



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**ANA CAROLINA BOA**

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DA METADE SUPERIOR DO TRONCO DE  
ÁRVORES DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* DE 13 ANOS PARA  
PRODUÇÃO DE CELULOSE**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2014

ANA CAROLINA BOA

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DA METADE SUPERIOR DO TRONCO DE  
ÁRVORES DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* DE 13 ANOS PARA  
PRODUÇÃO DE CELULOSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Recursos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira.

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Graziela Baptista Vidaurre.

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

B999c Bôa, Ana Carolina, 1989-  
Caracterização da madeira da metade superior do tronco de  
árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* de 13 anos para  
produção de celulose / Ana Carolina Bôa. – 2014.  
92 f. : il.

Orientador: José Tarcísio da Silva Oliveira.

Coorientador: Graziela Baptista Vidaurre.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade  
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Madeira – qualidade. 2. Eucalipto. 3. Celulose. 4. Análise  
multivariada. 5. Propriedades da madeira. I. Oliveira, José Tarcísio da  
Silva. II. Vidaurre, Graziela Baptista. III. Universidade Federal do  
Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 630

---

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DA METADE SUPERIOR DO TRONCO  
DE ÁRVORES DE *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* DE TREZE  
ANOS PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE**

**Ana Carolina Bôa**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 24 de Fevereiro de 2014.



---

Prof. Dr. Mario Tomazello Filho  
Esalq/USP

Membro Externo



---

Dr. Braz José Demuner  
FIBRIA

Membro Externo



---

Profª. Drª. Marina Donária Chaves Arantes  
UFES

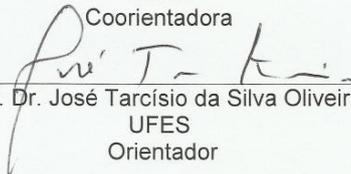
Membro Interno



---

Profª. Drª. Graziela Baptista Vidaurre  
UFES

Coorientadora



---

Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira  
UFES

Orientador

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ser minha sustentação, por abençoar e iluminar meu caminho por toda esta etapa, pela minha família e por todas as conquistas alcançadas.

A minha família e a tudo o que ela representa para mim. A meus pais e meu irmão pelo amor, apoio e confiança.

A Universidade Federal do Espírito Santo e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pelo curso de mestrado, e a CAPES pela concessão da bolsa.

Ao professor orientador, José Tarcísio da Silva Oliveira, pela amizade, confiança, dedicação e competência no auxílio do desenvolvimento deste trabalho.

A professora Graziela Baptista Vidaurre Dambroz pelo incentivo em realizar esta pesquisa, pela troca de informações e pela colaboração para que este estudo pudesse ser realizado.

Ao professor Mário Tomazello pelo auxílio na realização das análises de densitometria de raios X e por prontamente aceitar participar da banca examinadora. Agradeço também a sua equipe do LAIM pela recepção e auxílio prestados.

Ao pesquisador da empresa Fibria, Braz José Demuner, pelo auxílio desde o início do desenvolvimento deste trabalho e pela disposição de material, funcionários e de conhecimentos, assim como por participar da banca examinadora.

A professora Marina Donária Chaves Arantes pelo apoio, ensinamentos e conselhos, e também por aceitar participar da banca examinadora.

Aos professores Adair José Regazzi, Adriano Ribeiro de Mendonça e Sidney Sára Zanetti pelo conhecimento transmitido e o auxílio prestado para a realização das análises estatísticas.

Aos professores do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pelos conhecimentos acadêmicos transmitidos.

Aos técnicos do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira José Geraldo, Gilson, Elecy e Gilberto, pelo auxílio no preparo e análises das amostras, e a funcionária Elizângela pelos serviços prestados e pela amizade.

Ao meu namorado Luciano, o qual novamente pelo carinho, companheirismo e, principalmente, paciência em me ajudar a superar os momentos difíceis, foi muito importante para que esta etapa fosse concluída.

A Laís por compartilhar e auxiliar na rotina acadêmica, e por me fazer companhia em nossa “home”.

A Ewerthon, Lairó, Frederico, Thiago, Kallil e Kaio pela ajuda na realização de algumas etapas deste trabalho.

A todos os colegas dos Laboratórios de Ciências da Madeira e aos do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pelos bons momentos de convivência e pela troca de informações.

Agradeço também a todos aqueles que mesmo não mencionados aqui, de forma direta ou indireta, colaboraram para que mais esta etapa fosse completada.

Enfim, MUITO OBRIGADA!

*“Você ganha força, coragem e confiança em toda experiência em que você encara o seu medo. Você deve fazer aquilo que pensa que não pode fazer.”*

**Eleanor Roosevelt**

## RESUMO GERAL

BOA, Ana Carolina. **Caracterização da madeira da metade superior do tronco de árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* de 13 anos para produção de celulose.** 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira. Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Graziela Baptista Vidaurre.

A madeira de eucalipto representa uma importante fonte de matéria-prima para o setor florestal, e diversos estudos vêm sendo realizados com o objetivo de agregar-lhe maior qualidade. O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar se a madeira da parte superior do tronco de árvores com 13 anos do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* atendia as condições de qualidade exigidas para a produção de polpa celulósica. Foram avaliadas as propriedades da madeira de quatro árvores de cada um dos nove clones estudados. Dois dos clones foram procedentes de plantios comerciais com cinco anos, localizados em Aracruz no estado do Espírito Santo, destinados a produção exclusiva de celulose. Os sete demais clones foram originados de um plantio com 13 anos, localizado em Alcobaça no estado da Bahia, destinados à produção conjunta de madeira serrada e celulose. Os resultados das caracterizações anatômica, química e densidades básica e aparente da madeira foram comparados, e por meio dos resultados verificou-se diferença entre a madeira das árvores com cinco anos e a da parte superior do tronco das árvores com 13 anos. O uso de técnicas de análise multivariada permitiu identificar que entre os clones de mesma idade não existe variabilidade das propriedades da madeira que os distribuam em grupos distintos, sendo possível inferir que existem divergências entre a madeira de árvores de diferentes idades, mas não de mesma idade. Quando avaliadas às propriedades da madeira das árvores de cinco anos e da parte superior do tronco das árvores de 13 anos, observou-se que a parte superior do tronco proporcionou maior disponibilidade de matéria-prima, em função do maior volume de madeira e da densidade básica, além de fibras com paredes mais espessas e menores teores de lignina.

**Palavras-chave:** Madeira – qualidade, eucalipto, celulose, análise multivariada, propriedades da madeira.

## GENERAL ABSTRACT

BOA, Ana Carolina. **Wood characterization of the upper half of the trunk of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* of 13 years trees for pulpwood.** 2014. Dissertation (Master's degree in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, Advisor: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira. Co-advisor: Prof. Dr. Graziela Baptista Vidaurre.

The eucalypt wood is an important source of raw material for the forest industry, and several studies have been conducted with the objective of adding more quality to this material. The general objective of this research was to evaluate if the wood of the upper trunk of trees 13 years old of hybrid *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* has the quality required for pulpwood production. Was evaluated the wood properties of four trees of each of the nine clones studied. Two of the clones were from commercial plantations with five years old, located in the town of Aracruz in Espírito Santo State, exclusive to cellulose production. The seven other clones were from plantations 13 years old, located in the town of Alcobaça in Bahia State, for the joint production of lumber and pulp. The results of anatomical, chemical and basic and apparent wood density characterizations were compared, and by the results we found differences between the wood of five years old trees and the upper trunk of 13 years old. The use of statistical multivariate analysis techniques identified that among the clones of the same age there was no variability in the wood properties that distributed them into different groups. Thus, it was possible to infer that there were differences between wood from trees of different ages, but not of the same age. When were evaluated the wood properties of trees with five years old and the upper trunk of 13 years old, it was observed that the upper trunk showed more availability of raw material, due to the higher volume of wood and basic density, addition of fibers with thicker walls and smaller content of lignin.

**Key words:** Wood quality, eucalypt, pulpwood, properties, multivariate analysis.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Valores médios para as características dendrométricas das árvores dos clones com cinco anos e das árvores e parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	35
Tabela 2 –	Percentuais médios de casca, cerne e alburno das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	37
Tabela 3 –	Variação radial da frequência ( $n^0 \cdot mm^{-2}$ ) e do diâmetro ( $\mu m$ ) dos vasos da madeira e suas médias das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	40
Tabela 4 –	Variação radial da largura e diâmetro do lume das fibras ( $\mu m$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	43
Tabela 5 –	Variação radial da espessura da parede e comprimento das fibras ( $\mu m$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	44
Tabela 6 –	Índices de qualidade das fibras da madeira das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	49
Tabela 7 –	Densidade básica média, ponderada pelo volume dos segmentos do fuste, da madeira das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	51
Tabela 8 –	Variação radial da densidade básica da madeira e sua média para as árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> ...	57
Tabela 9 –	Valores mínimo, máximo e médio de densidade aparente da madeira por densitometria de raios-X da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	55
Tabela 10 –	Percentuais médios da composição química da madeira relativos aos extrativos totais, lignina solúvel, lignina insolúvel, lignina total e holocelulose das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	60
Tabela 11 –	Parâmetros das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> utilizados nas análises multivariadas.....	77
Tabela 12 –	Análise de variância multivariada (MANOVA) para os clones de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	80

Tabela 13 –	Variáveis canônicas estabelecidas pela combinação linear das dez variáveis originais (X1: volume de madeira, X2: volume de alburno, X3: densidade básica – ponderação radial, X4: densidade básica – ponderação longitudinal, X5: frequência vascular, X6: diâmetro vascular, X7: comprimento de fibra, X8: espessura da parede de fibra, X9: extrativos totais e X10: lignina total) para os clones de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	81
Tabela 14 –	Distância generalizada de Mahalanobis entre pares dos clones de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	84
Tabela 15 –	Resumo da aplicação do método do vizinho mais próximo para a análise de divergência entre os clones de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	85
Tabela 16 –	Grupos de dissimilaridade entre clones de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> estabelecidos pelo método de Tocher, a partir das Distâncias de Mahalanobis ( $D^2$ ) e as estimativas de distâncias de $D^2$ intragrupos.....	86
Tabela 17 –	Estimativas de distâncias de Mahalanobis intergrupos.....	87
Tabela 18 –	Classificação e valores médios intragrupos das características avaliadas para os clones de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	87

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização dos plantios experimentais dos nove clones do híbrido de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	25
Figura 2 –	Aproveitamento da árvore para a produção de madeira serrada e polpa celulósica.....	26
Figura 3 –	Diagrama de amostragem para as árvores de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> com cinco anos de idade.....	27
Figura 4 –	Diagrama de amostragem para as árvores de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> com 13 anos de idade.....	28
Figura 5 –	Esquema das posições 1, 2, 3 e 4 de retirada dos corpos de prova da bagueta para realização das análises de densidade básica e anatomia no sentido medula-casca.....	29
Figura 6 –	Medições realizadas para a determinação do volume de madeira e percentuais de casca, cerne e alburno.....	29
Figura 7 –	Percentual médio de casca, cerne e alburno das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	38
Figura 8 –	Variação radial da frequência dos vasos ( $n^0 \cdot mm^{-2}$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	41
Figura 9 –	Variação radial do diâmetro dos vasos ( $\mu m$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	41
Figura 10 –	Variação radial da largura das fibras ( $\mu m$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	46
Figura 11 –	Variação radial do diâmetro do lume das fibras ( $\mu m$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	47
Figura 12 –	Variação radial da espessura da parede das fibras ( $\mu m$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	47
Figura 13 –	Variação radial do comprimento das fibras ( $\mu m$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	48
Figura 14 –	Variação longitudinal da densidade básica ao longo do fuste das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	52
Figura 15 –	Variação radial da densidade básica ( $g \cdot cm^{-3}$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	54
Figura 16 –	Perfis de densidade aparente e imagens do raio X digital para o raio 2 do lenho da parte superior do tronco das árvores com 13 anos dos clones 3, 4, 5 e 6 de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	57

Figura 17 – Perfis de densidade aparente e imagens do raio X digital para o raio 2 do lenho da parte superior do tronco das árvores com 13 anos dos clones 7, 8, e 9 de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	58
Figura 18 – Dispersão dos nove clones de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> em relação às duas primeiras variáveis canônicas.....	83
Figura 19 – Dendrograma de similaridade entre os nove clones de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> baseado nas distâncias generalizadas de Mahalanobis.....	85

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	14
1.1. OBJETIVOS.....	15
1.1.1. Objetivo geral.....	15
1.1.2. Objetivos específicos.....	16
CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DA PARTE SUPERIOR DO TRONCO DE ÁRVORES DE EUCALIPTO.....	17
RESUMO.....	18
ABSTRACT.....	19
1. INTRODUÇÃO.....	20
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
2.1. Descrição da área e material de estudo.....	25
2.2. Amostragem da madeira.....	26
2.3. Análises empregadas.....	29
2.3.1. Caracterização dendrométrica das árvores.....	29
2.3.2. Caracterização anatômica da madeira.....	30
2.3.3. Densidade básica da madeira.....	31
2.3.4. Variação radial da densidade por densitometria de raios X.....	32
2.3.5. Análise química da madeira.....	33
2.3.6. Análise estatística dos dados.....	34
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
3.1. Caracterização dendrométrica das árvores.....	35
3.2. Análise anatômica da madeira.....	39
3.2.1. Frequência e diâmetro vascular.....	39
3.2.2. Dimensões das fibras.....	42
3.3. Massa específica aparente.....	50
3.3.1. Densidade básica.....	50
3.3.2. Densidade aparente por densitometria de raios X.....	55
3.4. Análise química da madeira.....	59
4. CONCLUSÕES.....	62
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
CAPÍTULO II: APLICAÇÃO DE TÉCNICAS MULTIVARIADAS PARA A SELEÇÃO DE CLONES DE EUCALIPTO PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE.....	68
RESUMO.....	69
ABSTRACT.....	70
1. INTRODUÇÃO.....	71
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	77
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	80
4. CONCLUSÕES.....	89
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O setor florestal brasileiro destaca-se pela expressiva área de florestas plantadas que possui e pelo elevado nível das pesquisas científicas desenvolvidas simultaneamente ao crescimento deste setor. É representado por empresas de diversos segmentos, que demandam madeira de alta qualidade e disponibilizam produtos com mesma propriedade.

A madeira de árvores do gênero *Eucalyptus* são as que mais atendem a este setor e também são destaque em área plantada no país. O uso da madeira de eucalipto está relacionado a boa adaptação encontrada aqui pelas mais diferentes espécies em função das condições edafoclimáticas em adição aos níveis tecnológicos empregados nestas formações florestais. A madeira das espécies deste gênero é largamente empregada como matéria-prima na produção de diversos produtos, se destacando a produção de celulose e papel, energia e produtos sólidos.

Diante de todo o desenvolvimento observado no setor florestal nacional, ainda assim novas tecnologias para a redução de custos a partir de um melhor aproveitamento dos plantios comerciais são necessárias. Para o suprimento desta demanda, o conceito do uso múltiplo das florestas é uma importante alternativa.

As florestas de múltiplo uso correspondem à disponibilização de matérias-primas, por meio da mesma fonte de material, a diversos segmentos industriais. Permitem que seja agregado maior valor aos plantios em função ao melhor aproveitamento da matéria-prima e também por meio da disponibilização de produtos diversificados no mercado como, por exemplo, a produção conjunta de madeira serrada, celulose e energia.

O Brasil é um dos maiores produtores de celulose, sendo o setor de grande importância no cenário econômico nacional. Porém, mesmo diante da importância e de toda a tecnologia que este setor possui, inúmeros obstáculos ainda precisam ser superados. Relativo à matéria-prima, tem-se como meta alcançar a uniformização em relação às diferenças como clones, espécies, idades, ciclos de corte, origem, entre outras características, para que a qualidade final do produto celulose seja mantida.

Visando a redução da variabilidade do processo de produção de celulose, a busca por indivíduos com características homogêneas é constante em estudos nesta área. Para isso, são analisadas as propriedades anatômicas, químicas e físicas da madeira, o que permite a formação de grupos com indivíduos semelhantes, de forma que o processamento de forma conjunta destes seja passível de menor variabilidade.

A aplicação de técnicas de análise multivariada se destaca como uma ferramenta importante em estudos de divergência. Algumas destas técnicas permitem, a partir de análises das variáveis mensuradas nos indivíduos, identificar a semelhança entre os indivíduos, que geralmente são observadas a partir de distâncias de proximidade, e agrupá-los quanto suas similaridades.

Aliar a redução de custos obtida a partir da adoção do manejo de florestas para o múltiplo uso e a aplicação de técnicas que permitem selecionar indivíduos de menor variabilidade quanto as propriedades que os caracterizam, são alternativas de interesse econômico e também uma estratégia de flexibilidade de mercado diante das flutuações no preço especificado para o produto principal.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo geral

O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade da madeira da metade superior do tronco de árvores de 13 anos do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* visando a produção de celulose, por meio de sua comparação a madeira de árvores com cinco anos de plantios comerciais destinados a produção de celulose.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- Comparar a madeira da parte superior do tronco das árvores com 13 anos com a da madeira de clones comerciais quanto suas constituições anatômica e química, densidade básica e variáveis dendrométricas;
- Comparar a variação radial dos caracteres anatômicos e da densidade básica dos clones comerciais com a madeira da parte superior dos clones com 13 anos;
- Determinar o perfil longitudinal da densidade básica e comparar sua variabilidade entre a madeira da parte superior do tronco dos clones com 13 anos e a dos clones comerciais;
- Determinar o perfil radial da densidade aparente;
- Avaliar a dissimilaridade entre clones em função das variáveis estudadas;
- Identificar quais as propriedades da madeira foram mais influentes na distinção dos clones estudados;
- Agrupar os clones estudados quanto à similaridade das propriedades avaliadas da madeira.

## **CAPÍTULO I**

### **CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DA PARTE SUPERIOR DO TRONCO DE ÁRVORES DE EUCALIPTO**

## **Caracterização da madeira da parte superior do tronco de árvores de eucalipto**

### **RESUMO**

A madeira das árvores de eucalipto é largamente empregada como matéria-prima na produção de celulose. São observadas variações nas características destas madeiras em função das diferentes espécies e híbridos destas, e estas variações também são observadas de forma acentuada dentro de uma mesma espécie e até mesmo dentro de um mesmo indivíduo. O objetivo do presente capítulo foi caracterizar a madeira de árvores com cinco anos e da parte superior do tronco com árvores de 13 anos de eucalipto, quanto suas propriedades anatômicas, químicas e densidade básica e aparente, visando sua utilização como matéria-prima para celulose. Foram avaliadas quatro árvores de cada um dos nove clones, totalizando 36 árvores, das quais foram analisadas as propriedades da madeira. Dois dos clones foram procedentes de plantios com cinco anos, localizados no município de Aracruz no estado do Espírito Santo, destinados a produção exclusiva de celulose. Os sete demais clones foram originados de plantios com 13 anos, localizados em Alcobaça no estado da Bahia, destinados a produção conjunta de madeira serrada e celulose. Foi possível observar que a madeira da parte superior do tronco das árvores com 13 anos possui comportamento diferente da madeira de árvores com cinco anos. Foi evidente que a madeira da parte superior das árvores com 13 possui maior valor médio de volume de madeira, densidade básica e aparente, e menores teores de lignina total. A avaliação dos caracteres anatômicos não impactou na divergência entre as procedências da madeira, sendo observados padrões de variação radial destes caracteres semelhantes para ambas.

**Palavras-Chave:** Propriedades da madeira, celulose, qualidade, eucalipto.

## Characterization of wood from the upper trunk of eucalypt trees

### ABSTRACT

The wood of eucalypt trees is widely used as raw material for pulp. Variations are observed in the characteristics of these woods according to the different species and hybrids of these, and these variations are also markedly observed within the same species and even within the same individual. The objective of this chapter was to characterize the wood of five years old trees and the upper torso with 13 years of eucalypt trees, according their anatomical, chemical and basic and apparent density properties, aiming their use as raw material for pulp. Four trees of each of the nine clones were analyzed, in a total of 36 trees, which were evaluated the wood properties. Two of the clones were from plantations at five years age, located in the city of Aracruz in the State of Espírito Santo, for the exclusive production of cellulose. The seven other clones were sourced from plantations 13 years age, located in the city of Alcobaça in the State of Bahia, for the joint production of solid wood and pulp. It was observed that the behavior of wood of the upper trunk of the 13 age trees is different than the wood trees of five years. Was evident that the wood from the upper trunk of 13 years trees has higher average value of timber volume, basic and apparent density and lower levels of total lignin. Evaluation of anatomical characters did not impacted in the divergence between the provenances of wood, being observed patterns of radial variation of these characters similar to both.

**Key words:** Properties of wood, cellulose, quality, eucalypt.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui crescente utilização de madeiras originadas de florestas plantadas, sendo as espécies de eucalipto e pinus as de maior utilização. Segundo dados da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2013) a área ocupada por florestas de eucalipto e pinus no país, no ano de 2012, compreendeu 6,66 milhões de hectares, sendo 5,10 milhões (76,6%) destes referentes a florestas de eucalipto.

Diante do crescimento do setor florestal, novas técnicas são agregadas ao uso da madeira, possibilitando seu melhor aproveitamento quanto à qualidade do produto final e o rendimento do processo de beneficiamento. Um exemplo são os múltiplos produtos de madeira, que consistem na utilização de uma mesma floresta por diferentes segmentos industriais, dentre os principais os de serraria, celulose e energia. (CARVALHO, 2000).

É importante destacar que as florestas comerciais de múltiplo uso da madeira são uma alternativa de manejo que permite redução de custos, pois aumentam a rentabilidade por unidade de área, tendo como vantagem a diferenciação dos produtos florestais (FOREST BRAZIL, 2007).

O uso combinado de florestas para a produção de madeira serrada e polpa celulósica é uma das opções de uso múltiplo aplicadas as florestas comerciais. Neste contexto o uso da madeira pode ser realizado em função da avaliação das dimensões das toras obtidas no processamento das árvores. As toras com diâmetros na ponta fina (DPF) inferiores ao diâmetro mínimo aceito para o processamento de madeira serrada são destinadas a indústria de celulose e as toras com DPF acima dos valores mínimos enviadas para serraria.

Ainda que o uso múltiplo da madeira para obtenção de celulose e produtos sólidos implica que apenas a parte superior do tronco das árvores seja processada para a polpação, é necessário que o padrão de qualidade seja mantido, uma vez este setor possui grande influência no mercado financeiro do país.

O gênero *Eucalyptus* com suas espécies é de suma importância no atendimento da demanda de matéria-prima no setor de celulose e papel, porém a diversidade de espécies deste gênero e a facilidade de hibridação entre elas

colaboram para a variabilidade das propriedades observadas neste material (FOELKEL e BARRICHELO, 1975).

O uso das fibras da madeira de eucalipto é destaque no mercado papelero, perante aos altos índices de produtividade das florestas plantadas e a qualidade da madeira tanto para a produção de celulose quanto para a de papel, adicionados ao fato de que essas propriedades ainda são passíveis de melhorias a partir de melhoramento genético (FOELKEL, 2009b, 2013).

Gouvêa et al. (2009), destacaram que a qualidade da madeira é importante quando o objetivo é a produção de polpa celulósica e as variáveis relacionadas a este processo sofrem mudanças em função da matéria-prima. Os autores ainda destacaram que o desafio da indústria de celulose e papel é a seleção de material adequado ao seu produto.

Enfoques sobre a caracterização da madeira quanto ao seu uso final são importantes, pois permitem a formulação de hipóteses sobre o comportamento deste material em diferentes condições de processamento e qualidades necessárias ao produto final (BUSNARDO et al., 1983).

Para isso é necessário que sejam selecionadas árvores para a formação de florestas que proporcionarão uma condição homogênea quanto às suas características, a partir de seleções com características silviculturais desejáveis e também em função de análises tecnológicas da madeira que permitam a determinação de critérios de qualidade necessários ao seu emprego (GOMIDE; FANTUZZI NETO; LEITE, 2004).

Para a classificação de materiais de qualidade superior é necessário que sejam realizados estudos de caracterização da madeira para a produção de celulose quanto a sua constituição química, anatômica e sua densidade (GOMIDE; FANTUZZI NETO; LEITE, 2004). Porém, é necessário considerar as diferenças existentes na composição do lenho das árvores e até mesmo entre os tecidos que o constituem (TRUGILHO et al., 2007).

Enumerando as características mais desejáveis nas árvores e florestas de eucaliptos para a produção comercial de madeira, Foelkel (2013) destacou em primeiro lugar o volume comercial das árvores, em segundo o peso comercial da madeira nas árvores e em terceiro a porcentagem de casca nas árvores.

O volume de madeira é um índice tradicional para quantificar a produtividade florestal e a qualidade da madeira, porém, é importante conhecer a porcentagem de casca das árvores, para que estas não sejam consideradas de forma a superestimar a produtividade na análise dos fustes (OLIVEIRA et al., 1999).

Mauri (2010) ressaltou que quanto maior o percentual de alburno na madeira destinada a produção de celulose, melhor será a impregnação dos cavacos com os produtos químicos do cozimento e o processo de branqueamento da polpa celulósica será mais fácil. A autora comparando a madeira de alburno a de cerne destacou que as indústrias de celulose preferem menores porcentagens de cerne a de alburno, uma vez que o cerne possui baixa permeabilidade e alta presença de extrativos, o que influencia em maior consumo de químicos.

A composição anatômica da madeira também é um importante índice utilizado para a avaliação da qualidade da madeira na produção de polpa celulósica, pois as fibras, como elementos estruturais mais abundantes nas árvores de eucalipto, são os elementos mais desejados e também mais abundantes em qualquer polpa de celulose destinada à fabricação de celulose (FOELKEL, 2009a).

Foelkel e Barrichelo (1975) enfatizaram que as características das fibras exercem importante influência nas características que se desenvolverão durante o processo de refino, sendo as principais características influentes o tipo, tamanho e estrutura das fibras.

Fibras com paredes finas resultam em papéis com menor resistência ao estouro e a tração, mas com alta resistência ao rasgo, porém, papéis produzidos com fibras de paredes espessas, possuem alta resistência à dobra. O comprimento das fibras é outra característica que afeta as propriedades do papel, com a resistência ao rasgo sendo a propriedade mais afetada, em que geralmente, quanto maior o comprimento das fibras, maior será a resistência ao rasgo (SHMULSKY; JONES, 2011).

A constituição anatômica da madeira de eucalipto não é em sua totalidade apenas representada por fibras, que compreendem de 65 a 75% do volume destas madeiras, sendo o restante representado por elementos de vaso e as células parenquimáticas (FOELKEL, 2013).

A porosidade da madeira é muito importante no processo de polpação, pois os elementos de vaso representam uma das principais passagens pelas quais ocorre a impregnação dos cavacos pelo licor, mas para isso, é importante que estes não estejam obstruídos por tilas, gomas, resinas ou ainda óleo resinas (BURGER e RICHTER, 1991, FOELKEL, 2013).

Os diferentes tipos de células na madeira e as diferentes proporções nas quais estes se encontram, impactam a qualidade e o rendimento da polpa produzida. Em particular pode-se destacar a porção do volume desta ocupado pelos elementos de vaso, pois estes podem separar-se da superfície da folha acabada durante a impressão e tendem a ser propensos a quebrar durante a formação do papel (SHMULSKY; JONES, 2011).

A densidade básica da madeira é uma das principais características quando se pretende avaliar a qualidade da madeira, uma vez que está relacionada com muitos aspectos tecnológicos e econômicos. Na produção de celulose, a avaliação da densidade permite inferir no rendimento e qualidade da polpa, bem como uma série de propriedades do papel (PEREIRA et al, 2000, SHMULSKY; JONES, 2011).

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980) a densidade resulta da interação entre as propriedades químicas e anatômicas da madeira, variando em função de diferenças nas dimensões celulares, interações entre estes fatores e pelo teor de extrativos por unidade de volume no lenho.

Enfatizando sobre as variações nos sentidos radial e longitudinal da densidade no lenho das árvores, Rodrigues (2013) relatou sobre a técnica de densitometria de raios X como uma ferramenta precisa na obtenção dos perfis de variação radial da densidade nas árvores.

A aplicação da técnica de densitometria de raios X facilita a comparação do desenvolvimento da madeira entre diferentes árvores, a partir da observação dos perfis densitométricos, permitindo que sejam selecionados materiais mais uniformes (OLIVEIRA; HELLMEISTER, 1998).

A diferenciação, durante o crescimento da árvore, dos lenhos juvenil e adulto é um dos fatores relacionados às variações radiais observadas no lenho. As variações observadas entre os lenhos afetam diferentes processamentos da madeira, principalmente por meio das características anatômicas. Já as

propriedades químicas afetam a produção de celulose e papel, enquanto as observadas nas propriedades físicas e mecânicas influenciam nas decisões de produção de madeira serrada (VIDAURRE et al., 2011).

Associados a lignina e aos extrativos, os polissacarídeos, também denominados holocelulose, compreendem a composição química da madeira. A distribuição destes componentes nas espécies de madeira de folhosas comumente utilizadas na produção de celulose possuem percentuais variando de 39 a 45% de celulose, 20 a 25% de lignina e 2 a 4% de extrativos (Sjostrom; Westermarck, 1999; PEREIRA et al., 2000).

No processo de polpação, o objetivo da ação dos produtos químicos é a deslignificação da madeira, sendo altos teores de lignina considerados prejudiciais a este processamento. Nas operações de cozimento se objetiva remover a lignina tanto quanto possível, sem causar danos consideráveis às fibras (PEREIRA et al., 2000; FOELKEL, 2013 ).

No processo de conversão da madeira a celulose kraft, o teor de lignina está diretamente relacionado ao consumo de álcali, rendimento em celulose e na geração de sólidos no sistema de recuperação do licor (FOELKEL, 2013).

Os extrativos também são compostos indesejáveis na polpação, pois também estão relacionados a redução do rendimento em celulose e prejudicam a qualidade da polpa. A ação do processo kraft nos extrativos consiste em dissolvê-los no licor de cozimento, de forma que suas moléculas são destruídas ou saponificadas. A resistência a degradação destas moléculas causam problemas ao processo industrial, pois se transformam em sabões de cálcio, que também prejudicam a qualidade da celulose (PEREIRA et al., 2000; FOELKEL, 2013 ).

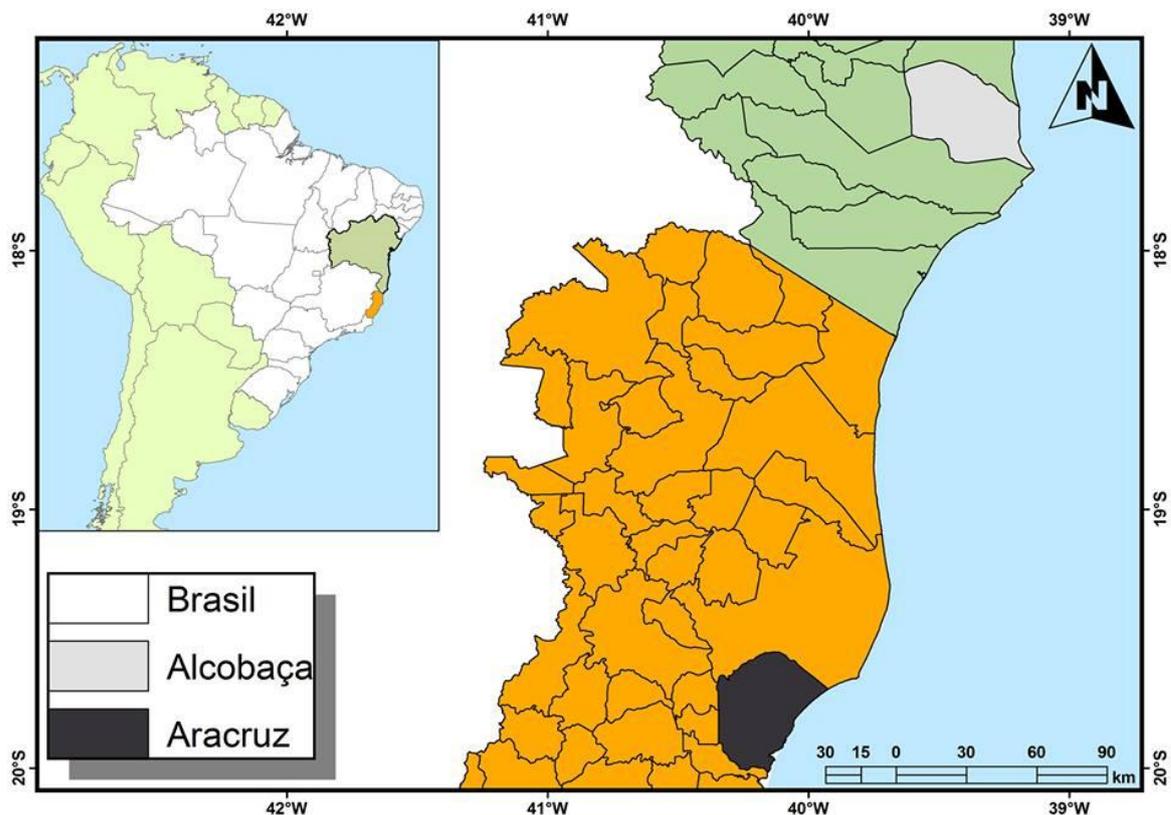
Diante do exposto, o estudo de caracterização da madeira é importante para identificar madeiras com a qualidade exigida no processo de produção de celulose. Este capítulo tem como objetivo comparar a madeira da parte superior do tronco das árvores de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com 13 anos e de árvores de clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com cinco anos, visando sua utilização na produção de polpa celulósica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA E MATERIAL DE ESTUDO

A madeira do estudo foi procedente de nove clones do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* provenientes de plantios da empresa Fíbria Celulose S.A.. Dois dos clones foram originados de plantios comerciais com cinco anos, designados clones 1 e 2, e os demais clones foram procedentes de um teste experimental com 13 anos e identificados com a nomenclatura de clone 3 a 9 (Figura 1).

Figura 1 – Localização dos plantios experimentais dos nove clones do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*. Fonte: O Autor.

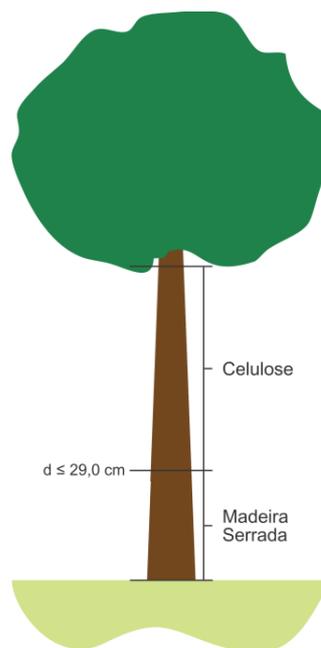


Os plantios comerciais com cinco anos foram instalados no ano de 2007 sob espaçamento 3 x 3 m, sendo o clone 1 em uma área de 1,58 ha e o clone 2 em uma área de 9,05 ha localizadas em Aracruz, litoral do estado do Espírito Santo. Já o plantio experimental com 13 anos foi instalado no ano de 2000 sob espaçamento

3 x 3 m em uma área de 10,16 ha localizada em Alcobaça, sul do estado da Bahia. Em ambos plantios não foi realizado desbaste ou poda ao longo dos anos.

Os dois clones comerciais (cinco anos) são utilizados em toda sua extensão comercial para a produção de celulose e os de plantios com 13 anos possuem sua extensão comercial subdividida em duas, com as toras da parte inferior do tronco (base) sendo processadas na serraria e as da parte superior (ponta) na produção de polpa celulósica. Uma vez que o diâmetro mínimo da ponta fina da tora aceito no processamento para obtenção de madeira serrada é de 29 cm, limita-se que a utilização das árvores seja realizada até este diâmetro para a produção de madeira serrada e a partir deste para a produção de celulose (Figura 2).

Figura 2 - Aproveitamento da árvore para a produção de madeira serrada e polpa celulósica. Fonte: O autor.



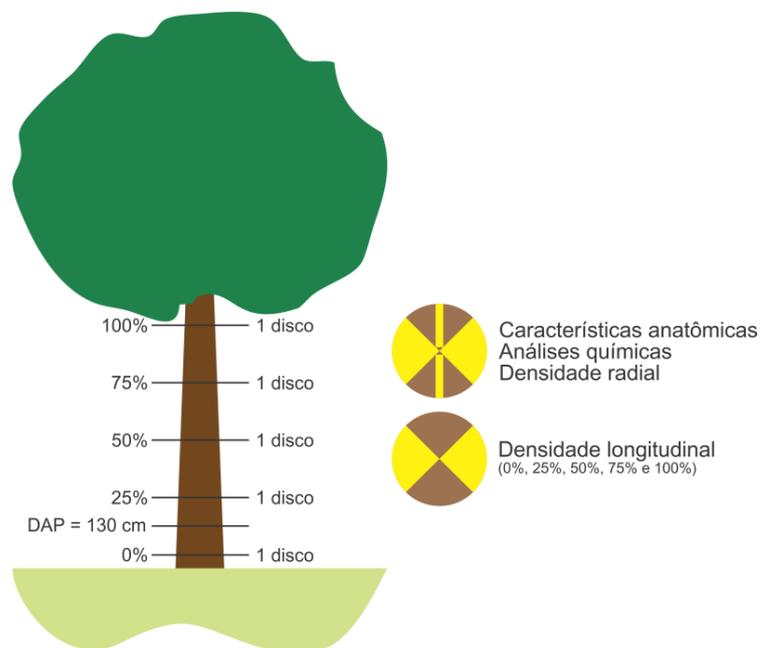
## 2.2. AMOSTRAGEM DA MADEIRA

A amostragem consistiu na retirada de discos ao longo do comprimento comercial destinado a produção de celulose das árvores, correspondendo a todo o

comprimento comercial das árvores provenientes de plantios com cinco anos e da parte superior das árvores dos plantios com 13 anos.

Das árvores provenientes dos plantios com cinco anos foi retirado o disco a altura do peito – DAP (1,30m) e mais cinco discos equidistantes ao longo da extensão do fuste (Figura 3). No disco do DAP foram retiradas duas cunhas opostas para a realização das análises químicas e duas baguetas radiais, uma para a avaliação da variação radial dos caracteres anatômicos e a outra para a da variação radial da densidade básica. Dos demais discos foram retiradas duas cunhas opostas para a avaliação da variação longitudinal da densidade básica.

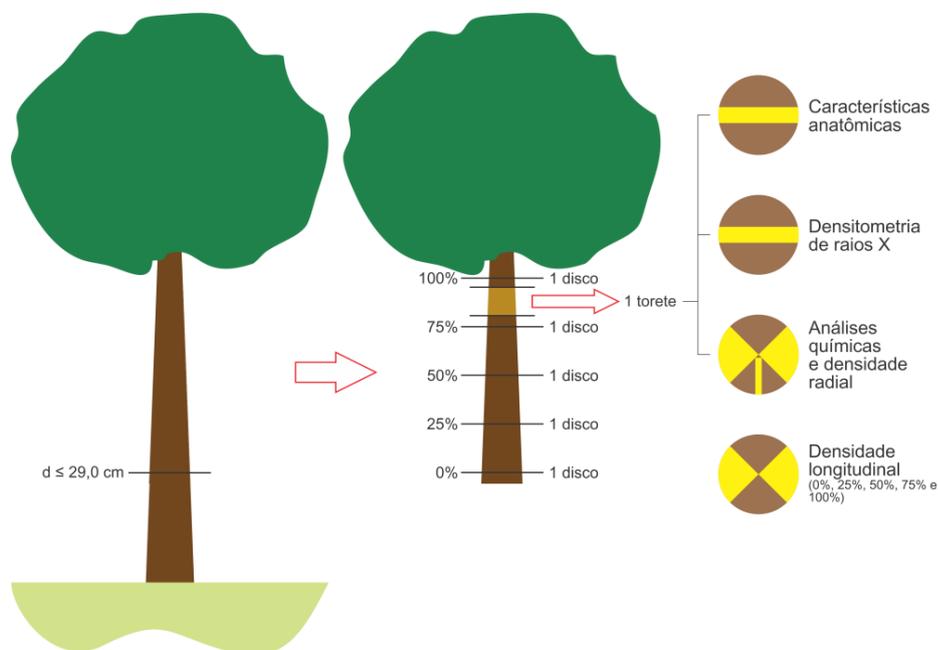
Figura 3 – Diagrama de amostragem para as árvores de *E. grandis* x *E. urophylla* com cinco anos de idade. Fonte: O autor.



A amostragem das árvores com 13 anos foi apenas realizada na parte superior do tronco, que é a destinada a produção de celulose, sendo esta considerada a extensão comercial. Assim como nas árvores de cinco anos, foram retirados cinco discos equidistantes ao longo da extensão comercial para produção de celulose (ponta), dos quais foram retiradas duas cunhas opostas para a avaliação da variação longitudinal da densidade básica.

Também foi amostrado um torete das árvores com 13 anos com dimensão equivalente ao DAP médio (15 cm) apresentado pelas árvores com cinco anos, do qual foram retirados três discos. Dos primeiro e segundo discos foi retirada uma bagueta diametral para a caracterização anatômica e para a realização da análise de densitometria de raios-X, respectivamente, e do terceiro disco, foram amostradas duas cunhas opostas para a realização das análises químicas e uma bagueta radial para a avaliação da variação radial da densidade básica. Na Figura 4 é ilustrado o diagrama de amostragem dos discos para as árvores com 13 anos.

Figura 4 – Diagrama de amostragem para as árvores de *E. grandis* x *E. urophylla* com 13 anos de idade. Fonte: O autor.



Para a avaliação da variação radial dos caracteres anatômicos e da densidade básica, nas árvores com 13 anos, foi amostrada uma bagueta radial do lado direito da amostra diametral obtida a partir dos primeiro e terceiro discos que foram retirados do torete e das árvores com cinco anos foi utilizada a uma bagueta radial retirada no disco do DAP. Foram amostrados quatro corpos de prova, com dimensões de 1,5 x 2,0 cm de seção transversal e 2,0 cm na direção longitudinal, retirados em posições equidistantes no sentido medula-casca (Figura 5).

Figura 5 - Esquema das posições 1, 2, 3 e 4 de retirada dos corpos de prova da bagueta para realização das análises de densidade básica e anatomia no sentido medula-casca. Fonte: O autor.

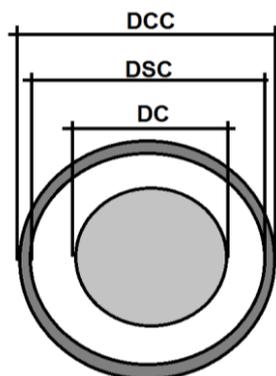


## 2.3. ANÁLISES EMPREGADAS

### 2.3.1. Caracterização dendrométrica das árvores

Para a determinação do volume de madeira e percentuais de casca, cerne e albúrnico foram realizadas mensurações, em todos os discos retirados das árvores, dos diâmetros com casca (DCC) e sem casca (DSC) e do diâmetro do cerne (DC) com auxílio de uma régua graduada (Figura 6), sendo mensurados também a altura total e o comprimento comercial de cada árvore.

Figura 6 – Medições realizadas para a determinação do volume de madeira e percentuais de casca, cerne e albúrnico. Fonte: O autor.



No cálculo da estimativa do volume de madeira e no percentual de casca, cerne e alburno, uma adaptação (Equação 1) da fórmula de Smalian foi utilizada (SOARES, PAULA NETO, SOUZA, 2006).

$$V = \sum \left( \frac{g_i + g_{i+1}}{2} l_i \right) \quad (1)$$

Em que:

V: Volume da seção considerada (m<sup>3</sup>);

$g_i$ : Área basal da ponta fina (m<sup>2</sup>);

$g_{i+1}$ : Área basal da ponta grossa (m<sup>2</sup>);

$l_i$ : Comprimento da seção (m).

### 2.3.2. Caracterização anatômica da madeira

O estudo microscópico da madeira foi realizado de acordo com as recomendações da Comissão Pan-americana de Normas Técnicas (COPANT, 1974).

Os corpos de prova retirados das baguetas amostradas foram confeccionados com as direções radial, tangencial e longitudinal perfeitamente orientadas. Depois de preparados, estes foram amolecidos em água à temperatura de ebulição, fixados no micrótomo de deslize para a realização dos cortes histológicos no plano transversal e posterior preparo das lâminas temporárias, utilizando a mistura de glicerina e água destilada na proporção de 1:1. As lâminas temporárias foram fotomicrografadas com o auxílio de uma câmera digital acoplada ao microscópio e as mensurações do diâmetro tangencial (µm) e frequência (nº/mm<sup>2</sup>) dos vasos foram realizadas por meio do *software* analisador de imagem *Axiovision 4.5*.

A dissociação dos elementos anatômicos para a mensuração das fibras foi realizada de acordo com o método proposto por Nicholls e Dadswell, descrito por Ramalho (1987). As amostras foram retiradas dos mesmos corpos de prova utilizados para a confecção dos cortes histológicos para as mensurações dos vasos,

sendo extraídos pequenos filetes de madeira que foram transferidos para frascos de 25 mL contendo solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio na proporção de 1:1.

Os frascos foram lacrados e dispostos em estufa a temperatura de 60°C durante o período de 48 horas. A solução foi lavada com água destilada e as fibras foram coloridas com safranina e preparadas lâminas histológicas utilizando a mistura de glicerina e água destilada na proporção de 1:1.

A mensuração do comprimento ( $\mu\text{m}$ ), largura ( $\mu\text{m}$ ) e o diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ ) das fibras foi realizada por meio de fotomicrografias, assim como para os vasos, com o auxílio do *software* analisador de imagem *Axiovision* 4.5. A espessura da parede das fibras foi obtida de forma indireta, por meio da diferença entre a largura da célula e o lume da célula, dividido por dois. A partir da mensuração das dimensões das fibras, os índices de qualidade da madeira para a produção de celulose apresentados por Burger e Richter (1991) foram calculados, sendo eles o Fator Runkel, Coeficiente de rigidez e o Coeficiente de flexibilidade de Petri.

### **2.3.3. Densidade básica da madeira**

A densidade básica foi determinada de acordo com o preconizado na Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003). As cunhas utilizadas para a determinação da variação da densidade no sentido longitudinal e os corpos de prova para a variação no sentido medula-casca foram imersos em água a fim de saturá-los e seu volume, na condição de saturados, foi medido por deslocamento de massa ou balança hidrostática. O material foi transferido para estufa de ventilação forçada a uma temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até massa constante para obtenção da massa seca e determinada densidade básica.

#### 2.3.4. Variação radial da densidade por densitometria de raios X

A obtenção do perfil da densidade aparente foi realizada, apenas para as árvores com 13 anos, a partir da metodologia descrita por Amaral e Tomazello Filho (1998) para a técnica de densitometria de raios-X.

Inicialmente os discos foram polidos com lixas de diferentes granulometrias para que possíveis alterações na madeira pudessem ser observadas e as amostras diametrais fossem retiradas livres de defeitos. As amostras foram retiradas com 1,0 cm de espessura na seção transversal do disco e 2,0 cm de altura, e posteriormente foram coladas em suporte de madeira para a obtenção dos corpos de prova.

Os corpos de prova foram retirados com espessura da seção transversal de 2,0 mm, com o auxílio de uma dupla serra circular paralela, e foram acondicionados em sala de climatização com condições de temperatura de 20°C e 60% de umidade relativa por um período de 12 horas.

A leitura dos corpos de prova foi realizada por um feixe colimado de raios X em intervalos de 40,0  $\mu\text{m}$ , sendo os valores de densidade aparente obtidos pelo *software* QMS, que transforma os valores de raios X que atravessaram as amostras em valores de densidade.

Também foram realizadas leituras nos corpos de prova em equipamento de raios X digital. As mesmas amostras climatizadas que foram submetidas a leitura pelos feixes colimados foram dispostas em equipamento de raios X digital e foram radiografadas, sendo geradas automaticamente imagens pelo computador.

As imagens geradas são em preto e branco, as quais estão relacionadas a densidade, de forma que a cor preta representa pontos da amostra com menores valores de densidade, enquanto que a cor branca está relacionada a altos valores de densidade.

### 2.3.5. Análise química da madeira

As cunhas amostradas para as análises químicas foram processadas e transformadas em serragem em moinho tipo *Wiley*, sendo selecionada para o estudo a serragem que passou pela peneira de 40 e que ficou retida na de 60 *mesh*, conforme a norma Technical Association of Pulp and Paper Industry – TAPPI 257 om-92 (1992).

A determinação dos extrativos foi realizada segundo a norma TAPPI 264 om-88 (1992), sendo selecionada uma amostra de dois gramas de serragem seca que foi submetida a três extrações em diferentes solventes. A primeira extração foi realizada com a mistura de álcool:tolueno na proporção 2:1 por cinco horas, posteriormente o material foi submetido à extração em álcool por quatro horas, e por último realizada a extração em água quente por uma hora. Finalizadas as extrações, o material foi levado a estufa e depois de seco sua massa foi determinada, sendo obtido o teor extrativos por diferença de massa.

O procedimento descrito por Gomide e Demuner (1986) foi utilizado para a determinação da lignina insolúvel, sendo empregados 0,03 g do material do qual foi realizada a remoção dos extrativos. O material foi transferido para um tubo de ensaio e foram adicionados 3 mL de ácido sulfúrico (72%), e o conjunto foi posto em banho maria na temperatura de  $30 \pm 0,2^\circ \text{C}$ , durante uma hora, sendo agitados com frequência. Cada amostra foi diluída em 84 mL de água destilada e transferida para um frasco hermeticamente fechado, que foi transferido para autoclave com água a  $118^\circ \text{C}$  no período de uma hora. Depois de retiradas da autoclave, as amostras foram filtradas em filtros de vidro sinterizados, nos quais foi disposta uma camada de óxido de alumínio em fibras para aumentar a qualidade da filtração, lavadas com água destilada e postas em estufa para a secagem. A diferença entre a massa após disposição em estufa do filtro com o óxido de alumínio antes e depois de filtrada a amostra foi utilizada para a determinação do teor de lignina insolúvel em ácido a 72%.

Para a determinação da fração solúvel da lignina o filtrado obtido foi diluído em um litro de água destilada e esta solução foi analisada em espectrofotômetro (GOLDSHIMID, 1971).

A fração total de lignina constitui a soma dos teores solúvel e insolúvel desta, e a porcentagem de holocelulose foi obtida por diferença em função dos valores de extrativos e lignina total.

### **2.3.6. Análise estatística dos dados**

O experimento foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizado (DIC), com nove tratamentos (clones) e quatro repetições (árvores) cada. Foi realizada a análise de variância, e quando os tratamentos foram significativos a 5% de significância, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Skott Knott também a 5%.

Para a avaliação da variação radial dos caracteres anatômicos e da densidade básica em cada clone, também foi realizada a análise de variância, porém, quando os tratamentos (posições radiais) foram significativos a 5% de significância, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey também a 5%.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA DAS ÁRVORES

Os valores médios obtidos na caracterização dendrométrica das árvores para as variáveis de altura total, comprimento comercial, DAP e volume de madeira encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios para as características dendrométricas das árvores dos clones com cinco anos e das árvores e parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*

Clone	Idade	Altura Total (m)	Comprimento Comercial (m) <sup>1</sup>	DAP (cm)	Volume de Madeira (m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>
1	5 anos	24,50 c*	21,93 b	15,68 c	0,208 d
		(1,79)**	(2,28)	(3,02)	(5,46)
2		20,28 d	17,55 c	15,81 c	0,170 d
		(0,93)	(0,23)	(5,74)	(9,11)
3	13 anos	37,53 b	21,08 b	32,56 b	0,413 c
		(4,67)	(6,15)	(4,27)	(14,46)
4		37,91 b	22,31 b	29,72 b	0,413 c
		(6,65)	(12,63)	(9,20)	(25,74)
5		40,97 a	25,39 a	37,83 a	0,620 a
		(2,67)	(5,62)	(9,35)	(18,87)
6		36,30 b	20,01 b	32,56 b	0,373 c
		(6,01)	(12,51)	(7,58)	(10,48)
7		41,31 a	25,16 a	34,30 a	0,648 a
	(3,61)	(5,73)	(2,41)	(14,37)	
8	41,99 a	26,39 a	35,79 a	0,695 a	
	(2,41)	(2,97)	(0,91)	(7,75)	
9	37,47 b	21,10 b	32,87 b	0,485 b	
	(5,11)	(11,29)	(6,30)	(24,87)	

<sup>1</sup> Para os clones de 3 a 9 as valores se referem a parte superior do tronco, destinada a polpação.

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ).

\*\* Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação (%).

Verificou-se que houve variação significativa entre os clones para todas as variáveis (Tabela 1), sendo os clones 5, 7 e 8 com os maiores valores médios para estas variáveis, enquanto os clones 1 e 2 com os menores valores.

Schneider e Schneider (2008) afirmaram que “o crescimento volumétrico é resultante da combinação do crescimento longitudinal e diametral” e ainda destacaram que em observação ao desenvolvimento individual de uma árvore, em maior parte, este é dependente do crescimento diametral.

A afirmação dos autores é aplicada aos valores observados para as variáveis dendrométricas e justifica a variação observada entre os volumes de madeira entre os clones com cinco e 13 anos. Observa-se que o comprimento comercial e o DAP médios das árvores com cinco anos são inferiores aos das árvores com 13 anos, e por consequência, resultaram em volumes de madeira inferiores, conforme esperado.

Ao estudar híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* aos sete anos, provenientes de plantios em Mogi-Guaçu - SP, para a produção conjunta de madeira serrada, celulose e lenha, Carvalho (2000) encontrou valores de DAP que compreenderam os observados para os clones 1 e 2, porém inferiores aos observados para os demais clones deste estudo, sendo esta divergência justificada em função da diferença entre a idade dos povoamentos.

Mesmo a porção das árvores dos clones com 13 anos utilizada ser referente a parte superior do tronco, os valores obtidos de volume de madeira foram próximos aos observados por Busnardo et al. (1983), avaliando um povoamento de *Eucalyptus saligna* com aproximadamente nove anos, que encontraram valores médios iguais a 25,2 cm para DAP, 26,3 m para comprimento comercial e volume de madeira de 0,617 m<sup>3</sup>.

Foelkel (2013) em um levantamento bibliográfico sobre a evolução dos povoamentos comerciais de florestas plantadas de *Eucalyptus* no Brasil, destacou que entre os anos de 1970 a 1980 o volume médio por árvores variava de 0,0833 a 0,1667 m<sup>3</sup>, enquanto que a partir do ano de 2010 até 2013 observam-se volumes variando de 0,1667 a 0,4000 m<sup>3</sup> em média. Verificou-se que os valores obtidos do volume de madeira para as árvores dos clones estudados se encontraram em

conformidade com os dados atuais e ainda, alguns clones, com valores superiores aos citados pelo autor.

Os valores percentuais médios de casca, cerne e albarno do fuste das árvores estudadas podem ser observados na Tabela 2 e sua distribuição gráfica em porcentagem está na Figura 7, em base volume.

Tabela 2 – Percentuais médios de casca, cerne e albarno das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*

Clone	Idade	Casca (%)	Cerne (%)	Albarno (%)
1	5 anos	11,07 a*	21,65 d	67,28 a
		(9,28)**	(33,54)	(10,68)
2		13,00 a	27,40 c	59,60 b
		(3,75)	(8,62)	(4,41)
3	13 anos	8,04 b	53,09 a	38,87 c
		(16,10)	(4,96)	(4,55)
4		8,53 b	55,73 a	35,74 c
		(6,29)	(6,99)	(10,55)
5		8,38 b	54,46 a	37,16 c
		(32,93)	(7,63)	(9,93)
6		13,28 a	44,94 b	41,78 c
		(10,16)	(3,40)	(5,55)
7		7,59 b	58,40 a	34,01 c
	(27,14)	(5,53)	(11,98)	
8	7,96 b	55,68 a	36,36 c	
	(16,86)	(2,59)	(4,47)	
9	8,05 b	54,59 a	37,36 c	
	(32,18)	(5,93)	(6,67)	

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ).

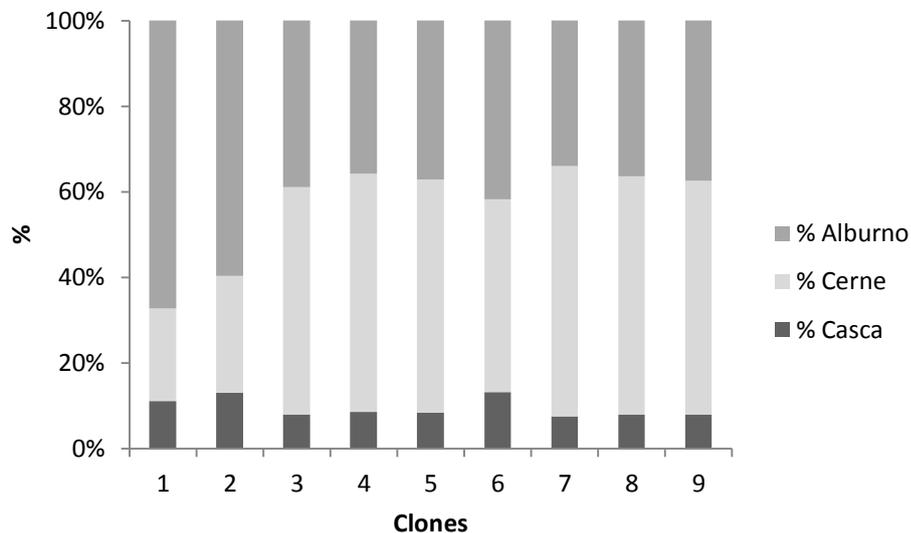
\*\* Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação (%).

De forma geral verificou-se menores tores de casca e albarno e maior teor de cerne na madeira da parte superior do tronco das árvores com 13 anos comparadas às árvores de cinco anos.

O maior teor de casca foi encontrado no clone 6, porém não houve diferença significativa entre este clone e os clones 1 e 2. Já os demais clones não possuem variação entre eles e compreenderam um grupo com menor teor de casca.

Assim como no comportamento para o teor de casca, não houve divergência entre os clones 3, 4, 5, 7, 8 e 9 quanto aos teores de cerne e alburno. O teor de cerne do clone 6 foi superior aos clones 1 e 2, e, em consequência ao mesmo percentual de casca associado ao maior teor de cerne, o clone 6 possui teor de alburno inferior a estes clones.

Figura 7 – Percentual médio de casca, cerne e alburno das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*. Fonte: O autor.



As árvores mais jovens, representadas pelos clones comerciais 1 e 2 com cinco anos, possuem menor percentual de cerne do que de alburno e, de forma inversa, a parte superior do tronco das árvores com 13 anos possui maior percentual de cerne. A maior presença de cerne na parte superior das árvores com 13 anos está associada a idade das árvores contribuir para alterações na madeira, como o aumento da relação cerne-alburno (GONÇALVES et al., 2010)

Os resultados observados para os teores de casca, cerne e alburno para as árvores de cinco anos foram consistentes com os observados em literatura para clones do mesmo híbrido com idades entre cinco e seis anos (DUARTE, 2007; MAURI, 2010; SÃO TEAGO, 2012).

Comparados aos valores encontrados por Oliveira et al. (1999) para porcentagem de casca, a parte superior das árvores com 13 anos apresentou menores valores. Estudando as espécies de *Corymbia citriodora*, *E. tereticornis*, *E. paniculata*, *E. pilularis*, *E. cloeziana*, *E. urophylla* e *E. grandis* com idade média de 16 anos, os autores observaram teores de casca variando de 10,82% a 21,51%.

A formação do cerne está associada ao acúmulo de produtos fotossintetizados nos tecidos mais internos do tronco, tornando este menos permeável que o alburno e com elevado teor de extrativos concentrados nessa região. A impregnação da madeira com produtos químicos e a ação destes no processamento da madeira são dificultados no cerne, evidenciando que a madeira da parte superior do tronco das árvores com 13 anos poderá apresentar maior dificuldade no processo de cozimento que a das árvores com cinco anos, uma vez que apresentaram maior proporção de cerne do que alburno (BURGER; RICHTER, 1991; JÓIA et al., 2006).

### 3.2. ANÁLISE ANATÔMICA DA MADEIRA

#### 3.2.1. Frequência e diâmetro dos vasos

A variação nas quatro posições radiais da frequência e do diâmetro dos vasos, assim como sua média, está apresentada na Tabela 3. Foi verificada a existência significativa de divergência entre os valores médios destas duas variáveis entre clones e entre as posições radiais de um mesmo clone. O comportamento radial destas variáveis também foi apresentado graficamente nas Figuras 8 e 9 para a frequência e o diâmetro, respectivamente.

O maior valor médio de frequência dos vasos foi observado para o clone 2, seguido clone 1, sendo observado para estes clones os menores valores de diâmetro tangencial dos vasos. Já nos clones com 13 anos o comportamento foi inverso, com valores médios de frequência menores e maiores dimensões de diâmetro.

Tabela 3 – Variação radial da frequência ( $n^{\circ}.\text{mm}^{-2}$ ) e do diâmetro ( $\mu\text{m}$ ) dos vasos da madeira e suas médias das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*

Clone	Idade	Frequência vascular ( $n^{\circ}.\text{mm}^{-2}$ )					Diâmetro vascular ( $\mu\text{m}$ )				
		Posição radial				Média	Posição radial				Média
		1	2	3	4		1	2	3	4	
1	5 anos	17 a*	10 b	8 c	8 c	11 B**	83,5 c	114,5 b	122, 3 ab	125,0 a	111,3 D
		(22,83)***	(24,04)	(23,74)	(21,65)	(42,41)	(27,96)	(24,94)	(25,89)	(24,36)	(29,61)
2	5 anos	20 a	13 b	10 c	8 d	13 A	68,78 b	85,8 b	112,9 a	110,9 a	94,6 E
		(20,93)	(22,65)	(21,03)	(24,48)	(42,17)	(28,44)	(29,87)	(83,75)	(25,46)	(57,97)
3	13 anos	11 a	8 b	8 b	6 c	8 D	93,3 c	117,9 b	131,4 b	164,4 a	126,8 B
		(23,93)	(25,25)	(44,32)	(27,77)	(37,96)	(31,71)	(30,21)	(38,24)	(27,57)	(38,10)
4	13 anos	16 a	9 b	9 b	6,22 c	10 B	91,0 c	121,7 b	133,3 b	165,0 a	127,7 B
		(28,57)	(40,03)	(29,82)	(26,51)	(47,36)	(30,07)	(35,80)	(31,50)	(28,17)	(38,51)
5	13 anos	12 a	7 b	7 bc	6,2 c	8 D	84,4 c	121,5 b	156,1 a	163,6 a	131,4 B
		(30,05)	(35,27)	(20,33)	(22,79)	(41,05)	(31,86)	(30,49)	(29,91)	(27,71)	(38,49)
6	13 anos	12 a	6 b	5 c	5,1 c	7 F	79,9 d	119,6 c	134,6 b	153,7 a	121,9 C
		(25,03)	(26,31)	(34,73)	(30,47)	(46,54)	(33,59)	(32,68)	(32,02)	(31,92)	(39,77)
7	13 anos	13 a	8 b	7 bc	6,4 c	8 D	83,7 c	125,4 b	148,2 a	161,9 a	129,8 B
		(27,49)	(26,53)	(23,83)	(23,17)	(42,00)	(37,79)	(33,39)	(27,02)	(28,42)	(38,42)
8	13 anos	16 a	9 b	8 bc	6,2 c	10 C	72,5 c	112,9 b	137,3 a	148,3 a	117,8 C
		(48,36)	(19,54)	(24,24)	(25,00)	(56,51)	(40,28)	(38,96)	(32,24)	(31,51)	(43,59)
9	13 anos	13 a	7 b	6 c	5,3 c	8 E	91,6 c	138,2 b	158,7 a	169,4 a	139,5 A
		(34,42)	(24,58)	(24,96)	(21,72)	(52,45)	(36,28)	(31,38)	(28,41)	(29,64)	(37,69)

\* Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

\*\* Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ).

\*\*\* Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação (%).

Figura 8 – Variação radial da frequência dos vasos ( $n^0 \cdot mm^{-2}$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*. Fonte: O autor.

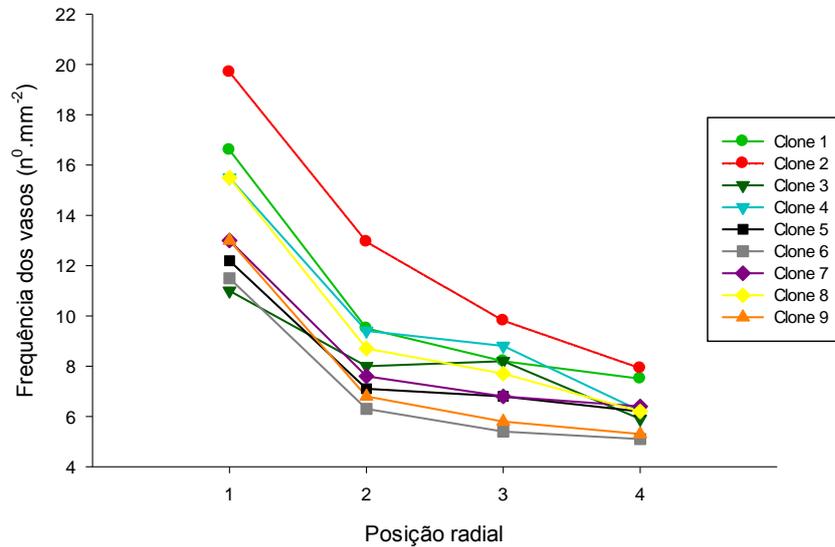
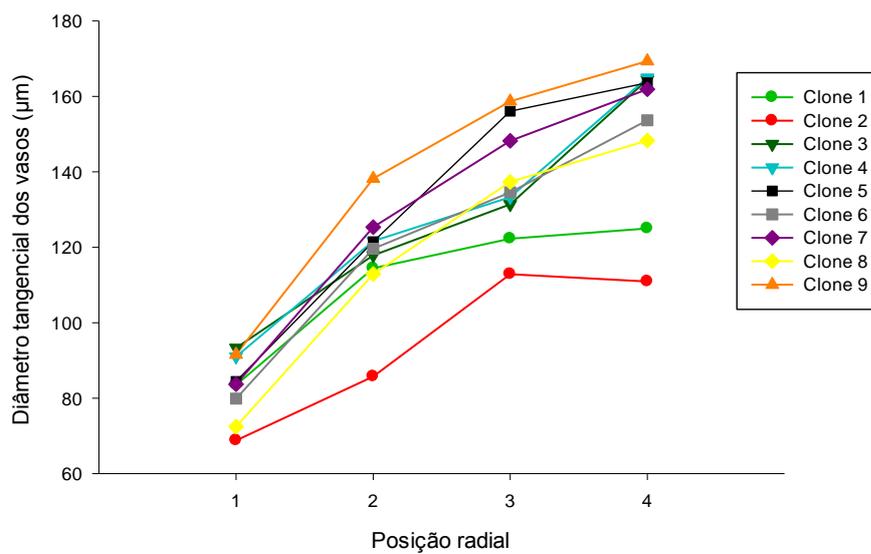


Figura 9 – Variação radial do diâmetro dos vasos ( $\mu m$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*. Fonte: O autor.



Aspectos anatômicos como a frequência e diâmetro dos vasos podem impactar a permeabilidade da madeira, assim como a obstrução ou desobstrução destes elementos anatômicos por depósitos de substâncias de diferentes naturezas (BURGER e RICHTER, 1991; ZENID, 2007). Diante do exposto, mesmo existindo divergência na frequência e no diâmetro vascular entre os nove clones avaliados, sugere-se que a permeabilidade entre eles não sofra variação em função destes caracteres, uma vez que a redução da frequência está associada ao aumento do diâmetro, de forma a não impactar a permeabilidade.

Leite (2010) avaliando clones de *E. grandis* x *E. urophylla* com aproximadamente três anos, verificou valores inferiores de diâmetro vascular para estes clones plantados no estado do Espírito Santo (82,7 a 88,6 $\mu\text{m}$ ) e no estado da Bahia (86,1 a 101,6  $\mu\text{m}$ ), já para a frequência foram observados semelhantes no Espírito Santo (9,2 a 11,7  $\text{n}^\circ.\text{mm}^{-2}$ ) e superiores na Bahia (11,3 a 16,5  $\text{n}^\circ.\text{mm}^{-2}$ ).

Foi possível verificar que a distribuição do diâmetro dos vasos entre clones e entre posições possui menor variabilidade, mesmo diante da divergência significativa observada entre eles, quando comparada à distribuição entre os clones e posições para a frequência vascular.

Os valores de frequência dos vasos reduziram com a proximidade à casca e para o diâmetro vascular, de forma inversa, aumento deste com o distanciamento da medula, sendo estes comportamentos equivalentes aos observados por outros autores (LEITE, 2013; RODRIGUES, 2013; SÃO TEAGO, 2012).

### **3.2.2. Dimensões das fibras**

As dimensões médias de largura e diâmetro do lume das fibras estão na Tabela 4, assim como sua variação radial, na Tabela 5 está a média e a variação radial da espessura da parede e do comprimento das fibras.

Tabela 4 – Variação radial da largura e diâmetro do lume das fibras ( $\mu\text{m}$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*

Clone	Idade	Largura da fibra ( $\mu\text{m}$ )					Diâmetro de lume ( $\mu\text{m}$ )				
		Posição radial				Média	Posição radial				Média
		1	2	3	4		1	2	3	4	
1	5 anos	20,8 a*	21,7 a	20,9 a	21,8 a	21,2 B**	12,6 a	13,1 a	12,3 a	12,13 a	12,5 A
		(13,94)***	(16,56)	(16,67)	(17,81)	(16,32)	(24,03)	(25,83)	(24,78)	(29,81)	(26,37)
2	5 anos	18,5 a	19,5 a	19,5 a	19,6 a	19,3 D	9,6 a	9,8 a	9,3 a	7,69 b	9,1 C
		(15,40)	(15,10)	(17,68)	(16,46)	(16,40)	(30,48)	(31,52)	(29,26)	(36,49)	(33,02)
3	13 anos	18,8 b	20,1 a	19,6 ab	20,4 a	19,7 C	10,1 a	10,6 a	8,5 b	7,83 b	9,3 C
		(15,37)	(15,61)	(15,84)	(14,90)	(15,68)	(23,29)	(27,24)	(30,09)	(32,72)	(30,59)
4		17,3 c	18,4 bc	18,6 b	20,8 a	18,8 E	8,2 a	8,1 a	6,5 b	6,74 b	7,4 E
		(13,72)	(18,34)	(19,64)	(16,20)	(18,36)	(24,06)	(36,66)	(42,51)	(35,93)	(36,04)
5		17,8 b	18,3 ab	18,3 ab	19,3 a	18,4 E	9,5 a	8,7 a	7,4 b	7,59 b	8,3 D
		(16,74)	(17,84)	(18,70)	(17,28)	(17,62)	(28,60)	(32,31)	(33,01)	(30,80)	(32,82)
6		18,6 b	18,4 b	20,2 a	20,1 a	19,3 D	9,2 a	8,2 b	7,9 bc	7,00 c	8,1 D
		(15,42)	(15,43)	(18,96)	(16,50)	(17,28)	(32,37)	(27,97)	(35,63)	(37,83)	(34,72)
7		20,0 a	19,9 a	20,2 a	20,4 a	20,1 C	10,8 a	10,3 ab	9,4 b	7,39 c	9,5 C
	(14,42)	(13,27)	(15,08)	(15,92)	(14,68)	(25,33)	(22,45)	(31,37)	(40,71)	(32,24)	
8	20,0 a	20,1 a	20,0 a	19,7 a	19,9 C	11,0 a	10,0 a	9,0 b	8,07 b	9,5 C	
	(13,90)	(16,58)	(16,81)	(15,67)	(15,77)	(25,56)	(31,62)	(29,75)	(31,76)	(31,62)	
9	20,7 b	22,2 a	22,7 a	22,2 a	22,0 A	12,5 a	12,7 a	11,1 b	10,06 b	11,6 B	
	(14,55)	(14,91)	(13,02)	(15,79)	(14,84)	(21,40)	(20,27)	(29,69)	(28,33)	(26,45)	

\* Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

\*\* Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ).

\*\*\* Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação (%).

Tabela 5 – Variação radial da espessura da parede e comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*

Clone	Idade	Espessura da parede ( $\mu\text{m}$ )					Comprimento ( $\mu\text{m}$ )				
		Posição radial				Média	Posição radial				Média
		1	2	3	4		1	2	3	4	
1	5 anos	4,1 b*	4,3 ab	4,3 b	4,6 a	4,3 D**	923,9 c	1009,3 c	1084,0 b	1151,4 a	1042,2 B
		(24,05)***	(20,73)	(21,89)	(22,46)	(22,67)	(15,07)	(14,44)	(14,47)	(16,27)	(17,20)
2	5 anos	4,4 c	4,8 bc	5,1 b	6,0 a	5,1 C	974,9 c	1049,6 b	1086,4 ab	1146,3 a	1064,3 B
		(17,67)	(18,79)	(20,61)	(19,55)	(22,49)	(16,66)	(16,00)	(15,59)	(15,58)	(16,85)
3	13 anos	4,4 c	4,8 c	5,5 b	6,3 a	5,2 B	833,5 d	973,4 c	1062,2 b	1155,0 a	1006,0 C
		(21,04)	(20,92)	(19,38)	(18,51)	(24,40)	(16,84)	(15,61)	(16,34)	(17,01)	(20,33)
4		4,6 d	5,1 c	6,0 b	7,0 a	5,7 A	878,2 d	1063,8 c	1184,0 b	1273,8 a	1110,0 A
		(18,35)	(18,67)	(25,45)	(21,27)	(27,34)	(17,62)	(17,36)	(17,22)	(15,45)	(21,49)
5		4,1 d	4,8 c	5,5 b	5,9 a	5,1 C	853,6 c	995,0 b	1149,3 a	1175,8 a	1040,4 B
		(20,85)	(17,58)	(22,77)	(20,96)	(24,74)	(16,34)	(15,56)	(15,92)	(16,57)	(20,20)
6		4,7 b	5,1 b	6,2 a	6,6 a	5,6 A	863,7 d	974,9 c	1143,3 b	1266,2 a	1062,0 B
		(25,82)	(24,73)	(27,96)	(24,75)	(29,43)	(15,31)	(16,62)	(16,41)	(15,43)	(21,66)
7		4,6 c	4,8 c	5,4 b	6,5 a	5,3 B	884,0 d	1024,9 c	1096,7 b	1192,2 a	1049,4 B
	(19,74)	(19,00)	(9,77)	(22,34)	(24,97)	(14,87)	(16,46)	(14,08)	(17,18)	(19,17)	
8	4,5 c	5,1 b	5,5 a	5,8 a	5,2 B	837,8 d	1071,8 c	1201,4 b	1282,3 a	1098,3 A	
	(18,16)	(17,54)	(19,15)	(16,46)	(20,09)	(19,22)	(16,46)	(16,33)	(16,31)	(22,80)	
9	4,1 c	4,8 b	5,3 a	6,1 a	5,2 B	878,5 d	1007,2 c	1110,4 b	1208,7 a	1048,1 B	
	(20,85)	(19,49)	(22,12)	(22,17)	(26,48)	(14,86)	(14,90)	(15,52)	(13,69)	(19,49)	

\* Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

\*\* Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ).

\*\*\* Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação (%).

Como visualizado para os clones 1 e 9, as fibras mais largas possuem maior diâmetro de lume e, para os demais clones, valores inferiores de largura de fibra foram coincidentes a menores larguras de lume, indicando que houve um padrão de associação entre estes parâmetros.

Os maiores valores de espessura de parede das fibras foram observados para a madeira da parte superior do tronco das árvores com 13 anos, porém, quanto ao comprimento destas células foi observada pouca variabilidade entre clones.

Ferreira et al. (2006) estudando *E. grandis* x *E. urophylla* de plantios de sementes híbridas, originados de um pomar com nove anos da antiga empresa Aracruz S.A., verificaram largura da fibra variando de 21,2 a 21,8  $\mu\text{m}$ , , lume de 11,8 a 12,2  $\mu\text{m}$ , parede de 4,7 a 4,8  $\mu\text{m}$  e comprimento de 990 a 1050  $\mu\text{m}$ , sendo os valores de largura e diâmetro do lume em média superiores aos obtidos para os nove clones deste estudo e os de espessura da parede e comprimento inferiores.

Avaliando clones de *E. grandis* x *E. urophylla* selecionados como os de melhor qualidade tecnológica de sete empresas nacionais produtoras de celulose Gomide et al. (2005) observaram comprimento de fibra variando de 960 a 1070 $\mu\text{m}$ , largura de 17,3 a 19,2  $\mu\text{m}$ , lume 7,5 a 9,0  $\mu\text{m}$  e espessura da parede de 4,6 a 5,0  $\mu\text{m}$ .

Silva (2002) avaliando a madeira de *E. grandis* provenientes de plantios comerciais localizados no município de Telêmaco Borba no Paraná em diferentes idades, obteve para as idades de 14 e 20 anos valores superiores de largura, diâmetro do lume e comprimento da fibra, porém em ambas as idades os valores observados pelo autor foram inferiores aos da espessura da parede para os nove clones avaliados neste estudo.

Estudando a valorização da madeira de árvores com sete anos do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* por meio da produção conjunta de madeira serrada, celulose e lenha, Carvalho (2000) observou valores médios de comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras iguais a 1070 $\mu\text{m}$ , 17,48 $\mu\text{m}$ , 8,49 $\mu\text{m}$  e 4,49 $\mu\text{m}$ , respectivamente.

Barrichelo e Brito (1976) destacaram que em geral o comprimento das fibras de eucalipto varia de 750 a 1300 $\mu\text{m}$ , com valores médios em torno de 1000  $\mu\text{m}$ , e

para a largura das fibras dimensões variando geralmente de 15 a 20 $\mu\text{m}$ , sendo os valores semelhantes aos observados para os nove clones avaliados neste estudo.

A variação radial dos caracteres mensurados para as fibras da madeira dos nove clones avaliados neste estudo é apresentada nas Figuras 10, 11, 12 e 13 para a largura, diâmetro do lume, espessura da parede e comprimento da fibra, respectivamente.

Não houve constatação de um padrão para o comportamento da largura das fibras na direção radial, mas para o diâmetro do lume verificou-se a tendência de redução desta dimensão com a proximidade a casca. A espessura da parede e o comprimento das fibras possuem padrão coincidente entre eles e inverso ao diâmetro do lume, com aumento destas dimensões aproximando-se a casca. Tomazello Filho (1985) destacou que este modelo de variação para o comprimento das fibras é o mais comumente encontrado para as espécies de eucalipto.

Figura 10 – Variação radial da largura das fibras ( $\mu\text{m}$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*. Fonte: O autor.

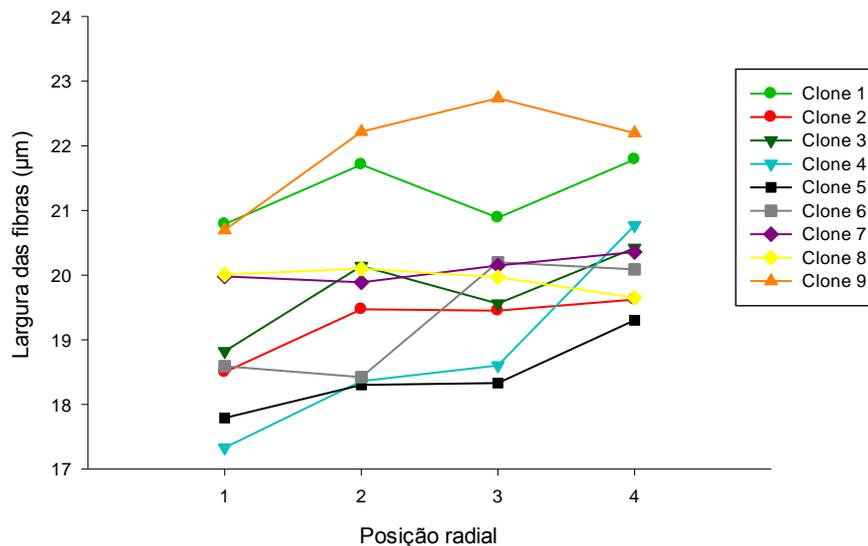


Figura 11 – Variação radial do diâmetro do lume das fibras ( $\mu\text{m}$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*. Fonte: O autor.

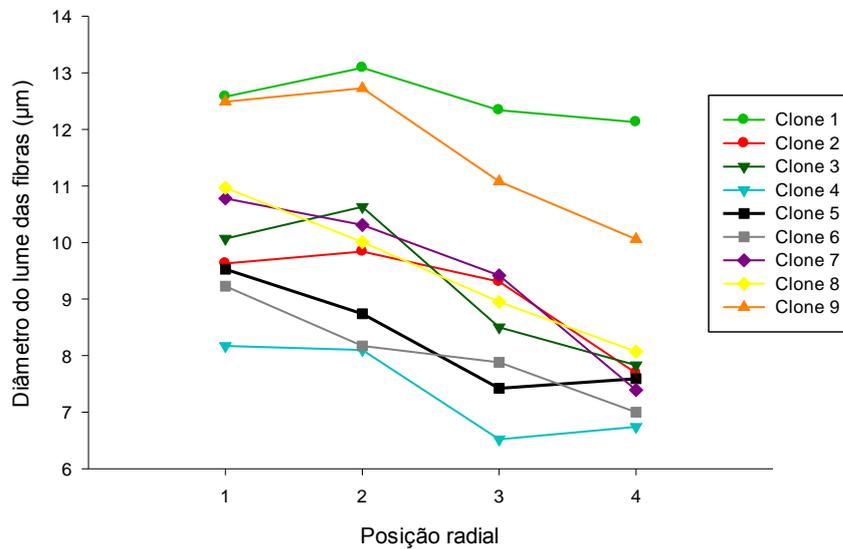


Figura 12 – Variação radial da espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*. Fonte: O autor.

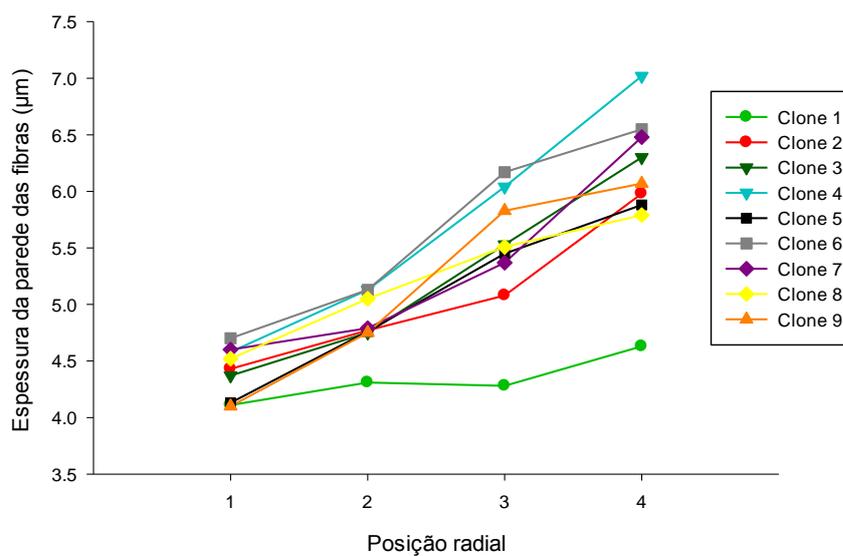
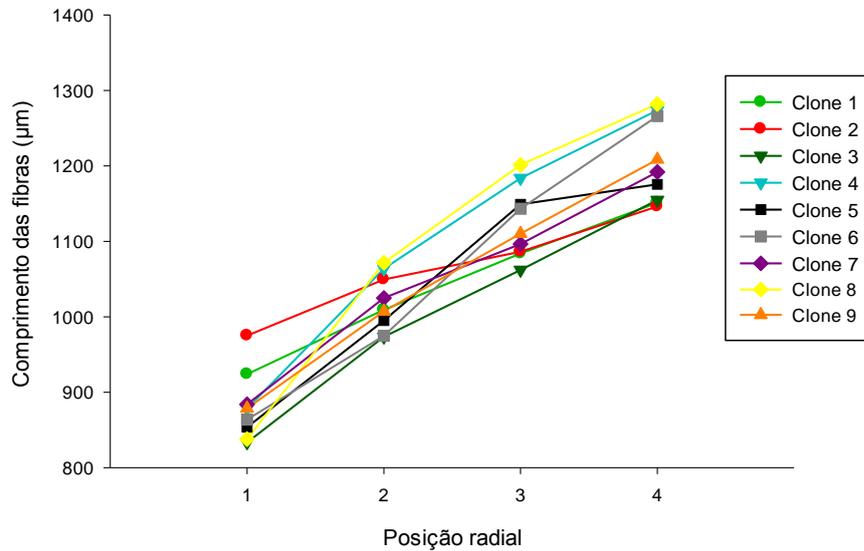


Figura 13 – Variação radial do comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*. Fonte: O autor.



Os índices indicativos, Fator Runkel (R), Coeficiente de Rigidez (CR%) e Coeficiente de Flexibilidade de Petri (P), de qualidade da madeira para obtenção de polpa celulósica a partir das análises realizadas entre as relações das dimensões das fibras estão na Tabela 6.

De maneira geral, foram verificados menores valores de R para as madeiras dos clones de plantios comerciais, sendo estes valores associados as fibras de paredes mais finas observadas também para estes clones. Burger e Richter (1991) destacaram que quanto maior o R, menos adequada é a madeira para a fabricação de papel e indicaram que valores ideais são os menores que um. Para o clone 1 foi observado o menor valor de R, sendo este o único clone com resultado inferior a um, assim para a produção de papel este seria o mais indicado.

Já para o CR%, o clone 1 foi o com maior valor observado comparado aos demais. Quanto maior o CR% maior será o colapso e melhor será o achatamento das fibras, de forma que altos valores indicam a presença de fibras de paredes finas (Burger; Richter, 1991).

Tabela 6 – Índices de qualidade das fibras da madeira das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*

Clone	Idade	Fator Runkel (R)	Coefficiente de Rigidez (CR %)	Coefficiente de Flexibilidade de Petri (P)
1	5 anos	0,8 f*	58,6 a	50,3 d
		(41,44)**	(16,64)	(22,71)
2		1,3 d	46,8 c	56,7 b
		(53,13)	(23,50)	(23,71)
3	13 anos	1,3 d	46,7 c	52,2 c
		(49,07)	(23,48)	(25,51)
4		1,8 a	39,5 f	60,4 a
		(59,35)	(32,02)	(29,46)
5		1,4 c	44,8 d	58,1 b
		(47,40)	(24,50)	(26,49)
6		1,6 b	41,5 e	56,4 b
		(53,04)	(27,62)	(28,87)
7		1,4 c	46,8 c	53,4 c
	(66,04)	(25,86)	(24,48)	
8	1,3 d	47,0 c	56,5 b	
	(47,59)	(22,04)	(28,38)	
9	1,0 e	52,7 b	48,6 d	
	(58,75)	(20,58)	(23,45)	

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ).

\*\* Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação (%).

O clone 4 possui o maior valor de P, sendo este índice de influência nas propriedades de resistência a tração e ao arrebentamento dos papéis, sendo desejável maiores valores deste índice para o aumento destas propriedades (MAURI, 2010).

Carvalho (2000) obteve na porção da madeira destinada a produção de celulose, de *E. grandis* x *E. urophylla* aos sete anos, Fator Runkel e Coeficiente de Flexibilidade semelhante aos observados neste estudo, com R igual a 1,06 e P igual a 51,13.

Já Leite (2010) e Mauri (2010) obtiveram para a madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* menores resultados de R, com os valores de CR e P semelhantes aos nove clones avaliados. No estudo de Leite (2010) para as árvores com

aproximadamente 3 anos no estado do Espírito Santo foram observados variações de R de 0,66 a 0,91, CR% de 52,44 a 60,14% e P de 43,63 a 48,16, e na Bahia variações de R de 0,83 a 0,92, CR% de 51,97 a 54,78 e P de 42,61 a 45,54. Mauri (2010) avaliando dois clones com aproximadamente seis anos em duas condições topográficas de dois Municípios do estado de Minas Gerais, obteve R compreendendo o intervalo de 0,68 a 0,79, CR% de 58,0 a 61,0% e P de 53,01 a 57,53.

### 3.3. MASSA ESPECÍFICA APARENTE

#### 3.3.1. Densidade básica

Os valores de densidade básica da madeira obtidos por meio da ponderação da variação longitudinal ao longo do segmento comercial dos fustes das árvores para os nove clones está na Tabela 7.

Foram observadas divergências significativas entre os clones avaliados, em que o maior valor de densidade básica foi observado para os clones 4 e 6. De forma geral, nos clones comerciais com cinco anos verificou-se menores valores de densidade que na madeira da parte superior dos clones com treze anos. As árvores do clone 1 foram as que apresentaram menor valor médio de densidade básica, já no clone 2 observaram-se valores de densidade superiores aos verificados para os clones 3 e 9.

O maior valor de comprimento de fibra observado para o clone 4 foi equivalente a associação de Foelkel, Mora e Menochelli (1990) desta característica a densidade, em que maiores valores de densidade estão relacionados a maiores comprimentos de fibra para uma mesma espécie.

Alencar, Barrichelo e Silva Júnior (2002) também destacaram que o aumento da densidade básica está associado principalmente com ao aumento da espessura da parede da fibra, o que foi observado para os clones 4 e 6, com maiores espessuras de parede das fibras entre os nove clones avaliados. Já os clones 1 e 2, sendo os que apresentaram menor espessura de parede, estão associados aos

menores valores de densidade básica e também apresentaram comportamento equivalente ao destacado pelos autores.

Tabela 7 – Densidade básica média, ponderada pelo volume dos segmentos do fuste, da madeira das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*

Clone	Idade	Densidade básica (g.cm <sup>-3</sup> )
1	5 anos	0,44 e* (0,57)**
2		0,55 c (2,26)
3	13 anos	0,51 d (2,59)
4		0,64 a (2,64)
5		0,60 b (3,11)
6		0,64 a (1,61)
7		0,56 c (1,20)
8		0,55 c (1,98)
9		0,50 d (1,66)

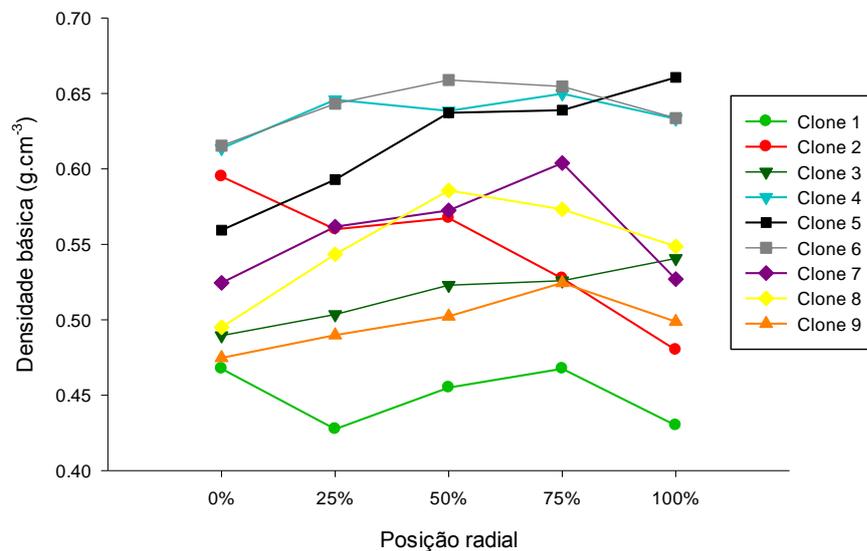
\* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ).

\*\* Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação (%).

Foelkel (2013) em seu levantamento bibliográfico sobre índices referentes a densidade básica da madeira, considerou os valores médios desta propriedade para a produção de celulose variando de 0,43 a 0,53 g.cm<sup>-3</sup>, valores menores que 0,45 g.cm<sup>-3</sup> são considerados baixos e os superiores a 0,54 g.cm<sup>-3</sup> são considerados altos. Diante do exposto, verificou-se que os valores observados para a densidade básica da madeira dos nove clones variam de médios a altos, sendo estes valores equivalentes aos encontrados por diversos autores (BUSNARDO et al., 1983; GOMIDE et al., 2005; FERREIRA et al., 2006; SANSÍGOLO; RAMOS, 2011; SÃO TEAGO, 2012; RODRIGUES, 2013).

Na Figura 14 é ilustrado o comportamento da variação da densidade básica no sentido longitudinal, sendo verificada a divergência entre os clones assim como observado para os valores médios ponderados (Tabela 7). Em toda a extensão comercial do clone 1 foram observados valores inferiores de densidade básica, comparados aos demais clones, sendo destacado também o posicionamento dos clones 4 e 6 na parte superior do gráfico, justificando os maiores valores médios de densidade básica observados para a madeira da parte superior destes clones.

Figura 14 – Variação longitudinal da densidade básica ao longo do fuste das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*. Fonte: O autor.



Verificou-se na parte superior do tronco dos clones 4 e 6, que além de representarem os maiores valores de densidade, possuíram menor variabilidade da densidade neste sentido, sendo também observada pequena variabilidade da densidade básica no sentido longitudinal para os clones 3 e 9. Já nos clones 2 e 5 verificaram-se os comportamentos mais variáveis da densidade, seguidos dos clones 1, 7 e 8.

A densidade é uma das mais importantes propriedades da madeira, e está relacionada com a maioria das demais características apresentadas por este

material (OLIVEIRA, 2007), de forma que sua variabilidade também implica em variações nas demais propriedades.

Os valores referentes a variação radial da densidade básica da madeira dos nove clones avaliados neste estudo estão na Tabela 8 e o comportamento radial está ilustrado na Figura 15. No sentido radial observou-se aumento da densidade com a proximidade a casca para todos os clones.

Tabela 8 – Variação radial da densidade básica da madeira e sua média para as árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*

Clone	Idade	Densidade básica (g.cm <sup>-3</sup> )				Média
		Posição radial (medula-casca)				
		1	2	3	4	
1	5 anos	0,37 b*	0,39 ab	0,41 ab	0,43 a	0,40 C**
		(5,70)***	(8,78)	(4,19)	(4,89)	
2		0,45 c	0,45 c	0,54 b	0,62 a	0,52 B
		(2,81)	(4,95)	(1,78)	(7,21)	
3	13 anos	0,48 c	0,53 b	0,64 a	0,64 a	0,57 A
		(1,22)	(6,72)	(3,75)	(3,23)	(18,94)
4		0,56 b	0,63 ab	0,68 a	0,69 a	0,64 A
		(11,10)	(8,79)	(5,27)	(4,99)	(10,63)
5		0,51 c	0,59 b	0,67 a	0,66 ab	0,61 A
		(4,88)	(5,57)	(6,24)	(5,14)	(11,92)
6		0,51 c	0,59 b	0,67 a	0,69 a	0,62 A
		(5,60)	(5,58)	(6,12)	(4,01)	(12,66)
7		0,49 b	0,53 b	0,60 a	0,63 a	0,56 A
	(6,35)	(2,29)	(3,60)	(4,67)	(11,13)	
8	0,45 c	0,51 b	0,59 a	0,59 a	0,54 B	
	(4,30)	(5,77)	(4,26)	(3,19)	(12,11)	
9	0,46 b	0,43 b	0,52 ab	0,57 a	0,50 B	
	(14,10)	(6,30)	(6,04)	(5,77)	(13,73)	

\* Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

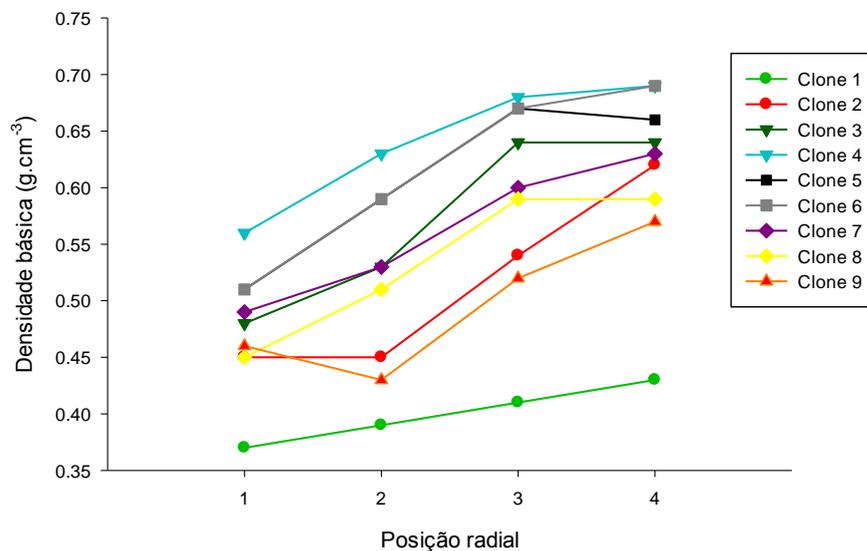
\*\* Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ).

\*\*\* Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação (%).

Diferente da comparação entre as médias do sentido longitudinal de variação da densidade, as médias do sentido radial possuem menor variabilidade entre os clones. Tomazello Filho (1995) destacou que a variação da densidade

básica no sentido radial é a mais acentuada para as espécies de eucalipto. Silva (2002) avaliando a madeira de *E. grandis* provenientes de plantios comerciais localizados no município de Telêmaco Borba no Paraná, observou tendência crescente da massa específica no sentido medula-casca, confirmando os resultados obtidos neste estudo.

Figura 15 – Variação radial da densidade básica ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*. Fonte: O autor.



Foi possível observar um padrão de estabilidade quanto a variação da densidade básica no sentido radial em algumas árvores. Este padrão foi observado para os clones com 13 anos, nos quais não houve diferença estatística entre a densidade básica nas posições radiais três e quatro. Para os clones com cinco anos este padrão de estabilidade não foi observado, reforçando o conceito exposto em literatura que de maneira geral, em árvores mais velhas a densidade tende a permanecer constante (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996; VIDAURRE et al., 2011).

### 3.3.2. Densidade aparente por densitometria de raios-X

A partir dos valores de densidade aparente por árvore, obtidos pela densitometria de raios X ao longo do sentido radial, foram determinados os valores médios da densidade aparente com umidade de 12% para os dois raios dos sete clones com 13 anos, assim como os valores máximo e mínimo (Tabela 9).

Tabela 9 – Valores mínimo, máximo e médio de densidade aparente da madeira por densitometria de raios-X da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*

Clone	Densidade aparente (g.cm <sup>-3</sup> ) média	Raio 1			Raio 2		
		Densidade aparente (g.cm <sup>-3</sup> )			Densidade aparente (g.cm <sup>-3</sup> )		
		Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
3	0,69 b (18,35)	0,36	0,69 c* (19,42)**	1,11	0,37	0,68 d (17,16)	1,10
4	0,74 a (17,03)	0,40	0,76 a (16,51)	1,14	0,38	0,72 b (17,26)	1,15
5	0,69 b (16,33)	0,40	0,69 c (15,48)	1,09	0,38	0,69 c (16,05)	1,10
6	0,74 a (20,17)	0,37	0,74 b (21,31)	1,15	0,40	0,76 a (18,37)	1,15
7	0,69 b (17,63)	0,38	0,69 c (17,09)	1,23	0,37	0,68 d (18,19)	1,15
8	0,63 c (23,09)	0,32	0,63 d (22,71)	1,16	0,31	0,62 e (22,76)	1,11
9	0,59 d (21,84)	0,31	0,60 e (21,77)	1,09	0,27	0,58 f (21,21)	1,15

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ).

\*\*Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação (%).

Os maiores valores observados para a densidade aparente nos raios 1 e 2, respectivamente, foram para os clones 4 e 6, e este resultado equivale ao observado para a densidade básica, na qual estes clones também foram os que alcançaram maiores valores.

Em relação aos valores médios de densidade aparente, os clones 4 e 6 também foram os que apresentaram maiores valores e, semelhante ao comportamento médio da variação longitudinal na densidade básica, não se diferiram estatisticamente. Já os clones 3 e 9, diferente no observado para a densidade básica, apresentaram valores médios de densidade aparente distintos estatisticamente.

Nas Figuras 16 e 17 estão os perfis de densidade aparente, referentes ao raio 1 das amostras, para os sete clones originados de plantios para a produção de madeira para serraria e celulose. Nas figuras, também é possível observar as imagens geradas a partir das leituras no raio X digital, seguidas das imagens reais das amostras.

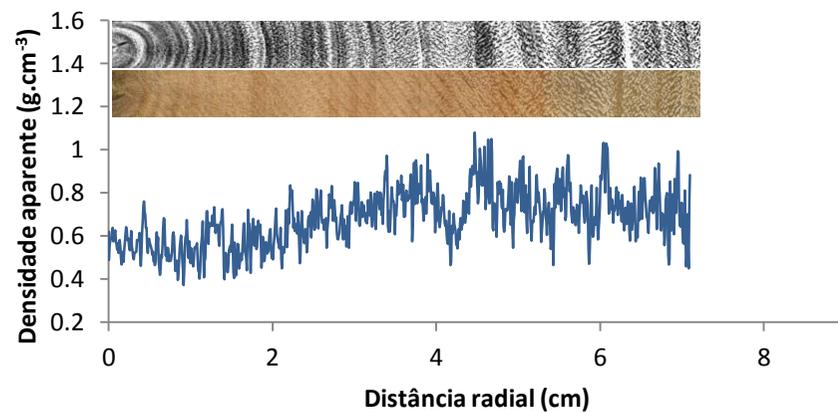
De maneira geral foi verificado o aumento da densidade aparente no sentido medula-casca, observado em todos os clones, semelhante ao verificado no comportamento da densidade básica neste sentido para estes clones e em outros trabalhos que estudaram o comportamento da densidade aparente em árvores de eucalipto a partir da técnica de densitometria de raios X (ALZATE, 2004; MAURI, 2010, SETTE, 2010; RODRIGUES, 2013; LEITE, 2013).

A partir da visualização das imagens geradas na leitura do raio X digital, ficou constatada a presença de zonas de maior densidade ao longo das amostras, sendo estas evidenciadas a partir da coloração branca observada ao longo do raio nas imagens.

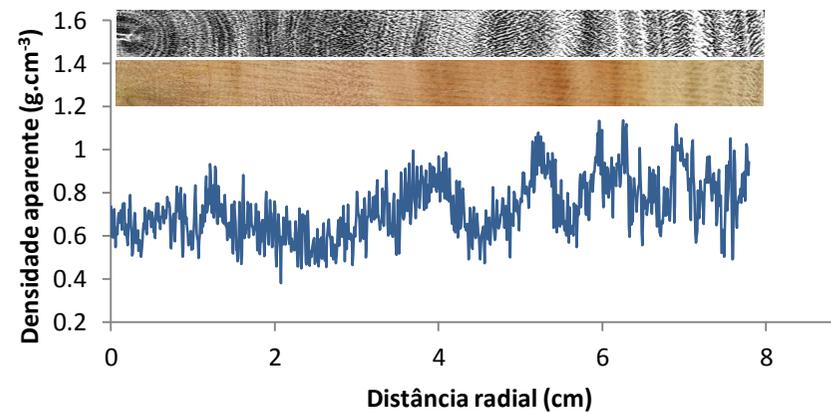
O incremento em diâmetro das árvores habitualmente formam anéis de crescimento, e a formação destes anéis é um fator que influencia a variação da densidade no sentido medula-casca, e pode estar relacionada as variações observadas nas imagens do raio X digital (Burger; Richter, 1991).

Os perfis densitométricos ilustrados na Figura 16 referentes aos clones 3, 4 e 5 e o ilustrado na Figura 17 referente ao clone 7, possuem comportamento semelhante na região próxima a 4,0 cm do raio, em que foi observado um pico de redução seguido de um acréscimo da densidade aparente. Rodrigues (2013) avaliando madeira do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 42 meses de idade, originados de plantios em Teixeira de Freitas no estado da Bahia, observou na altura do DAP (1,30 m) em algumas árvores a ocorrência de picos característicos de

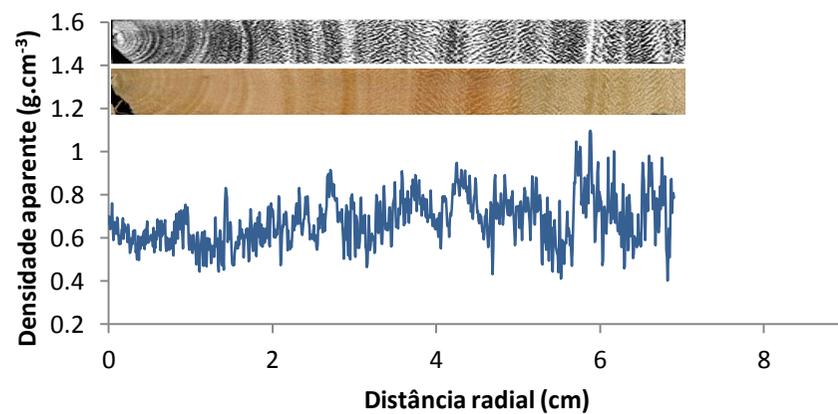
Figura 16 – Perfis de densidade aparente e imagens do raio X digital para o raio 2 do lenho da parte superior do tronco das árvores com 13 anos dos clones 3, 4, 5 e 6 de *E. grandis* x *E. urophylla*. Fonte: O autor.



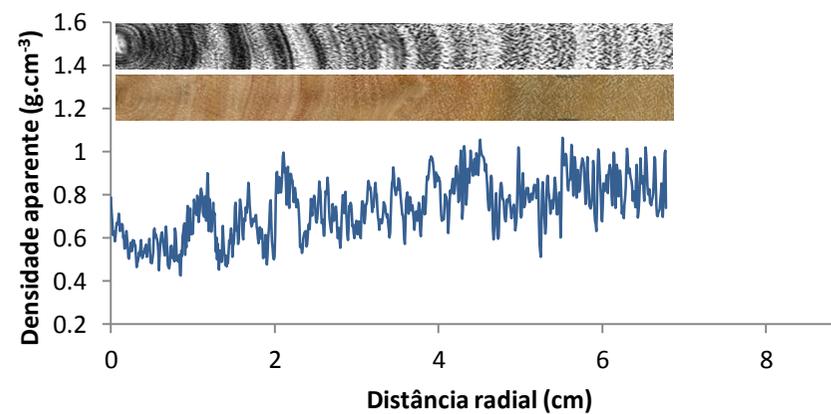
(3)



(4)

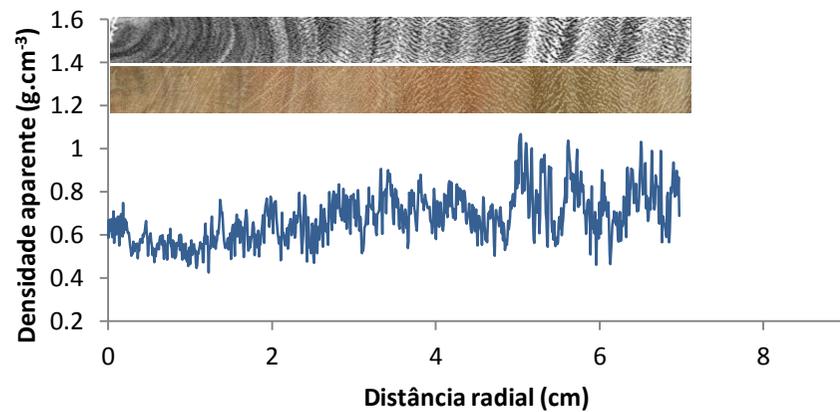


(5)

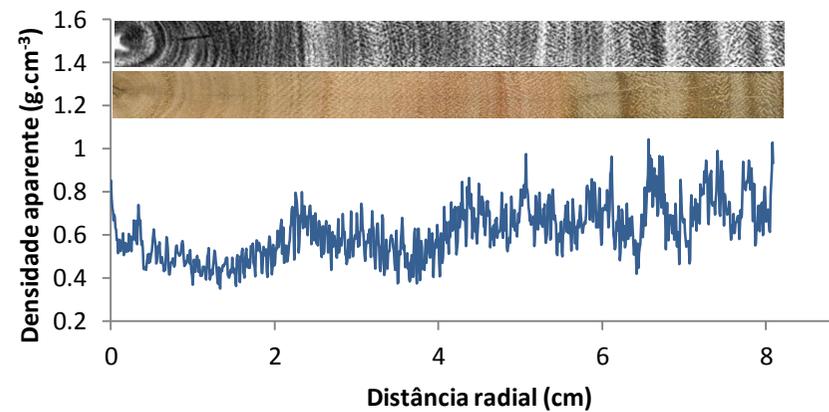


(6)

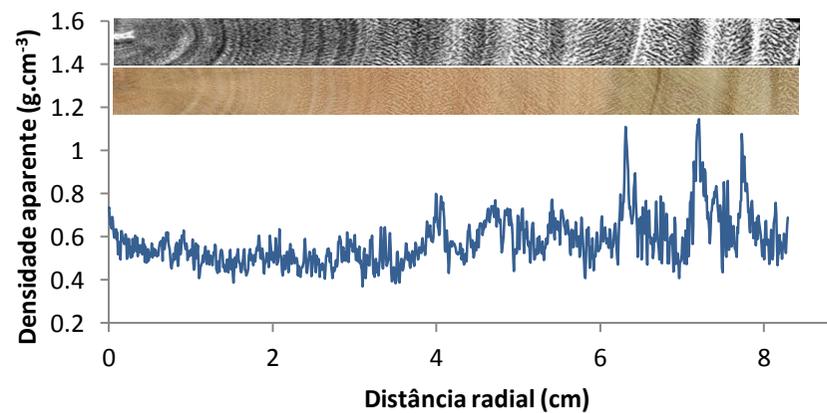
Figura 17 – Perfis de densidade aparente e imagens do raio X digital para o raio 2 do lenho da parte superior do tronco das árvores com 13 anos dos clones 7, 8, e 9 de *E. grandis* x *E. urophylla*. Fonte: O autor.



(7)



(8)



(9)

densidade aparente, que após verificação, a autora constatou estar relacionados a presença de lenho de tração.

A variação da densidade aparente no lenho do clone 6 observado na Figura 16 foi a mais acentuada entre os sete clones que foram submetidos as análises de densitometria. Este fato é verificado também a partir da análise da imagem do raio X digital, destacando a cor preta da amostra com a proximidade à medula e próximo a casca a cor branca quase predominante.

A exceção dos últimos 2,0 cm da amostra, com três picos de aumento da densidade aparente, o perfil do clone 9 na Figura 17 foi o com comportamento de variação mais estável, representados por três faixas brancas na extremidade das amostras, próximas a casca, na imagem do raio X digital.

O perfil densitométrico do clone 8 na Figura 17 foi caracterizado por um decréscimo da densidade da medula até o primeiro centímetro da amostra e posterior aumento na região próxima a 2,0 cm do raio. Na análise da imagem do raio X digital é possível observar na região da medula a predominância da cor preta e a partir da região próxima a 2,0 cm do raio, o maior domínio da cor branca.

### 3.4. ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA

Os valores em percentuais médios referentes à composição química das madeiras para os nove clones estão na Tabela 10, ao nível do DAP para as árvores com cinco anos e do disco retirado no torete das árvores com 13 anos.

A variação na porcentagem de extrativos não permitiu distinção quanto a procedência da madeira, ou seja, uso múltiplo ou exclusivo para celulose, e, associados ao comportamento da variação no teor de lignina total, também não permitiram detectar um padrão em função da procedência para o teor de holocelulose residual. Os clones 4, 6 e 9, ambos procedentes do múltiplo uso, foram os que possuem maior teor de holocelulose, porém, os demais clones desta procedência associados aos clones de plantios exclusivos para celulose

compreenderam outro grupo com menor teor de holocelulose e sem variação entre eles.

Tabela 10 – Percentuais médios da composição química da madeira relativos aos extrativos totais, lignina solúvel, lignina insolúvel, lignina total e holocelulose das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla*

Clone		Extrativos Totais (%)	Lignina Solúvel (%)	Lignina Insolúvel (%)	Lignina Total (%)	Holocelulose (%)
1	5 anos	2,62 b*	3,77 b	30,54 a	34,32 a	63,06 b
		(28,47)**	(9,99)	(12,59)	(10,14)	(5,48)
2		4,63 a	2,53 c	29,60 a	32,64 a	62,67 b
		(6,67)	(13,38)	(5,82)	(6,16)	(3,68)
3		4,04 a	3,04 d	28,64 a	31,16 b	64,80 b
		(6,96)	(11,07)	(1,57)	(2,09)	(1,37)
4		2,80 b	2,61 d	27,94 a	30,55 b	66,56 a
		(4,78)	(17,99)	(2,81)	(3,58)	(1,53)
5		4,82 a	3,02 c	27,89 a	30,89 b	64,29 b
		(29,47)	(2,30)	(2,81)	(2,32)	(3,19)
6	13 anos	2,90 b	2,86 c	26,82 a	29,68 b	67,43 a
		(47,72)	(0,76)	(2,23)	(1,97)	(2,07)
7		3,83 a	3,39 b	29,00 a	32,39 a	63,78 b
		(6,18)	(1,96)	(6,40)	(5,74)	(2,78)
8		2,29 b	4,16 a	30,66 a	34,82 a	62,89 b
		(27,62)	(3,01)	(10,84)	(9,22)	(5,19)
9		2,94 b	3,57 b	26,75 a	30,32 b	66,74 a
		(34,88)	(1,85)	(6,06)	(5,30)	(2,73)

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ).

\*\* Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação (%).

Observou-se ausência de variação no teor de lignina insolúvel entre os clones, porém houve divergência quanto ao percentual de lignina solúvel, a qual influenciou na variabilidade do teor de lignina total. A madeira da parte superior do tronco das árvores provenientes de plantios de uso múltiplo possuem menor teor de

lignina total quando comparada a de plantios exclusivos para a produção de celulose, a exceção dos clones 7 e 8.

Alencar, Barrichelo e Silva Júnior (2002) avaliando o impacto da idade nas propriedades da madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* de um a sete anos, observaram que não houve padrão de variação da composição química da madeira influenciado pela idade. Os valores observados pelos autores para o teor de holocelulose foram semelhantes aos verificados neste estudo (64,73 a 69,90%). Os autores encontraram teores de extrativos em proporções superiores (2,72 a 6,28%), porém com percentual de lignina total menor (27,38 a 29,44%).

Diversos autores avaliando a constituição química da madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* em diferentes idades obtiveram teor de lignina total inferiores aos observados e associados a eles maiores teores de holocelulose (GOMIDE et al., 2005; FERREIRA et al., 2006; TRUGILHO et al., 2007), porém, Braz (2010) e São Teago (2012) estudando este mesmo híbrido, encontraram valores semelhantes. Braz (2010) observou teores de lignina compreendendo valores de 29,89 a 33,21% para a madeira de árvores com idades de dois anos e meio e três anos de plantios instalados no Município de Belo Oriente em Minas Gerais, já no estudo de São Teago (2012) estes valores variaram de 29,60 a 32,27% em plantios com aproximadamente seis anos.

Carvalho (2000) avaliando *E. grandis* x *E. urophylla* em seu estudo sobre a valorização da madeiras das árvores deste híbrido por meio da produção conjunta de madeira serrada, celulose e lenha, verificou teor médio de extrativos na seção destinada a produção de celulose de 3,65%, lignina 22,59% e holocelulose 73,76%.

Uma vez que o objetivo da polpação é a remoção da lignina para que a proporção fibrosa da madeira possa ser dissociada, Mokfienski (2004) destacou que madeiras com menores teores de lignina e extrativos permitem obtenção de maior rendimento e menor consumo de álcali. O autor ainda destacou que elevados teores destes constituintes químicos podem ocasionar sobrecarga na caldeira de recuperação, em função do aumento da quantidade de sólidos que estarão dissolvidos no licor negro residual. Esta afirmação compreende o comportamento dos clones 4, 6 e 9 perante a porcentagem de holocelulose, com menores teores de extrativos e lignina e maiores de holocelulose.

#### 4. CONCLUSÕES

A madeira da parte superior do tronco das árvores do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com 13 anos possui comportamento diferente da madeira das árvores com cinco anos deste mesmo híbrido originadas de plantios exclusivos para celulose diante das características avaliadas.

Mesmo sendo utilizada a parte superior das árvores dos plantios de uso múltiplo, a porção destinada a celulose possui maior comprimento comercial associado a um maior volume de madeira e menor teor de casca do que as árvores com cinco anos.

A avaliação dos caracteres anatômicos não foi conclusiva diante da diferença entre as madeiras da parte superior do tronco das árvores com 13 anos e das árvores de cinco anos. Foram verificados, para as madeiras de ambas as origens, os mesmos padrões de variação radial dos caracteres anatômicos para frequência e diâmetro de vasos e para espessura da parede e comprimento das fibras, com o aumento do diâmetro, espessura de parede e comprimento com a proximidade a casca, e redução da frequência neste mesmo sentido.

Para as densidades básica e aparente, também foi observado o mesmo padrão para as madeiras de ambas origens, com o aumento destas com a proximidade a casca.

Quanto a composição química, de maneira geral, a parte superior do tronco possui menores teores de lignina total e maiores teores de holocelulose, mesmo sem divergência na constituição química de alguns com os clones de cinco anos.

Constatou-se que a madeira obtida nos plantios de múltiplo uso atende as qualidades necessárias a produção de celulose e ainda, em algumas características, possui qualidade superior às das madeiras de plantios atualmente instalados para este uso.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, G. S. B.; BARRICHELO, L. E. G.; SILVA JÚNIOR, F. G. Qualidade da madeira de híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* e seleção precoce. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 35, 2002, São Paulo, **Anais...** São Paulo: ABTCP, 2002.

ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. Saligna* e *E. Grandis* x *urophylla*.** 150p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

AMARAL, A. C. B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* l. segundo microdensitometria de raios X. **Revista de Ciência e Tecnologia**, Piracicaba, v. 11, p. 17-23, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR-11941:** madeira - determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico 2013:** ano base 2012. Brasília, DF: ABRAF, 2013.

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

BRAZ, R. L. **Caracterização do lenho de árvores de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em áreas sujeitas a danos por ventos.** 81f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2011.

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

BUSNARDO, C. A.; GONZAGA, J. V.; FOELKEL, C. E. B.; VESZ, J. B. V. Em busca da qualidade ideal da madeira de eucalipto para a produção de celulose II: Interações entre propriedades das árvores e de suas madeiras. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3, 1983, São Paulo. **Anais...** São Paulo, ABCP, v.1, p.31-47, 1983.

CARVALHO, A. M. **Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha.** 138p. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de concentração Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Programa de Pós-Graduação em Ciências, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

COMMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas.** Buenos Aires, v.30, p. 1-19, 1974.

DUARTE, F. A. S. **Avaliação da madeira de *Betula pendula*, *Eucalyptus globulus* e de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* destinadas à produção de celulósica Kraft.** 2007. 107p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.

FERREIRA, C. R.; FANTINI JÚNIOR, M.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, A. M. M. L. Avaliação tecnológica de clones de eucalipto: parte 1 - qualidade da madeira para produção de celulose kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 10, p. 161-170, 2006.

FOELKEL, C. E. B.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade para madeira de eucalipto para produção de celulose. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, 1990, Campos do Jordão, **Anais...** São Paulo, 1990.

FOELKEL, C. E. B. **Elementos de vaso e celulose de eucalipto.** 2007. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 11 dez. 2013.

FOELKEL, C. E. B. **Diferenciando polpas de mercado e papéis de eucalipto através da gestão dos finos celulósicos da polpa.** 2009a. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 11 dez. 2013.

FOELKEL, C. E. B. **Individualização das fibras da madeira de eucalipto para a produção de celulose kraft.** 2009b. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 11 dez. 2013.

FOELKEL, C. E. B. **Aspectos práticos e conceituais sobre a fabricação de celulose de mercado do tipo kraft branqueada a partir de madeira de eucalipto.** 2013. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 17 dez. 2013.

FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G. **Tecnologia de celulose e papel.** Piracicaba: USP/ESALQ, 1975.

FOREST BRAZIL. Custos do Eucalipto destinado ao Uso Múltiplo. **Viveiro Florestal Forest Brazil**, Boletim Florestal, 6 ed., ano 1, 2007.

GOLDSHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions.** New York: J. Wiley, p. 241-298, 1971.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klarson modificado. **O papel**, São Paulo, v.47, n.8, p. 36-38, 1986.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; LEITE, H. G. Estratégia de análise da qualidade de madeira de *Eucalyptus* sp. para produção de celulose. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.3, p. 443-450, 2004.

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. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p. 129-137, 2005.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, G. F.; NAPPO, M. E.; TOMAZELO FILHO, M. Parâmetros dendrométricos e correlações com propriedades tecnológicas em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.5, p.947-959, 2010.

GOUVÊA, A. de F. G.; TRUGILO, P. F.; COLODETTE, J. L.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. N M. da; GOMIDE, J. L. Avaliação da madeira e da polpação kraft em clones de eucaliptos. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.6, p.1175-1185, 2009.

JÓIA, H. A.; FONCESA, T.; SILVA, M. E.; MARQUES, C. P. Avaliação por métodos não destrutivos do diâmetro de cerne à altura do peito em eucalipto e em choupo. **Cerne**, Lavras, v.12, n.4, p.309-313, 2006.

LEITE, T. B. **Influência do local de crescimento na qualidade da madeira para celulose e na susceptibilidade a ventos**. 60p. Monografia (Departamento de Ciências Florestais e da Madeira) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2010.

LEITE, T. B. **Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* cultivados em cinco regiões do estado de Minas Gerais para produção de celulose**. 126p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2013.

MAURI, R. **Anatomia e densidade do lenho de clones de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, com variação de altitude e de topografia, no estado de Minas Gerais**. 105p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2010.

MOKFIENSKI, A. **Importância relativa da densidade básica e da constituição química de madeira de *Eucalyptus* spp. no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa kraft**. 153p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C. Caracterização da madeira de Eucalipto para a construção civil. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998.

OLIVEIRA, J.T.S.; HELLMEISTER, J.C.; SIMÕES, J. W.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1-avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia forestalis**, n. 56, p.113-124, 1999.

OLIVEIRA, J. T. S. Propriedades físicas e mecânicas da madeira. In: Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro II. Eds.: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. Vitória: Gráfica Aquarius, p.129-163, 2007.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology: structure, identification, properties and uses of the commercial woods of the United States and Canada**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1980.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000.

RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras**. Viçosa: UFV, 1987.

RODRIGUES, B. P. **Qualidade do lenho de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* X *E. urophylla* sob estresse abiótico e o impacto na produção de celulose**. 90p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2013.

SANSÍGOLO, C. A.; RAMOS; E. S. Quality of wood and pulp from a clone of *Eucalyptus grandis* planted at three locations. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 47-60, 2011.

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

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. R. P. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008.

SETTE, C. **Aplicação de potássio e sódio no crescimento e na qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. 152p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SHMULSKY, R. JONES, P. D. **Forest Products & Wood Science: an introduction**. 6 ed. New Jersey: Willey-Blackwell. 2011.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 181p.

Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SJOSTROM, E.; WESTERMARK, U. Chemical Composition of wood and pulps: basic constituents and their distribution. In: **Analytical methods in wood chemistry, pulping, and papermaking**. Eds.: SJOSTROM, E.; ALÉN, R. Heidelberg: Springer, 1999.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. de.; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Editora da UFV, 2006.

VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.18, n.4, p.469-480, 2011.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 257 om-92**: sampling and preparing wood for analysis. Atlanta: Tappi Technology Park, v.1, 1992.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 264 om-88**: preparation of wood for chemical analysis. Atlanta: Tappi Technology Park, v.1, 1992.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v. 29, p. 25-36, 1985.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, v.2, n.01, 1996.

TRUGILHO, P. F.; BIANCHI, M. L.; ROSADO, S. C. S.; LIMA, J. T. Qualidade da madeira de clones de espécies e híbridos naturais de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, n. 73, p. 55-62, 2007.

ZENID, G. J. Madeiras e suas características. In: **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Eds.: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora, p.125-158, 2007.

## **CAPÍTULO II**

### **APLICAÇÃO DE TÉCNICAS MULTIVARIADAS PARA A SELEÇÃO DE CLONES DE EUCALIPTO PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE**

## **Aplicação de técnicas multivariadas para a seleção de clones de eucalipto para a produção de celulose**

### **RESUMO**

O consumo de madeira no setor de celulose e papel geralmente é abastecido por diferentes espécies e híbridos destas, assim como a idade dos plantios destinados a este setor também são passíveis de alta variabilidade. Esta variabilidade observada na matéria-prima muitas vezes é transferida ao produto final, dificultando a obtenção de produtos de qualidade. Contudo, a identificação de materiais mais homogêneos permite que estas variabilidades sejam reduzidas e que produtos de melhor qualidade sejam obtidos. O objetivo do presente capítulo foi classificar e selecionar, para a produção de celulose, clones de eucalipto utilizando como ferramenta a análise multivariada, sendo aplicadas as técnicas de variáveis canônicas e o agrupamento pelo método de otimização de Tocher. Foram avaliadas quatro árvores de cada um dos nove clones estudados, totalizando 36 árvores, das quais foram analisadas as propriedades da madeira. Dois dos clones foram procedentes de plantios com cinco anos, localizados no município de Aracruz no estado Espírito Santo, destinados a produção exclusiva de celulose. Os sete demais clones foram originados de plantios com 13 anos, localizados em Alcobaça no estado da Bahia, destinados a produção conjunta de madeira serrada e celulose. Os resultados da análise por variáveis canônicas permitiram identificar as variáveis de volume de alburno e frequência vascular como as de menor impacto na divergência entre os clones, já a densidade básica, em sua variação longitudinal, foi identificada como a variável de maior impacto nesta distinção. A partir da análise de agrupamentos, os clones foram agrupados em dois grupos distintos. O grupo I foi composto por todas as árvores com 13 anos e o grupo II com as de cinco anos. Quando comparadas as características das madeiras que compuseram cada grupo, o grupo I foi o com potencial favorável ao uso para produção de polpa celulósica.

**Palavras-Chave:** Variáveis canônicas, análise de agrupamento, qualidade da madeira, eucalipto.

## **Application of multivariate techniques for selection of clones of eucalypt trees**

### **ABSTRACT**

Wood consumption in the pulp and paper sector is usually supplied by different species and hybrids of these, as well as the age of the plantings in this sector are also subject to high variability. This variability in the raw material is often transferred to the final product, making it difficult to obtain quality products. However, the identification of more homogeneous materials allows the variability are reduced and better quality products are obtained. The objective of this chapter is to classify and select eucalypt clones , for the pulp production, being applied to multivariate analysis techniques canonical variables and grouping by Tocher optimization method. Four trees of each of the nine clones were analyzed, in a total of 36 trees, which were evaluated the wood properties. Two of the clones were from plantations at five years age, located in the city of Aracruz in the state of Espírito Santo, for the exclusive production of cellulose. The seven other clones were sourced from plantations 13 years age, located in teh city of Alcobaça in the state of Bahia, for the joint production of solid wood and pulp. The results of canonical variate analysis allowed the identification of variables sapwood volume and frequency as vascular as the smaller impact on the divergence between clones, already the basic density, in its longitudinal variation, was identified as the variable with the greatest impact on that distinction. From the cluster analysis, the clones were grouped into two distinct groups. Group I was composed of all trees 13 years age and group II with five years age. Comparing the characteristics of woods that comprise each group, the group I showed the favorable use for pulp production potential.

**Key words:** Canonical variables, cluster analysis, quality of wood, eucalypt.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma série de transtornos na indústria de transformação e processamento da madeira está relacionada à variabilidade deste material e esta heterogeneidade é passível de redução. Para isso a avaliação dentro e entre árvores, para que se possa conhecer o grau de homogeneidade da matéria-prima fornecida para o setor e estimar o impacto destas variações no processamento, torna-se necessária (CALONEGO; SEVERO; ASSI, 2005; QUILHÓ; MIRANDA; PEREIRA, 2006).

Foelkel (2013) destacou que se objetiva operar fábricas com alta produtividade, alta eficiência operacional, alta qualidade dos produtos e com mínimos custos de produção, mas que para isso é preciso que a madeira seja a mais uniforme possível, de forma a não causar impactos relevantes no processo de polpação e nas metas qualitativas para o produto celulose.

O autor ainda destacou (p.324) que “a meta é uniformizar a desuniformidade no que diz respeito às diferenças de clones, espécies, idades, tempos pós-corte, ciclos de corte, madeiras de terceiros e condições das madeiras”.

A avaliação da qualidade da madeira muitas vezes é realizada a partir do estudo de características anatômicas, físicas, químicas e mecânicas deste material, geralmente analisadas isoladamente. Trugilho et al. (2004) sugeriram que esta avaliação realizada a partir de um tratamento univariado dificulta ou até mesmo impede que uma classificação mais precisa do material seja realizada, podendo até equivocadamente levar ao descarte de um material superior.

As técnicas de análise multivariada contemplam a avaliação de todas as variáveis mensuradas de uma forma integrada, em que as inter-relações são exploradas em máxima profundidade, com maior clareza da magnitude da variação. Estas técnicas são eficientes na classificação e seleção de indivíduos, onde o aspecto original é a combinação das variáveis mensuradas para a maximização das diferenças entre os grupos. (TRUGILHO et al, 2004; HAIR JUNIOR et. al, 2010, FERREIRA, 2011).

Historicamente, a maior parte das aplicações de técnicas de análise multivariada foi nas ciências comportamentais e biológicas. No entanto, o interesse

em métodos multivariados se espalhou para vários outros campos de investigação (RENCHEER, 1934). Nos últimos anos diversas pesquisas no campo florestal vêm sendo desenvolvidas com o uso destas técnicas, principalmente após avanços na informática, e muitos trabalhos têm sido publicados (TRUGILHO; LIMA; MORI, 2003; TRUGILHO et al. 2004; CASTRO et al., 2013; PROTASIO et al., 2013).

Sartorio (2008, p.09) designou o termo “análise multivariada” como correspondente “a um grande número de métodos e técnicas que utilizam simultaneamente as informações de todas as variáveis respostas na interpretação do conjunto de dados, levando em conta as correlações existentes entre elas.”.

A autora destacou que a análise de variância multivariada – MANOVA é uma técnica similar à análise de variância univariada – ANOVA, porém em comparação a realização de sucessivas ANOVA's para diferentes variáveis, apresenta como vantagens a redução de tempo e custo, facilidade em interpretar a estrutura dos dados e ainda a minimização da perda de informações, uma vez que se considera o nível de significância conjunto dos testes e se as informações conjuntas das variáveis envolvidas são aproveitadas.

Um efeito significativo encontrado na MANOVA infere que existem diferenças significativas entre as variáveis dependentes dos dois ou mais grupos definidos pelos tratamentos, sendo comum a aplicação sequencial de mais de uma técnica multivariada em um banco de dados para complementar os resultados (RENCHEER, 1934, SARTORIO, 2008).

De acordo com Cruz, Regazzi e Carneiro (2012), existem várias técnicas estatísticas multivariadas que podem ser utilizadas em estudos de divergência, como por exemplo, a análise por variáveis canônicas e os métodos aglomerativos. A escolha do método mais adequado, segundo os autores, é função da precisão desejada pelo pesquisador, facilidade da análise e a forma como os dados foram obtidos.

A análise de variáveis canônicas é uma técnica da estatística multivariada que permite a redução da dimensionalidade de dados, proporcionando uma simplificação estrutural destes, de modo que a divergência influenciada a princípio por um conjunto  $p$ -dimensional ( $p = n^{\circ}$  de caracteres considerados no estudo), possa

ser avaliada por um complexo bi ou tridimensional de fácil interpretação geométrica (VARELLA, s.d., SOUZA, s.d).

O emprego desta técnica é essencialmente realizado em análises nas quais as amostras possuem observações repetidas, e permite que o efeito simultâneo das características originais seja capturado, de forma que variações não observadas quando do uso das características originais isoladamente possam ser capturadas (VARELLA, s.d).

Souza (s.d.) destaca que a técnica de análise canônica pode atender a vários propósitos, tais como (i) examinar as correlações entre caracteres estudados, (ii) resumir um conjunto de caracteres em outro de menor dimensão e de sentido interpretável, (iii) avaliar a importância de cada caractere e promover a eliminação daqueles que contribuem pouco, em termos de variação, no grupo de amostras em estudo, (iv) construir índices que possibilitem o agrupamento de amostras ou populações.

O número de variáveis canônicas obtido nas análises, denominado dimensionalidade, pode ser entendido como o número de autovalores não nulos da matriz determinante  $\Lambda$ . Se a dimensionalidade é igual a zero, conclui-se que os vetores de médias dos tratamentos são idênticos, de forma a não haver diferença entre os tratamentos. Considerando um estudo com  $k$  tratamentos e  $p$  variáveis medidas, em qualquer caso, tem-se que a dimensionalidade é dada pela relação  $d \leq \min(p, q)$ , em que  $d$  é a dimensionalidade e  $q = k - 1$  (VARELLA, s.d, REGAZZI, 2010).

A transformação das variáveis originais em variáveis padronizadas é comum quando se utiliza o procedimento de variáveis canônicas. Este procedimento é indicado quando as escalas das variáveis originais são diferentes, de forma que a importância estatística dessas variáveis seja equalizada e não influencie no resultado das análises. Ao se padronizar as variáveis, as correlações existentes entre as variáveis padronizadas e as variáveis canônicas obtidas a partir destas são as mesmas que entre as variáveis originais e suas respectivas variáveis canônicas obtidas (MIOTA NETO, 2004; REGAZZI, 2010; FERREIRA, 2011).

Ferreira (1996) destacou que uma importante avaliação a ser realizada para verificação da qualidade das variáveis canônicas é a medição do poder de resumo

da variabilidade total contida no respectivo conjunto de variáveis obtidas. O autor descreveu duas formas básicas de verificação: a matriz de erro da aproximação e o cálculo da proporção da variância explicada pelas variáveis canônicas para cada grupo de variáveis.

O cálculo da proporção da variância explicada, ou importância relativa, de uma variável canônica é dado pela razão entre a variância por ela explicada e o total de variância disponível, em que há a concentração de grande proporção da variância total nas primeiras variáveis (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Diversos autores recomendaram que, quando as primeiras variáveis canônicas explicam a maior parte da variância disponível, elas podem ser utilizadas nos estudos de divergência, em que são utilizadas medidas geométricas entre os indivíduos, as quais são representadas em gráficos de dispersão e cujas coordenadas são escores relativos a estas primeiras variáveis canônicas. É importante destacar que, para que este procedimento seja satisfatório, as variáveis canônicas das quais os escores serão utilizados como coordenadas devem representar uma fração da variação total normalmente citada acima de 70 a 80% (SOUZA, s.d.; REGAZZI, 2010; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

O estudo da importância relativa de uma variável canônica também pode ser utilizado para simplificar casos em que o número de variáveis analisadas em um estudo é muito grande ou algumas destas variáveis possuem dificuldade para avaliação. Um método de descarte de variáveis é aplicado, para que aquelas variáveis de pouca relevância na discriminação do material avaliado sejam identificadas, com obtenção de redução de mão de obra, tempo e custo despendidos para a análise e interpretação dos dados (SOUZA, s.d.).

A análise de agrupamentos é outra técnica multivariada utilizada em estudos de divergência, e tem por finalidade classificar indivíduos com base na similaridade ou dissimilaridade observada entre eles. As observações são fracionadas em um número de grupos desconhecidos de tal maneira que todas as observações dentro de um grupo são semelhantes, enquanto que as observações em diferentes grupos não são semelhantes, e os insumos necessários para sua realização são medidas de similaridade ou dados a partir dos quais podem ser computadas as

semelhanças (RENCHER, 1934; FERREIRA, 1996; TIMM, 2002; JOHNSON; WICHERN, 2007).

Cruz, Regazzi e Carneiro (2012) apresentaram duas etapas de desenvolvimento para a análise de agrupamentos. A primeira relacionada à estimação das medidas de proximidade entre os indivíduos, e a segunda com a adoção da técnica de agrupamento para a formação dos grupos.

As medidas de proximidade são critérios que medem a distância entre dois objetos ou que quantifiquem o quanto eles são parecidos e englobam as medidas de similaridade e as de dissimilaridade, porém, a maioria dos algoritmos de análise de agrupamento está programada para operar com as medidas de dissimilaridade (REGAZZI, 2010; FERREIRA, 2011).

Se a medida de proximidade representa dissimilaridade, seu o valor aumenta à medida que duas unidades se tornam mais distantes. Entre as medidas de dissimilaridade, as principais usadas na análise de agrupamentos são a distância euclidiana, distância euclidiana média e distância de Mahalanobis (RENCHER, 1934; TIMM, 2002, REGAZZI, 2010).

A distância de Mahalanobis ( $D_{ii'}^2$ ) é uma medida muito importante quando existem repetições dentro das unidades amostrais e quando os caracteres são correlacionados, pois ela considera a variabilidade dentro de cada unidade amostral, e não somente a medida de tendência central. Diante deste fato, a distância  $D_{ii'}^2$  é uma vantagem em relação a distância euclidiana, por esta não considerar as correlações residuais entre os caracteres disponíveis (REGAZZI, 2010; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Existem diversos métodos de agrupamento, dos quais o pesquisador deve identificar qual o mais adequado ao seu trabalho, e destes Regazzi (2010) destacou os métodos hierárquicos e os de otimização como os mais importantes.

Os métodos hierárquicos são subdivididos em aglomerativos e divisivos, e neles os indivíduos são classificados em grupos em diferentes etapas, de modo hierárquico, produzindo uma árvore de classificação denominada dendrograma. Os gráficos em dendrograma fornecem um retrato do processo de agrupamento, e sua estrutura em árvore retrata cada estágio do processo. Sua estrutura é escalonada,

de maneira que distâncias menores entre combinações indicam maior homogeneidade (HAIR et al., 2009; REGAZZI, 2010; FERREIRA, 2011).

Os métodos hierárquicos aglomerativos são os mais difundidos, e permitem a classificação dos indivíduos mediante sucessivas fusões dos  $n$  indivíduos em grupos. Os procedimentos consistem na obtenção da matriz de distâncias de proximidade, sejam elas similaridade ou dissimilaridade, a partir da qual se inicia um processo de sucessivas fusões, com base na proximidade entre eles (SOUZA; LIMA, 2003).

O método do vizinho mais próximo é o método no qual os grupos são formados a partir das entidades individuais, fundindo os vizinhos mais próximos, em que o termo do vizinho mais próximo conota a menor distância ou maior similaridade (JOHNSON; WICHERN, 2007).

Entre os métodos não hierárquicos, se destaca o método de particionamento ou método de otimização. Este método é caracterizado pela partição do conjunto de indivíduos em subgrupos mutuamente exclusivos por meio da maximização ou minimização de alguma medida preestabelecida (RENCHEER, 1934; REGAZZI, 2010).

Regazzi (2010) apresenta o método de otimização de Tocher, em que é adotado o critério de que a média das medidas de dissimilaridade dentro de cada grupo deve ser menor que as distâncias médias entre quaisquer grupos.

Desta forma, o estudo por técnicas multivariadas das propriedades da madeira se faz necessário, uma vez que a obtenção de materiais homogêneos e de melhor qualidade para a produção de celulose é essencial para que as metas do setor sejam alcançadas e estes podem ser identificados a partir destas técnicas.

Neste capítulo o objetivo foi aplicar as técnicas de análise multivariada de variáveis canônicas e de agrupamento na seleção de nove clones do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* visando a produção de polpa celulósica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições por tratamento, sendo cada uma delas representada por uma árvore. Os dados utilizados para a realização das análises multivariadas consistiram naqueles obtidos na caracterização da madeira dos nove clones do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* e as metodologias para obtenção estão no Capítulo 1.

Da totalidade de variáveis determinadas na caracterização da madeira, apenas dez variáveis foram consideradas nas análises multivariadas (Tabela 11), isso porque as variáveis com dependência foram eliminadas, uma vez que diminuem a eficiência estatística dos testes aplicados (HAIR JUNIOR et. al., 2009).

Tabela 11 – Parâmetros das árvores dos clones com cinco anos e da parte superior do tronco das árvores com 13 anos de *E. grandis* x *E. urophylla* utilizados nas análises multivariadas

Variável	Identificação
X1	Volume de madeira (m <sup>3</sup> )
X2	Volume de alburno (m <sup>3</sup> )
X3	Densidade básica – ponderação radial (g.cm <sup>-3</sup> )
X4	Densidade básica – ponderação longitudinal (g.cm <sup>-3</sup> )
X5	Frequência vascular (nº.mm <sup>-2</sup> )
X6	Diâmetro vascular (µm)
X7	Comprimento de fibra (µm)
X8	Espessura da parede da fibra (µm)
X9	Extrativos totais (%)
X10	Lignina total (%)

Como as variáveis selecionadas para a análise são de escalas diferentes, inicialmente foi aplicada uma transformação aos dados para que estes pudessem ser padronizados. A padronização é indicada em situações como esta para que a importância estatística das variáveis seja equalizada e não influencie os resultados

das análises, sendo efetuada a partir da aplicação da Equação 2 (MOITA NETO, 2004; REGAZZI, 2010).

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij}}{s(X_j)}, \text{ com } i = 1, 2, \dots, n \text{ e } j = 1, 2, \dots, p; \quad (2)$$

Em que:

$Z_{ij}$ : Variável padronizada;

$X_{ij}$ : Valor observado da  $j$ -ésima variável, sob o  $i$ -ésimo tratamento;

$s(X_j)$ : Desvio padrão da variável  $X_j$ .

Os dados depois de padronizados foram submetidos à MANOVA com o objetivo de comparar os nove clones simultaneamente para as dez variáveis observadas, e o teste de significância multivariado utilizado foi o critério de Wilks.

Foi realizada a análise de variáveis canônicas para as características selecionadas da madeira, sendo também aplicado o teste de Wilks para a verificação de que as variáveis canônicas eram estatisticamente diferentes de zero. Com base nos escores das duas primeiras variáveis canônicas foi gerado o gráfico de dispersão para os nove clones avaliados e, a partir da avaliação da importância relativa das dez variáveis, por meio da análise dos coeficientes de ponderação de cada variável canônica, foram indicadas as variáveis de menor importância para a divergência entre os clones estudados. Também foi calculado o grau de distorção provocado pela aplicação da técnica de variáveis canônicas na discriminação entre clones.

Cruz, Regazzi e Carneiro (2012) inferiram que a eficácia da utilização da análise de variáveis canônicas depende do grau de distorção provocado nas distâncias dos tratamentos quando se passa do espaço inicial  $p$  dimensional ( $p$  = número de caracteres considerados no estudo) para o  $d$  dimensional ( $d$  = número de variáveis canônicas) com  $d < p$ ., e indicam a Equação 3 para sua obtenção.

$$\text{Grau de distorção} = 1 - \alpha \quad (3)$$

Sendo:

$$\alpha = \frac{\sum_i \sum_{<i'} d^2 v c_{ii'}}{\sum_i \sum_{<i'} D_{ii'}^2}$$

Em que:

$d^2 v c_{ii'}$ : quadrado da distância euclidiana estimada a partir dos escores de  $d$  variáveis canônicas;

$D_{ii'}^2$ : distância generalizada de Mahalanobis estimada a partir das  $p$  variáveis originais.

A análise de agrupamentos foi empregada com o objetivo da formação de grupos tendo como característica principal dentro deles a homogeneidade e entre eles a heterogeneidade. O processo consistiu em duas etapas, sendo inicialmente caracterizada a dissimilaridade entre os tratamentos por meio da Distância de Mahalanobis ( $D_{ii'}^2$ ) e posteriormente adotadas técnicas de agrupamento para a formação dos grupos. As técnicas empregadas na formação dos grupos foram o método do vizinho mais próximo e o método de otimização de Tocher. A primeira foi utilizada na construção do dendrograma e a segunda permitiu estudar o grau de semelhança entre os tratamentos.

Para cada grupo discriminado a partir da análise de agrupamentos, foram determinados os valores médios das características da madeira utilizadas nas análises multivariadas. Com o objetivo de avaliar se as médias dos caracteres da madeira eram diferentes entre os grupos, foi realizada a análise da variância (ANOVA) e quando os tratamentos foram significativos a 5% de significância foi apontada a diferença entre as médias dos grupos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtidos na MANOVA observou-se o efeito significativo entre os vetores de médias dos clones (Tabela 12), com a rejeição da hipótese de igualdade, desta forma sendo justificada a aplicação de técnicas para a seleção dos clones com base nas análises de variáveis canônicas e de agrupamento.

Tabela 12 – Análise de variância multivariada (MANOVA) para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla*

Fonte de variação	$\Lambda^1$	F <sup>2</sup>	P <sup>3</sup> < F
Clones	0,0292	4,85	0,0028

<sup>1</sup> Teste de Wilks;

<sup>2</sup> Aproximação do teste de Wilks para a distribuição F;

<sup>3</sup> Valor P.

A análise de variáveis canônicas foi realizada e na Tabela 13 estão os autovalores, as porcentagens das variâncias e os coeficientes de ponderação associados a cada uma das variáveis canônicas estimadas.

Regazzi (2010) destacou que a importância ou variância das variáveis canônicas decresce da primeira para a última, de forma que as últimas variáveis canônicas representam uma pequena fração da variância total.

O autor ainda afirmou que o estudo de variáveis canônicas permite a realização do descarte de variáveis, fundamentado no fato de que a variável  $X_j$  que possuir maior coeficiente de ponderação associado a variável canônica de menor autovalor deve ser a menos importante para explicar a variância total, porém, o autor recomendou que a avaliação seja realizada a partir de coeficientes associados às variáveis padronizadas ( $\partial_j$ ).

Tabela 13 – Variáveis canônicas estabelecidas pela combinação linear das dez variáveis originais (X1: volume de madeira, X2: volume de alburno, X3: densidade básica – ponderação radial, X4: densidade básica – ponderação longitudinal, X5: frequência vascular, X6: diâmetro vascular, X7: comprimento de fibra, X8: espessura da parede de fibra, X9: extrativos totais e X10: lignina total) para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla*

VC <sup>1</sup>	Autovalores	Coeficientes de ponderação ( $\partial_j$ )										VA <sup>2</sup> (%)	VAC <sup>3</sup> (%)
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10		
VC1	64,3990	-0,0673	-0,1370	0,4529	1,0528	0,0689	0,4126	-0,0289	0,6720	-0,3815	-0,3932	68,71	68,71
VC2	15,7005	-1,2032	0,5177	-0,0411	0,3735	0,1829	-0,6477	0,6606	0,0109	0,0665	0,1896	16,75	85,46
VC3	9,9702	1,3471	-1,4386	-0,4642	0,2858	0,2469	-0,3614	1,0315	-0,0120	-0,2127	0,4228	7,44	92,90
VC4	3,6515	-0,3700	0,0610	-0,5619	0,2647	0,1494	0,6729	0,0700	0,4173	-0,8929	-0,0654	3,90	96,79
VC5	1,3547	-0,2332	0,5007	-0,2940	0,4244	-0,2768	0,1873	0,0677	-0,5425	0,1919	0,2772	1,45	98,24
VC6	0,9412	0,1982	-0,4660	-0,1758	0,1791	0,9070	0,7378	-0,0013	-0,3092	0,1230	-0,4339	1,00	99,24
VC7	0,4852	-0,3820	0,8811	0,4539	-0,2144	0,4789	0,2726	-0,0508	-0,1915	-0,2936	0,11175	0,52	99,76
VC8	0,2266	-0,1398	0,7992	-0,3046	-0,0064	0,1484	-0,0126	0,1000	0,4729	0,3660	-0,4762	0,24	100

<sup>1</sup>VC: Variável canônica;

<sup>2</sup>VA: Variância explicada;

<sup>3</sup>VAC: Variância acumulada.

O volume de alburno foi a variável com maior coeficiente de ponderação em valor absoluto associado a última variável canônica (0,7992), sendo desta forma, entre as variáveis estudadas, a que menos influenciou na divergência entre os clones. Quando observados os coeficientes de ponderação da VC7 o volume de alburno também é a com maior coeficiente de ponderação, entretanto, Cruz, Regazzi e Carneiro (2012) indicaram que em situações como esta, não se realize nenhum descarte nesta variável canônica e se prossiga a identificação da importância relativa dos caracteres na outra variável de variância imediatamente superior. Verifica-se então, que a frequência vascular é a segunda variável com menor impacto na divergência entre os clones (0,9070), como observado nos coeficientes de ponderação da VC6.

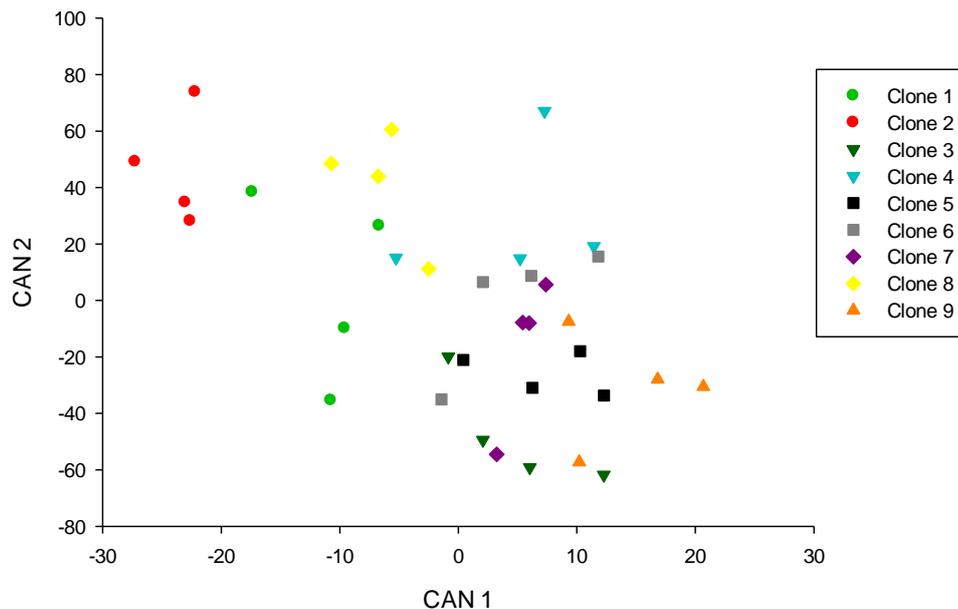
A densidade básica com sua ponderação longitudinal foi a variável com menor coeficiente de ponderação (0,0064) com a VC8 e pode ser considerada uma variável importante na distinção entre os clones, de forma análoga, também com maior coeficiente de ponderação (1,0528) associado a VC1. Protasio et al. (2013) aplicando técnicas multivariadas na seleção de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal obtiveram resultado inverso, com a densidade básica sendo a variável de menor impacto na variação entre os clones, porém, Foelkel, Mora e Menochelli (1990) destacaram que a densidade básica é um índice importante para avaliar a qualidade da madeira de eucalipto, pois muitas propriedades da madeira e da celulose são impactadas com sua variação.

Cruz, Regazzi e Carneiro (2012) destacaram que quando um conjunto de  $n$  variáveis canônicas explica mais de 80% da variação total das variáveis, este pode ser considerado para representar a dispersão gráfica no estudo de divergência. Verifica-se que as duas primeiras variáveis canônicas neste estudo explicam 85,46% da variabilidade total dos dados, e desta forma, podem ser consideradas para representar a dispersão entre os clones estudados. Diante do exposto, na Figura 18 está a análise gráfica bidimensional da divergência entre os clones com base nos escores das duas primeiras variáveis canônicas.

Constata-se que os clones 1 e 4 foram os com maior variabilidade comparados aos demais, sendo possível observar este efeito por meio da dispersão dos indivíduos que os representam graficamente. Quanto a divergência entre clones,

visualiza-se que os clones 1, 2 e 8 são menos divergentes entre si e divergentes em comparação aos demais, podendo-se inferir um indício de formação de dois grupos quanto a dispersão dos escores das duas primeiras variáveis canônicas, sendo o primeiro formado pelos clones 1, 2 e 8 e o segundo pelos clones 3, 4, 5, 6, 7 e 9.

Figura 18 – Dispersão dos nove clones de *E. grandis* x *E. urophylla* em relação às duas primeiras variáveis canônicas. Fonte: O autor.



Alcançado o objetivo da aplicação das variáveis canônicas, que é a simplificação estrutural dos dados, a eficácia deve ser avaliada em função do grau de distorção provocado nas distâncias entre os clones quando reduzido o espaço inicial  $p$  dimensional ( $p = 10$  variáveis consideradas no estudo) para o  $d$  dimensional ( $d = 8$  variáveis canônicas obtidas) (CRUZ, REGAZZI, CARNEIRO; 2012).

O grau de distorção observado no gráfico de dispersão, gerado a partir dos escores das duas primeiras variáveis canônicas, foi de 14,54% sendo considerado baixo. Ferreira et al. (2003) encontraram grau de distorção igual a 14,97% em seu estudo utilizando técnicas multivariadas na avaliação da divergência genética de clones de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) e o classificaram como baixo, porém, mesmo diante de um resultado positivo, os autores indicaram a aplicação da técnica de análise de agrupamentos.

O estudo da análise de agrupamentos foi realizado utilizando-se no critério de medida de dissimilaridade, e na Tabela 14 estão apresentadas as distâncias entre os clones utilizando a na medida de dissimilaridade da distância de Mahalanobis.

Tabela 14 – Distância generalizada de Mahalanobis entre pares dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla*

Clones	2	3	4	5	6	7	8	9
1	139,0677	185,3972	564,9774	376,8587	543,1242	264.4915	190.4460	142.6267
2	0	108,2647	220,1301	161,2665	218,6526	143.7306	96.2728	140.5470
3		0	198,7282	68,3404	170,9859	55.1663	73.6710	32.2900
4			0	71,8592	17,1251	139.3973	168.3679	238.2028
5				0	61.4602	44.4380	83.0713	106.7425
6					0	144.6213	177.2606	222.1325
7						0	23.1503	46.9237
8							0	54.2391
9								0

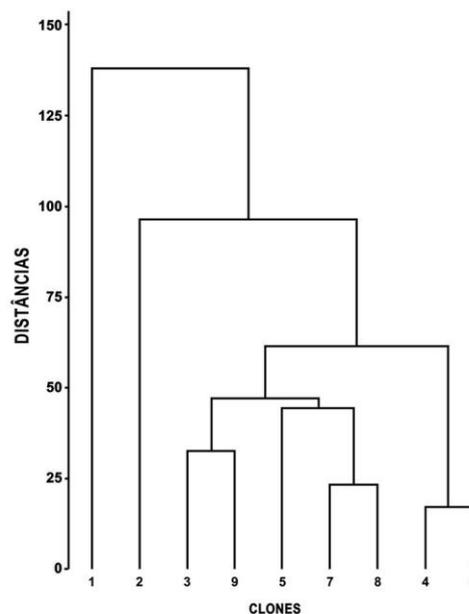
Foi possível observar que a menor distância (17,1251) é entre os clones 4 e 6, ressaltando a similaridade entre eles, já entre os clones 1 e 4 se observa a maior distância (564,9774), o que permite verificar que estes clones são os com maior divergência entre os clones estudados. Comparando-se as distâncias dos clones comerciais, clones 1 e 2, aos demais clones, foi possível verificar que a menor distância observada para o clone 1 foi em relação ao clone 2 (139,0677).

A partir das distâncias de Mahalanobis foi aplicado o método do vizinho mais próximo para que a dissimilaridade entre os clones pudesse ser avaliada e o resumo da aplicação desta técnica está apresentado na Tabela 15. A partir da aplicação do método do vizinho mais próximo também foi construído o dendrograma (Figura 19), que permite a visualização de forma gráfica da divergência entre os nove clones estudados.

Tabela 15 – Resumo da aplicação do método do vizinho mais próximo para a análise de divergência entre os clones de *E. grandis* x *E. urophylla*

Passo	Junção dos clones	Nível (distância)
I	4 e 6	17,1251
II	7 e 8	23,1503
III	3 e 9	32,3900
IV	7,8 e 5	44,4380
V	5,7,8 e 3,9	46,9237
VI	3,5,7,8,9 e 4,6	61,4602
VII	3,4,5,6,7,8,9 e 2	96,2728
VIII	2,3,4,5,6,7,8,9 e 1	139,0677

Figura 19 – Dendrograma de similaridade entre os nove clones de *E. grandis* x *E. urophylla* baseado nas distâncias generalizadas de Mahalanobis. Fonte: O autor.



Analisando o dendrograma se observa que houve a formação de um grupo mais homogêneo composto pelos clones originados do múltiplo uso e que os clones 1 e 2, originados de plantios com uso exclusivo para celulose, se mantiveram mais afastados deste grupo. Porém, mesmo diante da dissimilaridade, verifica-se que o clone 2 está mais próximo ao agrupamento dos clones com 13 anos e pode ser

considerado mais semelhante a eles do que o clone 1, uma vez que quanto menor o valor da distância entre eles mais semelhantes são os indivíduos.

Ao se analisar os resultados obtidos a partir da aplicação do método de otimização de Tocher na análise de agrupamentos, foi possível discriminar dois grupos distintos, como visualizados na Tabela 16:

Tabela 16 – Grupos de dissimilaridade entre clones de *E. grandis* x *E. urophylla* estabelecidos pelo método de Tocher, a partir das Distâncias de Mahalanobis ( $D^2$ ) e as estimativas de distâncias de  $D^2$  intragrupos

<b>Grupos</b>	<b>Clones</b>	<b>Distância média intragrupos</b>
I	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	104,6749
II	1, 2	69,5339

A quantidade de grupos discriminada pela aplicação do método de Tocher foi equivalente ao inferido na avaliação dos escores das duas primeiras variáveis canônicas. A divergência observada nos resultados obtidos pelas duas técnicas consistiu em que a quantidade de clones que compunham o grupo II foi reduzida, de forma que o clone 8, inicialmente considerado pela dispersão gráfica dos escores das VC1 e VC2 incluso no grupo II, após análise pelo método de Tocher, passou a compor o grupo I.

A formação da estrutura em árvore do dendrograma permitiu verificar de forma sucinta a formação dos grupos obtidos pela aplicação do método de Tocher, em que a proximidade entre os clones originados do múltiplo uso foi um indicador da similaridade entre estes clones, assim como foi possível observar a existência de dois grupos.

A distância média intragrupos observada no grupo I é maior que a do grupo II. Este fato está relacionado ao grupo II ser formado apenas por dois clones e a distância média ser referente a distância entre eles. Como sete clones compõe o grupo I, a distância média intragrupos deste grupo é referente à combinação da distância entre estes clones e desta forma é maior que a do grupo II, uma vez que, além de existirem mais indivíduos neste grupo, mesmo sendo identificados em um mesmo grupo, ainda existe variabilidade entre estes indivíduos.

Na Tabela 17 está a estimativa das Distâncias de Mahalanobis intergrupos. A partir do resultado observado entre as distâncias dos grupos I e II nota-se a diferença existente entre a madeira originada de plantios de uso exclusivo para a produção de celulose e os destinados ao uso múltiplo, sendo possível inferir que a utilização destas matérias-primas no processamento para obtenção de polpa celulósica terá comportamento diferente entre os grupos.

Tabela 17 – Estimativas de distâncias de Mahalanobis intergrupos

Grupos	II
I	239,7704

A partir das análises de agrupamentos realizadas, foi possível observar que os nove clones estudados, quanto suas dissimilaridades, podem ser agrupados formando dois grupos. Os valores médios das características da madeira para cada grupo estão na Tabela 18.

Tabela 18 – Classificação e valores médios intragrupos das características avaliadas para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla*

	Grupos	
	I	II
Clones	3 4 5 6 7 8 9	1 2
Volume de madeira (m <sup>3</sup> )	0,5207 a*	0,1869 b
Volume de alburno (m <sup>3</sup> )	0,2154 a	0,1352 b
Densidade básica – ponderação radial (g.cm <sup>-3</sup> )	0,5750 a	0,4541 b
Densidade básica – ponderação longitudinal (g.cm <sup>-3</sup> )	0,5711 a	0,4921 b
Frequência vascular (n <sup>o</sup> .mm <sup>-2</sup> )	8,5 b	11,5 a
Diâmetro vascular (µm)	127,8413 a	102,9505 b
Comprimento de fibra (µm)	1057,7469 a	1053,2451 a
Espessura da parede da fibra (µm)	5,3339 a	4,6993 b
Extrativos totais (%)	3,3729 a	3,6206 a
Lignina total (%)	31,4001 b	33,4773 a

\* Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si estatisticamente pela análise de variância (P ≤ 0,05).

Quando comparados os volumes de madeira obtidos pela combinação dos clones que compõe cada grupo, o grupo I alcançou maior volume médio que o grupo II. Combinado o volume de madeira ao maior valor de densidade básica, tanto na ponderação radial quanto na longitudinal, as árvores do grupo I foram as que geraram maior quantidade de madeira. Considerando-se a densidade básica em sua variação longitudinal de cada árvore do grupo I obtêm-se em média 297,37 Kg de madeira em comparação aos 91,97 Kg obtidos a partir das árvores do grupo II.

Quanto a composição química, não houve diferença significativa no teor de extrativos, mas o teor de lignina do grupo I foi menor que o do grupo II. Duarte (2007) destacou que o rendimento no processo de polpação e o consumo de reagentes químicos estão fortemente relacionados a constituição química da madeira, o que confere ao menor percentual de lignina do grupo I maior adequação a utilização para celulose.

Foelkel (2013) afirmou que, considerando madeiras de uma mesma espécie, uma redução de 1,2 a 1,5% do teor de lignina equivale a cerca de 1% em ganho no rendimento da polpação. Como a variação no teor de lignina total entre os grupos foi cerca de 2% de diferença, sugere-se um aumento de aproximadamente 1,3% no rendimento da polpação do grupo I comparado ao grupo II.

As fibras do grupo I quanto ao seu comprimento não possuem diferença significativa comparadas as do grupo II, porém, a espessura da parede das fibras do grupo II foi inferior aos do grupo I. Maiores espessuras de parede favorecem a hidratação e inchamento das fibras, aumentando ainda mais seu volume, gerando maior área para ligações e, desta forma, proporcionando condições para maiores resistências (CARVALHO et al., 1998).

A frequência vascular média observada no grupo II foi superior a no grupo I e o diâmetro dos poros com comportamento inverso, com este sendo maior no grupo I quando comparado ao grupo II. Madeiras com maior frequência e diâmetro vascular facilitam a impregnação dos produtos químicos na polpação, favorecendo o processo de deslignificação e a redução de finos (FOELKEL, 2007).

#### 4. CONCLUSÕES

A seleção e agrupamento dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* visando a produção de polpa celulósica foi eficiente a partir da aplicação de técnicas multivariadas. Observou-se que a variação longitudinal da densidade básica foi a variável mais importante na distinção entre os clones e, de forma inversa, as variáveis volume de alburno e frequência vascular pouco contribuíram para esta distinção.

A divergência entre a madeira originada de clones de plantios exclusivos para a produção de celulose e os de plantios de uso múltiplo foi evidenciada pela constituição dos agrupamentos.

Por meio da distância generalizada de Mahalanobis e pelo método de otimização de Tocher foi possível definir dois grupos distintos em consideração as características da madeira.

A partir da homogeneidade obtida intragrupos por meio da aplicação das técnicas de agrupamento, foi possível inferir que o processamento de forma conjunta dos clones de cada grupo será passível de menor variabilidade do que se realizado entre clones de diferentes grupos.

O grupo I foi o mais indicado para a produção de celulose, fundamento nas características avaliadas da madeira. Além de maior disponibilidade de matéria-prima, em função do maior volume de madeira e da densidade básica, o grupo I possui características anatômicas e químicas mais adequadas ao processamento para obtenção de polpa celulósica quando comparado ao grupo II.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

CARVALHO, H. G.; OLIVEIRA, R.C.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L. **Efeito da idade de corte da madeira e de variáveis de refino nas propriedades da celulose Kraft branqueada de eucalipto**. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 31, 1998, São Paulo, **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1998.

CASTRO, A. F. M.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; LIMA, J. E.; SANTOS, R. C.; PEREIRA, B. L. C.; ALVES, I. C. N. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.48, n.6, p.627-635, 2013.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. V. 1, 4 ed. Viçosa: Editora UFV, 2012.

DUARTE, F. A. S. **Avaliação da madeira de *Betula pendula*, *Eucalyptus globulus* e de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* destinadas à produção de celulósica Kraft**. 2007. 107p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2007.

FERREIRA, C. A.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, D. C.; SANTOS, M. V. F.; SILVA, J. A. A.; LIRA, M. A.; MOLICA, S. G. Utilização de técnicas multivariadas na avaliação da divergência genética entre clones de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.). **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n.6, p. 1560-1568, 2003.

FERREIRA, D. F. **Estatística Multivariada**. Notas de Aula. Departamento de Ciências Exatas: Universidade Federal de Lavras. 1996.

FERREIRA, D. F. **Estatística Multivariada**. 2 ed. Lavras: Editora UFLA, 2011.

FOELKEL, C. E. B.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade para madeira de eucalipto para produção de celulose. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, 1990, Campos do Jordão, **Anais...** São Paulo, 1990.

FOELKEL, C. E. B. **Elementos de vaso e celulose de eucalipto**. 2007. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 11 dez. 2013.

FOELKEL, C. E. B. **Aspectos práticos e conceituais sobre a fabricação de celulose de mercado do tipo kraft branqueada a partir de madeira de eucalipto.** 2013. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 17 dez. 2013

HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados.** 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E. **Multivariate data analysis.** 7 ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis.** 6 ed. New Jersey: Pearson, 2007.

MOITA NETO, J. M. **Estatística multivariada - Uma visão didática-metodológica.** 2004. Disponível em: <[http://criticanarede.com/cien\\_estatistica.html](http://criticanarede.com/cien_estatistica.html)>. Acesso em: 27 nov. 2013.

PROTASIO, T. P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F. 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. 15-28, 2013.

QUILHÓ, T.; MIRANDA, I.; PEREIRA, H. Within-tree variation in wood fiber biometry and basic density of the Urograndis Eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* × *E. Urophylla*). **IAWA Journal**, v. 27, n.3, p.243–254, 2006.

REGAZZI, A. J. **Análise multivariada.** Notas de Aula. Departamento de estatística – DET: Universidade Federal de Viçosa. 2010.

RENCHER, A. C. **Methods of multivariate analysis.** 2 ed. Published Online: 2003. USA: Wiley Interscience, 1934. Disponível em: <<http://tx.shu.edu.tw/~purplewoo/Literature/!DataAnalysis/Methods%20of%20Multivariate%20Analysis.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2013.

SARTORIO, S. D. **Aplicações de técnicas de análise multivariada em experimentos agropecuários usando o software R.** 131p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

SOUZA, A. L. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas:** componentes principais, variáveis canônicas e correlações canônicas. Notas de Aula. Departamento de Engenharia Florestal – Universidade Federal de Viçosa. (s.d.). Disponível em: <<ftp://www.ufv.br/def/disciplinas/ENF642/Apostila-TECMULTIVARIADAS/AloisioXavier/Apostila-AXavier.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2013.

SOUZA, P. M. de; LIMA, J. E. de. Intensidade e dinâmica da modernização agrícola no Brasil e nas unidades da Federação. **Revista Brasileira de Economia**, v.57, n. 4, p.795-824, 2003.

TIMM, N. H. **Applied multivariate analysis**. New York: Springer, 2002.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v.9, n.1, p.66-80, 2003.

TRUGILHO, P. F.; BIANCHI, M. L.; GOMIDE, J. L.; SCHUCHARDT, U. Classificação de clones de *Eucalyptus* sp visando à produção de polpa celulósica. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.6, p.895-899, 2004.

VARELLA, C. A. A. **Análise multivariada aplicada as ciências florestais: Análise de variáveis canônicas**. Notas de Aula. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo do Departamento de Solos do Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. (s.d.). Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/analise%20multivariada.htm>>. Acesso em: 29 nov. 2013.