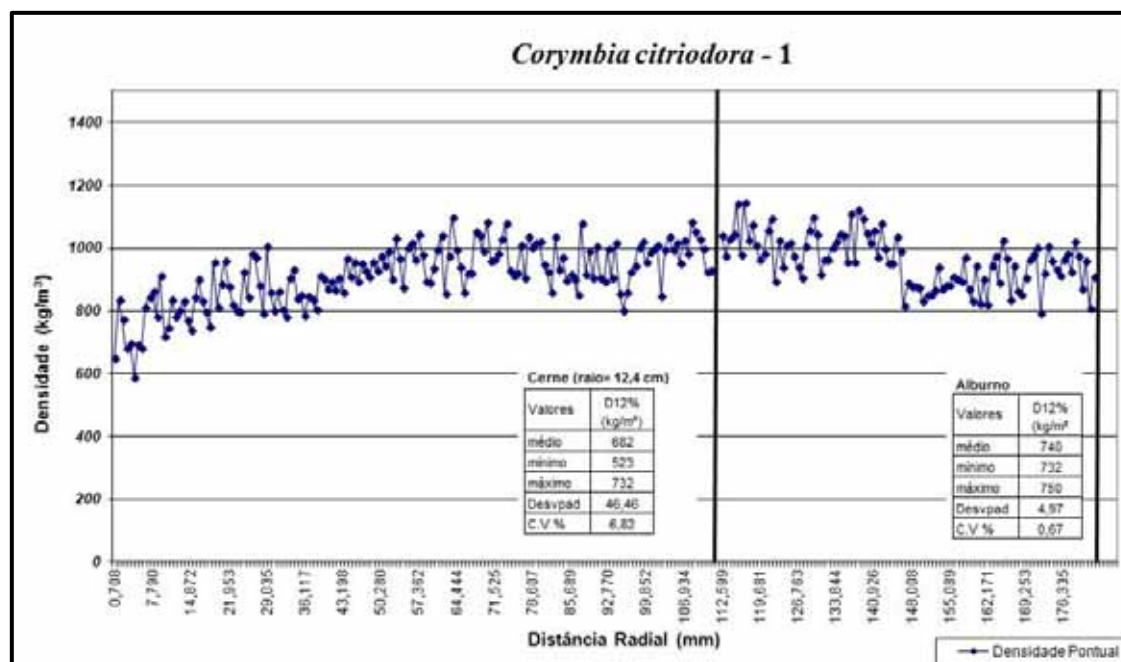


Figura D1. Perfil densitométrico da árvore 1 da *Corymbia citriodora*.

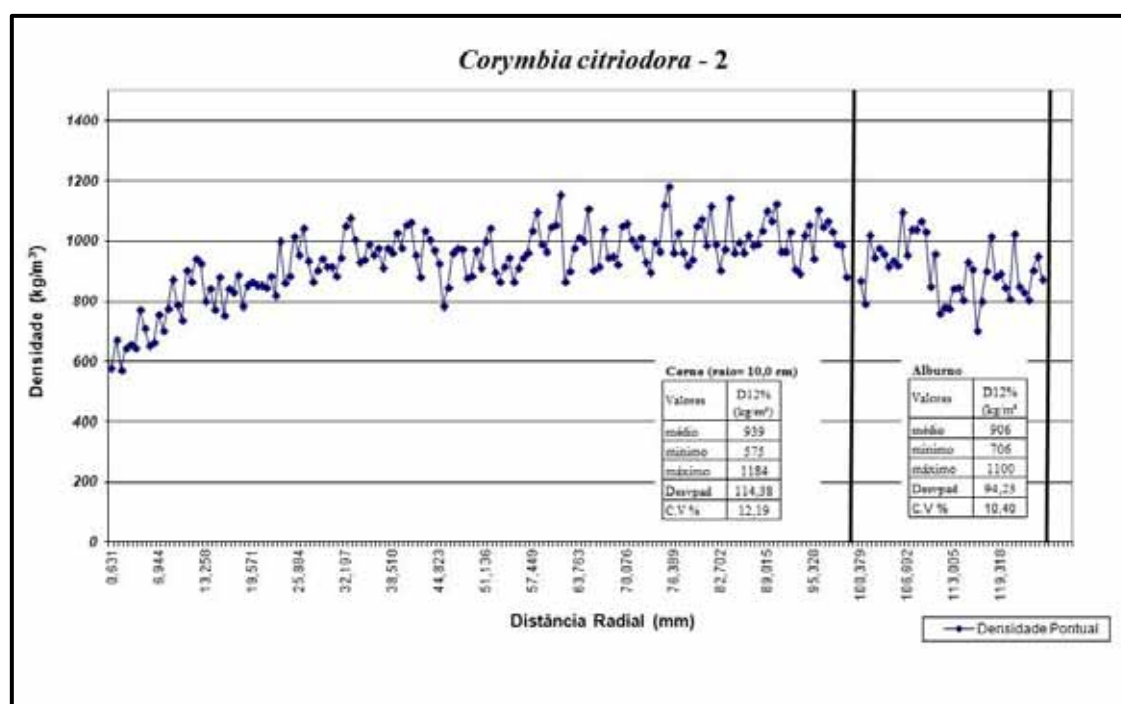


Figura D2. Perfil densitométrico da árvore 2 da *Corymbia citriodora*.

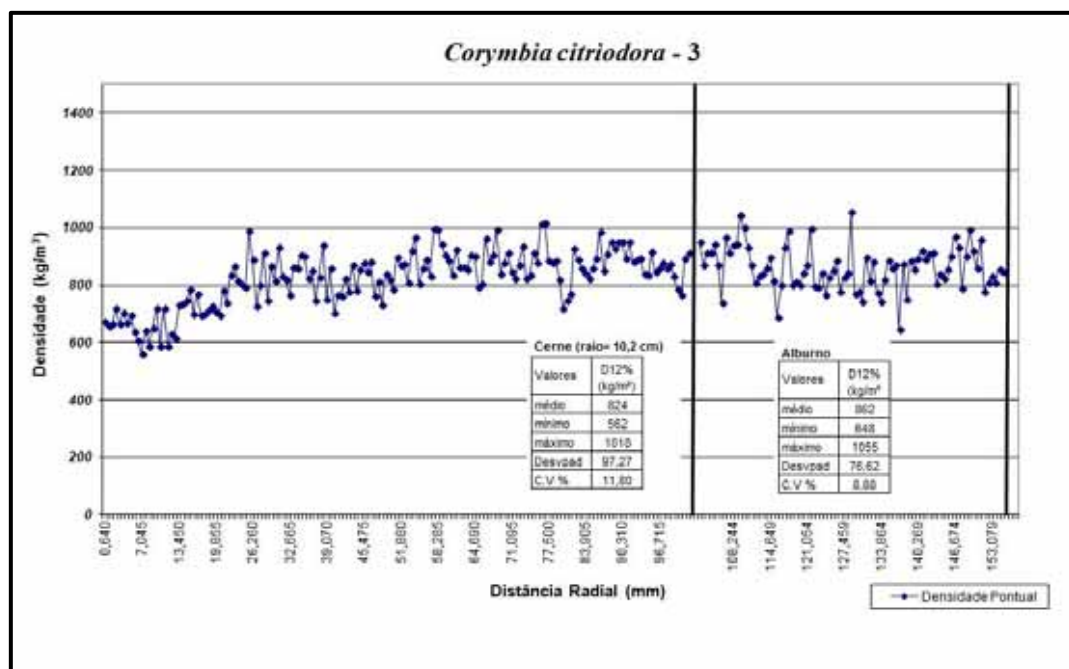


Figura D3. Perfil densitométrico da árvore 3 da *Corymbia citriodora*.

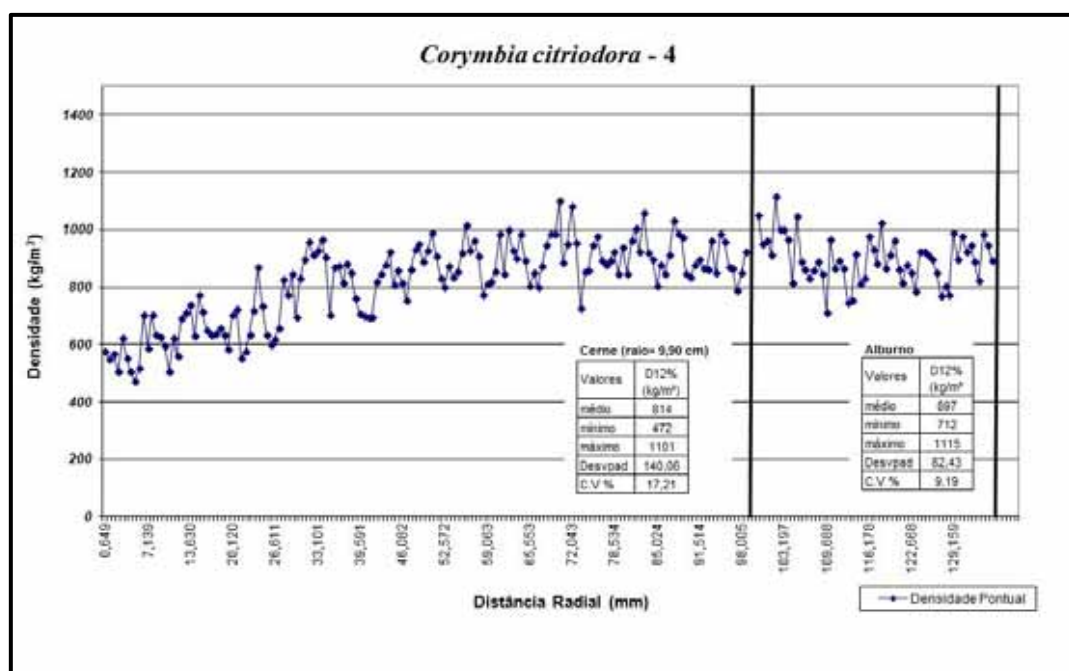


Figura D4. Perfil densitométrico da árvore 4 da *Corymbia citriodora*.

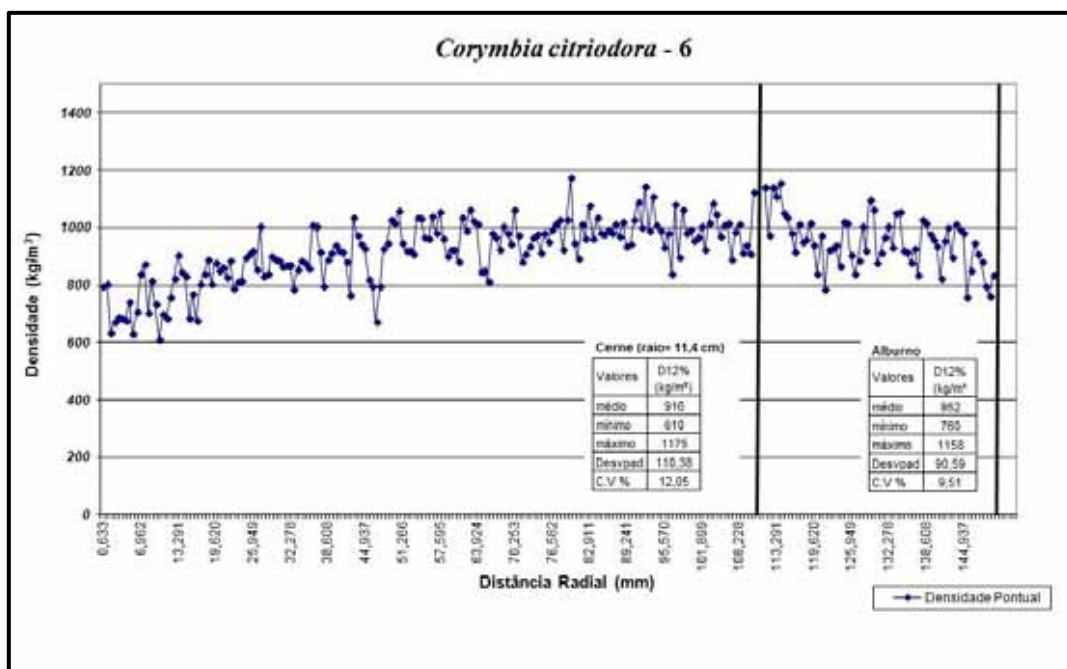


Figura D5. Perfil densitométrico da árvore 5 da *Corymbia citriodora*.

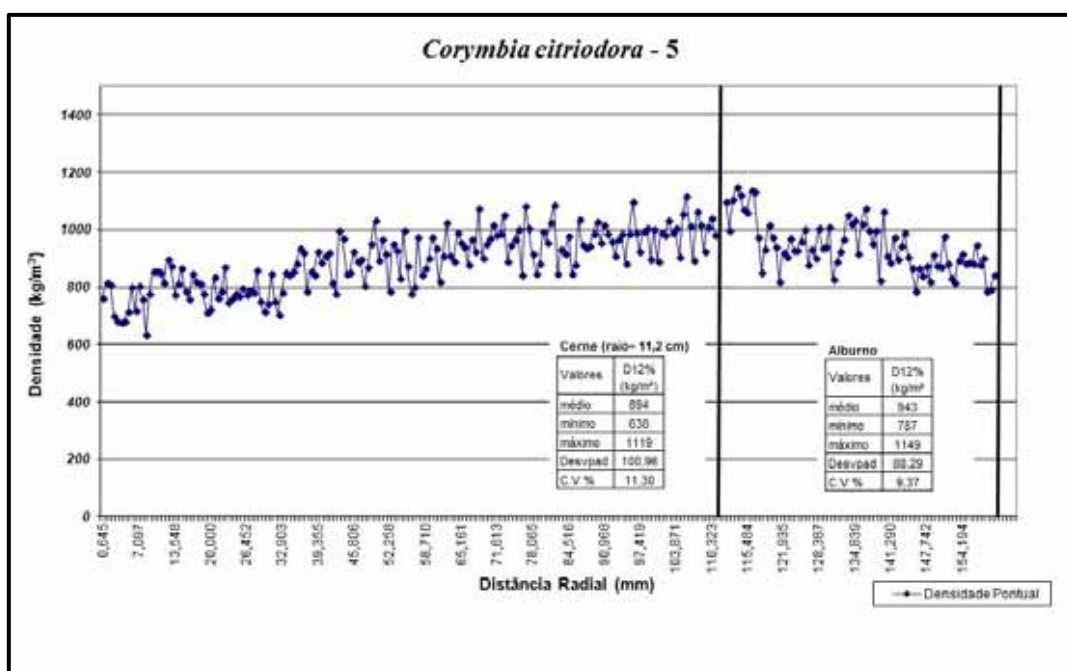


Figura D6. Perfil densitométrico da árvore 6 da *Corymbia citriodora*.

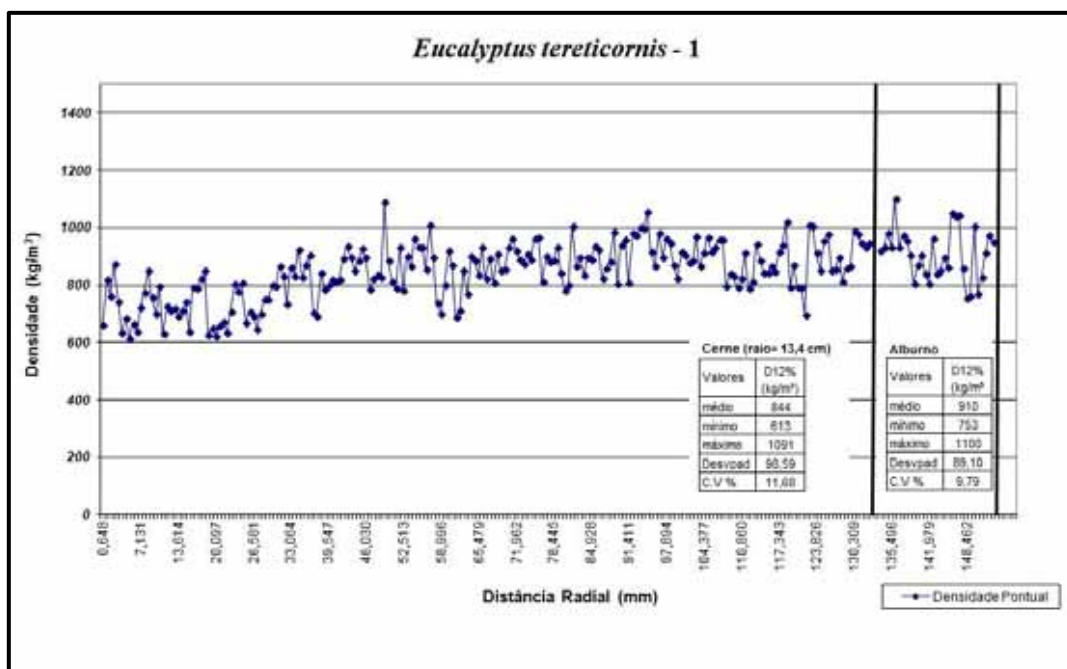


Figura D7. Perfil densitométrico da árvore 1 do *Eucalyptus tereticornis*.

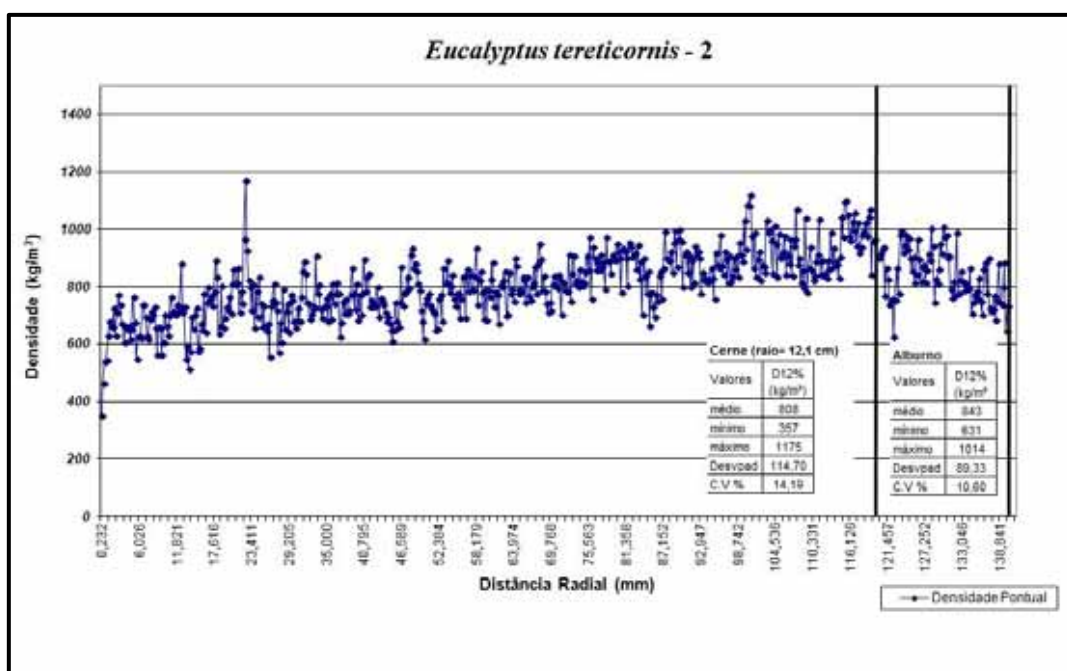


Figura D8. Perfil densitométrico da árvore 2 do *Eucalyptus tereticornis*.

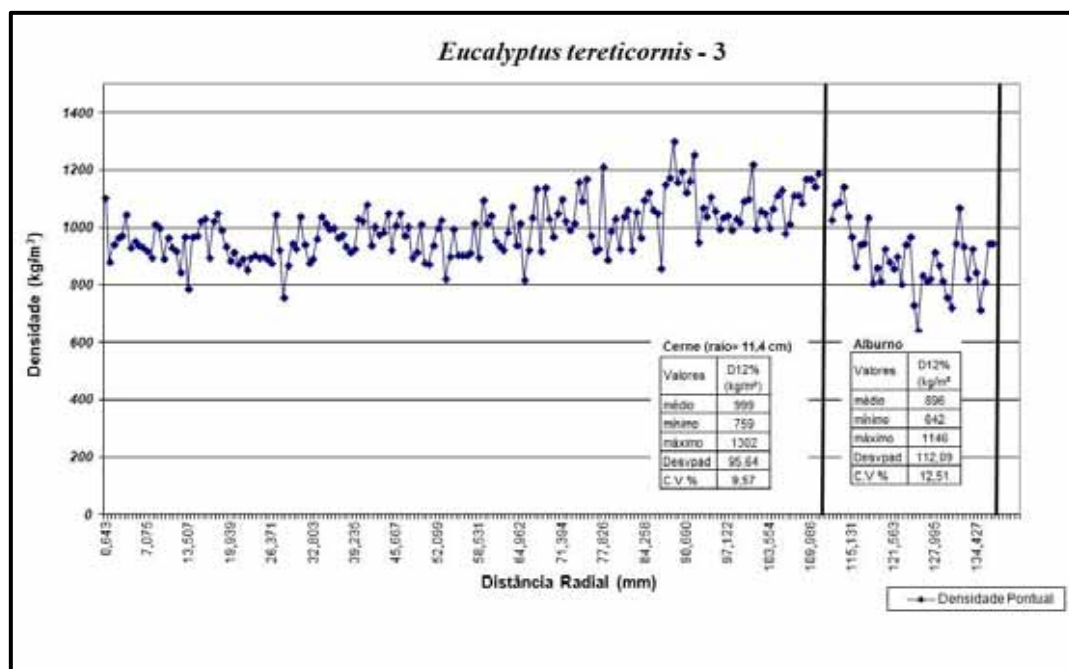


Figura D9. Perfil densitométrico da árvore 3 do *Eucalyptus tereticornis*.

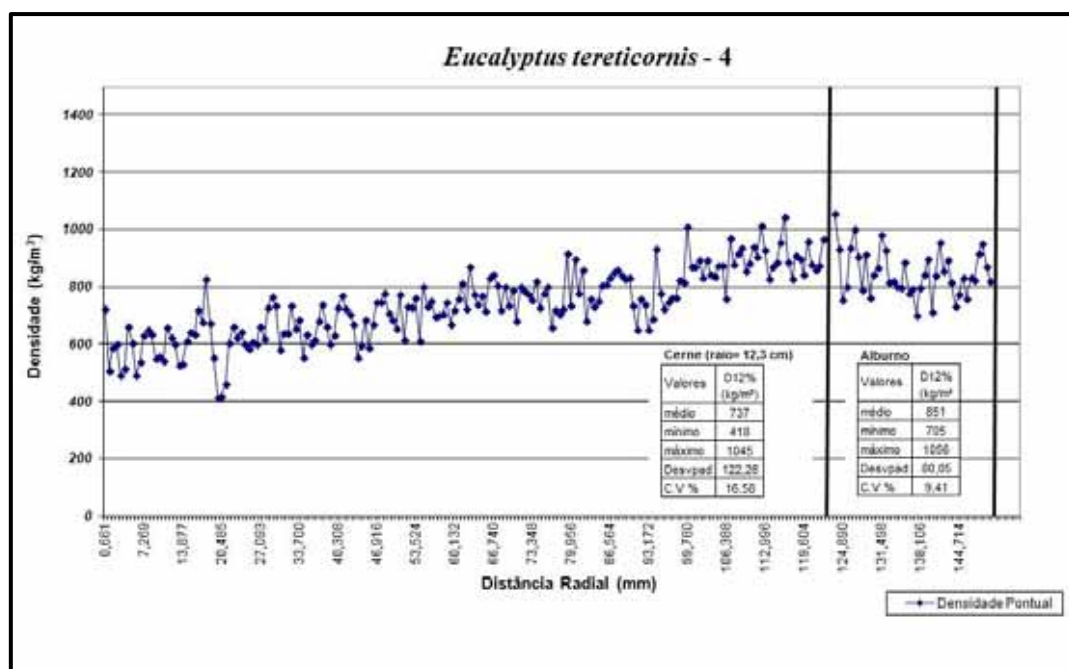


Figura D10. Perfil densitométrico da árvore 4 do *Eucalyptus tereticornis*.

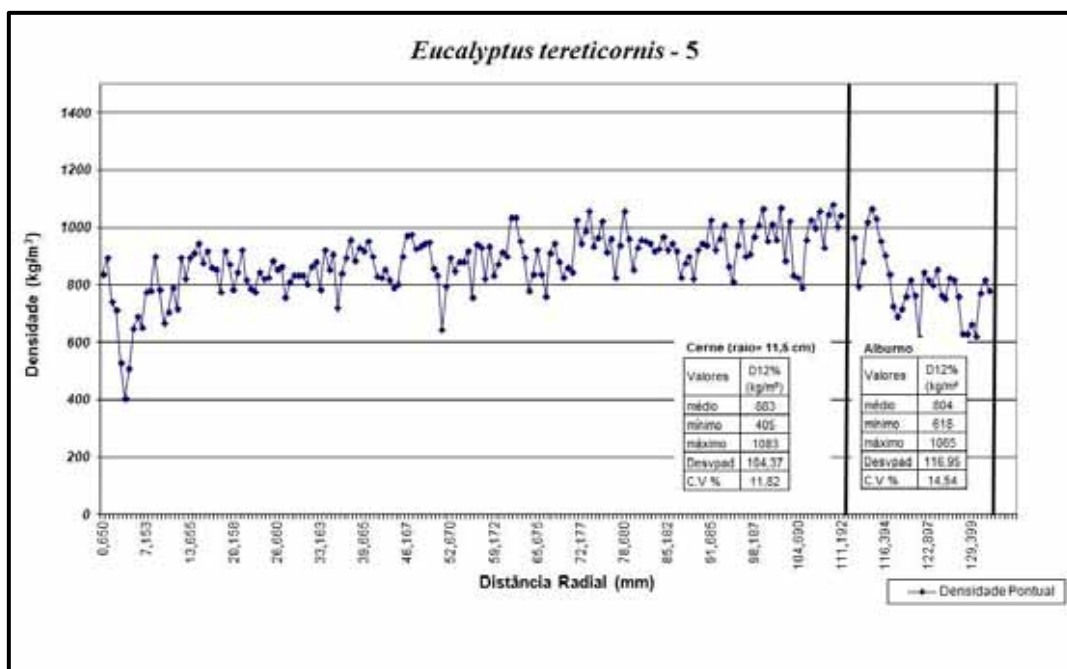


Figura D11. Perfil densitométrico da árvore 5 do *Eucalyptus tereticornis*.

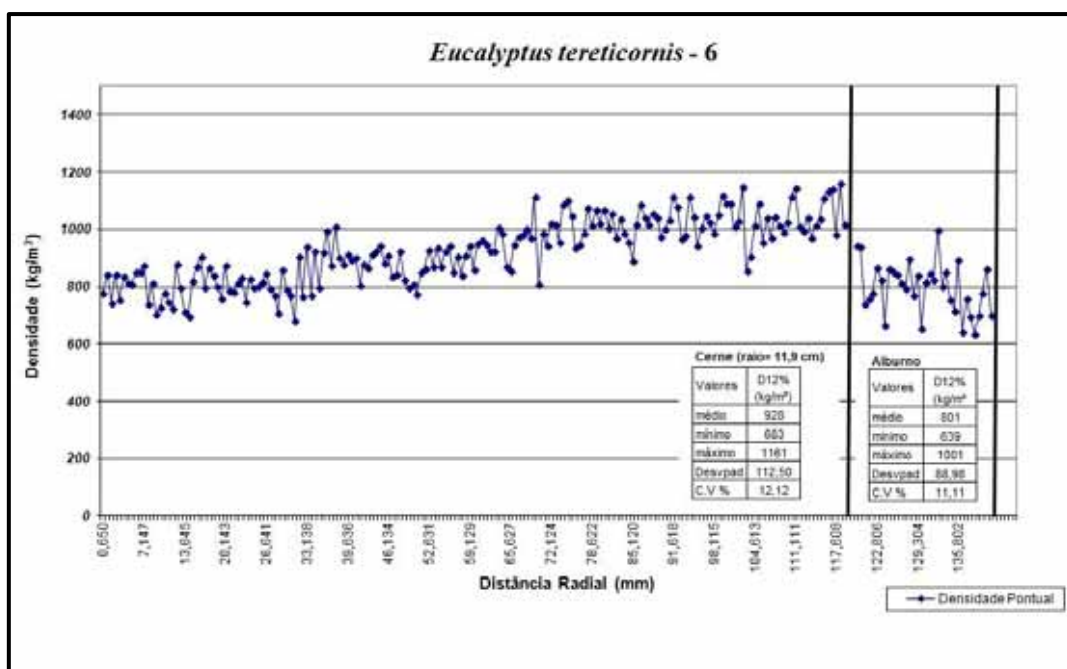


Figura D12. Perfil densitométrico da árvore 6 do *Eucalyptus tereticornis*.

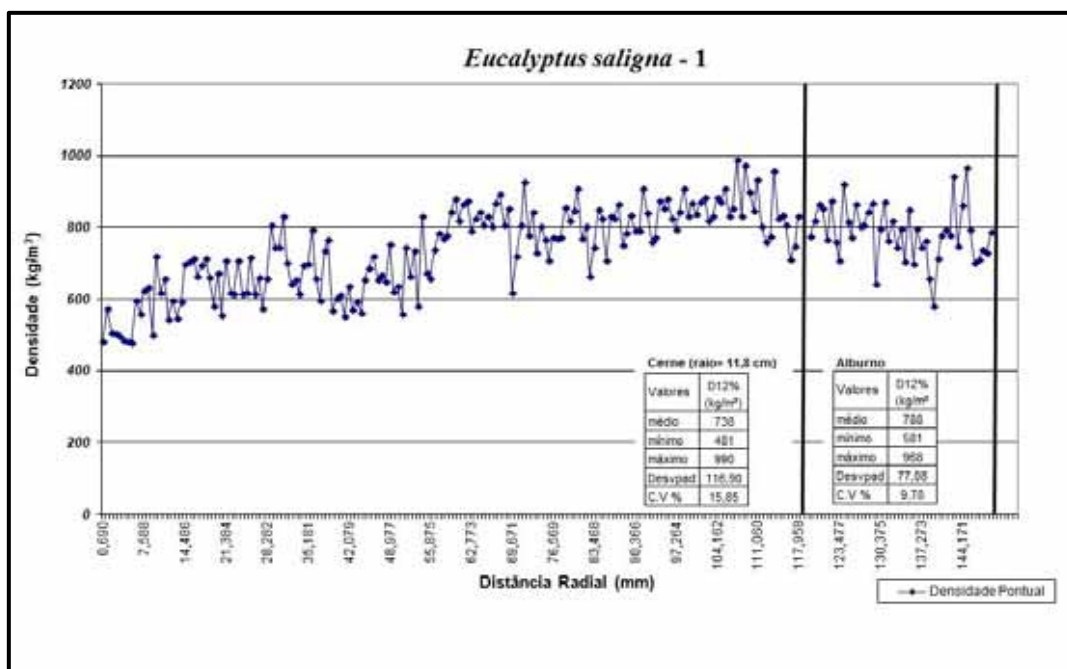


Figura D13. Perfil densitométrico da árvore 1 do *Eucalyptus saligna*.

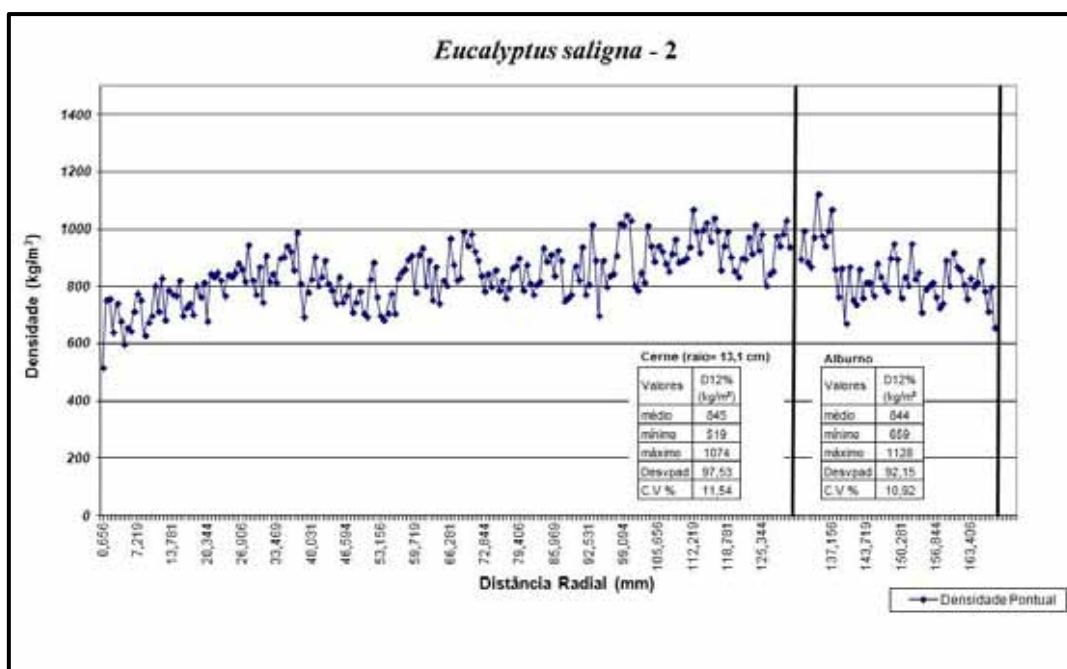


Figura D14. Perfil densitométrico da árvore 2 do *Eucalyptus saligna*.

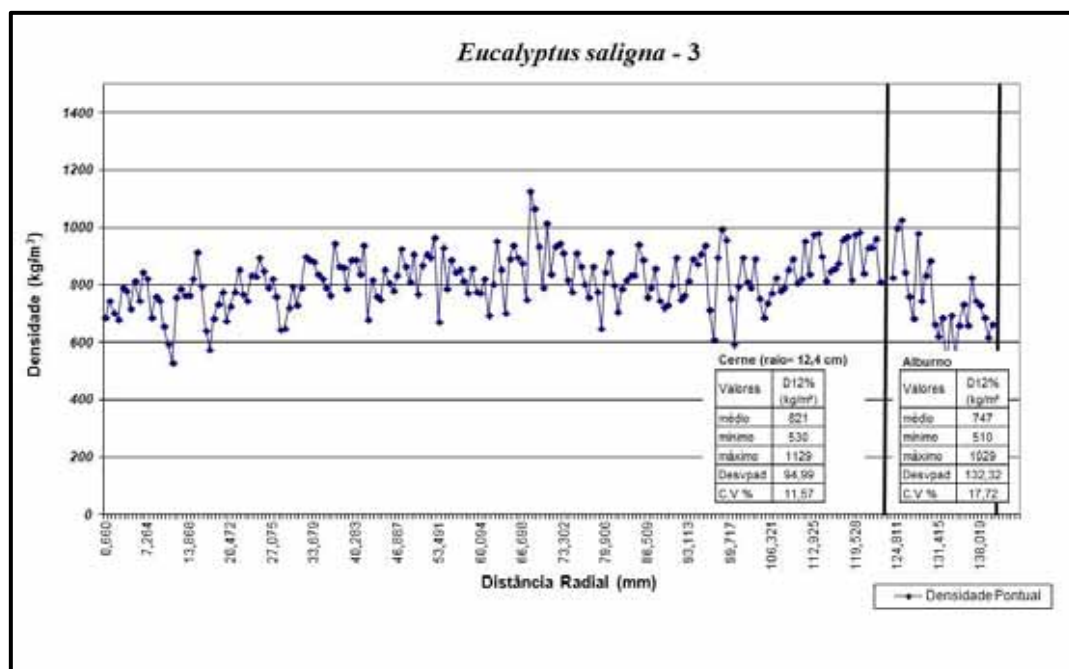


Figura D15. Perfil densitométrico da árvore 3 do *Eucalyptus saligna*.

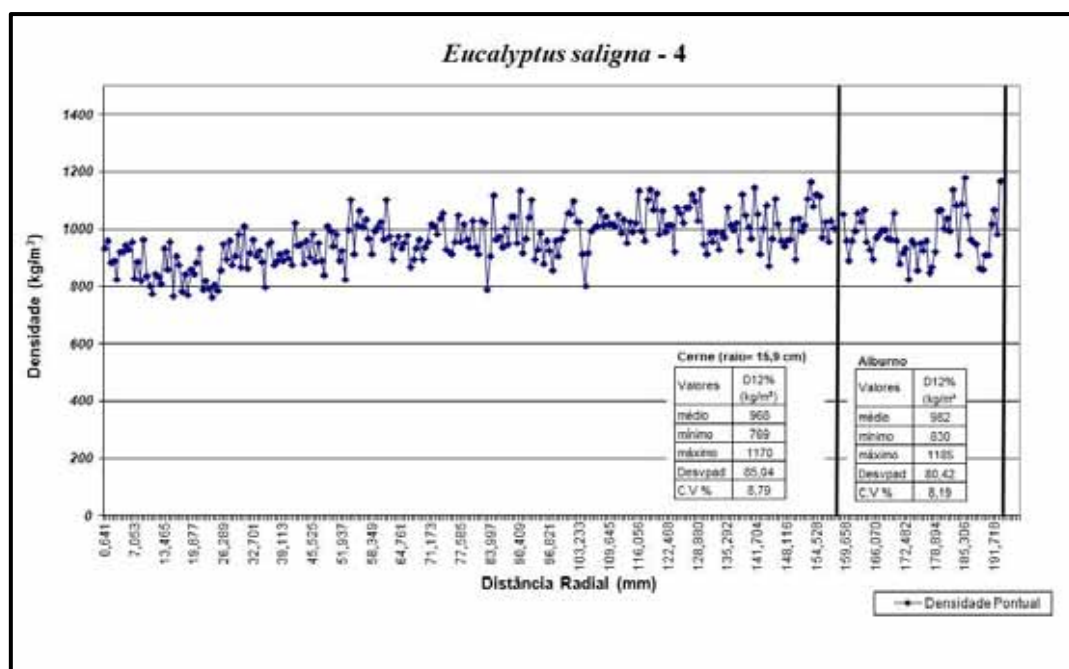


Figura D16. Perfil densitométrico da árvore 4 do *Eucalyptus saligna*.

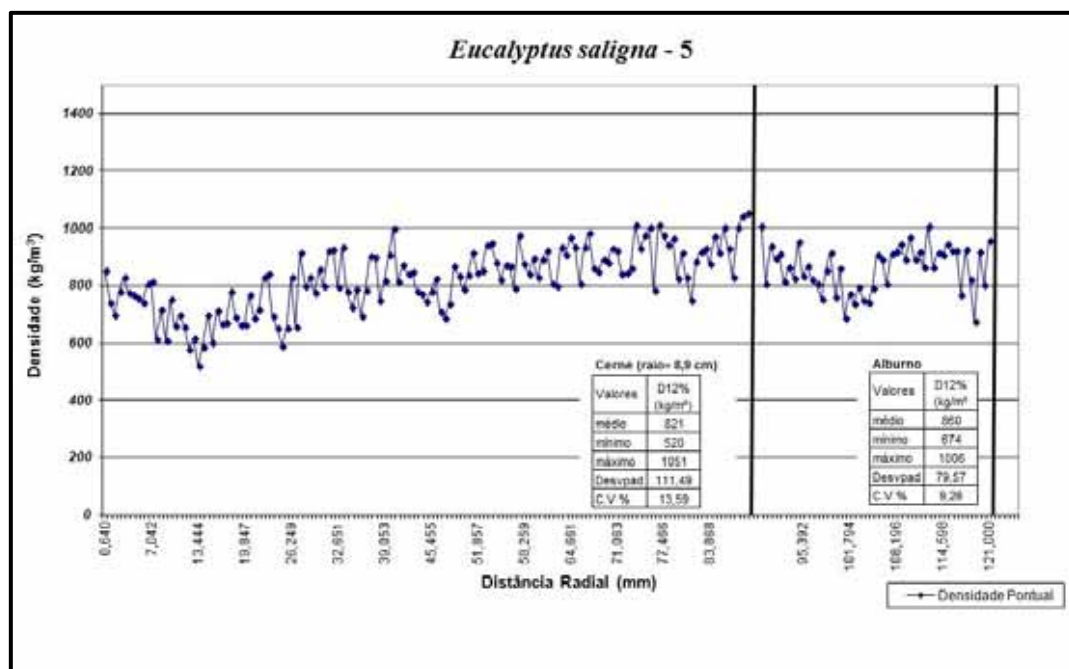


Figura D17. Perfil densitométrico da árvore 5 do *Eucalyptus saligna*.

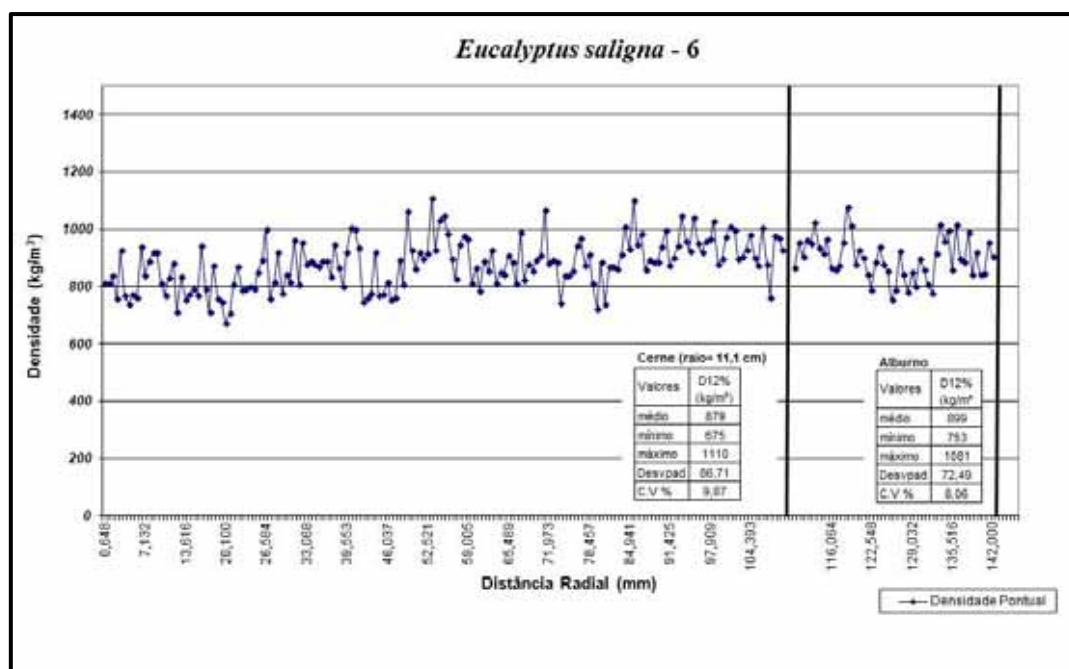


Figura D18. Perfil densitométrico da árvore 6 do *Eucalyptus saligna*.

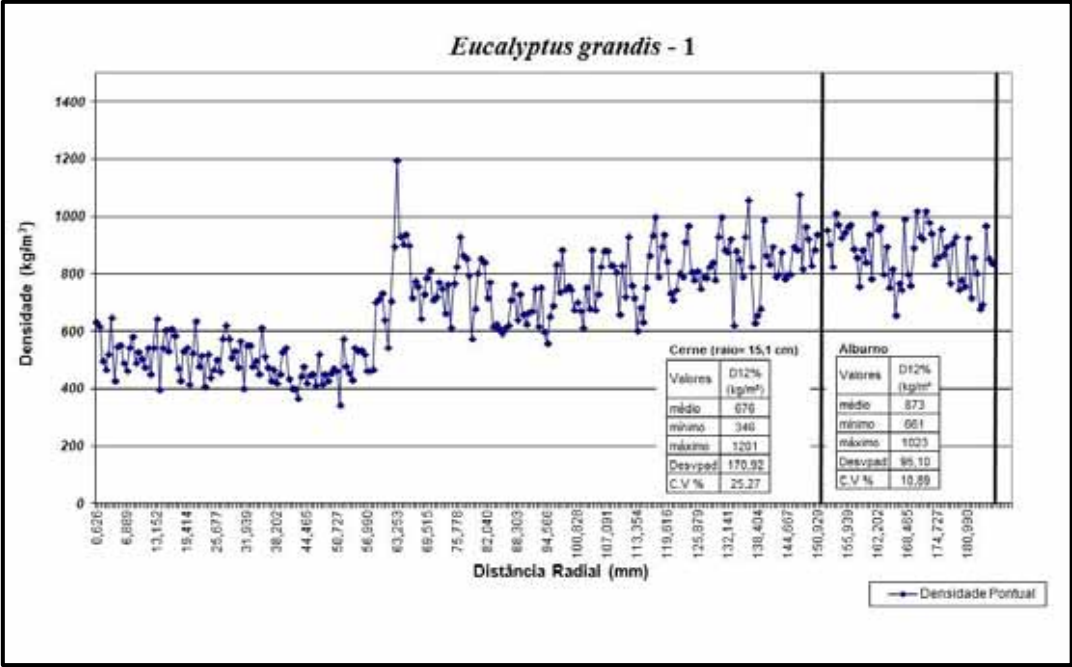


Figura D19. Perfil densitométrico da árvore 1 do *Eucalyptus grandis*.

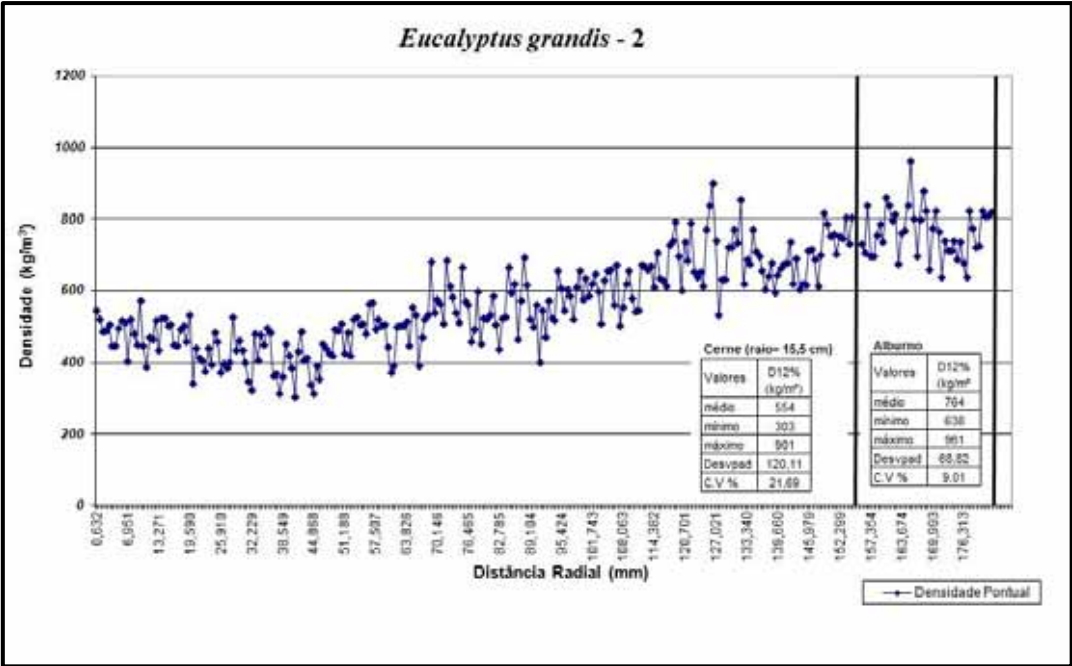


Figura D20. Perfil densitométrico da árvore 2 do *Eucalyptus grandis*.

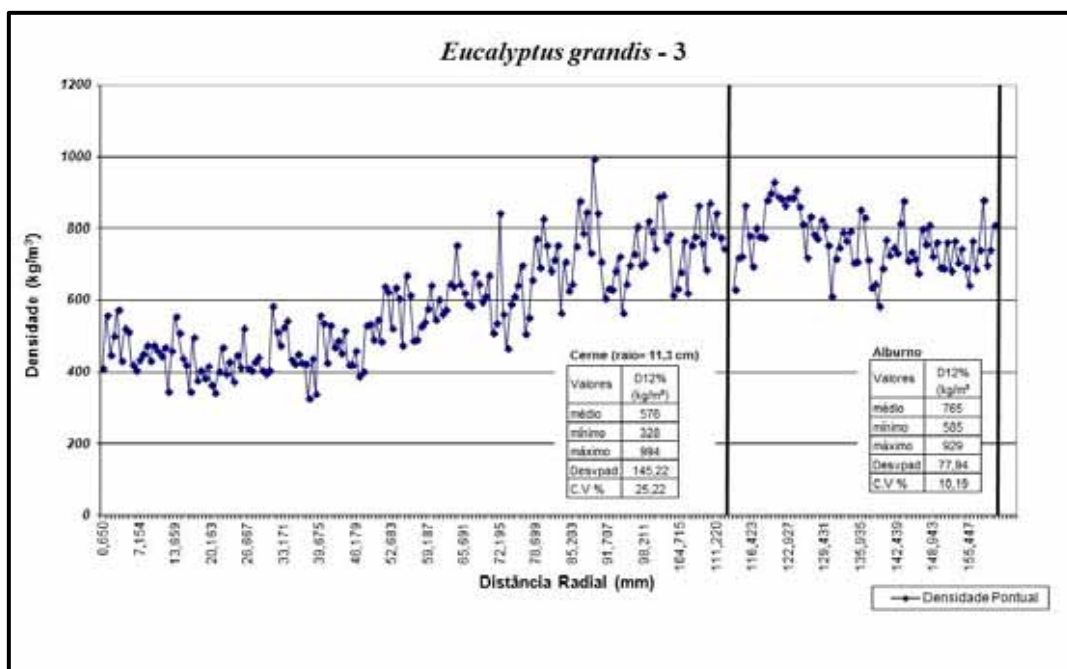


Figura D21. Perfil densitométrico da árvore 3 do *Eucalyptus grandis*.

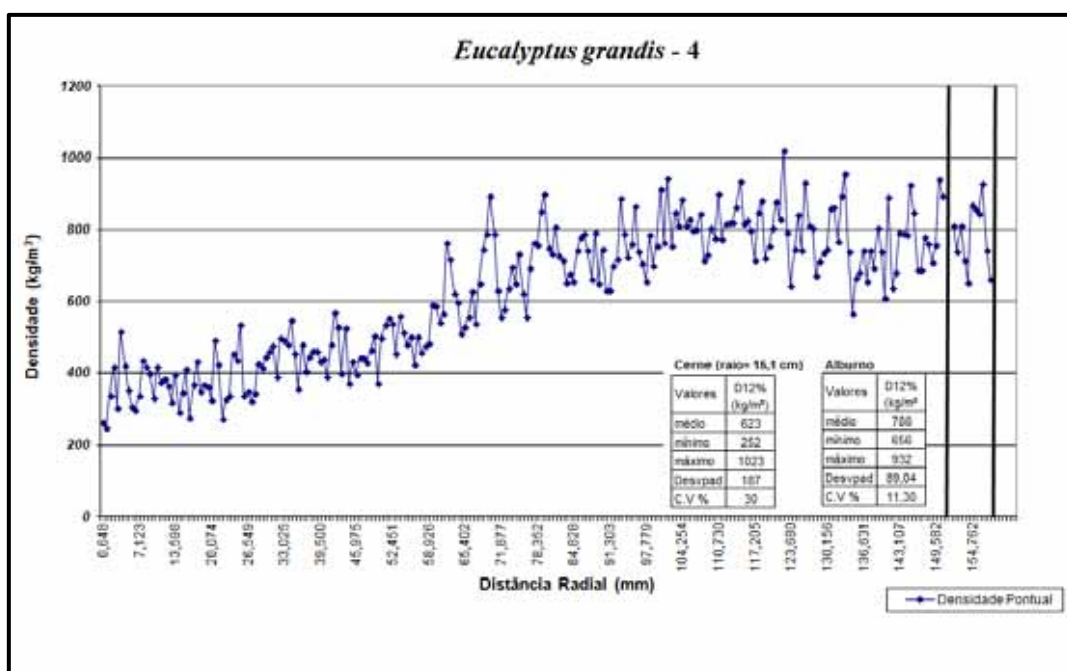


Figura D22. Perfil densitométrico da árvore 4 do *Eucalyptus grandis*.

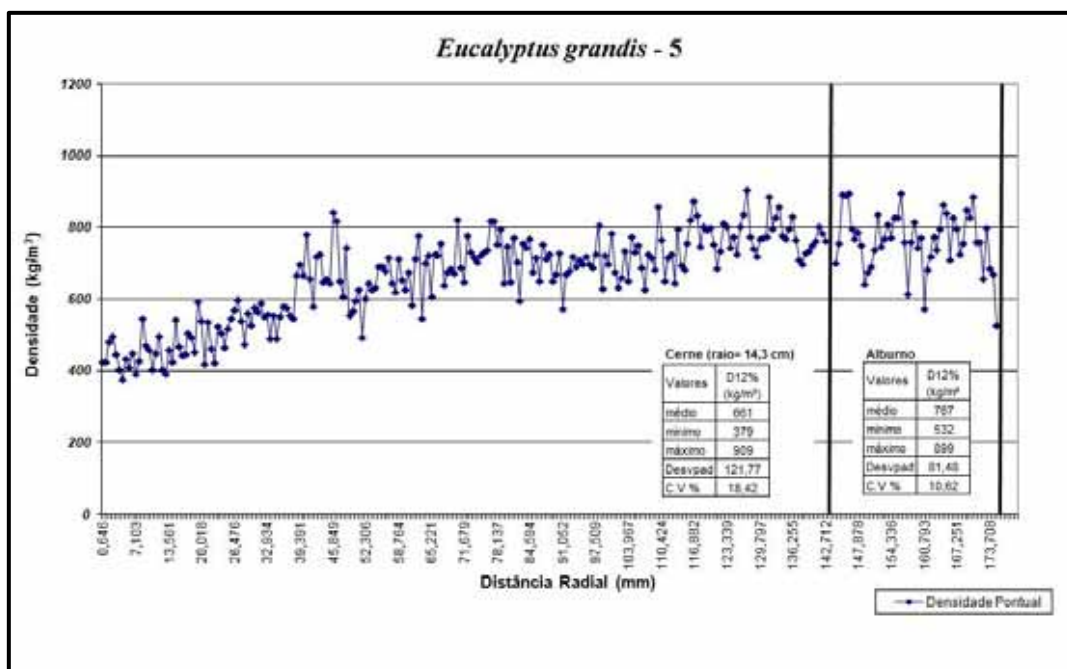


Figura D23. Perfil densitométrico da árvore 5 do *Eucalyptus grandis*.

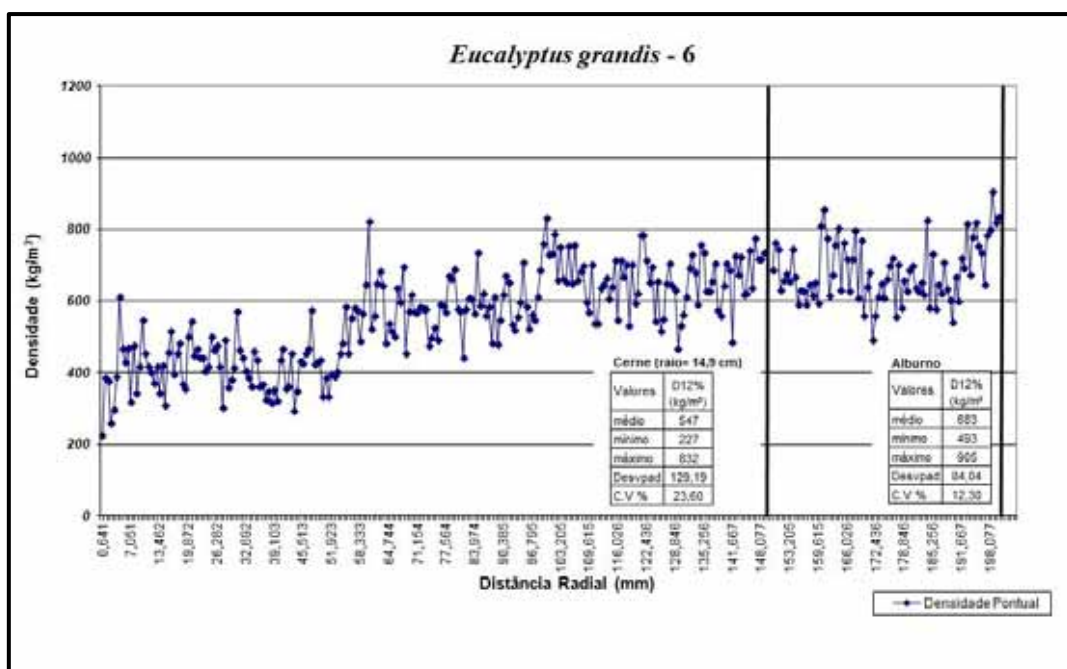


Figura D24. Perfil densitométrico da árvore 6 do *Eucalyptus grandis*.