



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

THAÍS PEREIRA FREITAS

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E DA QUALIDADE DA MADEIRA DE
CLONES DE *Eucalyptus* EM DOIS AMBIENTES PARA PRODUÇÃO DE
CELULOSE**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES
JULHO – 2015

THAÍS PEREIRA FREITAS

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E DA QUALIDADE DA MADEIRA DE
CLONES DE *Eucalyptus* EM DOIS AMBIENTES 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. D. Sc. José Tarcísio da Silva Oliveira.

Coorientadora: D.Sc. Graziela Baptista Vidaurre

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

JULHO – 2015

F866a Freitas, Thaís Pereira, 1990-
Avaliação do crescimento e da qualidade da madeira de clones de Eucalyptus em dois ambientes para produção de celulose / Thaís Pereira Freitas. – 2015.
82 f. : il.

Orientador: José Tarcísio da Silva Oliveira.

Coorientadores: Graziela Baptista Vidaurre.

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

1. Eucalipto. 2. Propriedades da madeira. 3. Local de crescimento. 4. Polpação kraft. I. Oliveira, José Tarcísio da Silva. II. Vidaurre, Graziela Baptista. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

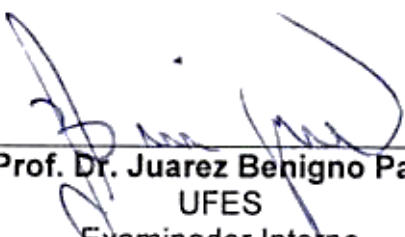
CDU: 630

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E DA QUALIDADE DA MADEIRA DE
CLONES DE EUCALYPTUS EM DOIS AMBIENTES PARA PRODUÇÃO DE
CELULOSE**

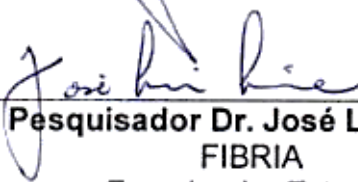
Thaís Pereira Freitas

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.

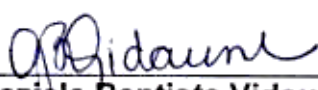
Aprovada em 24 de julho de 2015.



Prof. Dr. Juarez Benigno Paes
UFES
Examinador Interno



Pesquisador Dr. José Luis Lima
FIBRIA
Examinador Externo



Prof. Dra. Graziela Baptista Vidaurre
UFES
Coorientadora



Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira
UFES
Orientador

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, e acima de tudo, a Deus, porque sem a presença Dele eu não chegaria até aqui, vem Dele tudo o que sou, o que tenho e o que espero.

A minha família, que é a base de tudo, que sempre me apoiou nessa caminhada de vida acadêmica, e compartilhou comigo os momentos difíceis, os sorrisos, e agora também, dividimos o mérito desta conquista.

Em especial, aos meus pais Antônio e Vilma, que se doaram por inteiro e renunciaram seus sonhos, para que, muitas vezes, pudéssemos realizar os nossos. Aos meus irmãos Alisson e Eduardo, a minha cunhada Fernanda, e meu namorado Warley, pelo carinho e disponibilidade em me ajudar, em todos momentos que precisei.

A Universidade Federal do Espírito Santo pela estrutura e oportunidade a mim concedida em realizar a graduação e o mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pelo apoio prestado durante toda a realização do mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa concedida.

A Fibria Celulose S.A. pela doação do material de estudo e análises concedidas.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo – FAPES e a University of British Columbia, que tornaram possível a realização do Estágio Técnico Científico no exterior, assim como ao Prof. Shawn Mansfield, que aceitou me orientar durante o período do estágio.

Ao meu querido orientador, Professor José Tarcísio da Silva Oliveira, pela amizade, dedicação, atenção, carinho e incentivo, sempre me fazendo acreditar que eu era capaz, inclusive durante o período que esteve ausente.

A Professora Graziela Baptista Vidaurre, pela disponibilidade, troca de informações e pela colaboração para que este estudo pudesse ser realizado.

Ao Professor Juarez Benigno Paes e ao Pesquisador José Luis Lima que prontamente aceitaram o convite para participar como membros da Banca Examinadora.

Aos professores do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira pelos ensinamentos de vida acadêmica.

Aos pesquisadores Braz Demuner e José Luis Lima pelo direcionamento da pesquisa.

Aos Funcionários dos Laboratórios, José Geraldo, Gilson e Elecy, que me auxiliaram durante o preparo das amostras, e aos funcionários do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Calebe, Elizângela e Dona Marise agradeço pelo apoio e amizade.

Aos meus amigos madeireiros e floresteiros, João Gabriel, Brunela Pollastrelli, Ana Carolina Boa, Luciana, Allan Ewerton, Lair David que foram solidários quando necessitei de auxílio durante alguma etapa da dissertação.

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 a todos os meus amigos, colegas do mestrado, alunos de graduação, professores e funcionários do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira que, direta ou indiretamente contribuíram para a concretização deste trabalho.

RESUMO

FREITAS, Thaís Pereira. **Avaliação do crescimento e da qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em dois ambientes para produção de celulose**, 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro-ES, Orientador: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira. Coorientadora: Prof.^a Dr.a Graziela Baptista Vidaurre.

A madeira de plantações de eucalipto constitui a principal fonte de matéria-prima para a produção de celulose branqueada no Brasil, que ocupa hoje a posição de maior produtor mundial de celulose de fibra curta. Sabe-se que o local de crescimento, pode influenciar no desenvolvimento da planta e consequentemente nas propriedades da madeira que está sendo formada. Desta forma, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do ambiente no crescimento e nas características tecnológicas da madeira em clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para produção de celulose. Os clones estudados foram provenientes de plantios de testes clonais da empresa Fibria Celulose S.A., em duas localidades, Nova Almeida – Espírito Santo e Posto da Mata – Bahia, com idade de 6,5 anos. Foram avaliadas as características anatômicas, químicas e a densidade básica da madeira, os parâmetros de polpação kraft e as correlações existentes entre algumas destas características empregando-se a matriz de correlação de Pearson a 1% de significância. Dentre os parâmetros avaliados, o percentual de cerne e alburno foram as únicas características que não apresentaram influência do local de crescimento para todos os clones estudados. O volume de madeira, a densidade básica, a espessura da parede das fibras e a relação lignina siringil:guaiacil foram as características consideradas mais estáveis as variações do ambiente. Foi observado uma correlação negativa significativa da densidade básica com o rendimento da polpação e o consumo específico aparente de madeira para produção de celulose, e também uma tendência de diminuição da relação lignina siringil:guaiacil com o aumento densidade básica.

Palavras-chave: Eucalipto, propriedades da madeira, local de crescimento, polpação kraft.

ABSTRACT

FREITAS, Thaís Freitas. **Growth and wood quality evaluation of *Eucalyptus* clones in two environments to pulpwood**, 2015. Dissertation (Master Degree in Forestry Science) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, Espírito Santo State. Advisor: Prof. D.Sc. José Tarcísio da Silva Oliveira. Joint advisor: Prof. D.Sc. Graziela Batista Vidaurre.

The eucalyptus wood plantations is the main source of material for the production of bleached pulp in Brazil, which currently holds the position of the largest producer of hardwood pulp in the world. It is known that the place of growth may influence the growth plant and consequently the wood properties that is being formed. Thus, the objective of this work was to evaluate the environment effect on growth and wood technological characteristics in *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* clones to pulpwood. The studied clones were derived from clonal test plantations of the Fibria Celulose S.A. company, in two locations, Nova Almeida – ES and Posto da Mata – BA, with 6,5 years old. It was evaluated the wood anatomical and chemical characteristics, the specific gravity, the kraft pulping parameters, and the correlations between some of these characteristics employing the Pearson correlation matrix 1% of significance. Among the evaluated parameters, the heartwood and sapwood were the only features that showed no influence of growing location for all the studied clones. The timber volume, the specific gravity, the fiber wall thickness and the syringyl:guaiacyl lignin ratio were the characteristics considered more stable to environment changes. A significant negative correlation between specific gravity with yield pulping and the consumption specific apparent of wood for pulpwood was observed, and also a trend of decreased syringyl:guaiacyl lignin ratio with increasing basic density.

Keywords: Eucalyptus, wood properties, growth site, kraft pulping.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO GERAL	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 O GÊNERO <i>EUCALYPTUS</i>	3
2.1.1 O eucalipto na produção de celulose	4
2.2 INTERAÇÃO GENÓTIPOS X AMBIENTES.....	5
2.3 QUALIDADE DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE.....	6
2.3.1 Características dendrométricas.....	6
2.3.2 Anatomia da madeira	8
2.3.3 Densidade básica da madeira.....	10
2.3.4 Química da madeira.....	10
2.3.4.1 Carboidratos da madeira.....	11
2.3.4.2 Lignina.....	12
2.3.5 Processo de polpação da madeira.....	14
3. METODOLOGIA	16
3.1 MATERIAL EXPERIMENTAL E LOCAL DE AMOSTRAGEM	16
3.2 AMOSTRAGEM DA MADEIRA.....	18
3.3 CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA DAS ÁRVORES	19
3.4 ANÁLISES PARA CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA	20
3.4.1 Densidade básica da madeira.....	20
3.4.2 Anatomia da madeira	21
3.4.3 Análises químicas realizadas	23
3.4.3.1 Teor de extrativos na madeira.....	23
3.4.3.2 Teores de holocelulose e lignina na madeira.....	23
3.4.3.3 Teor de carboidratos da madeira.....	24
3.4.3.4 Relação lignina siringil:guaiacil.....	25
3.4.4 Polpação kraft da madeira	26
3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28

4.1 CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA, CERNE:ALBURNO E DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA.....	28
4.2 ANÁLISE ANATÔMICA DA MADEIRA	32
4.2.1 Frequência e diâmetro dos vasos	32
4.2.2 Dimensões das fibras.....	35
4.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA.....	43
4.3.1 Teores de carboidratos na madeira	46
4.4 POLPAÇÃO KRAFT DA MADEIRA	49
4.5 CORRELAÇÃO DE PEARSON	53
5. CONCLUSÕES.....	55
6. REFERÊNCIAS	56
APÊNDICES	68

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro é um dos mais desenvolvidos e competitivos do mundo. No Brasil, as florestas plantadas constituem a principal fonte de matéria-prima para as indústrias de base florestal. Em 2013 a área de plantio de eucalipto no Brasil atingiu um total de 5.473.176 hectares, o que representou 72,0% da área total de florestas plantadas no país (IBÁ, 2014).

O Brasil é hoje o quarto maior produtor de celulose, com uma produção de 15,1 milhões de toneladas anuais, ficando atrás apenas do Canadá, China e Estados Unidos, respectivamente. Cerca de 82% da produção de celulose branqueada nacional é de eucalipto, sendo o Brasil o maior produtor mundial (IBÁ, 2014). Este destaque deve-se à elevada produtividade das florestas nacionais de *Eucalyptus* e a alta qualidade desta madeira, graças à ampla extensão territorial do país, aos fatores ambientais favoráveis e aos grandes investimentos em pesquisas e melhoramento florestal.

A seleção de clones de *Eucalyptus* spp. para estabelecimento de florestas com a qualidade requerida pelas empresas exigem análises e testes de milhares de clones potenciais. A seleção de clones se inicia com os aspectos silviculturais e, depois de uma seleção preliminar, é indispensável a realização de análises tecnológicas para estabelecimento da qualidade da madeira. Apenas depois desses estudos silviculturais e tecnológicos é que são selecionados os clones para multiplicação e formação de florestas homogêneas que irão apresentar, após um período de rotação de cinco a sete anos, alta produtividade florestal e, também, alta qualidade tecnológica para produção de polpa celulósica (GOMIDE; FANTUZZI NETO; REGAZZI, 2010).

O melhoramento florestal busca a melhoria do material genético e da melhor combinação entre o material genético com o local de crescimento (PINHEIRO, 1999; HIGA; SILVA, 2009), uma vez que, a seleção de espécies/procedências embasada nas características de qualidade do sítio também é de extrema importância, pois existem diversos fatores edafoclimáticos que podem influenciar no crescimento da planta e nas propriedades da madeira que está sendo formada.

A seleção de materiais genéticos que se comportem bem não somente em um local em particular, mas em diferentes locais de crescimento é importante, assim como a realização de estudos que verifiquem quais as características dendrométricas e tecnológicas da madeira sofrem maior efeito do ambiente.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito do ambiente no crescimento e nas características tecnológicas da madeira em clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para produção de celulose.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito do ambiente nos parâmetros dendrométricos (alturas comercial e total, diâmetro a altura do peito - DAP e volumes de madeira e casca) e na densidade básica ponderada e no DAP na madeira dos clones estudados;
- Verificar a influência do ambiente nos componentes do tronco (cerne e alburno) e na variabilidade radial dos parâmetros anatômicos (vasos e fibras) para o material em estudo;
- Determinar a ação do ambiente na constituição química da madeira dos clones (extrativos, holocelulose, lignina, lignina siringil:guaiacil e teor de carboidratos); e das variáveis de polpação kraft (rendimento depurado e consumo específico aparente); e
- Correlacionar as características dendrométricas das árvores, as características tecnológicas da madeira e as variáveis da polpação kraft.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O GÊNERO *EUCALYPTUS*

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae, é originário da Austrália, exceto as espécies *E. urophylla* e *E. deglupta* que ocorrem nas ilhas da Oceania. Mais de 670 espécies já foram identificadas, e existe também, um número muito grande de variedades e híbridos (BERTOLA, 2013).

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ (2014), em 2013 a área com florestas plantadas no Brasil atingiu 7,60 milhões de hectares. Os plantios de eucalipto representaram 72,0% desse total (5.473.176 hectares) apresentando crescimento de 3,2% (169.012 ha) frente ao indicador de 2012. As florestas de pinus representaram 20,7% da área total plantada no país e a acácia, teca, seringueira e paricá estão entre as outras espécies plantadas no Brasil (Figura 1) (IBÁ, 2014).

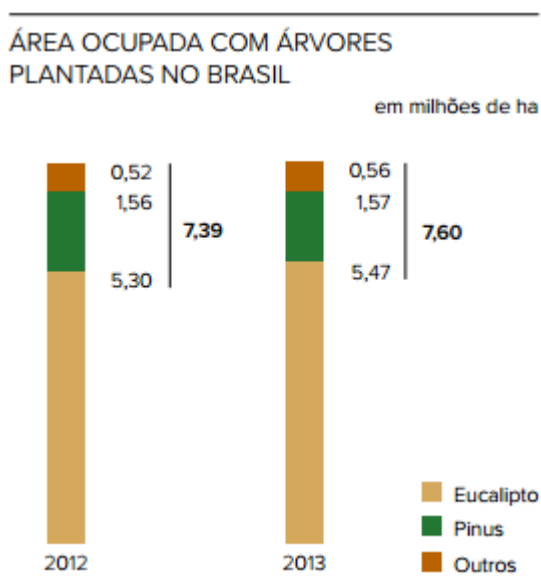


Figura 1. Área ocupada com árvores plantadas no Brasil. Fonte: (IBÁ, 2014).

Em escala mundial o plantio de eucalipto também se destaca e estima-se que 20 milhões de hectares estão plantados e distribuídos em zonas tropicais, subtropicais e temperadas (REJMÁNEK; RICHARDSON, 2011). Por causa das boas características de

crescimento, aliadas a uma qualidade dentro dos padrões aceitáveis, as espécies de *E. urophylla* e *E. grandis*, assim como os seus híbridos, são extremamente utilizados pelas indústrias de celulose no Brasil (BARBOSA, 2013).

A implantação de florestas de eucalipto, tanto em escala industrial como para pequenos consumidores, está relacionada a algumas vantagens da espécie, como rápido crescimento; características silviculturais desejáveis (incremento, forma e desrama natural); grande diversidade de espécies, possibilitando a adaptação da cultura às diversas condições de clima e solo; facilidades de propagação, tanto por sementes como por via vegetativa; e possibilidades de utilização para os mais diversos fins, o que justifica sua aceitação no mercado. Além dessas características desejáveis citadas, o conhecimento acumulado sobre silvicultura e manejo do eucalipto e melhoramento genético, favorecem ainda mais a utilização do gênero para os mais diversos fins (ANGELI et al., 2005).

2.1.1 O eucalipto na produção de celulose

O eucalipto começou a ser utilizado no Brasil há cerca de 50 anos, e os plantios eram principalmente destinados à produção de lenha e carvão, uma vez que, nessa época, o eucalipto era considerado como matéria-prima de qualidade inferior para a produção de polpa celulósica. Com o passar dos anos, o avanço da tecnologia e estudos, juntamente com a falta de recursos fibrosos fez com que essa situação se invertesse, e a polpa de eucalipto é considerada como de excelente qualidade, conseguindo competir vantajosamente no mercado mundial com polpas de outras espécies (KIMO, 1986).

Segundo a IBÁ (2014), o uso da madeira de eucalipto pelas indústrias brasileiras como matéria-prima para produção de celulose e papel, representou em 2013, aproximadamente 86,9% do consumo total de madeira *in natura*, que foi igual a 65.193.700m³, sendo a madeira de *Pinus* responsável por 12,4% desse consumo total.

O Brasil teve, nas últimas décadas, uma invejável evolução na produtividade das florestas de *Eucalyptus*, passando de 15 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ na década de 1970 para, uma média nacional de cerca de 45 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ (GOMIDE; FANTUZZI NETO; REGAZZI,

2010). Gomide et al. (2005) ao estudarem clones de *Eucalyptus* de última geração, pertencentes às principais empresas brasileiras de celulose, verificaram que esses plantios florestais no Brasil apresentam os mais elevados níveis mundiais de incremento médio anual (IMA), com produtividade igual ou superior a $50 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para 20% dos clones estudados e incrementos acima de $40 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para 70% dos clones.

No Brasil, grande parte dos plantios do gênero *Eucalyptus* são formados a partir de híbridos, que são árvores obtidas pela combinação genética entre duas espécies, com o objetivo de agregar as melhores características de cada uma de acordo com o destino da madeira e das condições locais. O cruzamento entre as espécies *E. urophylla* e *E. grandis*, formam o híbrido conhecido como *E. urograndis*, e são normalmente preferidas para a fabricação de celulose por apresentarem bom crescimento e uma densidade média que varia entre 0,40 e 0,60 g.cm^{-3} (CARVALHO; 2000, REMADE; 2003).

2.2 INTERAÇÃO GENÓTIPOS X AMBIENTES

O crescimento das árvores é influenciado pelo fator genético, de origem hereditária e pelas condições do meio. O fator genético pode ser solucionado pela aquisição de clones mais adaptados, e as condições do meio, pela atuação direta no local de plantio, a fim de oferecer as condições necessárias para melhor crescimento das plantas (CALDEIRA et al., 1996).

O Brasil possui grande variedade de condições edafoclimáticas. Portanto, para garantir a produção de uma matéria prima o mais homogênea possível, é importante que os clones desenvolvidos tenham o mínimo efeito do local de crescimento nas características tecnológicas de sua madeira (GOUVEA, et al., 2012).

As propriedades da madeira são resultantes da interação entre o potencial hereditário da árvore e das condições ambientais sob as quais ela cresce, e essa influência dos fatores ambientais nas propriedades da madeira formada tem sido alvo de muitos estudos (BRITO, 1985).

Castelo et al. (2008) ao estudarem a influência de diferentes sítios de crescimento na qualidade da madeira de *Pinus taeda* verificaram que madeiras provenientes de sítios

com taxa de crescimento mais elevada tendem a apresentar maiores valores de densidade, largura de fibras e diâmetro do lume, não havendo diferenciação no comprimento das fibras.

No entanto, segundo Ferreira e Kageyama (1978) um maior incremento médio anual populacional condicionam a produção de madeira com menor densidade básica média, ou seja, maior crescimento corresponde a uma menor densidade da madeira produzida. Existem vários estudos de correlações da densidade da madeira com a taxa de crescimento das árvores, e neles são descritas correlações positivas, negativas ou nulas, porém a correlação negativa é a mais aceita (maior taxa de crescimento proporciona menor densidade).

Essa formação de madeiras com maior ou menor densidade, para maiores taxa de crescimento, que é o desejável, pode ser favorável ou não, dependendo do uso a qual esta madeira será destinada, como por exemplo, para produção de papel absorvente, madeiras mais densas são favoráveis, enquanto que, para produção de papel de imprimir e escrever, é preferível madeiras menos densas, com melhor formação da folha.

2.3 QUALIDADE DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE

A caracterização da madeira, apesar de dispendiosa, é de fundamental importância e de grande utilidade em programas de melhoramento genético florestal. Na etapa de seleção de clones potenciais para produção de polpa celulósica são recomendados os estudos de densidade básica, de constituição química, das características estruturais anatômicas e inevitavelmente, de transformação da madeira em polpa celulósica (GOMIDE, FANTUZZI NETO e REGAZZI, 2010).

2.3.1 Características dendrométricas

O termo dendrometria é de origem grega, significando medida da árvore (dendro = árvore; metria = medida), podendo ser definida como o ramo da Ciência Florestal que

se encarrega em determinar ou estimar os recursos florestais, quer sejam da própria árvore ou do próprio povoamento, com finalidade de predizer, com precisão, o volume, o incremento ou a produção de um determinado recurso florestal (SILVA; PAULA NETO, 1979).

Uma árvore, sob o ponto de vista dendrométrico, apresenta diversas características ou variáveis que a identifica e que têm, portanto, um interesse particular. Dentre essas características, inclui-se, a idade, o diâmetro a altura do peito, tomado a 1,30 m do solo (DAP), a altura da árvore, espessura da casca e relação cerne e alburno.

Sacco, Ferreira e Sansígolo (2002) estudaram o efeito do cerne e alburno na produção de celulose kraft em cavacos de *Eucalyptus grandis* verificaram que, em decorrência do maior teor de extrativos e lignina, na madeira do cerne há maior consumo de álcali, resultando em uma elevada perda no rendimento. Portanto, conclui-se que o cerne é indesejável no processo de polpação, e quanto menor a relação cerne:alburno na madeira, menor será o consumo de álcali e conseqüentemente, maior será o rendimento da polpa.

A casca é constituída por um baixo conteúdo de celulose e lignina, porém é rica em extrativos, água e cinzas, e por isso, é um material que resulta em baixos rendimentos de celulose, demandando de alto consumo de químicos no cozimento e produz polpas com alvura muito baixa (FOELKEL, 2006). Além disso, por conter contaminantes como solo e areia, a presença de casca leva a maior abrasão e desgates dos equipamentos, aumentando a necessidade de manutenções, causando também problemas de entupimento das tubulações nas caldeiras.

Lopes (2013), estudou árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* aos 27 anos de idade, a fim de agrupá-las em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira. O autor verificou que os volumes comerciais com casca e sem casca se correlacionaram positivamente com as variáveis dendrométricas altura comercial, altura total, DAP, relação altura:diâmetro; e negativamente com o fator de forma.

2.3.2 Anatomia da madeira

Diversos autores destacam a importância do conhecimento das características anatômicas da madeira e sua influência sobre as características da polpa celulósica e do papel (KLOCK, 2000). Uma vez que, as dimensões dos vasos e das fibras interferem diretamente na qualidade e tipo de papel formado. Por exemplo, madeiras com fibras de paredes espessas são mais adequadas para produção de papéis absorventes, enquanto os papéis de imprimir e escrever demandam em sua fabricação, madeiras com fibras de paredes delgadas para obtenção de melhor qualidade no produto final.

A relação de volume ocupado por vasos, fibras e parênquima na madeira de diferentes espécies de eucalipto, são fatores importantes na determinação de suas propriedades físicas e mecânicas. Os tecidos fibrosos ocupam de 30 a 70% do volume da madeira, sendo mais abundantes em madeiras de alta densidade (OLIVEIRA, 1997).

O conhecimento das características anatômicas dos elementos fibrosos das polpas permite que sejam previstas indicações das propriedades de seus papéis, uma vez que, as características morfológicas das fibras, assim como a quantidade destas por unidade de massa influenciam diretamente a qualidade do papel formado. Segundo Gomide et al. (2005) a presença de fibras mais curtas na madeira contribui para uma boa formação da folha, enquanto as fibras mais longas favorecem a resistência ao rasgo. Os mesmos autores relatam que fibras com parede celular mais espessa conferem maior opacidade e melhor maciez aos papéis para impressão e escrita e papéis *tissue*.

Barbosa (2013) ao estudar a morfologia das fibras de *E. grandis* x *E. urophylla* com 6 anos, que cresceram em cinco diferentes regiões do estado de Minas Gerais, verificou que, para este híbrido, houve influência dos diferentes sítios nas características das fibras, principalmente em sua largura (Tabela 1).

Tabela 1. Morfologia das fibras de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6 anos de idade, no DAP.

Local	C (µm)	L (µm)	DL (µm)	EP (µm)
Belo Oriente	1157	22,5	10,4	5,8
Ferros	1179	23,7	11,5	6,1
Santa Bárbara	1219	24,1	11,6	6,3
Itabira	1191	21,2	9,3	6,0
Peçanha	1173	23,4	11,6	6,0

C: comprimento; L: largura; DL: diâmetro do lume e EP: espessura de parede.

Fonte: Barbosa (2013). Adaptado pelo autor.

Gouvea et al. (2012) ao estudarem o efeito de dois sítios nas características tecnológicas da madeira de três clones de eucalipto com aproximadamente oito anos de idade, verificaram que o sítio não influenciou significativamente no comprimento da fibra, apresentando comprimento de fibras médio de 1,03 mm para os três clones nos dois locais avaliados.

Além da importância na fisiologia e crescimento das árvores, os vasos também se destacam no processo de conversão da madeira em polpa celulósica, uma vez que, sua presença nas madeiras de folhosas favorece a penetração e impregnação dos cavacos pelo licor de cozimento kraft (ALVES, 2005).

Na qualidade da madeira para a produção de papel, a determinação do teor de elementos de vasos e as suas dimensões, principalmente o seu diâmetro, também são importantes, pois a presença de vasos largos, numerosos e compridos são um problema para papéis de impressão, uma vez que, são responsáveis por causar um defeito de impressão conhecido como “vessel picking” ou arrepelamento de vasos. Portanto, polpas com menores teores de vasos e de menores dimensões, são mais adequadas para este tipo de papel (FOELKEL, 2007).

2.3.3 Densidade básica da madeira

Segundo Folkel et al. (1990), a densidade básica tem-se mostrado um bom índice universal para avaliar a qualidade da madeira, sendo essa propriedade a que mais fornece informações sobre as demais características das madeiras.

Na produção de celulose e papel a densidade está relacionada ao rendimento do processo em um determinado grau de deslignificação e também pode indicar o desempenho de propriedades físico-mecânicas da polpa (BUSNARDO et al., 1983).

Madeiras menos densas levam a redução do rendimento volumétrico em celulose por volume de cavacos, além de características como alto teor de vasos de dimensões demasiadas, indesejáveis na produção de papel de impressão, ou alto teor de parênquima, gerando maior teor de finos (Folkel et al., 1990). Por outro lado, madeiras com densidade alta geralmente possuem grande percentual de células com paredes espessas, o que pode implicar na redução da resistência do papel. Ao alto valor de densidade ainda estão relacionadas a formação de papéis volumosos, grosseiros, porosos, com alta capacidade de absorção e elevada elasticidade sob pressão (BURGUER; RICHTER, 1991).

Os projetos de melhoramento florestal e os critérios de implantação de novas fábricas de celulose têm priorizado madeiras mais densas, com densidade superior a $0,50 \text{ g cm}^{-3}$, visto que, apesar delas necessitarem de cozimentos mais drásticos, em termos de temperatura e carga de álcali, o custo-benefício é atrativo, tendo em vista a maior produtividade do processo quanto à produção de polpa por volume do digestor (ALVES, 2010).

2.3.4 Química da madeira

A madeira é constituída quimicamente por componentes macromoleculares, que são os constituintes primários ou estruturais da parede celular, formado por celulose, hemicelulose e lignina; e os constituintes secundários ou não estruturais que são os extrativos e os compostos inorgânicos (KLOCK, 2005).

Hillis e Brown (1978) citam que a composição química das madeiras do gênero *Eucalyptus* variam de 40 a 62% de celulose, 12 a 22% de hemiceluloses e de 15 a 25% de lignina. Estas variações nos componentes químicos ocorrem por causa de vários fatores, como, espécie, tratos silviculturais e, principalmente, a sua estrutura anatômica (SEVERO; CALONEGO; SANSÍGOLO, 2006).

A caracterização química de madeiras destinadas à produção de polpa celulósica é de extrema importância, pois ela está diretamente relacionada com a eficiência do processo de polpação, influenciando no consumo de reagentes químicos, no rendimento de polpa celulósica e na quantidade de sólidos gerados (DUARTE, 2006).

2.3.4.1 Carboidratos da madeira

O termo holocelulose compreende o conteúdo total de polissacarídeos da madeira, representado pela fração de celulose e hemiceluloses, que pode atingir até 80% da porção total da mesma, estando presente principalmente na parede celular (GULLICHSEN; PAULAPURO, 2000).

A celulose é o principal constituinte da parede celular, compondo aproximadamente a metade da porção das madeiras de folhosas. Pode ser definida como um polissacarídeo de cadeia linear e alto peso molecular, formado exclusivamente de unidades de β -D-anidroglicopiranosose, que se ligam entre si por meio dos carbonos 1-4, possuindo uma estrutura organizada e parcialmente cristalina (KLOCK, 2005).

Por ser o principal constituinte da polpa, a celulose determina a maioria das propriedades do papel, exercendo influência na resistência da fibra individual e nas ligações entre as mesmas e, associada com as hemiceluloses, determinam as características da polpa celulósica, como resistência e rendimento (ALVES, 2010).

As hemiceluloses, também são polissacarídeos presentes na madeira, porém, ao contrário da celulose, não são cristalinas, possuem menor grau de polimerização e são formadas por várias unidades de açúcares diferentes, de cinco ou seis átomos de carbono, como xilose, manose, glucose, arabinose, galactose, ácido galactourônico,

ácido glucourônico e ácido metilglucourônico, enquanto, a celulose é formada pela repetição da mesma unidade monomérica (KLOCK, 2005).

Durante o processo de polpação, os carboidratos da madeira são parcialmente dissolvidos e/ou, degradados, principalmente, por hidrolises alcalinas e eliminação sequencial do grupo terminal redutor (“peeling”), causando efeitos importantes no consumo dos reagentes, no rendimento do processo e nas propriedades físicas da polpa celulósica. Sendo assim, as características da polpa celulósica produzida estão diretamente relacionadas às hemiceluloses e, assim, o estudo dos carboidratos presente na madeira e o seu comportamento no processo de produção de polpa e papel é de interesse das indústrias (GENCO et al., 1990; PERÍGOLO, 2014).

A quantificação dos grupos das xilanas por exemplo, é importante pois está relacionada com o consumo de álcali durante a polpação, com consequente hidrólise e dissolução, e com a transformação em ácidos hexenurônicos, indesejáveis nas operações de branqueamento (GOMIDE et al., 2005).

A quantificação dos carboidratos na madeira pode ser feita por diferentes métodos, porém os mais precisos são os métodos cromatográficos (cromatografia em camada delgada – CCD, cromatografia gasosa – CG e cromatografia líquida de alta eficiência – CLAE (TAVARES, 2010). A CLAE é um importante processo entre todas as técnicas de separação, pois pode separar misturas que contêm um grande número de compostos similares. Quando associada com detectores por absorvância no ultravioleta e no visível, é uma técnica de separação sensível e rápida, porém seletiva, porque só detecta os compostos que absorvem no comprimento de onda em que opera o detector (COLLINS; BRAGA; BONATO, 2006).

2.3.4.2 Lignina

A lignina é o terceiro componente estrutural da madeira e a fração não-carboidrato da madeira livre de extrativos, constituindo de 18 a 35% de sua massa seca. É um polímero tridimensional complexo, que se difere dos polissacarídeos, por ser formada por um sistema aromático composto de unidades de fenilpropano (EATON; HALE, 1993).

O objetivo do processo de polpação é a remoção da lignina, sendo esta considerada indesejável ao processo. Durante as operações de cozimento e branqueamento visa-se remover a maior parte possível da lignina sem causar danos apreciáveis as fibras. Porém, um residual ótimo de lignina na polpa permite que a fibra se torna mais rígida, resultando em polpas celulósicas com melhores propriedades de resistência (PEREIRA, 2000; ALVES, 2010).

Existem algumas diferenças estruturais entre a lignina encontrada na madeira de coníferas e folhosas. A lignina pode ter um número variável de grupos hidroxílicos e metoxílicos ligados ao seu anel benzênico, e esses grupos fazem com que o fenil-propano tome a forma de radicais químicos bem definidos. Dessa forma, a lignina que ocorre nas madeiras de coníferas predominam radicais de guaiacil-propano, sendo conhecida como lignina guaiacil (G) e nas folhosas, além do guaiacil-propano, predominam radiais de siringil-propano, chamada de lignina siringil (S) (KLOCK, 2005). As angiospermas lenhosas e gimnospermas apresentam ainda unidades *p*-hidroxifenila (H) na composição estrutural de suas ligninas, mas em proporções menores (DEL RÍO et al., 2001).

As estruturas de lignina siringil são menos condensadas que a lignina guaiacil, por não possuírem o carbono reativo C5 disponível, uma vez que este se encontra ligado a um grupo metoxilíco (OCH₃), o que impede a sua ligação com outras substâncias durante a polimerização da biossíntese da lignina e, conseqüentemente, são mais favoráveis à deslignificação pelo licor de cozimento kraft (GOMIDE, et. al., 2005). Segundo Castro (2011), pode-se afirmar que a lignina siringil é degradada a temperaturas mais baixas do que a lignina guaiacil, que possui uma estrutura mais condensada e mais difícil de desfazer.

Desta forma, na seleção de clones para produção de celulose, deve-se atentar não só aos teores de lignina na madeira, mas, também, suas estruturas químicas, que afetam o rendimento do processo, uma vez que, quanto maior a relação lignina siringila:guaiacila (S:G) mais favorável será a deslignificação, possibilitando o uso de uma menor carga de álcali na polpação kraft e conseqüentemente, aumentando o rendimento (HINCHEE et al., 2011).

2.3.5 Processo de polpação da madeira

O processo de polpação consiste na separação ou individualização das fibras mediante a utilização de energia química e/ou, mecânica, para remoção da camada de lignina que mantém as fibras unidas umas às outras (GOMIDE; COLODETTE, 2007).

O processo kraft consiste em atuar sobre a madeira na forma de cavacos com uma combinação de dois reagentes químicos, hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), obtendo-se como resultado a deslignificação da madeira, liberando as fibras, que constituem a “celulose” marrom (SOSA, 2007).

No Brasil, o processo Kraft é o mais utilizado em função das vantagens oferecidas como ciclos mais curtos de cozimento, quando comparado com outros métodos, recuperação economicamente viável dos reagentes e produção de pastas de alto rendimento. Por outro lado, o processo também apresenta como desvantagens o baixo rendimento de polpação (40 a 50%), alto custo de branqueamento, alto custo de implantação e odor dos gases resultantes do processo (CASTRO, 2009).

Costa (2011) ao avaliar a qualidade da madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* para produção de celulose utilizando os processos kraft convencional, constatou que com o aumento do nível de álcali dos cozimentos, ocorre um incremento do nível de deslignificação e conseqüentemente, uma redução do número kappa, dos rendimentos (bruto e depurado) e do teor de rejeitos.

Gomide, Fantuzzi Neto e Regazzi (2010) evidenciaram a importância do teor de lignina e de extrativos na madeira, como critérios de qualidade da madeira de *Eucalyptus* para produção de celulose, uma vez que, estes apresentaram efeitos significativos no rendimento da polpação kraft, com boas correlações com o processo, uma vez que, quanto maior os teores de lignina e extrativos na madeira, maior será o consumo de reagentes e menor será o rendimento depurado.

Os mesmo autores, verificaram que a densidade básica da madeira demonstrou não estar correlacionada significativamente com o rendimento da polpação, mas apresentou correlação significativa negativa com o consumo da madeira para produção de celulose, e portanto, a determinação dessas características de qualidade da madeira

(densidade básica, teor de lignina e teor de extrativos) são fundamentais nos programas de melhoramento florestal.

3. METODOLOGIA

3.1 MATERIAL EXPERIMENTAL E LOCAL DE AMOSTRAGEM

A madeira do estudo foi proveniente de sete clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com idade de 6,5 anos, de áreas de plantio da empresa Fibria Celulose S.A. em duas localidades, Nova Almeida – Espírito Santo, situada entre as coordenadas 20° 3' 7" latitude Sul e 40° 14' 28" longitude Oeste e Posto da Mata – Bahia, situada entre as coordenadas 17° 53' 44" latitude Sul e 39° 34' 2" longitude Oeste (Figura 2).

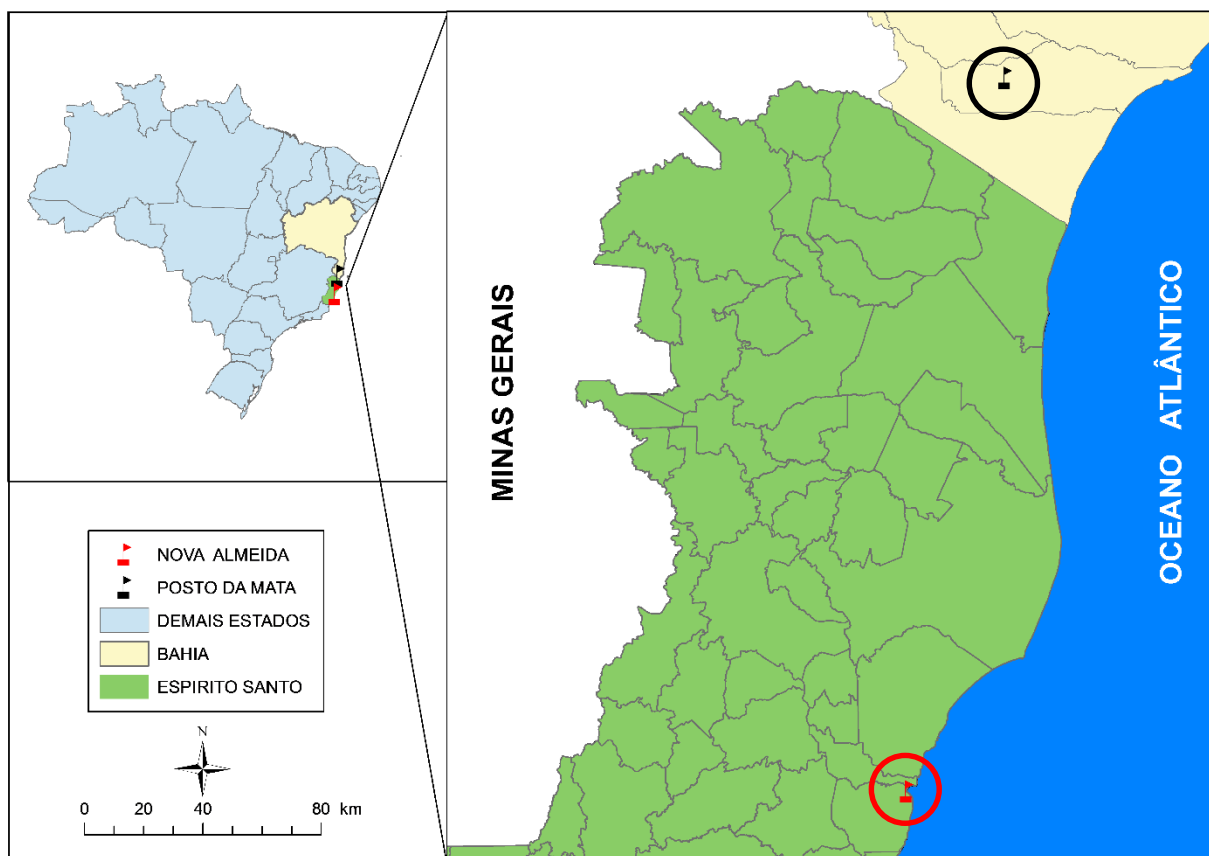


Figura 2. Mapa com localização dos sítios de amostragem das árvores dos clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 6,5 anos de idade.

As características edafoclimáticas dos locais estão listadas na Tabela 2. As informações de precipitação e temperatura, são embasados na série histórica dos anos em que os plantios estiveram instalados (2007-2014) e foram obtidas a partir das estações que compõem o sistema de monitoramento climático da Fíbria Celulose S.A.

Tabela 2. Características edafoclimáticas dos locais de crescimento dos sete clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

Local	PRE	T °C	Tipo de solo	Textura do solo	MO ₁	MO ₂	CAD	Altitude	Relevo
NA	1247,3	23,3	Argissolo amarelo típico	Média/argilosa	2,7	2,3	260	43,0	Suave ondulado
PM	1455,6	24,3	Argissolo amarelo distrófico a proeminente	Arenosa/média/argilosa	1,0	0,9	157	33,3	Plano

NA = Nova Almeida – ES; PM = Posto da Mata – BA; PRE = precipitação média (mm ano⁻¹); T = temperatura (°C); MO₁ = matéria orgânica por colorimetria na primeira camada do solo (dag kg⁻¹); MO₂ = matéria orgânica por colorimetria na segunda camada do solo (dag kg⁻¹); CAD = capacidade de água disponível na camada de até 2 metros de profundidade do solo (mm).

Em cada região, a amostragem das árvores dos sete clones foi realizada no mesmo talhão. Ambos plantios experimentais foram instalados no ano de 2007 sob espaçamento de 3 x 3 m para testes clonais.

3.2 AMOSTRAGEM DA MADEIRA

Com a finalidade de avaliar a influência do local de crescimento nas características dendrométricas das árvores e tecnológicas da madeira, foram avaliados 7 clones, plantados em dois locais e utilizando uma repetição de cinco árvores por clone, totalizando em 70 árvores.

De cada árvore, foram retirados dois discos na região do diâmetro a altura do peito a 1,30 cm do solo (DAP) e um disco nas posições à 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial da árvore, considerando um diâmetro mínimo de aproximadamente 4,0 cm, conforme ilustrado na Figura 3.

Também foram retirados 5 toretes de 1m de cada árvore, entre os discos das posições 0 - 25%, 25 - 50%, 50 - 75% e 75 - 100% da altura comercial da árvore, e estes foram transformados em cavacos, para realização da polpação kraft. Para a polpação, foram utilizadas quatro árvores por clone e local (Figura 3).

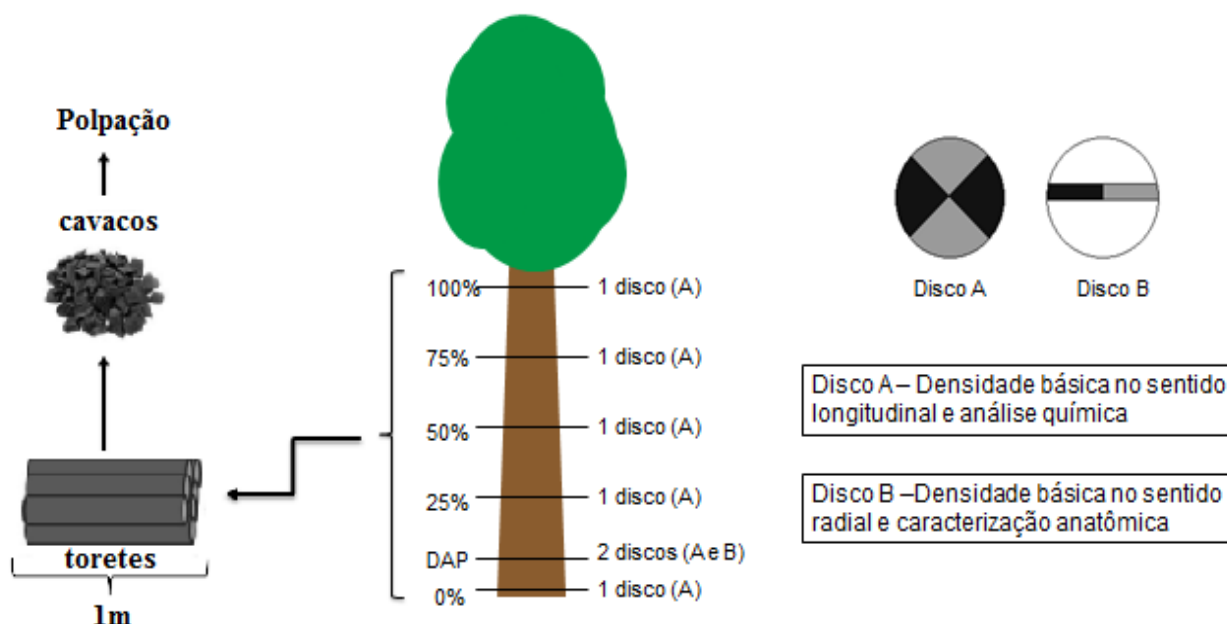


Figura 3. Esquema de amostragem dos discos e toretes nas árvores. Fonte: O autor.

Dos discos A foram retiradas quatro cunhas, duas em sentidos opostos para determinação da densidade básica no sentido longitudinal da árvore, e as outras duas

foram destinadas a caracterização química. A análise química foi realizada com uma amostra composta por todas as cunhas de cada árvore para a determinação dos teores de extrativo, lignina, holocelulose, carboidratos e relação lignina siringil:guaiacil (S:G) por árvore.

Na posição do DAP, do disco B foram retiradas duas baguetas radiais, uma para a caracterização anatômica no sentido radial do tronco, que foi realizada em três posições (cerne periférico, região central e próximo a medula), e outra para a determinação da densidade básica no sentido radial (medula - casca), em que de cada bagueta foram retiradas pequenas amostras em intervalos de 1,0cm a partir da medula, em direção à casca.

As análises de densidade básica, caracterização anatômica, determinação do teor de cerne, alburno e extrativos foram realizadas no Laboratório de Ciência da Madeira – LCM da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES.

Os teores de carboidratos, lignina, holocelulose e relação S:G foram determinados nos laboratórios do Departamento de Ciência da Madeira na University of British Columbia, localizada na cidade de Vancouver, Canadá, e a polpação foi realizada nos laboratórios da empresa Fibria Celulose S.A., localizado em Aracruz – ES.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA DAS ÁRVORES

Durante a coleta das árvores foram mensuradas as medidas dos diâmetros com e sem casca em dezesseis posições ao longo da árvore e suas respectivas alturas comercial e total. Para as estimativas dos percentuais volumétricos de madeira sem casca, utilizou-se o método de Smalian. O percentual volumétrico de casca foi obtido por diferença entre o percentual de madeira com e sem casca.

A quantificação dos percentuais de cerne e alburno foi realizada nos discos do DAP e das posições a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, onde foram tomados os diâmetros radiais perpendiculares sem casca, o diâmetro do cerne e por diferença obteve-se a espessura de alburno. Também utilizou-se o método de Smalian, Equação 1.

$$V = \left(\frac{S1+S2}{2} \right) \times L \quad (1)$$

em que:

V = volume da seção considerada (m³);

S1 = área seccional de uma extremidade da seção (m²);

S2 = área seccional da outra extremidade da seção (m²);

L = comprimento da seção (m).

3.4 ANÁLISES PARA CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA

3.4.1 Densidade básica da madeira

A densidade básica foi determinada de acordo com as Normas Brasileira Regulamentadoras - NBR 6230 e NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1985; 2003).

As cunhas utilizadas para a determinação da variação da densidade no sentido longitudinal ficaram imersas em água até a completa saturação. Obteve-se o volume das amostras pelo método de deslocamento de massa ou balança hidrostática, sendo a massa úmida destas amostras medidas em balança de precisão. O material foi transferido para estufa de ventilação forçada a uma temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até massas constantes.

As cunhas secas foram pesadas e a determinação da densidade básica foi obtida ao dividir a massa seca pelo volume saturado de cada amostra. Após a obtenção da densidade básica em cada posição foi calculada a densidade básica ponderada, pelo emprego do volume dos toretes das secções obtidas, Equação 2.

$$DBmP = \frac{(DBm_{(0-25\%)} \times V_{(0-25\%)} + \dots + (DBm_{(75-100\%)} \times V_{(75-100\%)})}{(V_{(0-25\%)} + V_{(25-50\%)} + V_{(50-75\%)} + V_{(75-100\%)})} \quad (2)$$

em que:

DBmP: Densidade básica média ponderada (g.cm^{-3})

DBm: Densidade básica média entre as posições 0 e 25; 25 e 50; 50 e 75; 75 e 100% da altura comercial (g.cm^{-3}); e

V: Volume das seções entre as posições 0 e 25; 25 e 50; 50 e 75; 75 e 100% da altura comercial (m^3).

3.4.2 Anatomia da madeira

A caracterização anatômica das fibras e vasos da madeira foi realizada de acordo com os critérios da Comissão Pan-americana de Normas Técnicas (COPANT, 1974). Os corpos de prova retirados das baguetas radiais 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 com espessura nominal variando de 18 a 20 μm no plano transversal e posteriormente preparou-se lâminas temporárias, utilizando 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 mensurou-se o diâmetro tangencial (μm) e a frequência ($\text{n}^\circ. \text{mm}^{-2}$) dos vasos por meio de um sistema de análises de imagem provido do *software* Image Pro Express 6.0. Foram realizadas 25 repetições para ambos os parâmetros em cada amostra.

Para o preparo do macerado de fibras, utilizaram-se os mesmos corpos de prova confeccionados para as mensurações dos vasos. 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), que consistiu nas seguintes

etapas: retirada de pequenos filetes de madeira dos corpos de prova; transfência destes filetes para frascos de 25 mL contendo solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio na proporção de 1:1, transferência dos frascos lacrados para estufa a temperatura de 60°C durante o período de 48 horas, lavagem da solução com água destilada; coloração com safranina e preparo das lâminas histológicas com uma mistura de glicerina e água destilada na proporção de 1:1.

Após o preparo das lâminas, as mensurações das fibras seguiram os mesmos procedimentos utilizados para os elementos de vasos. As variáveis anatômicas quantificadas para as fibras foram o comprimento (μm), largura (μm), diâmetro do lume (μm) e espessura da parede (μm), que foi obtida de forma indireta, por meio da diferença entre a largura e o lume da célula, dividido por dois. Também foram realizadas 25 repetições para cada parâmetro em cada amostra.

Com os valores obtidos para as dimensões das fibras, calcularam-se alguns índices indicativos da qualidade da polpa celulósica. As expressões utilizadas para realização dos cálculos estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Expressões para cálculo dos índices indicativos da qualidade da polpa celulósica.

Índice	Expressões
Índice de Enfeltramento (IE)	$\frac{C}{L}$
Coeficiente de Flexibilidade (CF)	$\frac{DL}{L} \times 100$
Fração Parede (FP)	$\frac{2 \times EP}{L} \times 100$
Índice de Runkel (IR)	$\frac{(2 \times EP)}{DL}$

em que: C = comprimento das fibras (μm); L = largura das fibras (μm); DL = diâmetro do lume das fibras (μm); EP = espessura da parede das fibras (μm).

3.4.3 Análises químicas realizadas

As cunhas foram retiradas com ângulo de 20° em cada disco de cada posição do sentido longitudinal das árvores para as análises químicas, a fim de se obter uma amostra composta com a quantidade de material de cada disco proporcional a sua posição, representando a árvore inteira.

As cunhas foram reduzidas em cavacos, tendo os mesmos sido homogeneizados e secos ao ar, e depois transformados em serragem em moinho do tipo *Willey*, conforme a norma da Technical Association of the Pulp and Paper Industry - T 257 om-92 (TAPPI, 1992). A serragem foi classificada por peneiras e o material utilizado para as análises químicas foi aquele que passou pela peneira de 40 *mesh* (abertura de 0,42 mm) e ficou retida na de 60 *mesh* (0,25 mm).

3.4.3.1 Teor de extrativos na madeira

A análise dos extrativos foi realizada conforme a norma TAPPI T204 om 97(1992). A partir das amostras de serragem, tomaram-se $2,0 \pm 0,001\text{g}$ da amostra livre de umidade, sendo dispostas em cadinho de vidro sinterizado de porosidade 2.

As amostras de serragem foram submetidas a extração com acetona. Cada cadinho de vidro contendo a amostra foi inserido em um extrator “Soxhlet” para extração durante um período de 5 horas. O produto da extração, uma mistura de solvente e extrativo foi evaporada em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ para remoção do solvente. Absolutamente secas, as amostras foram pesadas e o teor de extrativos obtido por diferença de massa.

3.4.3.2 Teores de holocelulose e lignina na madeira

O teor de lignina (Klason) foi determinado de acordo com a norma TAPPI T222 om-06 (1992), mas com algumas modificações, descritas por Coleman, et. al. (2008). Após a remoção dos extrativos tomaram-se $\pm 0,2\text{ g}$ de amostra dentro de um frasco de

vidro, anotando suas massas, e então as amostras foram submetidas à hidrólise com 3 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 72% por 2 horas, homogeneizando manualmente a solução com um bastão de vidro a cada 10 minutos. Depois, adicionaram-se 112 mL de água destilada em cada frasco, e os mesmos foram lacrados e autoclavados por 1 hora a 121°C. Filtrou-se a solução, e o teor de lignina insolúvel (Klason) foi determinado por diferença de massa.

O teor de lignina solúvel foi obtido por meio do líquido remanescente da filtração da lignina insolúvel, sendo analisado em espectrofotômetro UV, em que, diluiu-se 0,1 mL do líquido contendo a lignina solúvel em 1,5 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 4%, e realizada a leitura da absorbância do filtrado para o comprimento de onda de 205 nm. O teor de lignina solúvel foi determinado de acordo com a Equação 3.

$$\text{TLS} = \frac{(A_{205}/110) \times 1840}{203,5} \times 100 \quad (3)$$

em que:

TLS = Teor de lignina solúvel (%);

A_{205} = Absorbância para comprimento de onda de 205 nm.

O teor de lignina total consistiu na soma das frações solúvel e insolúvel e a holocelulose foi determinada pela diferença entre a massa inicial e a quantidade de extrativos e lignina total.

3.4.3.3 Teor de carboidratos da madeira

Para a determinação dos teores de carboidratos na madeira, 1 mL do líquido remanescente da filtração da lignina insolúvel foi analisado por cromatografia líquida de alto desempenho, (Dionex DX-500, Dionex, CA) equipado com uma coluna PA1 de troca iônica (Dionex), um detector amperométrico pulsado com um eletrodo de ouro, e um Dionex AS.

As concentrações dos açúcares (arabinose, galactose, glucose, xilose, manose e ramnose) foram determinadas pelo método do padrão externo, ao utilizarem padrões analíticos comerciais. Para detecção dos monossacarídeos empregam-se um detector de refração diferencial e a integração dos picos foi determinada por um programa de computador.

3.4.3.4 Relação lignina siringil:guaiacil

A composição de monolignóis foi realizada em duplicata pelo método de thioacidolyses, ao utilizar tetracosano padrão interno (5 mg de tetracosano (C_{24}) / mL de CH_2Cl_2), por meio de cromatografia gasosa (CG) de acordo com método descrito por Robinson e Mansfield (2009).

A cromatografia em fase gasosa foi realizada em um *Thermo Scientific*-TRACE GC 1310 equipado com um injetor AI 1310 e uma coluna TG-5MS. O método GC utilizou um volume de injeção de 2 mL, um injetor de temperatura inicial de 250°C, e temperatura do detector de 270°C. A temperatura inicial foi de 130°C (mantido durante 3 minutos) e, aumentou a uma taxa de 3°C por minuto até 260°C, e mantida durante 5 min.

Para cada amostra tomaram-se ± 10 mg da serragem de madeira livre de extrativos, após secas em estufa a $103 \pm 2^\circ C$, e transferida para frascos de vidros de 15 mL lacrados com tampa.

Uma mistura foi preparada contendo 8,75mL de dioxano, 250 μL de trifluoreto de boro (BF_3) e 1 mL de Etanotiol (C_2H_6S). Em cada frasco foi adicionado N_2 gasoso e 1 mL desta mistura preparada, e depois foram lacrados e aquecidos a 100°C por 4h, com periódica (1 hora) agitação manual de cada frasco. Depois, a reação foi interrompida colocando as amostras a $-20^\circ C$ durante 5 min.

Em cada frasco foram adicionados 200 μL de tetracosano padrão interno, 300 μL de 0,4M $NaHCO_3$, 2 mL de água nanopura e 1 mL de diclorometano (CH_2Cl_2). Os frascos lacrados, foram agitados em agitador de tubos e deixados em repouso até a formação de uma solução heterogênea, contendo uma fase aquosa na parte superior e não-aquosa na parte inferior, contendo produtos de degradação da lignina.

Posteriormente, 1 mL da parte inferior (não aquosa) da solução heterogênea foi pipetada e filtrada, e transferida para um microtubo de vidro contendo sulfato de sódio anidro. As amostras foram evaporadas até ficarem secas em um evaporador centrífugo (cerca de 1,5h a 45°C), e ressuspensas em 700µL de cloreto de metileno, e mantidos a - 20°C durante a noite.

As amostras (sensíveis à luz) foram derivadas da combinação de 20 µL da amostra novamente suspensa, 20 µL de piridina (sob N₂) e 100 µL de (N, O-bis (trimetilsilil) acetamida), que foram preparadas no frasco de CG, fechado com tampa de metal. Após um período de incubação de, pelo menos, 2 horas a 25°C, 1µL desta mistura foi analisada por cromatografia em fase gasosa.

3.4.4 Polpação kraft da madeira

Os toretes obtidos de cada árvore foram picados, classificados, secos e armazenados em sacos plásticos identificados e foi realizada uma mistura com duas árvores para a realização de duas polpações por tratamento.

A deslignificação das amostras seguiu o processo Kraft, em digestor e adotou-se o padrão de cozimento do laboratório da Fibria S.A, com sulfidez de 35 ± 1 , número kappa em 18 ± 1 , residual de álcali entre 1 e 5 g/L e um tempo total para o cozimento de 290 min.

A carga de álcali variou de acordo com as necessidades da madeira para se atingir o número kappa padronizado, ou seja, a carga alcalina foi ajustada visando a obtenção de polpa marrom com número kappa de 18 ± 1 . O número kappa é usado para monitorar o grau de deslignificação das polpas químicas após o processo de polpação, e está diretamente relacionado com o teor de lignina na polpa, sendo que, quanto maior o valor do número kappa, maior será o teor de lignina presente na polpa.

Após a deslignificação, a polpa marrom foi depurada e os rejeitos foram separados, secos e pesados. Para quantificar o teor de rejeitos, calculou-se o percentual entre a massa seca de rejeitos e dos cavacos que forneceram os rejeitos e para

determinar o rendimento depurado (RD) em celulose, realizou-se o cálculo da relação entre a massa da polpa seca depurada e a massa seca dos cavacos.

Os valores reais obtidos para as variáveis da polpação para os sete clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, nos dois locais de crescimento foram transformados em valores percentuais referentes ao Clone 1, em Nova Almeida – ES, considerado como padrão (100%).

3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICA DOS DADOS

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial 2 x 7, tendo como fatores o clone (7 níveis) e o local (dois níveis), com cinco repetições, exceto para a polpação, a qual utilizaram-se duas repetições.

Quando o efeito da interação entre clone x local foi significativa pela análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$), evidenciando a existência de dependência entre os fatores considerados (clone e local), procedeu-se o desdobramento da interação e comparação entre médias pelo teste de Skott – knott ($p \leq 0,05$).

Para avaliar as possíveis correlações existentes entre as características dendrométricas, anatômicas, químicas, densidade básica ponderada e as variáveis da polpação, empregou-se a matriz de correlação de Pearson, teste t ($p \leq 0,05$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA, CERNE:ALBURNO E DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

As alterações ocorridas nos parâmetros dendrométricos estão relacionadas com as condições edafoclimáticas do sítio, que influenciam diretamente na produtividade de plantações florestais e consequentemente podem interferir na qualidade da madeira.

A interação clone x local foi significativa para as alturas comercial e total, DAP, volume de madeira, e densidade básica ponderada e no DAP a 1% de probabilidade, e volume de casca a 5% de probabilidade (Tabela 1 A, Apêndice A). Isto indica a existência de dependência entre os fatores, dessa forma, para estas variáveis foram realizados os desdobramentos da interação e comparação de médias a 5% de significância (Tabela 4). Para o teor de cerne e alburno apenas o efeito do clone foi significativo a 1% de probabilidade (Tabela 2 A, Apêndice A), as comparações entre médias constam da Tabela 5.

As alturas comercial e total não foram afetadas pelo clone em Nova Almeida – ES, porém foram as características mais influenciadas pelo local, apresentando diferença significativa entre os locais para cinco dos sete clones estudados. Por outro lado, o volume de madeira e a densidade básica média ponderada foram as características que tiveram menos efeito do ambiente, apresentando diferença significativa das médias entre os locais apenas para dois, dos sete clones avaliados.

Os clones 3 e 4 foram os únicos que não apresentaram diferença estatística significativa entre os locais para nenhuma das variáveis dendrométricas avaliadas, mostrando-se portanto, mais estáveis as variações do ambiente para estas características, ao contrário dos clones 1 e 7 que exibiram maiores alterações nas variáveis dendrométricas entre os locais onde foram implantados .

Tabela 4. Valores médios e teste de comparação múltipla para as características dendrométricas avaliadas e densidade básica média ponderada e no DAP, para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6,5 anos de idade nos dois locais de crescimento.

Variáveis	Local	Clone 1	Clone 2	Clone 3	Clone 4	Clone 5	Clone 6	Clone 7
HC	NA	31,75 a A	29,68 a A	31,10 a A	29,40 a A	29,95 a A	30,58 a A	29,00 a A
	PM	23,09 c B	24,48 c B	30,33 a A	29,80 a A	26,59 b B	27,19 b B	22,85 c B
HT	NA	34,01 a A	32,26 a A	33,58 a A	32,20 a A	32,42 a A	33,15 a A	30,77 a A
	PM	25,48 c B	26,83 c B	32,55 a A	32,33 a A	29,03 b B	29,83 b B	25,05 c B
DAP	NA	23,4 b A	26,2 a A	21,6 b A	20,9 b A	23,1 b A	22,7 b A	20,7 b A
	PM	17,0 b B	22,0 a B	24,2 a A	21,2 a A	22,3 a A	20,5 a A	17,5 b B
VM	NA	0,70 a A	0,84 a A	0,60 b A	0,54 b A	0,70 a A	0,66 a A	0,48 b A
	PM	0,26 d B	0,45 c B	0,72 a A	0,56 b A	0,57 b A	0,43 c B	0,29 d B
VC	NA	0,10 b A	0,11 a A	0,10 a A	0,08 b A	0,13 a A	0,08 b A	0,09 b A
	PM	0,06 c B	0,10 b A	0,13 a A	0,08 c A	0,12 a A	0,06 c A	0,06 c B
DBmP	NA	0,52 c B	0,50 c B	0,59 a A	0,52 c A	0,53 b A	0,54 b A	0,54 b A
	PM	0,58 a A	0,53 c A	0,58 a A	0,52 c A	0,54 b A	0,53 c A	0,55 b A
DBdap	NA	0,48 c B	0,48 c A	0,57 a A	0,47 c A	0,51 b A	0,50 b A	0,50 b A
	PM	0,55 a A	0,48 b A	0,54 a B	0,46 b A	0,47 b B	0,47 b B	0,52 a A

NA = Nova Almeida – ES; PM = Posto da Mata – BA; HC = altura comercial (m); HT = altura total (m); DAP = diâmetro a altura do peito (cm); VM = volume de madeira (m³); VC = volume de casca (m³); DBmP = densidade básica média ponderada (g cm⁻³); DBdap = densidade básica no DAP (g cm⁻³). Valores médios seguidos de mesma letra minúscula, na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Skott-Knot (p>0,05).

Apenas para os clones 3 e 4, os valores médios da altura comercial e total não diferiram estatisticamente entre os locais de crescimento. Com relação a variação do DAP nos dois locais, nota-se que, apenas para os clones 1, 2 e 7 houve diferença estatística significativa. Barbosa (2013) ao estudar clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade obteve valores médios de altura comercial entre 21,2 a 31,0 m, e de DAP sem casca de 15,1 a 19,6 cm, estes valores estão dentro da faixa encontrada para altura comercial, e inferiores para o DAP dos clones no presente estudo.

Para os clones 1, 2, 6 e 7 o local influenciou no volume de madeira por árvore, havendo diferença estatística e apresentando uma diferença média entre as localidades de 0,44, 0,39, 0,23 e 0,19 m³, respectivamente.

Nota-se que, para todos os clones, que as características dendrométricas avaliadas apresentaram diferença estatística significativa na interação clone x local, os maiores valores médios sempre foram encontrados na região de Nova Almeida – ES. Por exemplo, para os clones 1, 2, 5, 6 e 7 em Nova Almeida – ES obteve-se altura comercial de 31,75; 29,68; 29,95; 30,58 e 29,00 m, respectivamente, enquanto, em Posto da Mata – BA os valores médios foram de 23,09; 24,48; 26,59; 27,19 e 22,85 m, respectivamente.

O diferencial em termos edafoclimáticos para a região de Nova Almeida – ES foi a presença de solo com textura média/argilosa e a maior quantidade de matéria orgânica nas camadas primária e secundária do solo. Apesar da precipitação não ter variado muito entre os dois locais, verifica-se que em Nova Almeida – ES houve maior disponibilidade de água para o crescimento da planta, e estas características em conjunto resultaram em um melhor desenvolvimento das árvores neste local.

Fernandes et al. (2011) encontraram para clones híbridos de espécies de *Eucalyptus* aos sete anos de idade, uma maior produtividade de madeira na região com maior média de precipitação, este resultado foi contrário aos encontrados no presente trabalho, uma vez que, os fatores edafoclimáticos não atuam isoladamente podendo também existir outras variáveis que em conjunto são responsáveis pelo maior ou menor crescimento das árvores como por exemplo as características do solo e do relevo.

Os clones 1 e 7 foram os únicos que apresentaram diferença estatística significativa entre os locais para o percentual de casca das árvores, com valores médios

de 0,10 e 0,09 m³ respectivamente, em Nova Almeida – ES e 0,06 m³ para ambos os clones em Posto da Mata – BA. Desta forma, o volume de casca não foi influenciado pelo ambiente na maioria dos clones estudados.

Para os valores médios de densidade básica ponderada e no DAP, o clone 3 destacou-se por obter os maiores valores médios, para ambos os locais de crescimento. Ao estudar a influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa Kraft de clones híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, Queiroz et al. (2004) verificaram que, de modo geral, madeiras menos densas são mais favoráveis à produção de celulose, pois necessitam de uma menor quantidade de álcali para o cozimento, e consequentemente, apresentam maior rendimento depurado, proporcionando a formação de polpa com maior viscosidade, resultando em licor residual com menor teor de sólidos e uma melhor branqueabilidade da polpa, requerendo menos reagentes químicos.

Entretanto, a madeira com menor densidade também apresenta desvantagens, como maior consumo específico de madeira e menor massa de madeira no digestor, o que poderá afetar desfavoravelmente o custo e a produtividade industrial.

Gomide et al. (2005) ao realizarem um estudo com clones de *Eucalyptus* pertencentes às principais empresas brasileiras de celulose, encontraram valores de densidade básica variando de 0,465 a 0,490 g cm⁻³. Estes valores foram inferiores aos obtidos no presente estudo, que apresentou uma variação de 0,49 a 0,57 g cm⁻³ de densidade básica da árvore.

Segundo os mesmos autores, a densidade básica da madeira representa o somatório de diversas características do lenho, porém nem sempre é possível estabelecer correlações perfeitas entre os resultados da produção de celulose e essa característica do material. Atualmente, os novos projetos de ampliação de capacidade de produção das fábricas e de implantação de novas unidades têm priorizado a utilização de madeira com densidade próxima a 0,50 g cm⁻³.

Trugilho (2009) encontrou densidade básica média para diferentes clones de *Eucalyptus* aos 7 anos de idade de 0,55 g.cm⁻³ e Carvalho e Nahuz (2001) obtiveram para *E. grandis* x *E. urophylla* com 7 anos uma densidade média de 0,505 g cm⁻³. Estes valores estão dentro da faixa de densidade encontrada neste estudo.

Nota-se na Tabela 5 que os teores de cerne variaram de 60,9 a 51,9%, e de alburno entre 48,1 a 30,1%. Estes valores foram próximos ao encontrado por Evangelista (2007), que obteve valores médios de cerne e alburno de 47,81% e 52,19%, respectivamente para *E. urophylla* aos 6 anos de idade e de 56,98% e 43,02%, respectivamente, para *E. urophylla* aos 8 anos de idade.

Os teores de cerne e alburno não apresentaram efeito significativo do local, mas com relação ao efeito do clone, verifica-se que os clones 1, 3 e 6 obtiveram os maiores valores percentuais de cerne, e consequentemente menores teores de alburno.

Tabela 5. Valores médios por clone dos teores de cerne e alburno para a madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6,5 anos de idade.

Variáveis	Clones						
	1	2	3	4	5	6	7
%Cerne	60,9 a	54,7 b	59,3 a	51,9 b	55,5 b	58,0 a	52,8 b
%Alburno	39,1 b	45,3 a	40,7 b	48,1 a	44,5 a	42,0 b	47, 2 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Sknott – Knott ($p>0,05$).

Segundo Sacco et al. (2002) quanto maior o teor de cerne na madeira, maior será o consumo de álcali no processo de polpação e consequentemente, haverá perdas no rendimento. Isso ocorre por causa do alto teor de extrativos e lignina presentes na região do cerne.

4.2 ANÁLISE ANATÔMICA DA MADEIRA

4.2.1 Frequência e diâmetro dos vasos

A interação clone x local foi significativa para o diâmetro médio dos vasos nas três posições estudadas e para a frequência média de vasos na posição 2, a 1% de probabilidade (Tabela 1 B, Apêndice B). Dessa forma, realizou-se o desdobramento da interação e comparação de médias a 5% de significância (Tabela 6). Para a frequência

de vasos na posição 1 o efeito do clone e do local foram significativos, e na posição 3 apenas o efeito do clone foi significativo a 1% de probabilidade (Tabela 1 B, Apêndice B), para esses casos, as comparações entre médias foram realizadas de forma isolada para cada um dos fatores avaliados (Tabela 7).

Com relação à variação nas dimensões dos vasos na direção radial, verificou-se que, houve um aumento do diâmetro tangencial dos mesmos da medula para a casca e observou-se tendência inversa para frequência por mm². Rocha et al. (2004) e Barbosa (2013) também observaram esse comportamento de variação da frequência e do diâmetro dos vasos ao longo do sentido radial da árvore para madeira de eucalipto.

Uma correlação negativa (- 0,731) do diâmetro tangencial dos poros com a frequência de poros foi encontrada por Marques (2008), e esse comportamento também foi observado no presente estudo, em que maiores diâmetros tangenciais dos vasos, normalmente estavam associados às menores frequências.

Os clones 4 e 5 não apresentaram diferença significativa entre locais para as características de frequência e diâmetro dos vasos em nenhuma das três posições estudadas no sentido radial da árvore, e o clone 7, apenas foi influenciado pelo ambiente na frequência de vasos na posição 2.

No geral, dentre as posições estudadas na direção radial da árvore, apenas a três, que representa o cerne periférico, foi a menos influenciada pelo ambiente nas características dos vasos avaliadas, uma vez que, o diâmetro de vasos nesta posição apenas foi diferente entre o local para dois, dos sete clones estudados, e a frequência de vasos não foi influenciada pelo local para nenhum dos clones.

Tabela 6. Valores médios e teste de comparação múltipla para as características dos vasos para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6,5 anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

Variáveis	Posição	Local	Clone 1	Clone 2	Clone 3	Clone 4	Clone 5	Clone 6	Clone 7
DV	P1	NA	79,48 c A	92,28 a A	76,94 c B	74,61 c A	83,10 b A	77,57 c B	71,06 c A
		PM	68,10 c B	97,39 a A	86,09 b A	77,50 c A	84,17 b A	91,23 a A	69,95 c A
DV	P2	NA	99,72 a A	102,43 a B	95,83 a B	102,16 a A	97,50 a A	106,37 a A	83,10 b A
		PM	87,13 c B	113,64 a A	105,19 b A	108,66 a A	101,11 b A	105,74 b A	78,89 d A
DV	P3	NA	111,34 b A	123,83 a A	107,76 b B	112,31 b A	104,38 b A	109,25 b B	96,45 b A
		PM	102,09 c A	126,85 a A	125,08 a A	121,57 a A	110,75 b A	124,38 a A	93,84 c A
DV	Média	NA	96,85 b A	106,18 a B	93,51 b B	96,36 b A	94,99 b A	97,73 b B	83,54 c A
		PM	85,77 d B	112,63 a A	105,45 b A	102,57 c A	98,68 c A	107,12 b A	80,89 d A
FV	P2	NA	9,06 b B	8,81 b A	10,32 a A	9,37 b A	8,94 b A	7,82 c A	10,54 a B
		PM	10,61 b A	7,77 d B	9,49 c A	9,69 c A	9,31 c A	8,25 d A	12,38 a A
FV	Média	NA	10,53 b A	9,68 c A	10,93 b A	11,11 b A	10,50 b A	9,34 c A	12,76 a A
		PM	11,07 b A	8,65 d B	9,26 d B	10,39 c A	10,04 c A	8,61 d B	13,17 a A

NA= Nova Almeida – ES; PM = Posto da Mata – BA; DV= Diâmetro de vasos (μm); FV= Frequência de vasos (poros mm^{-2}); P1 = posição 1 no sentido radial (cerne periférico); P2 = posição 2 no sentido radial (região central); P3 = posição 3 no sentido radial (próximo a medula). Valores médios seguidos de mesma letra minúscula, na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott-Knot ($p>0,05$).

Tabela 7. Valores médios por clone e local para as características dos vasos para a madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6,5 anos de idade.

Variáveis	Posição	Local		Clones						
		NA	PM	1	2	3	4	5	6	7
FV	P1	14,82 a	12,67 b	14,76 b	11,44 c	12,24 c	14,54 b	13,76 b	12,22 c	17,28 a
FV	P3	8,0 a	8,2 a	7,82 b	7,77 b	8,15 b	8,18 b	7,94 b	6,68 c	10,16 a

NA= Nova Almeida – ES; PM = Posto da Mata – BA; FV = Frequência de vasos (poros. mm^{-2}); P1 = posição 1 no sentido radial (cerne periférico); P2 = posição 2 no sentido radial (região central). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Skott – Knott ($p>0,05$).

As médias das três posições no sentido medula-casca para o diâmetro de vasos e frequência em Nova Almeida – ES foram de 95,59 μm e 10,69 poros mm^{-2} , respectivamente, e em Posto da Mata – BA de 99,02 μm e 10,16 poros mm^{-2} , respectivamente. Os valores médios de vasos obtidos estão em conformidade com os trabalhos realizados por Barbosa (2013) para *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade e Evangelista (2010) para *E. urophylla* com seis anos de idade, que encontraram diâmetros de vasos de 94,61 a 118,3 μm , respectivamente, e frequência média de 9,28 a 9,9 poros mm^{-2} , respectivamente.

4.2.2 Dimensões das fibras

A interação clone x local foi significativa a 1% de probabilidade para as três posições avaliadas para o comprimento médio de fibra, nas posições 2 e 3 para a largura média da fibra e diâmetro médio do lume e em 1 e 3 para a espessura de parede média. A interação também foi significativa para a largura da fibra na posição 1 e espessura de parede na posição 2, a 5% de probabilidade (Tabela 2 B, Apêndice B). Dessa forma, procederam-se os desdobramentos da interação e comparação de médias constam das Tabelas 8 e 9.

Para as variáveis que não apresentaram efeito significativo da interação clone x local, verificou-se apenas o efeito do clone e do local significativos a 1% de probabilidade para o comprimento da fibra e diâmetro de lume na posição 1, e para o diâmetro do lume na posição 1 apenas o efeito do clone. Para tanto, as comparações entre médias foram realizadas de forma isolada para cada um dos fatores (Tabela 10).

O comprimento de fibra não apresentou diferença significativa entre os locais em nenhuma das posições estudadas e no valor médio para os clones 5, 6 e 7, enquanto para largura de fibra, apenas o clone 1 não foi influenciado significativamente pelo ambiente nas três posições e no valor médio.

Tabela 8. Valores médios e teste de comparação múltipla para as características das fibras para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6,5 anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

Variáveis	Posição	Local	Clone 1	Clone 2	Clone 3	Clone 4	Clone 5	Clone 6	Clone 7
CF	P2	NA	979,6 b A	890,7 c B	964,5 b B	951,7 b A	881,6 c A	1047,2 a A	932,7 c A
		PM	951,6 b A	1001,9 a A	1035,7 a A	945,6 b A	910,9 b A	1033,8 a A	925,8 b A
CF	P3	NA	1080,4 a A	1037,3 b B	1119,1 a B	1016,7 b B	966,8 b A	1077,9 a A	1002,1 b A
		PM	984,0 c B	1114,3 b A	1179,2 a A	1097,1 b A	981,5 c A	1127,9 b A	1022,1 c A
CF	Média	NA	957,7 a A	918,9 b B	961,2 a B	896,4 b B	870,0 b A	993,9 a A	896,4 b A
		PM	916,3 b B	993,0 a A	1009,8 a A	939,0 b A	888,9 b A	1016,0 a A	906,2 b A
LF	P1	NA	19,3 a A	17,8 b B	19,5 a B	16,3 c B	15,9 c B	15,9 c B	17,6 b B
		PM	19,7 b A	20,4 b A	21,8 a A	19,9 b A	19,7 b A	18,7 b A	19,5 b A
LF	P2	NA	19,9 a A	18,5 b B	21,0 a A	18,5 b B	17,5 b B	18,2 b A	19,3 b A
		PM	20,5 a A	20,3 a A	21,3 a A	20,7 a A	21,2 a A	19,5 b A	19,0 b A
LF	P3	NA	20,6 a A	19,4 a B	20,9 a A	18,0 b B	17,6 b B	17,6 b B	19,0 b A
		PM	20,6 b A	22,1 a A	21,3 a A	22,8 a A	21,2 a A	21,2 a A	19,6 b A
LF	Média	NA	19,9 a A	18,5 b B	20,5 a B	17,6 c B	17,0 c B	17,2 c B	18,6 b A
		PM	20,3 b A	20,9 a A	21,5 a A	21,1 a A	20,7 a A	19,8 b A	19,4 b A

NA = Nova Almeida – ES; PM = Posto da Mata – BA; CF = Comprimento de fibra (µm); LF = Largura da fibra (µm); P1 = posição 1 no sentido radial (cerne periférico); P2 = posição 2 no sentido radial (região central); P3 = posição 3 no sentido radial (próximo a medula). Valores médios seguidos de mesma letra minúscula, na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott-Knot ($p>0,05$).

Tabela 9. Valores médios e teste de comparação múltipla para as características das fibras para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6,5 anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

Variáveis	Posição	Local	Clone 1	Clone 2	Clone 3	Clone 4	Clone 5	Clone 6	Clone 7
DL	P2	NA	10,7 a A	9,9 a A	10,5 a A	10,9 a A	9,3 a B	10,3 a B	11,3 a A
		PM	11,5 a A	11,1 a A	11,4 a A	12,3 a A	12,5 a A	11,7 a A	10,6 a A
DL	P3	NA	9,8 a A	9,6 a A	8,2 b B	9,1 a B	7,3 b B	8,8 a B	10,2 a A
		PM	9,2 b A	10,8 b A	9,9 b A	13,3 a A	10,8 b A	12,1 a A	10,1 b A
DL	Média	NA	10,5 a A	9,6 b B	9,4 b B	9,8 b B	8,5 b B	9,3 b B	10,7 a A
		PM	10,8 b A	11,1 b A	11,5 b A	12,6 a A	11,8 a A	11,8 a A	10,9 b A
EP	P1	NA	4,2 b A	4,1 b B	4,9 a A	3,5 c B	3,6 c A	3,6 c A	3,6 c A
		PM	4,0 b A	4,5 a A	4,3 a B	3,8 b A	3,8 b A	3,5 c A	3,7 c A
EP	P2	NA	4,6 b A	4,3 c A	5,3 a A	3,8 c B	4,1 c A	4,0 c A	4,0 c A
		PM	4,5 b A	4,6 b A	4,9 a A	4,2 c A	4,4 c A	3,9 c A	4,2 c A
EP	P3	NA	5,4 b A	4,9 b B	6,4 a A	4,5 c A	5,2 b A	4,4 c A	4,4 c A
		PM	5,7 a A	5,6 a A	5,7 a B	4,7 b A	5,2 a A	4,5 b A	4,8 b A
EP	Média	NA	4,7 b A	4,4 c B	5,5 a A	3,9 d B	4,3 c A	4,0 d A	4,0 d A
		PM	4,7 a A	4,9 a A	5,0 a B	4,2 b A	4,5 b A	4,0 c A	4,2 b A

NA = Nova Almeida – ES; PM = Posto da Mata – BA; DL = Diâmetro do lume (μm); EP = Espessura da parede (μm); P1 = posição 1 no sentido radial (cerne periférico); P2 = posição 2 no sentido radial (região central); P3 = posição 3 no sentido radial (próximo a medula). Valores médios seguidos de mesma letra minúscula, na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott-Knot ($p>0,05$).

Tabela 10. Valores médios por clone e local para as características das fibras para a madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6,5 anos de idade.

Var.	Local		Clones						
	NA	PM	1	2	3	4	5	6	7
CF – P1	790,79 b	813,72 a	813,34 b	845,61 a	807,31 b	747,53 c	767,98 c	871,49 a	762,56 c
DL – P1	9,63 b	12,05 a	11,34 a	10,49 a	11,42 a	10,80 a	10,41 a	10,13 a	11,32 a

NA = Nova Almeida – ES; PM = Posto da Mata – BA; Var = Variáveis; CF = comprimento de fibra (μm) na posição 1; DL = diâmetro do lume (μm) na posição 1. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Skott – Knott ($p>0,05$).

Com relação ao diâmetro de lume e espessura de parede, os clones 1 e 7 não foram influenciados pelo local nas três posições e no valor médio, sendo estes dois clones, de maneira geral, considerados os menos afetados pelo ambiente para as dimensões das fibras. Os clones 5 e 6 tiveram efeito do ambiente apenas para espessura de parede.

De madeira geral, verificou-se que entre as características das fibras avaliadas, a largura do lume foi a mais influenciada pelo ambiente, enquanto a espessura de parede, foi a que evidenciou menor efeito do local em seus valores, para todas as posições estudadas e valor médio.

Quanto a variação dos valores de comprimento de fibras na direção radial, percebeu-se que houve um aumento no sentido da medula para a casca, com valores médios para cerne, transição alburno:cerne e alburno em Nova Almeida – ES respectivamente de 790,79; 949,71 e 1042,90 μm e em Posto da Mata – BA de 813,71; 972,19 e 1072,30 μm . Esse comportamento já era esperado, e está de acordo com o descrito na literatura, sendo também observado por Rocha et al. (2004) com *E. grandis*, Poubel et al. (2011) com *Eucalyptus pellita* e Barbosa (2013) para *E. grandis* x *E. urophylla*.

Os valores médios de comprimento de fibras apresentaram máximo de 1016,0 μm (Clone 6, Posto da Mata – BA) e mínimo de 870,0 μm (Clone 5, Nova Almeida – ES). Valores similares foram encontrados por Evangelista et al. (2010) com comprimento de fibra de 0,95 mm para a madeira de *E. urophylla* aos 6 anos de idade, Gomide (2005) que encontrou valor médio de comprimento de 0,99 mm, para clones de *Eucalyptus* e Trugilho et al. (2007), que obtiveram média de 0,93 mm de comprimento de fibra da madeira de clones de *Eucalyptus*, aos 6 anos.

Segundo Gomide et al. (2005) as fibras mais curtas contribuem para uma boa formação da folha, enquanto as fibras mais longas favorecem a resistência ao rasgo. Essa variabilidade encontrada entre os clones indica que possivelmente os materiais deverão apresentar polpas com comportamentos diferenciados, tanto no processo de formação das folhas quanto nas propriedades do papel.

Observa-se que, de maneira geral, houve um aumento da largura da fibra e da espessura da parede e uma diminuição do diâmetro do lume no sentido da medula para

a casca. Os valores médios das três posições no sentido radial encontrados para largura da fibra, diâmetro do lume e espessura da parede, em Nova Almeida – ES foram de 18,47; 9,69 e 4,40 μm , respectivamente, e Posto da Mata – BA igual a 20,53; 11,50 e 4,50 μm , respectivamente.

Trugilho et al. (2007) ao avaliarem a qualidade da madeira de clones de eucalipto, encontraram valores inferiores aos obtidos para largura da fibra e espessura da parede com valores médios de 16,31 e 2,35 μm , respectivamente, e valores próximos para o diâmetro do lume, com média de 11,61 μm , para *E. grandis* x *E. urophylla* com densidade básica de 0,50 g cm^{-3} e 5,9 anos de idade.

A espessura da parede obteve valores mínimos de 3,9 μm (clone 7, Nova Almeida – ES) e máximo de 5,5 μm (clone 3, Nova Almeida – ES), e esta característica das fibras é importante na fabricação de papéis pois pode ser correlacionada com o *coarseness* da polpa. Em geral, elevados valores dessa característica em polpas de eucalipto estão associadas com fibras de paredes espessas e grossas e irão produzir um papel de rede mais solta e frouxa, sem muita ligação entre fibras. Essas fibras de paredes espessas são rígidas e mais difíceis colapsarem e dessa forma, a ligação entre as mesmas e a consolidação da folha de papel não são favorecidas, e os papéis correspondentes são mais porosos, volumosos, rugosos e absorventes (GOMIDE et al., 2005; FOELKEL, 2007).

Sabe-se também que a espessura da parede celular está associada à densidade básica da madeira, conforme pode ser constatado para o clone 3, em Nova Almeida – ES, que apresentou a maior densidade básica (0,59 g cm^{-3}) e também maior espessura da parede (5,5 μm). De acordo com Mokfienski et al. (2003), madeiras de eucalipto com menor densidade, que geralmente possuem paredes mais finas, podem ser direcionadas para a fabricação de papéis de escrita e impressão pelas suas características anatômicas, enquanto as madeiras mais densas para o segmento de papéis absorventes.

As relações entre as dimensões das fibras algumas vezes são mais importantes do que os valores de suas dimensões isoladas, resultando em índices que ajudam na classificação da qualidade da madeira para celulose e papel. Dentre os principais índices

estão índice de enfeltramento (IE), coeficiente de flexibilidade (%) (CF%), fração parede (%) (FP%) e índice de Runkel (IR) (MIRANDA; CASTELO, 2012).

A interação clone x local foi significativa para todos os índices de qualidade de fibras do lenho avaliados (Tabela 3 B, Apêndice B), indicando a existência de dependência entre os fatores (clone e local), portanto, realizaram-se os desdobramentos da interação e a comparação entre médias (Tabela 11).

De maneira geral, todos os índices de qualidade de fibras foram bastante influenciados pelo ambiente, e para cada índice individualmente, apenas três clones, dos sete estudados, não evidenciaram diferença significativa entre os locais.

Os clones 2 e 7 não foram influenciados pelo local em nenhum dos índices de qualidade das fibras, mostrando-se estáveis a variações para estas características. Já os 4, 5 e 6 tiveram influência da localidade para todos os índices, e nestes casos, os maiores índices de enfeltramento, fração parede e Runkel ocorreram em Nova Almeida – ES, e também neste local, obteve-se os menores valores de coeficiente de flexibilidade.

Os valores médios para índice de enfeltramento e coeficiente de flexibilidade foram respectivamente, iguais a 50,37 e 52,43% em Nova Almeida – ES e 46,47 e 56,01% em Posto da Mata – BA, e estes valores corroboram com os resultados encontrados por Rocha et al. (2004), que em seu estudo com árvores de *Eucalyptus grandis* provenientes de povoamentos com sete anos de idade, selecionadas por classe sociológica obteve valor médio de IE e CF igual a 48,92 e 59,20%, respectivamente.

O índice de enfeltramento, assim como o coeficiente de flexibilidade, fornecem informação a respeito da flexibilidade das fibras e conseqüentemente, da sua capacidade de entrelaçamento, sendo, portanto, índices importantes para fabricação de celulose e papel e, se correlacionam de forma negativa com a espessura da parede das fibras (FOELKEL, 1978).

Tabela 11. Valores médios e teste de comparação múltipla para os índices de qualidade de fibras do lenho para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6,5 anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

Variáveis	Local	Clone 1	Clone 2	Clone 3	Clone 4	Clone 5	Clone 6	Clone 7
IE	NA	48,1 c A	49,6 b A	46,9 c A	50,9 b A	51,2 b A	57,7 a A	48,2 c A
	PM	45,3 c B	47,5 b A	47,1 b A	44,5 c B	42,9 c B	51,4 a B	46,6 b A
CF	NA	52,7 b A	52,1 b A	46,0 d B	55,4 a B	49,7 c B	53,7 b B	57,4 a A
	PM	53,1 c A	53,0 c A	53,6 c A	59,8 a A	56,7 b A	59,6 a A	56,3 b A
FP	NA	47,3 c A	47,9 c A	54,0 a A	44,6 d A	50,3 b A	46,3 c A	42,6 d A
	PM	46,9 a A	47,0 a A	46,4 a B	40,2 c B	43,3 b B	40,4 c B	43,7 b A
IR	NA	0,9 c A	0,9 c A	1,2 a A	0,8 d A	1,0 b A	0,9 c A	0,7 d A
	PM	0,9 a A	0,9 a A	0,9 a B	0,7 b B	0,8 b B	0,7 b B	0,8 b A

NA = Nova Almeida – ES; PM = Posto da Mata – BA; IE = índice de enfeltramento; CF = coeficiente de flexibilidade (%); FP = fração parede (%); IR = índice de Runkel. Valores médios seguidos de mesma letra minúscula, na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott-Knot ($p > 0,05$).

No entanto, o coeficiente de flexibilidade está mais relacionado ao grau de colapso que as fibras têm durante o processo de fabricação de papel, e quanto mais alto este valor maior será sua resistência à ruptura. O índice de enfiamento está associado à resistência ao rasgo quando as fibras são submetidas à avaliação físico-mecânica, e quanto maior for este índice maior será sua resistência ao rasgo (ROCHA; POTIGUARA, 2007). Dessa forma, na produção de papéis de imprimir e escrever, deseja-se altos índices de enfiamento e coeficiente de flexibilidade, uma vez que, melhor será a formação da folha.

Segundo Foelkel (1978), a fração parede está associada à facilidade de colapso e flexibilidade para ligação das fibras, e valores maiores que 60% para este índice não são desejáveis, uma vez que, as fibras são classificadas como muito rígidas e a ligação entre elas fica prejudicada. O valor médio de FP (%) do presente estudo foi de 47,57 e 43,99 em Nova Almeida – ES e Posto da Mata – BA, respectivamente, e portanto, está dentro do valor desejável, podendo ser indicada para a produção de papéis de imprimir e escrever, uma vez que para papéis absorventes seriam interessantes valores maiores. O valor médio de FP (%) encontrado por Costa (2011) para a madeira de *E. urograndis* aos 6 anos de idade foi de 50,83, e também encontra-se dentro desse intervalo, corroborando com os resultados do presente estudo.

O índice de Runkel, é muito utilizado, e fornece informação a respeito da capacidade de união das fibras que está relacionada às características de resistência à tração e ao arrebatamento da folha de papel (BALDI, 2001, citado por NISGOSKI, 2005). Segundo Gonzalez et al. (2014), o índice de Runkel está associado com a rigidez da fibra, portanto, quanto maior o seu valor, mais rígida será a fibra, e conseqüentemente, não ocorrerá uma boa formação da folha, que terá menor resistência.

Runkel (1952), citado por Rocha e Potiguara (2007), estabeleceu que o índice de Runkel forneceria um determinante diagnóstico do uso das fibras para papel, e estabeleceu uma classificação das características da fibra de acordo com este índice, e quando os valores do IR estiverem entre 0,50 e 1,0 são consideradas boas para papel, no intervalo de 1,0 a 2,0 são regulares e acima de 2,0 não devem ser usadas para papel tendo em vista que o grau de colapso é muito baixo.

O valor médio de índice de Runkel obtido no presente estudo foi de 0,91 e 0,81 para Nova Almeida – ES e Posto da Mata – BA, respectivamente, e encontrou-se no intervalo de 0,5 a 1,0 que classifica as fibras como de boa qualidade para fabricação de papel, com exceção do clone 3 em Nova Almeida – ES que apresentou índice igual a 1,2 que corresponde a fibras regulares para fabricação de papel. Valores próximos foram encontrados por Mauri (2010), para dois clones de eucaliptos urograndis com idade de 6 anos, que obteve IR variando de 0,69 e 0,71.

Madeiras com alta densidade, por estarem associadas a uma maior espessura de parede das fibras, apresentam maior valor de índice Runkel, e consequentemente, estão associadas à presença de fibras mais rígidas e pouco flexíveis, que resultam em celulosas geralmente com maior resistência ao rasgo (FOELKEL; SANI, 1976, citado por NISGOSKI, 2005). Essa relação pode ser observada no clone 3, em Nova Almeida – ES, que obteve os maiores valores de densidade básica, espessura de parede e índice Runkel, e estas características estão associadas a presença de fibras com maior dificuldade de se colapsarem, desfavorecendo a ligação entre elas e dando origem a papéis mais volumosos, absorventes e permeáveis.

4.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

A interação clone x local foi significativa para o teor de extrativos, lignina solúvel e holocelulose a 1% de probabilidade, e para lignina siringila:guaiacila e lignina insolúvel a 5% de probabilidade (Tabela 1 C, Apêndice C). Assim, procedeu-se o desdobramento da interação e comparação de médias (Tabela 12). O teor de lignina solúvel evidenciou diferença estatística significativa a 5% de probabilidade para os fatores clone e local separadamente (Tabela 1 C, Apêndice C). A comparação entre as médias consta da Tabela 13.

Tabela 12. Valores médios e teste de comparação múltipla para as características químicas dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6,5 anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

Variáveis	Local	Clone 1	Clone 2	Clone 3	Clone 4	Clone 5	Clone 6	Clone 7
S:G	NA	3,17 b A	3,53 a A	2,34 c A	3,50 a B	2,54 c A	3,14 b A	3,12 b A
	PM	2,84 c A	3,32 b A	2,32 d A	3,86 a A	2,39 d A	2,96 c A	2,83 c A
EXT	NA	2,77 a B	1,89 b A	3,42 a A	2,86 a A	2,67 a A	3,33 a A	1,82 b B
	PM	3,77 a A	2,05 c A	2,03 c B	0,94 d B	2,45 c A	2,34 c B	2,90 b A
LI	NA	25,67 a A	24,93 a B	26,30 a A	26,14 a A	25,11 a B	25,51 a A	25,97 a B
	PM	26,18 b A	26,24 b A	26,73 a A	25,12 b A	26,82 a A	26,68 a A	27,77 a A
LT	NA	29,81 b A	29,22 b A	29,97 b A	31,10 a A	28,78 b B	29,42 b A	29,77 b B
	PM	29,77 a A	30,20 a A	30,03 a A	29,59 a B	30,29 a A	30,14 a A	31,44 a A
HOL	NA	67,42 b A	68,89 a A	66,61 b A	66,04 b B	68,55 a A	67,25 b A	68,41 a A
	PM	66,46 c A	67,75 b A	67,94 b A	69,46 a A	67,27 b A	67,52 b A	65,66 c B

NA = Nova Almeida – ES; PM = Posto da Mata – BA; S:G = lignina siringil:guaiacil; EXT = extrativos (%); LI = lignina insolúvel (%); LT = lignina total (%); HOL = holocelulose (%). Valores médios seguidos de mesma letra minúscula, na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Skott-Knot ($p>0,05$).

Tabela 13. Valores médios por clone e local para o teor de lignina solúvel na madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6,5 anos de idade.

Variáveis	Local		Clones						
	NA	PM	1	2	3	4	5	6	7
LS	4,06 a	3,70 b	3,86 c	4,13 b	3,49 c	4,72 a	3,57 c	3,69 c	3,74 c

NA = Nova Almeida – ES; PM = Posto da Mata – BA; LS = lignina solúvel (%). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Sknott – Knott ($p>0,05$).

A relação lignina S:G foi a característica química avaliada que menos evidenciou influência do ambiente, e apenas o clone 4 apresentou diferença estatística significativa entre os locais para esta característica. Apesar dela não ter sido influenciada pelo local para a maioria dos clones, verificou-se que, houve grande variação desta característica entre os clones, com uma relação mínima de 2,32 para o clone 3 e máxima de 3,86 para o clone 4, ambos em Posto da Mata – BA.

Resultados dentro dessa faixa de variação também foram obtidos para *E. grandis* x *E. urophylla*, por Alves (2010), que obteve uma relação S:G de 2,9 para clones aos 7 anos de idade, provenientes de um plantio no Sul da Bahia; Gomes et al. (2008), que encontraram uma variação de 2,60 a 3,10, em clones com 3 anos de idade, plantados em quatro diferentes locais de crescimento.

Valores inferiores foram obtidos por Magaton et al. (2006) e Marcelo (2007) para *E. grandis* x *E. urophylla*, com relação S:G igual a 2,0. Os autores estudaram a variabilidade estrutural da lignina dentro do gênero *Eucalyptus*, e ambos verificaram que, a madeira do híbrido foi a que apresentou menor conteúdo de lignina siringila entre as espécies estudadas, apresentando praticamente a metade daquela encontrada para o *E. globulus*.

Segundo Gomide et al. (2005), a lignina siringila apresenta estrutura menos condensada, e portanto é dissolvida mais facilmente durante o processo de polpação kraft, e, conseqüentemente, são mais favoráveis à deslignificação pelo licor de cozimento. No entanto, essa relação ainda é controversa, pois, enquanto alguns pesquisadores encontram boas correlações em algumas espécies com o menor consumo de reagentes (álcali) e aumento de rendimento de polpa celulósica, outros questionam esses resultados.

O teor de extrativos foi influenciado pelo local para a maioria dos clones (1; 3; 4; 6 e 7) e foram obtidos valores médios de 2,68 e 2,35%, em Nova Almeida – ES e Posto da Mata – BA, respectivamente. Com exceção do clone 2 e 7 em Nova Almeida – ES e do clone 4 em Posto da Mata – BA, a quantidade de extrativos totais encontradas neste estudo, estão dentro do valor normalmente descrito na literatura para folhosas, que é de 2 - 4% (KLOCK et al., 2005), e corroboram com os valores obtidos por Almeida (2003);

Duarte (2006) e Barbosa (2013), para o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com idade semelhante a deste estudo.

Os teores de lignina total se situaram na faixa de 28,78 (clone 5, Nova Almeida – ES) a 31,44% (clone 7, Posto da Mata – BA). Estes resultados são corroborados com o estudo de Gouvea et al. (2012), que também estudaram o efeito do sítio nas características tecnológicas da madeira de *Eucalyptus* e encontraram teores de lignina total variando de 27,2 a 30,9%. Valores próximos também foram obtidos por Costa (2011) para o *E. grandis* x *E. urophylla*, que apresentou teor médio de lignina total de 27,13%.

O teor de holocelulose foi a segunda característica menos influenciada pelo ambiente, apresentando diferença estatística entre os locais apenas para os clones 4 e 7. A holocelulose compreende ao conteúdo de celulose e hemicelulose presentes na madeira, e altos teores destes compostos são favoráveis para a produção da polpa celulósica, ao contrário dos extrativos e da lignina.

Para os diferentes clones e locais de crescimento, o teor de holocelulose constituiu em média, 67,60 e 67,44% da massa da madeira, em Nova Almeida – ES e Posto da Mata – BA, respectivamente, variando entre 65,66 a 68,89%. Esse intervalo de variação está de acordo com o trabalho realizado por Gomide et al. (2005), que encontraram para um clone de eucalipto teores de holocelulose variando entre 64,5 a 70,2%.

Os resultados do presente estudo também estão de acordo com os obtidos por Almeida (2003), Duarte (2006), Costa (2011) e Segura (2012) que encontraram teores médios de holocelulose igual a 68,48; 64,77; 68,85 e 70,23%, respectivamente, para a madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* em idade semelhante a deste estudo.

4.3.1 Teores de carboidratos na madeira

Os teores de carboidratos totais da madeira evidenciaram diferença estatística significativa a 5% para a interação clone x local (Tabela 2 C, Apêndice C), assim, procedeu-se o desdobramento e comparação de médias (Tabela14).

Tabela 14. Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de carboidratos na madeira para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6,5 anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

Variáveis	Local	Clone 1	Clone 2	Clone 3	Clone 4	Clone 5	Clone 6	Clone 7
Glu.	NA	48,01	46,26	47,45	44,76	45,47	47,31	45,02
	PM	48,11	47,51	49,14	47,71	44,86	48,79	44,61
Xil.	NA	11,13	13,06	10,63	12,03	13,81	12,06	13,05
	PM	11,81	13,25	12,21	13,23	15,66	13,08	13,48
Gal.	NA	1,67	1,00	2,21	0,96	0,90	0,89	1,28
	PM	1,32	0,92	1,30	1,03	0,88	0,85	1,07
Man.	NA	0,90	1,31	1,61	2,18	1,49	0,80	0,95
	PM	0,23	0,77	0,31	0,63	1,57	0,88	0,32
Ram.	NA	0,39	0,31	0,54	0,61	0,69	0,62	0,59
	PM	0,21	0,27	0,06	0,22	0,25	0,13	0,13
Ara.	NA	0,29	0,28	0,33	0,38	0,50	0,31	0,38
	PM	0,30	0,25	0,10	0,19	0,24	0,15	0,20
Total	NA	62,39 a A	62,22 a A	62,77 a A	60,92 a B	62,85 a A	61,99 a B	61,27 a A
	PM	61,99 a A	62,98 a A	63,12 a A	63,00 a A	63,47 a A	63,87 a A	59,81 b A

NA = Nova Almeida – ES; PM = Posto da Mata – BA; Ara = arabinose; Ram = ramnose; Gal = galactose; Glu = glucose; Xil = xilose; Man = manose. Valores médios seguidos de mesma letra minúscula, na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Skott-Knot ($p > 0,05$).

Em Nova Almeida – ES, não houve influencia significativa do clone nos valores médios de teor de carboidratos, e com relação a influencia do local, apenas os clones 4 e 6 evidenciaram diferença significativa entre as médias. No geral, pode-se observar que essa característica foi pouco influenciada pelo clone e pelo local, apresentando valores percentuais mínimos de 61,27% e máximos de 63,47%.

A média geral do somatório de todos os constituintes químicos da madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* (extrativos + lignina total + carboidratos totais) foi de 94,84% (Tabelas 12 e 14), ou seja, não foi atingido o percentual de 100%, uma vez que, neste estudo, não foram considerados os grupos acetil, ácidos urônicos e materiais inorgânicos. Os ácidos urônicos presentes na madeira, incluindo os glicourônicos e os 4-O-metilglicurônicos, encontram-se ligados às xilanas (O-Acetil-4-OMetilglicurono-xilanas), principal hemicelulose da madeira do eucalipto, e representam uma fração significativa da madeira, em média cerca de 4-5% de sua massa (MAGATON et al., 2013).

O método convencional para determinação dos teores de carboidratos na madeira, por meio de hidrólise ácida seguida por separação dos açúcares componentes por cromatografia líquida de alto desempenho (CLAE), utilizado neste trabalho, infelizmente, não é apropriado para a detecção de unidades de ácidos urônicos, uma vez que, este pode ser descarboxilado e degradado durante a hidrólise ácida (LOPES, et al., 2006).

A glucose foi responsável por pouco menos da metade da constituição química das madeiras, apresentando valores médios de 46,33 e 47,25% da massa da madeira, para Nova Almeida – ES e Posto da Mata – BA, respectivamente. O teor de glucose (celulose) está diretamente relacionado ao rendimento da polpação, uma vez que, madeiras com teores mais elevados de celulose tendem a apresentar maior rendimento.

As xiloses foram a fração dominante das hemiceluloses, sendo o segundo carboidrato mais abundante na madeira, com percentual médio de 12,25 e 13,25% em Nova Almeida – ES e Posto da Mata – BA, respectivamente, uma vez que, segundo a literatura, as hemiceluloses de eucalipto são basicamente constituídas de xilanas, que tem sido alvo de muitas pesquisas (MAGATON et al., 2008).

Os teores dos outros carboidratos, no geral, foram todos inferiores a 2% para os clones estudados, em ambos locais de crescimento, apresentando valores médios gerais para galactose, manose, ramnose e arabinose igual a 1,16; 1,00; 0,36 e 0,28%,

respectivamente, ou seja, as arabinoses foram a menor fração de carboidratos da madeira.

O teor elevado de galactose constitui uma característica desvantajosa, uma vez que as galactanas são facilmente degradadas na polpação, prejudicando o rendimento do processo (ALVES, 2010). No presente estudos os teores de galactose obtidos foram baixos.

O teor de galactose obtido neste estudo é considerado baixo, o que constitui uma característica vantajosa, uma vez que as galactanas são facilmente degradadas na polpação, prejudicando o rendimento do processo (ALVES, 2010).

Os valores encontrados neste estudo corroboram com Mokfienski (2004), Gomide et al. (2005) e Alves (2010), que encontraram percentuais médios, respectivamente, de 48,5; 51,51 e 46,57 de glucanas, 10,80; 12,73 e 12,28 de xilanas; 0,9; 0,9 e 0,7 de galactanas, 0,6; 0,99 e 0,59 de mananas e 0,2; 0,10 e 0,24 de arabinanas para a madeira de eucalipto. Para os percentuais totais de carboidratos valores próximos foram obtidos por Almeida (2003) e Zanuncio et al. (2013), que observaram percentuais médios de 58,64 e 57,99%, respectivamente, para a madeira de *E. grandis* x *E. urophylla*, em idade semelhante a deste estudo.

4.4 POLPAÇÃO KRAFT DA MADEIRA

A interação clone x local foi significativa para o rendimento depurado, a 5% de probabilidade (Tabela 3 C, Apêndice C), procedeu-se o seu desdobramento e comparação de médias (Tabela 15). Para o consumo específico aparente foi evidenciada diferença estatística significativa para os fatores clone e local separadamente (Tabela 3 C, Apêndice C), o que foi comparado pelo teste de médias (Tabela 16).

Tabela 15. Valores médios e teste de comparação múltipla para o rendimento depurado para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6,5 anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

Variáveis	Local	Clone 1	Clone 2	Clone 3	Clone 4	Clone 5	Clone 6	Clone 7
RD	NA	100,0 a A	99,3 a A	95,6 b A	95,3 b A	94,8 b A	95,5 b A	95,8 b A
	PM	91,2 a B	93,9 a B	93,5 a A	93,3 a A	93,5 a A	95,5 a A	86,8 b B

NA = Nova Almeida – ES; PM = Posto da Mata – BA; RD = rendimento depurado (%). Valores médios seguidos de mesma letra minúscula, na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Skott-Knot ($p>0,05$).

Tabela 16. Valores médios por clone e local para o consumo específico aparente para a madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6,5 anos de idade.

Variáveis	Local		Clones						
	NA	PM	1	2	3	4	5	6	7
CEA	103,3 b	107,0 a	101,2 b	107,3 a	94,2 c	110,3 a	107,3 a	106,7 a	107,3 a

NA = Nova Almeida – ES; PM = Posto da Mata – BA; CEA = consumo específico aparente. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Sknott – Knott ($p>0,05$).

A demanda de carga de álcali para produção de celulose com kappa 18 ± 1 apresentou uma variação de 96,8 a 116,1%. Segundo Gomide et al (2005), a demanda de altas cargas de álcali constitui uma característica desfavorável, uma vez que provoca perda de rendimento, degradação mais intensa das cadeias dos carboidratos, sobrecarga da caldeira de recuperação e aumento do custo de produção.

O residual de álcali, que variou entre 1 e 4 g L⁻¹, representou o resíduo do álcali ativo após o cozimento, e foi quantificado pelas análises, por titulação do licor negro. O consumo de álcali é de grande importância no processo de polpação, uma vez que, o seu excesso provoca a aceleração da polpação, que não é pretendida, e por outro lado, a reação não ocorrerá de forma completa e homogênea se houver falta de álcali. Dessa forma, a quantificação do residual de álcali está em saber a possibilidade de aumentar ou reduzir a carga alcalina inicial de entrada no processo (COSTA, 2011).

O rendimento depurado foi influenciado pelo local de crescimento para quatro, dos sete clones estudados. Verificou-se que a utilização de diferentes cargas de álcali resultou em polpas com propriedades e características significativamente distintas. Os clones 1 e 2, em Nova Almeida – ES, destacaram-se dos demais, por apresentar os maiores valores de rendimento depurado, atingindo os percentuais de 100,0 e 99,3%, respectivamente. Esse elevado rendimento poderia ser explicado pelas características favoráveis dessas madeiras, que apresentaram valores de densidade básica em torno de 0,50 g cm⁻³, baixos teores de extrativos e lignina, e um dos mais altos valores de relação S:G (3,17 e 3,53, para os clones 1 e 2, respectivamente).

No entanto, o clone 7, em Posto da Mata – BA, apresentou rendimento depurado percentual de 86,8%, o que pode ser considerado baixo para os programas de melhoramento florestal no Brasil, e de acordo com Gomide et al. (2005), está abaixo do rendimento mínimo desejável, e portanto, este clone não estaria dentro dos padrões exigidos. O baixo valor de rendimento depurado para este tratamento, pode ser explicado pelas características desfavoráveis de sua madeira, que apresentou alta densidade (0,54 g cm⁻³) e alto teor de lignina. De acordo com Alves (2010), madeiras mais densas normalmente requerem cozimentos mais drásticos, com maior consumo de reagentes, e consequentemente, ocorre uma redução no rendimento.

Considerando o clone 1 em Nova Almeida – ES, como referencial do presente estudo, os resultados encontrados, corroboram com Gomide et al. (2005), que encontraram rendimento percentual médio próximo a 93,4%, ao analisarem clones de *Eucalyptus* pertencentes às principais empresas brasileiras de celulose e com Gouvêa et al. (2012), que obtiveram rendimento depurado de 87,8% para um clone de *E. grandis*.

O consumo específico aparente (CEA) corresponde ao consumo de madeira sem casca, em m³, para produzir 1 tonelada de celulose seca ao ar (tsa) e sua determinação tem a finalidade de avaliar o aproveitamento da matéria-prima no processo de produção de celulose, uma vez que, a madeira é o custo mais importante na produção de celulose. Segundo o relatório da Bachmann e Associados da Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel – ABTCP (2011), no ano de 2010 o consumo específico médio de madeira das fábricas alimentadas com fibras curtas no Brasil foi correspondente a 112,1%. Moraes et al. (2014), ao estudarem as condições ideais para o consumo específico de madeira na produção de celulose, consideraram como ideais, valores para CEA menores que 111,2%.

Os resultados obtidos no presente trabalho para CEA variaram entre 92,1 e 111,5%, indicando que, os clones apresentaram valores dentro do recomendado, e próximos aos encontrados pelas fábricas alimentadas com fibras curtas no Brasil. Valores superiores foram encontrados por Souza (2012) que obteve para *E. grandis* x *E. urophylla* aos 4,5 anos, plantado em espaçamento 3 x 3 m, CEA igual a 110,9%, tomando como referência, o clone 1 em Nova Almeida – ES do presente estudo. Assim como o rendimento depurado, o consumo específico aparente foi pouco influenciado pelo local, não apresentando diferença estatística para nenhum dos clones.

Mokfienski et al. (2003) ao avaliarem um conjunto de parâmetros de qualidade de madeiras de *Eucalyptus* sp. no processo de polpação, verificaram que, em geral, a densidade básica apresentou correlação mais significativa que a constituição química, com as características anatômicas das plantas, com o rendimento gravimétrico da polpação kraft e com a qualidade das polpas. Madeiras menos densas proporcionam maiores rendimentos, porém, também requerem um maior consumo específico de material. Uma alta correlação negativa da densidade básica com o consumo específico também foi encontrada por Gomide (2010).

4.5 CORRELAÇÃO DE PEARSON

Para compreender melhor as correlações entre as características dendrométricas das árvores, algumas características de qualidade da madeira e as variáveis do processo de produção de celulose foi realizada a análise de correlação de Pearson e estimados os coeficientes lineares simples entre algumas das variáveis analisadas (Tabela 17).

Observa-se que a maioria das correlações não foram estatisticamente significativas e apenas algumas estimativas foram superiores a 0,50 (valor absoluto), como os valores entre consumo específico aparente e lignina S:G (0,508), consumo específico aparente e índice de Runkel (- 0,562), consumo específico aparente e espessura de parede (- 0,642), consumo específico aparente e densidade ponderada (- 0,591), rendimento depurado e volume de madeira (0,596), rendimento depurado e altura total (0,607), lignina S:G e densidade ponderada (- 0,634), índice de Runkel e espessura da parede (0,684), espessura da parede e densidade ponderada (0,599) e volume de madeira e altura total (0,792).

Uma correlação negativa da densidade básica ponderada com a relação S:G foi encontrada por Stackpole et al. (2011) ao avaliarem a variação genética nos componentes químicos da madeira de *Eucalyptus globulus*. No presente estudo, a correlação entre densidade ponderada e lignina S:G também foi significativa (- 0,634), ou seja, há uma diminuição da relação S:G com o aumento densidade básica. Essa tendência pode ser verificada no clone 3 deste estudo, que destacou-se por obter o maior valor de densidade, em ambos os locais, e também os menores valores para relação S:G.

A correlação de - 0,591 entre a densidade e o consumo específico demonstra a importância da densidade no processo de produção de celulose, uma vez que, madeiras mais densas proporcionam menor consumo de madeira ($\text{m}^3 \text{ tsa}^{-1}$), favorecendo a produção de celulose no digestor e a manutenção de volume da pilha de cavacos nas fábricas.

Tabela 17. Matriz dos coeficientes de correlação linear das características dendrométricas, anatômicas, químicas, densidade básica ponderada e variáveis da polpação para madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6,5 anos de idade.

VR.	CEA	RD	CT	LT	EX	SG	IR	EP	CO	DP	VM	AT
CEA	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RD	- 0,387**	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CT	- 0,141 ^{ns}	0,134 ^{ns}	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LT	0,102 ^{ns}	- 0,276 ^{ns}	- 0,424**	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
EX	- 0,331**	-0,105 ^{ns}	- 0,161 ^{ns}	0,219 ^{ns}	1,00	-	-	-	-	-	-	-
SG	0,508**	0,173 ^{ns}	- 0,182 ^{ns}	- 0,052 ^{ns}	- 0,323**	1,00	-	-	-	-	-	-
IR	- 0,562**	0,230 ^{ns}	0,074 ^{ns}	- 0,045 ^{ns}	0,316**	- 0,410**	1,00	-	-	-	-	-
EP	- 0,642**	0,017 ^{ns}	0,233 ^{ns}	0,032 ^{ns}	0,143 ^{ns}	- 0,462**	0,684**	1,00	-	-	-	-
CO	- 0,281 ^{ns}	0,134 ^{ns}	0,414**	- 0,108 ^{ns}	0,017 ^{ns}	- 0,010 ^{ns}	0,036 ^{ns}	0,310**	1,00	-	-	-
DP	- 0,591**	- 0,377**	0,123 ^{ns}	0,067 ^{ns}	0,364**	- 0,634**	0,362**	0,599**	0,211 ^{ns}	1,00	-	-
VM	-0,234 ^{ns}	0,596**	0,142 ^{ns}	- 0,231 ^{ns}	- 0,213 ^{ns}	- 0,074 ^{ns}	0,341**	0,119 ^{ns}	0,109 ^{ns}	- 0,173 ^{ns}	1,00	-
AT	- 0,351**	0,607**	0,101 ^{ns}	- 0,246 ^{ns}	- 0,125 ^{ns}	0,042 ^{ns}	0,234 ^{ns}	0,018 ^{ns}	0,166 ^{ns}	- 0,110 ^{ns}	0,792**	1,00

VR = variáveis; CEA = consumo específico aparente (m³/t_{sa}); RD = rendimento depurado (%); CT = carboidratos totais (%); LT = lignina total (%); EX = extrativos (%); SG = relação lignina siringil:guaiacil; IR = índice de Runkel; EP = espessura da parede da fibra (μm); CO = comprimento de fibra (μm); DP = densidade média ponderada (g cm⁻³); VM = volume de madeira (m³); AT = altura total da árvore (m). ** = significativo (p ≤ 0,01); * = significativo (0,01 > p ≤ 0,05); ns = não significativo (p > 0,05).

5. CONCLUSÕES

Dentre as variáveis estudadas, o percentual de cerne e alborno foi a característica que não teve influência do local de crescimento para todos os clones estudados.

O volume de madeira e a densidade básica média ponderada foram pouco influenciadas pelo ambiente.

As árvores crescidas em Nova Almeida – ES apresentaram melhor desenvolvimento, obtendo neste local, maiores valores para altura e volume de madeira.

Quanto a variação dos elementos de vaso no sentido radial da madeira, a posição 3, representada pelo cerne periférico se manteve mais estável nos dois locais de crescimento

De madeira geral, verificou-se que entre as características das fibras avaliadas, a largura do lume foi a mais influenciada pelo ambiente, enquanto a espessura de parede, foi a que evidenciou menor efeito do local em seus valores, para todas as posições estudadas e valor médio.

Para as características químicas o teor de extrativos foram as características mais variáveis em função do local, enquanto a relação lignina S:G foi a mais estável a variações do ambiente.

A densidade básica da madeira demonstrou estar correlacionada significativamente com o rendimento da polpação e com o consumo da madeira para produção de celulose, portanto sua determinação é importante para as indústrias do setor.

Há uma tendência de diminuição da relação S:G com o aumento densidade básica, apresentando uma correlação negativa entre estas duas variáveis. Esta relação não é interessante para a indústria de celulose, que prioriza a utilização de madeiras mais densas e com maior relação lignina S:G, e portanto, deve-se buscar o equilíbrio entre estas variáveis.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.S. **Influência da carga alcalina no processo de polpação Lo-Solids para madeiras de eucalipto**. 2003. 131f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2003.

ALVES, E.F. **Interação de fibras e elementos de vasos de polpa kraft de eucalipto com tintas de impressão offset**. 2005. 117f. Dissertação (Mestrado Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.

ALVES, I. C. N. **Potencial da madeira do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage visando à produção de celulose kraft**. 2010. 76f. Dissertação (Mestrado Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2010.

ANGELI, A.; BARRICHELO, L.E.G.; MÜLLER, P. H. Indicações para escolha de espécies de *Eucalyptus*. Piracicaba: IPEF, 2005. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/Eucalyptus/indicacoes.asp>>. Acesso em: 17 abr. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6230**: métodos de ensaio para madeiras. Rio de Janeiro, 1985. 89 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11941**: madeira - determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

BACHMANN & ASSOCIADOS E ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – ABTCP. **Análise comparativa do desempenho de fábricas de celulose e papel 2010**. Curitiba, 2011, 108p.

BARBOSA, T.L. **Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* cultivados em cinco regiões do estado de Minas Gerais para produção de celulose**. 2013. 126p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

BERTOLA, A. Eucalipto – 100 anos de Brasil – “Falem mal, mas continuem falando de mim!”. Curvelo: V&M Florestal Ltda, 2013, 91 p.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991, 154p.

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: Inter-relações entre propriedades das árvores e de suas madeiras. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3., 1983, São Paulo. **Anais...** São Paulo, ABCP, 1983, v.1, p.31-47.

BRITO, J. O. **Influência da adubação mineral nas características dos anéis de crescimento da madeira de *P. caribaea* var. *bahamensis***. 1985. 113f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1985.

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**, 2000. 129f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

CASTELO, P.A.R.; MATOS, J.L.M.; DEDECEK, R.A.; LAVORANTI, O.J. Influência de diferentes sítios de crescimento sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda*. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, 2008.

CASTRO, A.F.N.M. **Efeito da idade de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal**, 2005. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

CASTRO, H.F. **Papel e celulose**. (Apostila de Processos Químicos Industriais II). Lorena: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena, 2009, 30p. Disponível em:
<<http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840556/434/apostila4papelecelulose.pdf>>. Acesso em: 1 jul. 2015.

CALDEIRA, M.V.W.; TONINI, H.; HOPPE, J.M.; WATZLAWICK, L.F.; SELLE, G.L. Definição de sítios em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. na região de Encruzilhada do Sul, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.6, n.1, p.1-13, 1996.

CARVALHO, A. M; NAHUIZ, M. A. R. Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 59, p. 61-76, 2001.

COLEMAN, H. D.; PARK, J.-Y; NAIR, R.; CHAPPLE, C.; MANSFIELD, S. D. RNAi-mediated suppression of p-coumaroyl-CoA 3'-hydroxylase in hybrid poplar impacts lignin deposition and soluble secondary metabolism. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 105, 4501–4506(2008). Medline doi:10.1073/pnas.0706537105.

COLLINS, C. H.; BRAGA, G.L.; BONATO, S. **Fundamentos de cromatografia**. Campinas: UNICAMP, 2006, 452 p.

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

COSTA, J.A. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus urograndis*, plantado no Distrito Federal, para produção de celulose kraft**. 2011. 86f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

DEL RÍO, J.C.; GUTIÉRREZ, A.; HERNANDO, M.; LANDÍN, P.; ROMERO, J.; MARTÍNEZ, A.T. Determining the influence of eucalyptus lignin composition in paper pulp yield using Py-GC/MS. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 74, p. 110-115, 2005.

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 polpa celulósica Kraft**. 2006. 108f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2006.

EATON, R. A.; HALE, M. D. C. **Wood: decay, pests and protection**. London: Chapman & Hall, 1993.

EVANGELISTA, W.V.; SILVA, J.C.; LUCIA, M.D.; LOBO, L.M.; SOUZA, M.O.A. Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no sentido radial e longitudinal. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 1, n. 2, p. 1-19, 2010.

EVANGELISTA, W.V. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. E *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, oriunda de consórcio agrossilvipastoril**. 2007. 141f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P.Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. Boletim Técnico. **IPEF**. Piracicaba. v.6, n.20, p A1-A15, 1978.

FERNANDES, D. E.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; FERREIRA, M. Z. Influência da produtividade de clones híbridos de eucalipto na densidade da madeira e na polpação Kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 143-150, 2011.

FOELKEL, C. Casca da árvore do eucalipto: Aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel. **Eucalyptus Online Book and Newsletter**, 2006. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2015.

FOELKEL, C. As fibras dos eucaliptos e as qualidades requeridas na celulose kraft para a fabricação de papel. **Eucalyptus Online Book and Newsletter**, 2007. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT03_fibras.pdf>. Acesso em: 23 abril 2015.

FOELKEL, C.E.B. **Estrutura da madeira**. Belo Oriente: Cenibra. 1978, 84p.

GENCO, J.M., BUSAYASAKUL, N., MEDHORA, H.K., ROBBINS, W., Hemicellulose retention during kraft pulping, **Tappi Journal**, v. 73, n. 4, p. 223-233, 1990.

GOMES, F. J. B.; COLODETTE, J. L.; GOUVÊA, A. F. G; TRUGILHO, P. F.; GOMES, C. M.; CARVALHO, A. M. M. L. O Impacto da relação sirigil guaiacil na polpação kraft de eucalipto. In: Congresso e Exposição Internacional de Celulose e Papel, 40, 2008. São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 2008.

GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L. **Qualidade da madeira**. In: BORÉM, A. (Ed.) Biotecnologia florestal. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007. p.25-54.

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.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A.J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.2, p.339-344, 2010.

GONÇALEZ, J.C.; SANTOS, G.L.; SILVA JUNIOR, F.G.; MARTINS, I.S.; COSTA, J.A. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 81-89, 2014.

GOUVEA, A.F.G.; GOMES, C.M.; MATOS, L.M; SOUZA, T.A.; KUMABE, F.J.B.; BENITES, P.K.R.M. Efeito do sítio nas características tecnológicas da madeira de *Eucalyptus* para produção de celulose kraft. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 3, n. 2, p. 102-115, 2012.

GULLICHSEN, J.; PAULAPURO, H.B. **Papermaking science and technology: forest products chemistry**. Helsinki: FAPET, 2000, 300p.

HIGA, A. R.; SILVA, L. D. Perspectivas do melhoramento genético de pinus e eucalipto. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, p. 20-21, fev. 2009.

HILLIS, W.E., BROWN, A.G. ***Eucalyptus for wood production***. Melbourn: CSIRO, 1978, 434p.

HINCHEE, M.; BASSA, A.G.M.C.; ROTTMANN, W.; CHANG, S.; KWAN, B. Biotech enhanced levels of syringyl lignin improves eucalyptus pulping efficiency. In: **INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON EUCALYPTUS PULP**, 5. Porto Seguro.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Anuário estatístico 2014**: ano base 2013. Brasília, 2014, 100p. Disponível em: <http://www.iba.org/images/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2015.

KIMO, J.W. **Aspectos químicos da madeira de *Eucalyptus grandis*, W. Hill ex-Maiden, visando a produção de polpa celulósica.** 1986. 55f. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira.** 3. ed. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Morre.** 2000. 297f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

LOPES, M.C. **Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira.** 2013. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

LOPES, O. R.; MAGATON, A.S.; MORAIS, P.H.D.; COLODETTE, J.L.; PILO-VELOSO, D. Caracterização dos ácidos urônicos da madeira de *Eucalyptus urograndis*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 46, 2006, Salvador. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Química, 2006.

MAGATON, A.S.; OLIVEIRA, R.; LOPES, O. R.; MILAGRES, F. R.; PALMEIRAS, L. P. S.; PILO-VELOSO, D.; COLODETTE, J. L. Composição química da madeira de espécies de eucalipto. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 29, 2006, Águas de Lindóia. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2006.

MAGATON, A.S.; PILÓ-VELOSO, D.; COLODETTE, J.L. Caracterização das O-acetil-(4-o-metilglicurono) xilanas isoladas da madeira de *Eucalyptus urograndis*. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 31, n. 5, p. 1085-1088, 2008.

MAGATON, A.S.; LOPES, O.R.; COLODETTE, J.L.; GOMES, F.J. B. Characterization of Eucalyptus Urograndis uronic acids. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON EUCALYPTUS PULP, 6, 2013, Colonia Del Sacramento, Uruguai **Anais...** Colonia Del Sacramento, 2013.

MARCELO, C.R. **Determinação da relação siringila/guaiacila em ligninas de *Eucalyptus* spp. por pirólise associada à cromatografia gasosa e à espectrometria de massas.** 2007. 78f. Dissertação – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

MARQUES, M.H.B. **Agrupamento de 41 espécies de madeiras da Amazônia para secagem baseado em características anatômicas e físicas.** 2008. 125f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

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.** 2010, 105f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

MIRANDA, M.C.; CASTELO, P.A.R. Avaliações anatômicas das fibras da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 3, n. 2, p. 80-88, 2012.

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

MOKFIENSKI, A.; GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, R.C. Importância da densidade e do teor de carboidratos totais da madeira de eucalipto no desempenho da linha de fibras. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL SOBRE CELULOSE KRAFT DE EUCALIPTO, 2003, Viçosa. **Colóquio...** Viçosa, p. 15-38, 2003.

MORAES, F.A.B.; PIRATELLI, C.L.; ACHCAR, J.A. Condições ideais para o consumo específico de madeira na produção de celulose. **Production**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 712-724, 2014.

NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de Pinus taeda L.** 2005. 173f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

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

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, 113p.

PERÍGOLO, D.M. **Quantificação de monossacarídeos de madeiras e polpas celulósicas por HPLC/DAD utilizando derivatização com 1-fenil-3-metil-5-pirazolona (PMP).** 2014. 83f. Dissertação – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

PINHEIRO, A. L. **Considerações sobre taxonomia, filogenia, ecologia, genética, melhoramento florestal e a fertilização mineral e seus reflexos na anatomia e qualidade da madeira.** Viçosa: SIF, 1999.

POUBEL, D.S.; GARCIA, R.A.; LATORRACA, J.C.F.; CARVALHO, A.M. Estrutura anatômica e propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 2, p. 117-126, 2011.

QUEIROZ, S. C. S.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 901-909, 2004.

REVISTA DA MADEIRA – REMADE. **Melhoramento genético para a qualidade da madeira.** n.75, ago. 2003. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=403&subject=Melhoramento%20Gen%E9tico&title=Melhoramento%20gen%E9tico%20para%20a%20qualidade%20da%20madeira>. Acesso em: 23 abr. 2015.

REJMÁNEK, M.; RICHARDSON, D. M. **Eucalypts**. In: Encyclopedia of biological invasions. Simberloff, D.; Rejmánek, M. (Eds.). Berkeley, University of California Press, 2011, p. 203-209.

ROBINSON, A. R., MANSFIELD, S. D. Rapid analysis of poplar lignin monomer composition by a streamlined thioacidolysis procedure and near-infrared reflectance-based prediction modeling. *Plant J.* v. 58, n.4, p. 706-706, 2009.

ROCHA, F.T.; FLORSHEIM, S.M.B.; COUTO, H.T.Z. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 43-55, 2004.

ROCHA, C.B.R.; POTIGUARA, R.C.V. Morfometria das fibras das folhas de *Astrocaryum murumuru* var. *murumuru* Mart. (Arecaceae). **ACTA AMAZONICA**, Manaus, v.37, n.4, p.511 – 516, 2007.

SACCO, M. P. R., FERREIRA, C. S. R., SANSÍGOLO, C. A. Efeito do cerne e alburno na produção de celulose kraft em cavacos de *Eucalyptus grandis*. In: REUNIÃO CIENTÍFICA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO LAGEADO, 9., 2002, Botucatu. **Anais...** 2002.

SEGURA, T.E.D. **Avaliação das madeiras de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Acacia mearnsii* para a produção de celulose kraft pelos processos convencional e Lo-Solids**. 2012. 100f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

SEVERO, E.T.D.; CALONEGO, F.W.; SANSÍGOLO, C.A. Composição química da madeira de *Eucalyptus citriodora* em função das direcções estruturais. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 14, n.1, p. 113 - 126, 2006.

SILVA, J.A.A.; PAULO NETO, F.P. **Princípios básicos de dendrometria**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal, 1979, 191p.

SOSA, I.R.H. **Sistemas multiagentes para controle inteligente da caldeira de recuperação**. 2007. 177f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SOUZA, F.M.L. **Estudo comparativo da madeira e polpação de *Eucalyptus urophylla* e do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* em dois modelos silviculturais**. 2012. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2012.

STACKPOLE, D.J.; VAILLANCOURT, R.E.; ALVES, A.; RODRIGUES, J.; POTTS, B.M. Genetic variation in the chemical components of *Eucalyptus globulus* wood. **G3: Genes, Genomes, Genetics**, v. 1, n.2, p. 151-159, 2011.

TAVARES, J.T.Q.; CARDOSO, R.L.; COSTA, J.A.; FADIGAS, F.S.; FONSECA, A.A. Interferência do ácido ascórbico na determinação de açúcares redutores pelo método de Lane e Eynon. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n.4, p. 805-809, 2010.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. **Tappi test methods T 257 om-92**: sampling and preparing wood for analysis. Atlanta: Tappi Technology Park, v.1,1992.

TRUGILHO, P.F. Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1228-1239, 2009.

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 Florestalis**, Piracicaba, n. 73, p. 55-62, 2007.

ZANUNCIO, A.J.V.; COLODETTE, J.L.; GOMES, F.J.B.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R. Composição química da madeira de eucalipto com diferentes níveis de desbaste. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 755-760, 2013.

APÊNDICES

Apêndice A. Análises de variância das características dendrométricas, teores de cerne e alburno e densidade da madeira.

Tabela 1 A - Resumo da análise de variância para as características dendrométricas da madeira.

FV	GL	Quadrados Médios				
		HC	HT	DAP	VM	VC
CL	6	21,021**	24,927**	26,8015**	0,076**	0,003**
L	1	210,335**	212,979**	78,546**	0,436**	0,002*
CL*L	6	19,396**	17,405**	19,418**	0,083**	0,001*
Erro	42	1,963	2,201	6,106	0,011	0,000
CVe		4,9556	4,8363	11,474	18,710	20,053

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CL: clone; L: local; CL x L: interação clone x local; CVE: coeficiente de variação experimental (%); HC: altura comercial (m); HT: altura total (m); DAP: diâmetro a altura do peito (cm); VM: volume de madeira (m³); VC: volume de casca (m³); **: significativo ($p \leq 0,01$) e *: significativo ($0,01 > p \leq 0,05$) pelo Teste F.

Tabela 2 A - Resumo da análise de variância para os teores de cerne e alburno e densidade básica média ponderada e no DAP da madeira.

FV	GL	Quadrado Médio			
		%Cerne	%Alburno	DBmP	DBdap
CL	6	112,932**	112,932**	0,006**	0,007**
L	1	0,108 ^{ns}	0,108 ^{ns}	0,003**	0,000 ^{ns}
CL*L	6	45,499 ^{ns}	45,499 ^{ns}	0,002**	0,004**
Erro	56	23,388	23,388	0,000	0,000
CVe		8,614	11,027	2,886	3,795

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CL: clone; L: local; CL x L: interação clone x local; CVE: coeficiente de variação experimental (%); DBmP: densidade básica média ponderada (g.cm⁻³); DBdap: densidade básica no DAP (g.cm⁻³); **: significativo ($p \leq 0,01$); ns: não significativo ($p > 0,05$) pelo Teste F.

Apêndice B. Análise de variância para diâmetro, frequência de vasos, dimensões das fibras e índices de qualidade de fibras da madeira.

Tabela 1 B - Resumo da análise de variância para o diâmetro e a frequência de vasos da madeira.

FV	GL	Quadrados Médios			
		Diâmetro de vasos (μm)			
		P1	P2	P3	Média
CL	6	660,217**	883,469**	960,940**	743,043 **
L	1	134,636 ^{ns}	62,738 ^{ns}	549,975**	205,235**
CL*L	6	159,601**	174,998**	223,688**	155,076**
Erro	56	41,717	35,068	98,195	23,794
CVe		8,006	5,975	8,837	5,013
FV	GL	Frequência de vasos (poros mm^{-2})			
		P1	P2	P3	Média
		P1	P2	P3	Média
CL	6	40,064**	13,082**	10,838**	17,502**
L	1	80,357**	2,504 ^{ns}	0,716 ^{ns}	4,732**
CL*L	6	2,216 ^{ns}	2,915**	1,126 ^{ns}	1,525**
Erro	56	1,781	0,633	0,668	0,316**
CVe		9,707	8,417	10,094	5,390

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CL: clone; L: local; CL x L: interação clone x local; CVE: coeficiente de variação experimental (%); P1: posição 1 no sentido radial (próximo a medula); P2: posição 2 no sentido radial (região central); P3: posição 3 no sentido radial (cerne periférico); **: significativo ($p \leq 0,01$); ns: não significativo ($p > 0,05$) pelo Teste F.

Tabela 2 B - Resumo da análise de variância para as dimensões das fibras da madeira.

FV	GL	Quadrados Médios			
		Comprimento de fibra (μm)			
		P1	P2	P3	Média
CL	6	20942,58**	22394,21**	34074,21**	20353,21**
L	1	9201,43*	8826,10**	15144,68**	10880,59**
CL*L	6	766,44 ^{ns}	6582,40**	9321,14**	3318,45**
Erro	56	2156,92	1639,47	2023,27	864,364
CVe		5,790	4,214	4,253	3,127
FV	GL	Largura da fibra (μm)			
		P1	P2	P3	Média
		P1	P2	P3	Média
CL	6	12,946**	6,018**	5,548**	7,063**
L	1	106,010**	32,955**	88,909**	72,116**
CL*L	6	3,289*	4,456**	8,804**	4,557**
Erro	56	1,381	1,206	1,199	0,516
CVe		6,278	5,582	5,441	3,681
FV	GL	Diâmetro do lume (μm)			
		P1	P2	P3	Média
		P1	P2	P3	Média
CL	6	2,707 ^{ns}	1,153 ^{ns}	6,459**	1,191 ^{ns}
L	1	102,850**	3,362**	62,040**	57,785**
CL*L	6	2,593 ^{ns}	3,362**	8,573**	3,689**
Erro	56	1,441	1,213	1,415	0,595
CVe		11,069	10,020	11,974	7,282
FV	GL	Espessura da parede (μm)			
		P1	P2	P3	Média
		P1	P2	P3	Média
CL	6	1,640**	1,719**	3,425**	2,100**
L	1	0,006 ^{ns}	0,232 ^{ns}	0,605*	0,110*
CL*L	6	0,294**	0,179*	0,438**	0,262**
Erro	56	0,046	0,081	0,125	0,045
CVe		5,435	6,538	6,942	4,740

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CL: clone; L: local; CL x L: interação clone x local; CVE: coeficiente de variação experimental (%); P1: posição 1 no sentido radial (cerne periférico); P2: posição 2 no sentido radial (região central); P3: posição 3 no sentido radial (próximo a medula); **: significativo ($p \leq 0,01$); *: significativo ($0,01 > p \leq 0,05$); ns: não significativo ($p > 0,05$) pelo Teste F.

Tabela 3 B - Resumo da análise de variância para os índices de qualidade de fibras do lenho das árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 6,5 anos de idade, nos dois locais de crescimento.

FV	GL	Quadrados Médios			
		IE	CF	FP	IR
CL	6	76,598**	82,967**	82,967**	0,107**
L	1	258,508**	225,972**	225,972**	0,287**
CL*L	6	24,217**	30,0295**	30,0295**	0,041**
Erro	56	3,668	6,109	6,109	0,008
CVe		3,954	4,5590	5,399	10,278

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CL: clone; L: local; CL x L: interação clone x local; CVe: coeficiente de variação experimental (%); IE: índice de enfeltramento; CF: coeficiente de flexibilidade (%); FP: fração parede (%); IR: índice de Runkel; **: significativo ($p \leq 0,01$) pelo teste F.

Apêndice C. Análise de variância para a caracterização química, teor de carboidratos totais e variáveis da polpação kraft da madeira.

Tabela 1 C - Resumo da análise de variância para lignina siringila:guaiacila, extrativos lignina solúvel, insolúvel e total e holocelulose da madeira.

FV	GL	Quadrados Médios					
		S/G	EXT	LS	LI	LT	HOL
CL	6	1,999**	2,362**	1,784**	2,172*	1,458 ^{ns}	2,490 ^{ns}
L	1	0,111 ^{ns}	1,876*	2,254**	12,432**	4,119*	0,443 ^{ns}
CL*L	6	0,175*	3,372**	0,057 ^{ns}	2,387*	2,987**	10,331**
Erro	56	0,068	0,333	0,160	0,922	1,012	1,694
CVe		8,658	22,935	10,298	3,6817	3,357	1,927

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CL: clone; L: local; CL x L: interação clone x local; CVe: coeficiente de variação experimental (%); S/G: lignina siringila:guaiacila; EXT: extrativos (%); lignina solúvel (%); LI: lignina insolúvel (%); LT: lignina total (%); HOL: holocelulose (%); **: significativo ($p \leq 0,01$); *: significativo ($0,01 > p \leq 0,05$); ns: não significativo ($p > 0,05$) pelo Teste F.

Tabela 2 C - Resumo da análise de variância para teor de carboidratos totais da madeira.

FV	GL	Quadrado Médio
		Carboidratos totais (%)
CL	6	8,101**
L	1	5,190 ^{ns}
CL*L	6	3,825*
Erro	56	1,674
CVe		2,075

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CL: clone; L: local; CL x L: interação clone x local; CVe: coeficiente de variação experimental (%); **: significativo ($p \leq 0,01$); *: significativo ($0,01 > p \leq 0,05$); ns: não significativo ($p > 0,05$) pelo Teste F.

Tabela 3 C - Resumo da análise de variância para as variáveis da polpação kraft.

FV	GL	Quadrados Médios	
		RD	CEA
CL	6	3,586*	0,131**
L	1	38,072**	0,103**
CL*L	6	4,302*	0,007 ^{ns}
Erro	14	1,093	0,006
CVe		1,9476	2,197

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CL: clone; L: local; CL x L: interação clone x local; CVe: coeficiente de variação experimental (%); RD: rendimento depurado (%); CEA: consumo específico aparente ($\text{m}^3 \text{ tsa}^{-1}$); **: significativo ($p \leq 0,01$); *: significativo ($0,01 > p \leq 0,05$); ns: não significativo ($p > 0,05$) pelo Teste F.